





Digitized by the Internet Archive
in 2016

JOHN M. ANDREAS



RESEARCH LIBRARY
THE GETTY RESEARCH INSTITUTE

JOHN MOORE ANDREAS COLOR CHEMISTRY LIBRARY FOUNDATION

Encyklopädie
der
Photographie.

Heft 74.

Die
Photographischen Lichtfilter.

Von

Arthur Freiherrn von Hübl,

k. u. k. Generalmajor und Leiter der technischen Gruppe des k. u. k. Militär-
geographischen Institutes in Wien.

Mit 5 Beilagen und 18 Abbildungen im Text.

Halle a. S.

Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.
1910.

Vorwort.

In vorliegendem Heft sollen die für photographische Zwecke notwendigen farbigen Glasscheiben, die sogen. photographischen Lichtfilter, besprochen werden.

Das Wesentliche derselben bildet eine farbige Substanz, meist ein künstlicher Farbstoff, dessen Eigentümlichkeiten für die Wirkungsweise des Filters maßgebend sind. Um daher ein allgemein brauchbares Material für die Herstellung der Filter zu schaffen, mußte zunächst eine größere Zahl von Farbstoffen bezüglich gewisser Eigenschaften — zu welchen insbesondere die spektralen Absorptionsverhältnisse zählen — untersucht werden, wobei aber aus naheliegenden Gründen nur chemisch reine Präparate, wie sie gegenwärtig von den Höchster Farbwerken in den Handel gebracht werden, in Betracht kommen konnten.

Diese Farbstoffe bildeten dann gleichsam die Bausteine, aus welchen die verschiedenen Lichtfilter formiert werden konnten.

Bei der Durchführung der dabei notwendigen zahlreichen Versuche wurde der Verfasser durch Herrn Georg Winter auf das wirksamste unterstützt.

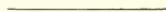
Wien, im September 1910.

Der Verfasser.

Inhalt.

	Seite
Vorwort	V
Einleitung	I — 4
I. Die spektralen Eigentümlichkeiten der Farbstoffe.	
1. Die Ermittlung und graphische Darstellung der Absorptionsspektren. Das Absorptionsrelief, Bestimmung des Absorptionsspektrums auf Grund von Transparenzmessungen, Wahl der Ordinaten, freihändig gezeichnete und nach Messungen konstruierte Kurven, Ermittlung der Absorptionsverhältnisse im violetten und ultravioletten Teil des Spektrums, die Absorptionskurven für das Prismen- und Gitterspektrum . . .	5 — 16
2. Der Einfluß der Farbstoffkonzentration auf das Spektrum. Die Farbstoffdichte, die Absorptionsspektren bei verschiedenen Farbstoffdichten, die Änderung der Farbe mit der Farbstoffdichte, Absorptionsgrenze und Grenzfarbe	16 — 28
II. Die Filterfarbstoffe.	
1. Die Absorptionsspektren	29 — 33
2. Die chemischen Eigentümlichkeiten der Farbstoffe. Basische und saure Farbstoffe, Lichtbeständigkeit der Farbstoffe	33 — 38
3. Charakteristik der Filterfarbstoffe. a) Rote Farbstoffe, b) Gelbe Farbstoffe, c) Grüne Farbstoffe, d) Blaue Farbstoffe	38 — 50
4. Die Ermittlung photographischer Filter auf Grund der Absorptionskurven. Absorptionskurven von Farbstoffmischungen, Nachbildung vorhandener Filter, Beispiele für die Ermittlung photographischer Filter, trockene und flüssige Filter von gleicher Wirksamkeit	50 — 61

	Seite
5. Die Technik der Filterherstellung.	
Herstellung von Gelatinetrockenfiltern, Herstellung von Filtern mit bestimmter Farbstoffdichte	61 — 67
III. Die photographischen Lichtfilter.	
Einteilung der Filter	68 — 69
1. Monochromatische Filter	69 — 71
2. Schutzfilter.	
Rotfilter, Grünfilter, Schutzfilter für Tageslicht und für elektrische Flüssigkeitslampen	71 — 81
3. Kompensationsfilter.	
Allgemeine Charakteristik	81 — 83
a) Tonrichtige Filter	83 — 91
b) Komplementärfilter	91 — 94
c) Kontrastfilter, Gelscheiben bei der Gemälde- und Landschaftsphotographie	94 — 98
4. Selektionsfilter.	
Theoretische Ermittlung der Filter für die Dreifarbenphotographie, Überprüfung der Filter mit der Farbentafel, Modifizierte Filter für den Dreifarbendruck	98 — 109



Einleitung.

Die Sensibilisierung der photographischen Platte für Lichtstrahlen verschiedener Farbe zählt ohne Zweifel zu den erfolgreichsten Entdeckungen auf dem Gebiete der Photographie. Mit ihr ist der alte Fehler — die falsche Wiedergabe der Farbenhelligkeiten — verschwunden; denn sie setzt uns in die Lage, jedes farbige Objekt in einer dem jeweiligen Zwecke entsprechenden Abschattierung abzubilden, und sie hat die praktische Ausgestaltung verschiedener, früher undurchführbarer Ideen, betreffend die Wiedergabe der Farben auf photographischem Wege, ermöglicht, ist also von grundlegender Bedeutung für die gegenwärtige Farbenphotographie.

Diese Herrschaft über die Farbe hat die Photographie durch die Verwendung von Farbstoffen bei den bilderzeugenden Prozessen errungen.

Man kann die in der Photographie benutzten Farbstoffe in drei Gruppen teilen: In Sensibilisatoren, Filterfarbstoffe und Farbstoffe zur Koloritbildung der auf indirektem Wege erzielten photographischen Farbenbilder.

Die Sensibilisatoren sind komplementär gefärbt zu jener Strahlengattung, für welche sie die Platte empfindlich machen sollen; sie sind meist von kompliziertem Bau, bleichen im Lichte rasch aus und müssen sonst noch gewisse Eigentümlichkeiten besitzen, die man bisher noch nicht ganz präzisieren konnte. Die farbigen Lichtfilter sollen gewisse Strahlengattungen des auffallenden Lichtes absorbieren, um die Platte gegen die unerwünschte

Wirkung derselben zu schützen. Mit Hilfe der Lichtfilter vermag man die Empfindlichkeitsverhältnisse der photographischen Schicht zweckentsprechend zu modifizieren, und die Eignung der Farbstoffe für diese Zwecke hängt daher lediglich von ihrem Absorptionsspektrum ab. Die bei der indirekten Farbenphotographie benutzten Farbstoffe müssen eine lebhafte, brillante Färbung besitzen, damit bei ihrer Mischung noch genügend reine Farben gebildet werden, und überdies fordert man von ihnen im Interesse der Haltbarkeit der Bilder tunlichste Lichtbeständigkeit. Bis vor wenigen Jahren war man lediglich auf die Verwendung der im Handel befindlichen, für die Zwecke der Färberei bestimmten Farbstoffe angewiesen. Da diese Produkte meist sehr unrein sind — sie enthalten oft absichtliche Zusätze von indifferenten Substanzen, z. B. Dextrin, um das Volumen zu vermehren —, häufig aus Gemischen bestehen und bei gleicher Bezeichnung oft eine wesentlich verschiedene Beschaffenheit besitzen, so waren alle Angaben, die sich auf solche Farbstoffe bezogen, von sehr zweifelhaftem Wert. Die Eigentümlichkeiten des Farbstoffes, den man gerade in Händen hatte, waren stets fraglich, es war unmöglich, brauchbare Vorschriften aufzustellen, und bei der Wiederholung eines Versuches erlebte man oft scheinbar unerklärliche Mißerfolge.

Diese Verhältnisse haben sich nun glücklicherweise völlig geändert, da die Höchster Farbwerke, einer Anregung von Dr. E. König folgend, jetzt eine Reihe von chemisch reinen, sehr zweckmäßig ausgewählten Farbstoffen für photographische Zwecke in den Handel bringen, die, wie alle anderen chemisch reinen Präparate, von stets ganz gleicher Beschaffenheit sind.

Dr. E. König hat damit der Photographie einen äußerst wertvollen Dienst erwiesen; denn die in den letzten Jahren erzielten ganz bedeutenden Fortschritte

auf dem Gebiete der orthochromatischen und Farbenphotographie haben wir zum großen Teile diesen Farbstoffen zu danken.

Da die für photographische Lichtfilter bestimmten Farbstoffe eine eingehende Besprechung noch nicht erfahren haben, so sollen hier zunächst die Eigentümlichkeiten derselben erörtert werden.

Von besonderer Wichtigkeit ist ihr spektrales Verhalten, wobei zu berücksichtigen ist, daß in der photographischen Praxis sowohl Trocken- als auch Flüssigkeitsfilter gebräuchlich sind, und daß die Farbstoffe in festen Schichten und in Lösungen verschiedene Absorptionsspektren besitzen.

Die Trockenfilter werden aber fast ausschließlich mit gefärbter Gelatine angefertigt, da sich durch Aufgießen von gefärbtem Kollodium oder Lack genügend gleichmäßige Schichten kaum erzielen lassen, und als Flüssigkeitsfilter kommen nur mit wässrigen Farbstofflösungen gefüllte Küvetten in Betracht. Es genügt daher, die Absorptionsspektren der Farbstoffe in trockenen Gelatineschichten und wässrigen Lösungen zu kennen.

Im Spektroskop vermag man die durch gefärbte Schichten hervorgerufene Absorption nur bis etwa zur *G*-Linie zu verfolgen, da das spektrale Violett so lichtschwach ist, daß es schon bei geringer Absorption gänzlich verschwindet. In photographischer Beziehung spielt aber die violette und die angrenzende ultraviolette Zone eine wichtige Rolle; denn die photographischen Schichten sind gerade für diesen Teil des Spektrums am empfindlichsten. Zur Kenntnis der photographisch wichtigen Eigentümlichkeiten eines Filterfarbstoffes gehört daher auch die Kenntnis seiner Absorptionsverhältnisse in der erwähnten Zone, etwa bis zur Wellenlänge $\lambda = 300 \mu\mu$. Noch kürzere Wellen spielen in der photographischen Praxis keine Rolle, da sie von der Glasoptik des Objektivs

völlig absorbiert werden, somit gar nicht bis zur photographischen Platte gelangen können.

Außer diesen optischen Eigentümlichkeiten der Filterfarbstoffe sind auch gewisse chemische Eigenschaften derselben von Interesse. So ist z. B. das Verhalten der Farbstofflösungen bei gegenseitiger Mischung von Bedeutung für ihre praktische Verwendbarkeit; denn oft müssen, um bestimmte Schirmwirkungen mit dem Filter zu erzielen, zwei oder auch mehrere Farbstoffe kombiniert werden.

Endlich ist auch das Verhalten der Filterschichten gegen das Licht von einiger Wichtigkeit. Gefärbte Schichten, die man bei der Beleuchtung der Dunkelkammer benutzt, müssen natürlich tunlichst lichtbeständig sein, während man bei Aufnahmefiltern in dieser Beziehung keine hohen Forderungen stellt; immerhin muß man aber wissen, ob man ein solches Filter sorglos stundenlang dem Lichte aussetzen darf, oder es, wenn nicht gebraucht, passend verwahren muß.

I. Die spektralen Eigentümlichkeiten der Farbstoffe.

1. Die Ermittlung und graphische Darstellung der Absorptionsspektren.

Bringt man vor den Spalt eines Spektroskopes eine farbige, durchsichtige Schicht, so werden von dieser gewisse Bestandteile des durchfallenden weißen Lichtes zurückgehalten, und daher erscheinen einzelne Teile des Spektrums mehr oder weniger verdunkelt. Die Fraunhoferschen Linien oder die Teilstriche der im Spektroskop angebrachten Wellenlängenskala orientieren uns über die Lage der Schatten, also über die Wellenlänge der absorbierten Strahlen, und aus dem Grad der Verdunklung erkennen wir die Stärke der Absorption. Besonders geeignet für die Betrachtung solcher Erscheinungen ist das Zeißsche Vergleichsspektroskop, das zwei völlig idente, knapp aneinanderschließende Spektren zeigt. Betrachtet man mit diesem Apparat eine gefärbte Schicht, so treten in einem Spektrum die erwähnten Verdunklungen auf, die im Vergleich mit dem nebenliegenden, unveränderten Spektralband sehr deutlich erkennbar sind.

Das durch dunkle Schatten unterbrochene Spektrum bezeichnet man als „Absorptionsspektrum“, und die Form und Lage der Schatten steht im engsten Zusammenhang mit gewissen optischen Eigentümlichkeiten, besonders mit dem Kolorit der gefärbten Schicht.

Das Absorptionsrelief. Zur Definierung eines Absorptionsspektrums werden die Schatten am besten

graphisch dargestellt. Man trägt auf einer Geraden als Abszissen eine Wellenlängenskala auf und als Ordinaten die Intensität der Schatten und erhält so Kurven, welche die Absorptionsverhältnisse der gefärbten Schicht in sehr anschaulicher Weise charakterisieren.

Zum Verständnis solcher Darstellungen ist es aber wichtig, die Bedeutung der Ordinaten zu kennen, die wir unwillkürlich wählen, wenn wir die im Spektroskop sichtbaren Schatten lediglich dem Gefühle nach in Kurven umsetzen. Wir verfahren dabei offenbar ganz so, als wenn wir irgendeine andere Abschattierung, z. B. die einer transparenten Papierskala, graphisch darstellen sollen. Erfahrungsgemäß erscheint eine solche, durch stufenweises Übereinanderlegen von transparentem Papier gebildete Skala — wenigstens im mittleren Teile — gleichmäßig abgestuft, d. h. die Undurchsichtigkeit nimmt von Stufe zu Stufe gleich viel zu, und wenn wir diese Abschattierung graphisch darstellen sollen, so würden wir, ohne viel zu überlegen, Stufen von gleicher Höhe — also einen Schnitt durch das Papierrelief — zeichnen. Und das gleiche gilt auch von der Abbildung eines Absorptionsspektrums. Bei der graphischen Darstellung der Schatten eines solchen Spektrums zeichnen wir unwillkürlich einen Querschnitt durch ein Relief, das, auf das Spektrum gelegt, die gleiche Verdunklung hervorbringen würde, wie die Farbstoffschicht vor dem Spalt des Spektroskopes. Die Ordinaten der Absorptionskurven entsprechen somit den Dickendimensionen dieses Reliefs.

Derartige, lediglich nach dem Gefühl ausgeführte Zeichnungen sind aber selbstverständlich recht mangelhaft und gestatten nur eine allgemeine Orientierung über die Absorptionsverhältnisse eines Farbstoffes. Es ist ja ganz ausgeschlossen, die Intensität der Schatten richtig abzuschätzen, da wir dabei verschiedenen Täuschungen ausgesetzt sind. Schmale, helle Teile zwischen dunklen

Schatten erscheinen infolge des Kontrastes heller, als sie wirklich sind, die Intensität von schmalen, dunklen Streifen wird überschätzt, und zarte Schatten auf hellem Grunde sind ebensowenig wahrzunehmen, wie die Modulation in den dunklen Schatten. Diese schematischen Zeichnungen charakterisieren zwar den Anblick eines Absorptionsspektrums, sie entsprechen aber nicht der Wahrheit.

Bestimmung des Absorptionsspektrums auf Grund von Transparenzmessungen. Soll die Darstellung des Absorptionsspektrums für zahlenmäßige Erörterungen, z. B. für die Ermittlung der quantitativen Zusammensetzung eines, einem bestimmten Zweck dienenden Filters benutzt werden, so müssen die Ordinaten auf Grund von Messungen ermittelt werden. Die diesem Zwecke dienenden Instrumente führen den Namen „Spektralphotometer“ und ermöglichen, die Durchlässigkeit der gefärbten Schicht für Lichtstrahlen von bestimmter Wellenlänge zahlenmäßig zu bestimmen. Für die hier in Rede stehenden Untersuchungen wurde ein Spektralphotometer von Schmidt & Haensch benutzt, bei welchem die bekannte Vierordtsche Meßmethode zur Anwendung kommt. Man beobachtet jedoch ohne Fernrohrokular durch einen Okularspalt, wodurch die übereinander befindlichen Ausschnitte der beiden Spektren auf die beiden Hälften des kreisrunden Gesichtsfeldes ausgebreitet werden.

Die Beleuchtung der beiden Spalte erfolgt durch einen Auerbrenner, und zwar von der gleichen Stelle der Lichtquelle, wobei eine eigene Vorrichtung, deren wesentlicher Bestandteil aus einem Zwillingsprisma besteht, zur Anwendung kommt.

Bei Ausführung der Messungen an gefärbten Gelatinefolien befanden sich diese stets vor dem unteren Spalt, und dem oberen Spalt wurde die gleiche, jedoch ungefärbte Gelatineschicht vorgeschaltet, wodurch die Absorption der Gelatine eliminiert und lediglich die Farbstoff-

absorption gemessen wurde. Der untere Spalt blieb konstant auf 0,1 mm, und bei Messungen in der blauen Zone auf 0,4 mm geöffnet, während der obere Spalt auf gleiche Helligkeit der beiden Hälften des Gesichtsfeldes eingestellt wurde. War die Spaltbreite hinter der gefärbten Schicht z. B. m Millimeter, und mußte der zweite Spalt, um gleiche Helligkeit herzustellen, auf n Millimeter gestellt werden, so wird die Lichtintensität m durch die Farbstoffschicht auf die Intensität n reduziert, denn die Intensitäten verhalten sich proportional den Spaltbreiten. Die Intensität des auffallenden Lichtes ist m , jene des von der Schicht nicht absorbierten, also des durchfallenden Lichtes n , und das Verhältnis $\frac{n}{m} = t$ bezeichnet man als „Transparenz“ der Schicht oder als „übrigbleibende Lichtstärke“.

Ist z. B. für eine bestimmte Stelle des Spektrums $m = 0,5$ mm und $n = 0,2$ mm, so ist die Transparenz der Farbstoffschicht für diese Lichtstrahlen $t = \frac{0,2}{0,5} = 0,4$, es werden also 0,4 des auffallenden Lichtes von der Schicht durchgelassen. Der Apparat gestattet also, die Transparenzen einer gefärbten Schicht für Licht aller Wellenlängen zu messen, und mit Hilfe dieser Daten können dann die Absorptionskurven konstruiert werden, wobei die Ordinaten derselben den Dimensionen des oben charakterisierten Reliefs zu entsprechen haben. Die Transparenzen dieses Reliefs sind durch die Messungen gegeben, und ihnen entsprechend ist seine Form zu bestimmen.

Der Zusammenhang zwischen der Dicke einer durchscheinenden Schicht und der Transparenz derselben ergibt sich am besten durch Betrachtung der schon oben erwähnten — etwa aus Papier gebildeten — Stufenskala (Fig. 1). Läßt eine Lage des Papiers $\frac{1}{n}$ des auffallenden

Lichtes durch, ist also seine Transparenz $t = \frac{1}{n}$, so wird jede weitere Papierlage das durchgelassene Licht wieder auf $\frac{1}{n}$ abschwächen, und daher reduzieren zwei Papierlagen die Intensität des Lichtes auf $\frac{1}{n^2}$, drei Lagen auf $\frac{1}{n^3}$ usw. Bezeichnet man die Zahl der Papierlagen mit z , so ist die Transparenz derselben $t = \frac{1}{n^z}$, und kennt man

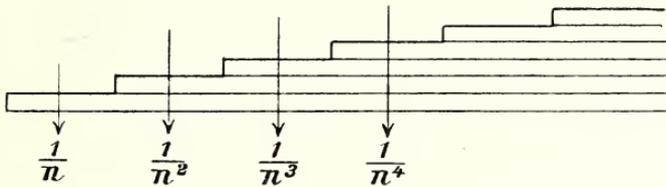


Fig. 1.

die Transparenz t , so läßt sich die Zahl der übereinanderliegenden Schichten leicht ermitteln; denn es ist:

$$\log t = -z \log n, \text{ oder } z = -\frac{\log t}{\log n} = \frac{\log t}{\log \frac{1}{n}}.$$

Diese Gleichung ermöglicht es, die Zahl der Schichten von der Transparenz $\frac{1}{n}$ zu bestimmen, die übereinander gelegt werden müssen, um eine Schicht von der Transparenz t zu erhalten.

Sind daher die Transparenzen einer Farbstoffschicht für die verschiedenen Wellenlängen ermittelt, so kann man mit Hilfe dieser Formel aus Elementarschichten von der Transparenz $\frac{1}{n}$ jenes Relief aufbauen, das, auf ein vollkommenes Spektrum gelegt, den Eindruck des Absorptionsspektrums hervorruft. Aus der für die ver-

schiedenen Wellenlängen notwendigen Zahl von Elementarschichten ergibt sich der Querschnitt durch das Relief, also die Größe der Ordinaten und die gesuchte Absorptionskurve.

Die Transparenz $\frac{1}{n}$ der Elementarschichten kann willkürlich angenommen werden; zweckmäßig benutzt man aber für den Aufbau des Reliefs Schichten, die $\frac{1}{10}$ des auffallenden Lichtes durchlassen, man wählt also $\frac{1}{n} = \frac{1}{10}$, wodurch

$$z = -\log t$$

wird. Bei dieser Annahme entspricht die Zahl der Elementarschichten, also die Reliefhöhe, dem negativen Logarithmus der gemessenen Transparenz, eine Größe, die auch als „Extinktion“ bezeichnet wird.

Zur Konstruktion der Absorptionskurve hat man daher diese Größen als Ordinaten in den zugehörigen Punkten einer Geraden mit Wellenlängenteilung aufzutragen, wodurch sich eine Reihe von Punkten ergibt, die man durch eine Kurve verbindet.

λ	t	z
600	1,00	0,00
590	0,90	0,05
580	0,67	0,17
570	0,34	0,47
560	0,28	0,55
550	0,37	0,43
540	0,54	0,27
530	0,59	0,23
520	0,60	0,22
510	0,70	0,15
500	0,80	0,10

Eine mit Rose bengale gefärbte Gelatineschicht ergab z. B. bei der Messung mit dem Spektralphotometer die in der nebenstehenden Tabelle verzeichneten Resultate.

λ bezeichnet die Wellenlänge, für welche die Transparenz gemessen wurde, und t ist die aus dem Verhältnis der Spaltbreiten ermittelte Transparenz. Die negativen Logarithmen dieser Zahlen sind in der Rubrik unter z eingetragen und repräsentieren die Reliefhöhen. Wie ersichtlich, sind diese Zahlen durchaus kleiner als 1, und daher er-

reicht das Relief in keinem Punkte die Höhe einer $0,1$ -Schicht.

Für Licht von der Wellenlänge $\lambda = 600$ ist die Schicht völlig transparent, denn es ist $t = 1,00$ und die Reliefhöhe $z = 0$; das Maximum der Absorption liegt bei $\lambda = 560$, und hier entspricht die Höhe des Reliefs etwa der halben Höhe einer $0,1$ -Schicht.

Wahl der Ordinaten. Die Größen z sind, wie erwähnt, als Ordinaten aufzutragen, wobei der Maßstab ganz beliebig gewählt werden kann, die entstehenden Kurven bleiben immer richtig. Nimmt man z. B. die

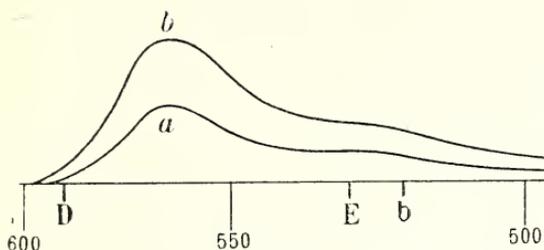


Fig. 2.

Dicke einer $0,1$ -Schicht mit 1 cm an, so würden die Zahlen z Zentimeter bedeuten; man kann aber die $0,1$ -Schicht auch 1 mm oder 10 cm dick wählen, wodurch die Ordinaten $1/10$ bzw. das Zehnfache der früheren Höhe erhalten würden.

Fig. 2 zeigt die mit verschiedenen Ordinatenmaßstäben konstruierte Absorptionskurve; bei a ist die $0,1$ -Schicht mit 15 mm, bei b mit 30 mm gewählt.

Wie ersichtlich, erhält man in dieser Weise Kurven, die zwar beide theoretisch richtig sind, die aber doch verschiedene Vorstellungen über die Beschaffenheit des Absorptionsspektrums hervorrufen, und offenbar muß es einen Ordinatenmaßstab geben, der den Kurven ein wahres, natürliches Aussehen verleiht. Einen solchen Maßstab wählt man auch unwillkürlich, wenn man ein

Absorptionsspektrum mittels Freihandzeichnung in Kurvenform darstellt. Man bringt die Höhe der Ordinaten mit der angenommenen Länge des Spektrums in Einklang, wird zarte Schatten durch flache Erhebungen andeuten und sie nicht etwa steil und hoch zeichnen, und ebenso wenig wird man steil ansteigende tiefe Schwärzen durch flache Kurven abbilden.

Solche unwahre, verzerrte Bilder entstehen aber, wenn der Ordinatenmaßstab nicht passend gewählt wurde.

Die Erfahrung lehrt, daß man, um eine leicht verständliche, dem Anblick im Spektroskop ähnliche Kurven²darstellung zu erzielen, die Höhe einer 0,1-Schicht etwa gleich dem sechsten Teil der Spektralstrecke von *C* bis *G* zu wählen hat. Einen Anhaltspunkt in dieser Beziehung liefern uns auch gewisse Absorptionserscheinungen, die später besprochen werden sollen.

Freihändig gezeichnete und nach Messungen konstruierte Kurven. Die nach Messungen konstruierten Kurven unterscheiden sich oft wesentlich von den nach dem Anblick im Spektroskop Freihändig gezeichneten. Während letztere meist eine übertriebene Charakteristik aufweisen, fehlt der nach Messungen ermittelten Darstellung die Prägnanz der Formen. Sie gelangen verflacht und verwaschen zur Darstellung, kleine, schmale Maxima und Minima gehen verloren, und die charakteristischen tiefsten Schwärzen werden zu hell und in die Breite gezogen wiedergegeben.

Das ist leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, daß es nicht möglich ist, mit einem Spektralphotometer die in einem bestimmten Punkt des Spektrums vorhandene Schwärzung zu ermitteln, sondern daß zu diesem Zwecke stets ein streifenförmiger Ausschnitt des Spektrums herangezogen werden muß und die Messung daher einen mittleren Wert von der in diesem Streifen vorhandenen

— ihn aber nicht gleichmäßig erfüllenden — Schwärzung liefert.

Für die hier in Rede stehende Untersuchung der Filterfarbstoffe spielt jedoch die Lage und Intensität der Maxima keine besondere Rolle, es handelt sich vielmehr nur um die Ermittlung der Breite, der Begrenzung und der durchschnittlichen Intensität der Absorptionsbänder.

Ermittlung der Absorptionsverhältnisse im violetten und ultravioletten Teil des Spektrums. Im violetten Teil des Spektrums lassen sich wegen der geringen Helligkeit dieser Zone keine Transparenzmessungen ausführen, und es mußte daher der Verlauf der Absorptionskurve in diesem sowie im ultravioletten Gebiet auf photographischem Wege, oder mit Hilfe eines Spektroskopes für ultraviolette Strahlen, ermittelt werden. Für die photographische Methode diente ein Zeißscher Spektralapparat mit Quarzprisma in Verbindung mit einer kleinen Kamera, und als Lichtquelle wurde eine Bogenlampe mit Eisenelektroden benutzt. Aus der Photographie des Spektrums bei vorgeschalteter Farbstoffschicht konnte dann auf den allerdings nur ungefähren Verlauf des Absorptionsbandes geschlossen werden.

Der erwähnte Spektralapparat liefert ein nur etwa 3 cm langes Spektrum, das aber in ganzer Ausdehnung vom spektralen Rot bis zum Ultraviolett von der Wellenlänge $\lambda = 230 \mu\mu$ eine ganz gleichmäßige und so bedeutende Schärfe besitzt, daß eine mehrfache Vergrößerung ohne jeden Verlust an Linien möglich ist.

Die benutzte Eisenlampe¹⁾ besitzt horizontale, um die Längsachse rotierende Elektroden, brennt mit 10 Amp. lange Zeit ganz gleichmäßig und ist frei von den bekannten Mängeln solcher Lampen mit festen,

1) Spektroskopie von E. C. C. Baly, übersetzt von Dr. R. Wachsmuth, S. 288. J. Springer, Berlin 1908.

vertikalen Stäben. Vor den Spalt des Apparates wurden die verschieden intensiv gefärbten Gelatinefolien vorgeschaltet, und die Photographie der Spektren erfolgte auf panchromatischen Lumière-Platten. Die 0,2 mm dicken Folien lassen zwar nur die Strahlen bis etwa zur Wellenlänge $300 \mu\mu$ durch, die weitere Fortsetzung des Absorptionsspektrums hätte aber auch gar keinen praktischen Wert, da wegen der Glasoptik des photographischen Apparates nur die Strahlen bis 350 in Betracht kommen.

Die zahlreichen Eisenlinien füllen das ganze Spektrum fast gleichmäßig aus und ermöglichen es, die Wellenlänge jeder beliebigen Stelle zu ermitteln. Es ist daher leicht, das Maximum sowie die Grenzen der Farbstoffabsorption zu erkennen und mit Berücksichtigung einer Wellenlängenskala die Absorptionsverhältnisse zu skizzieren.

Zur Durchforschung des ultravioletten Gebietes kann man an Stelle der Photographie auch ein eigens für diese Zwecke konstruiertes Spektroskop benutzen, bei welchem das ultraviolette Spektrum mit Hilfe einer fluoreszierenden Schicht sichtbar gemacht wird. Besonders erwähnenswert ist ein derartiges, von der Firma C. Zeiß hergestelltes Spektroskop, das eine geradezu überraschende Vollkommenheit aufweist. Man sieht in diesem Apparat das sichtbare Spektrum in den natürlichen Farben, und anschließend den ultravioletten Teil bis zur Cadmiumlinie $\lambda = 215 \mu\mu$ in kräftigem, grünlichem Fluoreszenzlicht. Dabei besitzt die Dispersionskurve eine sehr günstige Gestalt, und das Spektrum ist in ganzer Ausdehnung von fast gleichmäßig guter Schärfe.

Als Lichtquelle kann man die erwähnte Eisenlampe gebrauchen, und in vielen Fällen genügt auch die ungleich bequemere Quecksilberquarzlampe, die ein System von außerordentlich hellen, jedoch etwas weit voneinander abstehenden Linien liefert.

Mit Hilfe eines derartigen Spektroskopes lassen sich die Absorptionsverhältnisse der Farbstoffe im ultravioletten Gebiet — aber selbstverständlich nur in qualitativer Hinsicht — fast ebenso leicht beobachten, wie im sichtbaren Spektrum.

Die Absorptionskurven für das Prismen- und Gitterspektrum. Zur zahlenmäßigen Ermittlung der Transparenzen benutzt man meist Prismenspektrope, da das von einem Gitter gebildete Spektrum für diese Zwecke zu lichtschwach ist. Es unterliegt daher keinem Zweifel, daß die aus den Transparenzen ermittelten Dichtigkeiten des Absorptionsbandes, also die Reliefordinaten, auf einer Grundlinie mit prismatischer Wellenlängenskala aufzutragen sind.

Es entsteht nun die Frage, wodurch sich das prismatische Absorptionsspektrum von einem mit dem Gitter erzeugten Absorptionsspektrum unterscheidet, bzw. in welcher Weise die mit einem Prismenspektroskop ermittelten Absorptionskurven für ein Gitterspektrum umzugestalten sind.

Diese Frage ist leicht zu beantworten, wenn man berücksichtigt, daß eine transparente Schicht stets den gleichen Bruchteil des auffallenden Lichtes — unabhängig von dessen Intensität — absorbiert.

Eine farbige Schicht, welche z. B. die Eigentümlichkeit besitzt, die Hälfte der auffallenden roten Strahlen von der Wellenlänge 600 bis 610 zu absorbieren, wird die Helligkeit dieser Zone in beiden Spektren auf die Hälfte restringieren, und wir haben somit, um diese Absorption darzustellen, diesen Teil in beiden Spektren mit einer Schicht zu bedecken, welcher die Transparenz $t = 1/2$ zukommt. Das gilt von jedem Teil des Spektrums, und daraus folgt, daß die Ordinaten der Absorptionskurve für Punkte gleicher Wellenlänge in beiden Spektren die gleichen sind. Man hat daher, um die Absorptions-

kurven für ein oder das andere Spektrum zu erhalten, lediglich die gleichen Ordinaten auf einer Grundlinie mit der Wellenlängenteilung eines Prismen- oder Gitterspektrums aufzutragen. Die Verhältnisse liegen also hier viel einfacher, als bei der Transformation der Photographie eines Spektrums. Die durch das Licht verschiedener Wellenlänge hervorgebrachten photographischen Schwärzungen werden gleichfalls durch Kurven dargestellt, die auch auf Transparenzmessungen basieren und gleichsam einen Querschnitt durch das Silberrelief der photographischen Platte repräsentieren.

Soll eine solche Schwärzungskurve auf ein anderes Spektrum übertragen werden, so müssen die Ordinaten mit Berücksichtigung der verschiedenen Energieverteilung in beiden Spektren umgerechnet werden, wobei wegen unvollkommener Kenntnis des photographischen Schwärzungsgesetzes ziemlich bedeutende Fehler unvermeidlich sind.

2. Der Einfluß der Farbstoffkonzentration auf das Spektrum.

Die Farbstoffdichte. Der Farbstoffgehalt einer Lösung wird durch das zwischen Farbstoff und Lösungsmittel bestehende Verhältnis angegeben, das man als „Konzentration“ bezeichnet. Eine Lösung von der Konzentration $\frac{1}{1000}$ enthält daher 1 g Farbstoff auf 1000 g des Lösungsmittels.

Für feste Farbstoffschichten ist ein einheitliches Konzentrationsmaß nicht üblich, und es ist keineswegs leicht, sich aus der Angabe für die Herstellung einer solchen Schicht, z. B. einer gefärbten Gelatinefolie, eine Vorstellung über die Intensität der Färbung zu bilden.

Als Konzentrationsmaß für die Färbung fester Schichten dürfte sich am besten die pro Flächeneinheit

vorhandene Farbstoffmenge eignen, wobei es sich empfiehlt, als Flächeneinheit das Quadratmeter und als Gewichtseinheit für die Farbstoffmenge das Gramm zu benutzen, weil sich bei dieser Annahme weder zu große, noch zu kleine Zahlen ergeben.

Das gleiche Maß kann dann auch zur Charakterisierung der Färbung einer Flüssigkeit dienen, indem man angibt, welche Menge des Farbstoffes in einer Flüssigkeitsschicht von 1 qm Fläche und 1 cm Dicke, also in 10 Litern derselben enthalten ist.

Dadurch wird ein einheitliches Konzentrationsmaß für feste Schichten und Farbstofflösungen gewonnen, das als „Farbstoffdichte“ bezeichnet werden soll. Sie wird stets als Ziffer hinter dem Namen des Farbstoffes angegeben, und daher bedeutet z. B. Rose bengale 1,5 eine Farbstoffschicht, die pro Quadratmeter 1,5 g dieses Farbstoffes enthält.

Wird für ein Trockenfilter die Farbstoffkonzentration in dieser Weise angegeben, so ist es bei einiger Erfahrung leicht, sich die Intensität der Färbung vorzustellen, und es ergibt sich auch unmittelbar die Zusammensetzung einer Farbstofflösung, welche in einer 1 cm weiten Küvette eine Schicht von gleicher Farbstoffkonzentration bildet.

Die Farbstoffmenge pro Quadratmeter, also die Farbstoffdichte, läßt sich aus der Vorschrift für die Herstellung eines Filters leicht ermitteln.

Ein von Dr. E. König angegebenes Rotfilter wird z. B. in folgender Weise hergestellt. Man löst:

5 g Filterrot I in 200 ccm Wasser

und mischt 4 ccm dieser Flüssigkeit mit 100 ccm Gelatine-lösung 8 : 100. Mit dieser gefärbten Lösung übergießt man dann Glasplatten derart, daß auf 1 qdem derselben 7 ccm Flüssigkeit entfallen.

In 104 ccm Lösung sind also 0,1 g Farbstoff enthalten, in 7 ccm 0,00673 g, und die gleiche Menge ist

daher auch pro Quadratdezimeter Trockenfilter vorhanden., Die Farbstoffdichte dieser Schicht beträgt daher 0,673 g denn diese Farbstoffmenge entfällt pro Quadratmeter Filterfläche.

Wollte man ein Flüssigkeitsfilter von gleichem Farbstoffgehalt herstellen, so wären 0,673 g Filterrot in 10 Litern Wasser zu lösen und mit dieser Flüssigkeit eine 1 cm weite Küvette zu beschicken.

Die Absorptionsspektren bei verschiedenen Farbstoffdichten. Das Aussehen eines Absorptionsspektrums hängt, wie bekannt, wesentlich von der Intensität der gefärbten Schicht ab; denn mit zunehmender Färbung wächst das Absorptionsvermögen derselben, und daher nimmt auch die Schwärzung der auf dem Spektrum liegenden Schatten zu. Der Zusammenhang zwischen der Intensität der Farbe und der Schwärze der Schatten wird besonders einfach, wenn man die Farbstoffdichte für die Charakterisierung der zur Beobachtung gelangenden Schicht benutzt.

Eine Schicht von der zwei- oder dreifachen Farbstoffdichte kann man als eine Vereinigung von zwei oder drei übereinanderliegenden einfachen Schichten betrachten, und da sich die Absorption jeder derselben durch ein über dem Spektrum liegendes Relief ersetzen läßt, so entspricht die Absorption der ganzen Schicht einem Relief von zwei- oder dreifacher Höhe. Steigert man daher die Farbstoffdichte auf das 2, 3 ... n fache, so wachsen die Ordinaten der Absorptionskurven in gleichem Verhältnis, also ebenfalls auf das 2, 3 ... n fache.

Allerdings trifft aber diese Gesetzmäßigkeit nur bei festen Schichten zu, während Farbstofflösungen in dieser Beziehung sehr oft Unregelmäßigkeiten aufweisen. Eine feste Rose bengale-Schicht, z. B. eine Gelatinefolie von der Dichte 1,0, zeigt ganz jenes Absorptionsspektrum, das man bei zehn übereinandergelegten Schichten von der Dichte 0,1 beobachtet, das Absorptionsspektrum einer

Lösung dieses Farbstoffes von der Konzentration $\frac{1}{100}$ in 1 mm dicker Schicht unterscheidet sich aber wesentlich von jenem Absorptionsspektrum, das eine Lösung $\frac{1}{1000}$ in 10 mm dicker Schicht besitzt. Das Absorptionsband der konzentrierten, dünnen Schicht liegt nämlich nicht nur etwas weiter gegen Blau zu, sondern unterscheidet sich auch durch eine flachere Gestalt vom Spektrum der verdünnten Lösung.

Bei festen Farbstoffschichten hängt also das Absorptionsspektrum lediglich von der Farbstoffdichte ab, bei Farbstofflösungen ändert es sich aber — auch bei konstanter Dichte — mit der Schichtdicke.

Man erklärt diese Erscheinung mit einer Dissoziation des Farbstoffes. In der konzentrierten Lösung sind fast nur Rose bengale-Moleküle enthalten, die mit zunehmender Verdünnung immer mehr in die Farbsäure und das Alkali zerfallen, und dadurch ändert sich das färbende Prinzip und damit auch das Absorptionsspektrum. In gewissen Fällen kann es sich auch um eine Veränderung der Molekulargröße handeln, also um einen Zerfall der anfänglich vorhandenen Molekülgruppen infolge zunehmender Verdünnung.

Das Absorptionsband zeigt beim Verdünnen der Lösung meist die Tendenz, sich gegen das rote Spektralende auszudehnen. Sind zwei Maxima *a* und *b* vorhanden (Fig. 3), so wird das gegen Blau zu gelegene, wenn es auch in der konzentrierten Lösung das Hauptmaximum war, immer niederer, während das zweite an Ausdehnung und Intensität zunimmt, und es entsteht aus der Absorptionskurve I die Form II. Diese Erscheinung kann man z. B. bei Rhodamin, Kristallviolett und Methylenblau beobachten. Zuweilen verschwinden bei genügender Verdünnung auch die Reste des Maximums *a* gänzlich (Methylenblau), und es entsteht dann die Form III, die auch gebildet wird, wenn die konzentrierte Lösung ein Ab-

sorptionsband vom Typus II besitzt (Patentblau, Säuregrün F). In gewissen Fällen kann man auch gleichzeitig eine Verschiebung des Bandes gegen Rot zu wahrnehmen, wodurch das Absorptionsband II die Form IV annimmt (Rose bengale).

Besitzt der Farbstoff ein verwaschenes Absorptionsband, etwa von der Gestalt V, so kann bei der Verdünnung der Lösung das Dunkelheitsmaximum gegen Rot zu verschoben werden, und es entsteht so die Absorptionskurve VI (Echtrot D, Phenosafranin).

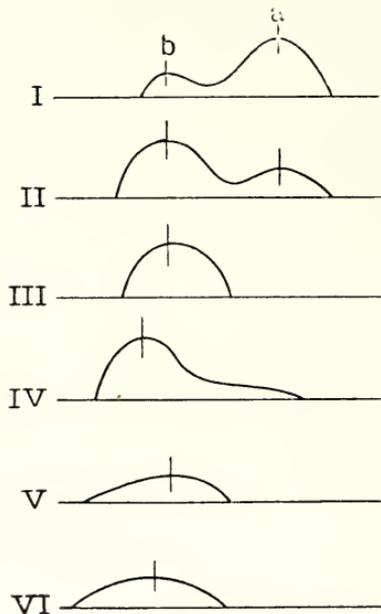


Fig. 3.

Die meisten Farbstoffe zeigen zwar solche mehr oder weniger auffallende Veränderungen des Spektrums beim Verdünnen ihrer Lösungen, sie sind aber bei der Herstellung photographischer Lichtfilter doch nur von geringer Bedeutung, weil sie nur auftreten, wenn man Lösungen von hoher Konzentration, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$,

und bei sehr ausgiebigen Farbstoffen $\frac{1}{500}$, auf etwa das Zehnfache verdünnt. Für die erwähnten Filter benutzt man aber stets Lösungen von noch stärkerer Verdünnung, deren Absorptionsspektrum auch bei weiterem Wasserzusatz fast unverändert bleibt.

J. Formanek¹⁾ hat sich mit dem Einfluß der Konzentration auf das Absorptionsspektrum wässriger

1) Untersuchung und Nachweis organischer Farbstoffe auf spektralem Wege. J. Springer, Berlin 1908.

Lösungen eingehend beschäftigt und dabei auch die interessante Beobachtung gemacht, daß frische Lösungen oft ein etwas anderes Absorptionsspektrum zeigen, als solche, die schon längere Zeit gestanden haben. Auch beim Verdünnen alter Lösungen tritt zuweilen eine kleine Verschiebung des Absorptionsbandes ein, die allmählich zurückgeht, so daß erst nach einigen Stunden ein stabiler Zustand eintritt.

Das unter gewissen Verhältnissen ermittelte Absorptionsspektrum einer wässrigen Farbstofflösung ist daher nur von beschränkter Gültigkeit; denn verschiedene Umstände, besonders aber die Konzentration der Lösung, machen ihren Einfluß geltend.

Bei festen Schichten dagegen hängt die Absorptionskurve lediglich von der Farbstoffdichte ab, und hat man die Absorptionsverhältnisse für eine Dichte ermittelt, so lassen sich die Kurven für alle anderen

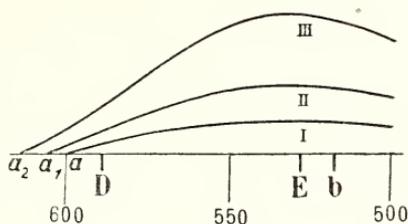


Fig. 4.

Konzentrationen leicht bestimmen, nur bleibt die seitliche Begrenzung der so konstruierten Bänder noch fraglich.

Entspricht nämlich die Kurve I in Fig. 4 einer mit Echtrot gefärbten Gelatineschicht von der Farbstoffdichte 0,1, so ergeben sich durch Vergrößerung der Ordinaten auf das Zwei- und Vierfache die Kurven II und III für Schichten, welche die doppelte und vierfache Menge Farbstoff enthalten, gleichzeitig verschiebt sich aber die Absorptionsgrenze von a nach a_1 und a_2 , also gegen das rote Ende des Spektrums. Diese Verschiebung muß experimentell ermittelt werden; sie ist um so größer, je flacher die Absorptionskurve gestaltet ist, und da diese mit zunehmender Konzentration immer steiler abfällt, so wird auch die Verschiebung des Punktes a immer geringer.

Bei einer gewissen Farbstoffdichte erreicht die Lage dieses Punktes einen Grenzwert, der auch bei noch so hoher Konzentration nicht überschritten werden kann. Dieser ausgezeichnete Punkt im Absorptionsspektrum soll später noch eingehend betrachtet werden.

Aus dem regelmäßigen Anwachsen der Kurvenordinaten mit zunehmender Farbstoffdichte lassen sich mehrere, allen Farbstoffen eigentümliche Erscheinungen erklären.

Die Veränderung der Farbe mit zunehmender Farbstoffdichte. Es ist eine bekannte Tatsache, daß bei sukzessiver Zunahme der Farbstoffdichte anfänglich eine sehr deutliche Verstärkung des Kolorits auftritt, die dann allmählich geringer wird und bei einer gewissen Intensität der Färbung gänzlich aufhört. Legt man z. B. reine, hellgelbe Folien übereinander, so nimmt die Sättigung der Schicht zunächst rasch zu, dann langsam und erreicht schließlich ein Maximum, d. h. die Farbe bleibt ungeändert, wenn man auch weitere Schichten zufügt. Und ebenso wird das Kolorit einer auf Papier satt aufgetragenen Gummiguttschicht durch ein weiteres Überlegen mit dieser Farbe nicht mehr verstärkt. Sei in Fig. 5 AK_1 das Absorptionsspektrum einer hellgelben, transparenten Schicht, so läßt diese nicht nur alle von der Linie E gegen Rot zu gelegenen Strahlen, sondern auch einen Teil der grünen und blauen Strahlen durch, und die Schicht wird daher ein weißliches Aussehen zeigen. Wenn wir weiter annehmen, daß der Fußpunkt A der Absorptionskurve mit zunehmender Farbstoffdichte keine Verschiebung erfährt, so entspricht die Absorption von zwei Schichten der Geraden AK_2 . Da die blaue Zone jetzt durch den verdoppelten Schatten gedeckt ist, so erscheint das Gelb viel satter.

Durch die weitere Verdopplung der Schicht wird die Färbung noch intensiver; denn die Absorption AK_4

überschreitet dann in der blauen Zone ein gewisses Maß NM , und dadurch werden diese Strahlen so geschwächt, daß sie unser Auge gar nicht mehr empfindet. Durch acht Schichten werden auch die blaugrünen Strahlen vernichtet, was wieder einen namhaften Zuwachs an Sättigung zur Folge hat. Bei dem Übergang von 8 auf 16 Schichten ist aber — wie Fig. 5 zeigt — die Zunahme des Absorptionsschattens schon relativ

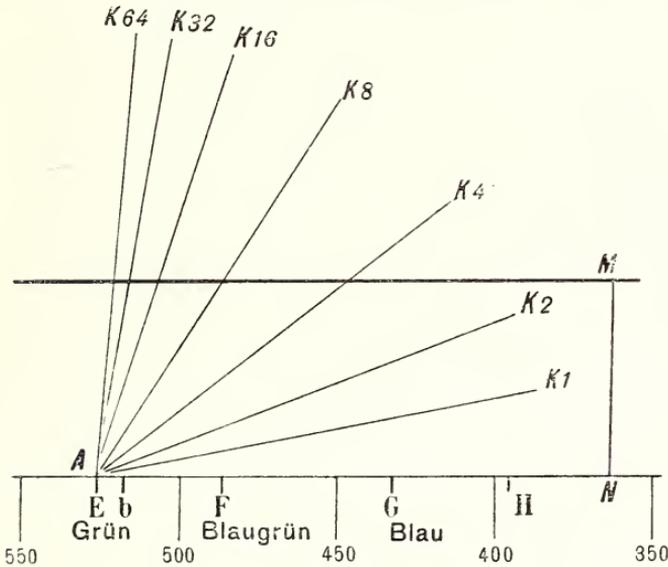


Fig. 5.

gering, und noch viel geringer ist sie, wenn man die Schichtenzahl von 16 auf 32 oder gar von 32 auf 64 steigert.

Durch jede Verdopplung der Farbstoffdichte wird also anfangs ein sehr bedeutender, später ein immer geringerer Sättigungszuwachs erzielt, und das Maximum der Sättigung wird offenbar erreicht, wenn die Absorptionskurve senkrecht zur Abszissenachse abfällt. Das ist allerdings theoretisch erst bei einer unendlich großen Farbstoffdichte der Fall, da aber das Auge kleine Sättigungsunterschiede — wie sie z. B. zwischen 32 und

64 Schichten bestehen — nicht mehr wahrzunehmen vermag, so erscheint uns die Farbe schon bei genügend steilem Abfall der Absorptionskurven vollkommen satt.

Absorptionsgrenze und Grenzfarbe. Wie schon oben erwähnt wurde, verschiebt sich aber die Grenze der Absorption, also der Punkt *A*, mit zunehmender Farbstoffdichte gegen das rote Ende des Spektrums, und zwar um so mehr, je flacher die Absorptionskurve gestaltet ist. Erreicht sie infolge fortgesetzter Konzentration der Farbstoffschicht die senkrechte Stellung zur Abszissenachse, so kommt ihr Fußpunkt zum Stehen, und die Absorptionsverhältnisse erleiden auch bei weiterer Steigerung der Farbstoffdichte keinerlei Veränderung mehr. In diesem Punkte liegt dann die „Absorptionsgrenze“, und die Farbe der Schicht kann man als „Grenzfarbe“ bezeichnen.

Die Kenntnis der Absorptionsgrenze ist von großer Bedeutung für die Praxis, denn sie charakterisiert das Maximum der Absorption, die mit einem Farbstoff zu erzielen ist. Die Absorptionsgrenze von Rose bengale-Gelatine liegt z. B. bei der Wellenlänge $\lambda = 600 \mu\mu$ und kann nicht überschritten werden, man mag die Farbstoffdichte noch so steigern. Benötigt man daher eine Schicht, die nur rotes Licht, von $\lambda = 630 \mu\mu$ angefangen, durchläßt, so ist weder Rose bengale noch sonst ein roter Farbstoff brauchbar, und man muß dann etwa Kristallviolett benutzen, dessen Absorptionsgrenze bei $670 \mu\mu$ liegt.

Da bei einer gelben Schicht mit zunehmender Farbstoffdichte, wie Fig. 5 zeigt, die Absorption in der blauen Zone beginnt und allmählich gegen Grün fortschreitet, und da sich überdies der Fußpunkt der Absorptionskurve gegen das rote Ende des Spektrums verschiebt, so muß sich mit Zunahme der Sättigung auch eine Veränderung des Farbtones bemerkbar machen. Tatsächlich zeigen

schwach gelb gefärbte Schichten einen grünlichen Stich, bei zunehmender Konzentration werden sie rein gelb, und die Grenzfarbe bildet ein rotstichiges Gelb. Die Grenzfarbe läßt sich durch fortgesetztes Übereinanderlegen gefärbter Schichten oder durch allmähliche Verstärkung einer Farbstofflösung bis zum Konstantwerden des Kolorits ziemlich sicher ermitteln, und die Absorptionskurve einer solchen Schicht muß dann fast senkrecht zur Abszissenachse abfallen. Das kann aber nur der Fall sein, wenn der Maßstab für die Ordinaten richtig gewählt wurde.

Würde man z. B. in Fig. 5 die Ordinaten viermal so groß machen, würde also der einfachen Farbstoffschicht nicht die Kurve AK_1 , sondern AK_4 entsprechen, so würde schon die Absorption von 16 übereinandergelegten Schichten den fast senkrechten Abfall AK_{64} zeigen, obwohl eine solche Schicht noch nicht die Charakteristik der Grenzfarbe besitzt. Und wird andererseits der Ordinatenmaßstab nur $\frac{1}{4}$ so groß angenommen, entspricht also AK_1 schon vier Schichten, so würde die Absorption von 64 Schichten durch AK_{16} begrenzt sein, also noch keineswegs einen senkrechten Abfall zeigen.

Dieser Zusammenhang zwischen Grenzfarbe und Form der Absorptionskurve liefert uns daher einen Anhaltspunkt für die richtige Wahl des Ordinatenmaßstabes, und die Erfahrung lehrt, daß beide die geforderte Übereinstimmung zeigen, wenn man die Ordinaten in dem auf Seite 12 angegebenen Verhältnis zur Länge des Spektrums wählt.

Sehr oft wird mit zunehmender Farbstoffdichte das Kolorit so schwärzlich, daß das Zustandekommen einer satten, gut definierten Grenzfarbe ganz ausgeschlossen ist. Dieser Fall tritt immer ein, wenn das Absorptionsband in einem allgemeinen, einen Teil des Spektrums gleichmäßig deckenden Schatten verläuft. In Fig. 6 ist ein solcher Fall schematisch dargestellt. Verstärkt man

das Kolorit wiederholt auf das Doppelte, so entstehen aus K_1 die Kurven K_2 , K_4 , K_8 und K_{16} , und, wie ersichtlich, nimmt hier die allgemeine Schwärzung rascher als die Sättigung der Farbe zu. Die Absorptionskurve für 16 Schichten zeigt noch immer einen flachen Abfall und läßt erkennen, daß der über dem Spektrum liegende Schatten schon so dicht ist, daß er die oben erwähnte Grenze NM überschreitet, also keine auf unser Auge mehr wirkenden Lichtstrahlen durchläßt. In diesem Falle

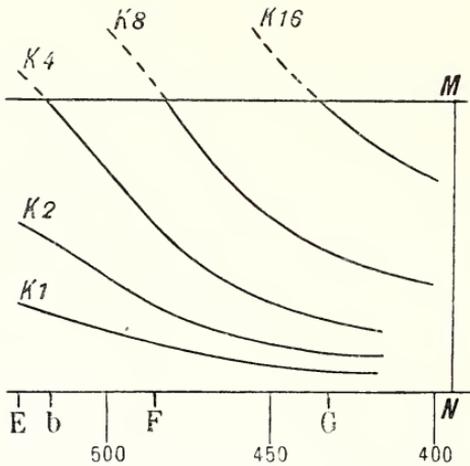


Fig. 6.

kann also eine reine, satte Farbe nicht entstehen; denn die gefärbte Schicht wird mit zunehmender Konzentration immer unreiner und schließlich völlig undurchsichtig.

Wie die Erfahrung lehrt, zeigen die Absorptionsbänder aller Farbstoffe gegen das blaue Ende des Spektrums zu den eben

betrachteten flachen, in einem gleichmäßigen Schatten verlaufenden Abfall, während sie sich gegen Rot zu scharf vom schleierfreien Spektrum abheben. Daraus folgt, daß es satte und sehr reine rote und gelbe Farbstoffe gibt, daß dagegen völlig satte grüne und blaue Pigmente nicht existieren, weil die Zunahme der Schwärzlichkeit eine genügende Konzentration nicht gestattet.

Die konzentrierten Lösungen aller blauen, grünen und blauvioletten Farbstoffe sehen daher undurchsichtig, schwarz aus, während viele rote, orange und gelbe Farbstofflösungen ein transparentes, reines Aussehen zeigen.

Diese Verschiedenheit zwischen gelben und blauen Farbstoffen erklärt auch eine eigentümliche Erscheinung bei der Mischung beider Farben. Soll am Kreisel aus einer gelben und blauen Papierscheibe neutrales Grau gebildet werden, so muß — obwohl beide Farben scheinbar gleich satt erscheinen — viel mehr Blau als Gelb benutzt werden. Das blaue Papier reflektiert selbst bei Benutzung der reinsten Pigmente wegen seiner Schwärzlichkeit weniger blaue Strahlen, als die gelbe Scheibe.

Eine weitere Eigentümlichkeit aller Farbstoffe besteht darin, daß die Schatten der Absorptionsspektren

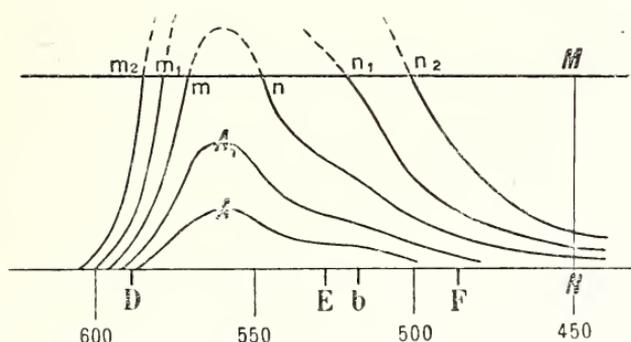


Fig. 7.

mit zunehmender Farbstoffdichte gegen Blau zu rascher wachsen, als gegen Rot zu.

Diese Erscheinung ist leicht erklärlich, wenn man die eben charakterisierte Form der Absorptionbänder und ihr systematisches Wachsen mit steigender Konzentration berücksichtigt. Das Absorptionsband *A* in der Fig. 7 nimmt bei wiederholter Verdopplung der Farbstoffdichte die daselbst ersichtlichen Formen an. Im Spektroskop vermögen wir sie aber nicht ganz wahrzunehmen; denn alle unter einer gewissen Helligkeit liegenden Teile der Bänder erscheinen gleichmäßig dunkel. Bei Beobachtung verdünnter Lösungen sehen wir daher an irgendeiner Stelle des Spektrums die abschattierten

Bänder A und A_1 , wird aber die Farbstoffdichte gesteigert, so erscheint der Teil mn gleichmäßig schwarz, da jeder über MN reichende Schatten für unser Auge undurchsichtig dicht ist. Verdoppelt man erneuert die Farbstoffdichte, so wächst der gleichmäßig schwarze Teil des Absorptionsbandes von mn auf m_1n_1 und dann auf m_2n_2 , und man hat daher den Eindruck, als ob nur die Breite desselben, und zwar vornehmlich gegen das blaue Ende des Spektrums zu, wachsen würde. Die Schwärzung MN entspricht bei sehr lichtstarken Spektroskopen einer Schicht von der Transparenz $t = 1/20$, während bei lichtarmen Instrumenten schon eine Schicht $t = 1/10$ undurchdringlich erscheint.

Diese Verhältnisse erklären auch den Wechsel des Farbtones mit zunehmender Farbstoffdichte. Das aus der Fig. 7 ersichtliche Absorptionsspektrum entspricht, wie aus der Wellenlängenskala zu entnehmen ist, einem blauen Farbstoff. Die verdünnte Lösung läßt nebst den blauen auch fast alle grünen Strahlen durch und wird daher grünstichig erscheinen, konzentriert man die Lösung, so wächst das Band hauptsächlich gegen Blau zu, und der über dem grünen Teil des Spektrums entstehende Schatten wird so dicht, daß nur mehr die blauen Strahlen auf unser Auge wirksam sind. Da sich aber auch über der blauen Zone ein Schatten entwickelt, so wird die Farbe der Lösung lichtschwach, also schwärzlich, und bei weiterer Konzentration wird sie undurchsichtig schwarz. Dabei kann das äußerste Rot des Spektrums noch ungedeckt sein, und in diesem Falle erscheint die Lösung, bei genügend kräftigem Licht betrachtet, in der Durchsicht rot.

Das ist bei zahlreichen künstlichen blauen oder grünen Farbstoffen der Fall; denn sie zeigen keine Endabsorption im Rot, und die blaue Zone des Spektrums ist schon bei geringer Konzentration mit einem leichten Schatten belegt.

II. Die Filterfarbstoffe.

1. Die Absorptionsspektren.

Aus den Beilagen Ia, b und c sind die Absorptionsspektren von mit verschiedenen Farbstoffen gefärbten Gelatinefolien ersichtlich, wobei lediglich die von den Höchster Farbwerken in den Handel gebrachten „Farbstoffe für photographische Zwecke“ zur Verwendung kamen.

Die den Kurven beigefügten Zahlen bedeuten die Farbstoffdichten — also die Menge des Farbstoffes in Gramm pro Quadratmeter Fläche.

Der linke Ordinatenmaßstab charakterisiert das Maß der Schwärzung durch die Dicke z des Absorptionsreliefs, wobei die Schichtdicke $z = 1$ der Transparenz $t = 0,1$ entspricht.

Die Kurve des Säurerhodamins (Beilage Ia) zeigt z. B. bei der Farbstoffdichte 3,2 in der blauen Spektralzone die Ordinatenhöhe $z = 0,5$, woraus wir entnehmen, daß das über dem Spektrum liegende Relief an dieser Stelle die halbe Dicke einer Schicht besitzt, die $1/10$ des auffallenden Lichtes durchläßt.

Da $z = -\log t = \log \frac{1}{t} = 0,5$ ist, so ergibt sich $\frac{1}{t} = 3,16$, und daher ist die Transparenz $t = 0,31$, d. h. die Farbstoffschicht läßt etwa $1/3$ der auffallenden blauen Strahlen durch.

Auf dem rechten, mit t bezeichneten Ordinatenmaßstab können die Transparenzen direkt abgelesen werden.

Für die Ermittlung der Kurven wurden Gelatinefolien mit den Farbstoffdichten 0,1 und 0,8 hergestellt, aus welchen durch Übereinanderlegen mehrerer Schichten die geometrisch ansteigende Farbenskala 0,1, 0,2, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2 und 6,4 gebildet wurde. Einige sehr intensiv färbende Farbstoffe wurden nur in halber Stärke, andere dagegen in zwei- oder vierfacher Konzentration benutzt.

Zur Messung der so gebildeten Farbstoffschichten kam, wie schon erwähnt, ein Spektralphotometer von Schmidt & Haensch zur Verwendung. Dabei wurden für kleine Farbstoffdichten sehr gut übereinstimmende Resultate erzielt, für etwas größere Dichten waren aber die gefundenen Zahlen, mit Ausnahme jener, die den sehr transparenten Grenzen des Absorptionsbandes entsprechen, viel zu klein und daher unbrauchbar.

Auf Grund der Messungen konnten daher nur die beiden niedersten Kurven vollkommen, von allen andern aber nur die seitliche Begrenzung konstruiert werden, während ihr ganzer sonstiger Verlauf lediglich durch Vervielfältigung der Ordinaten ermittelt wurde. Sie können daher auch keinen Anspruch auf volle Wahrheit erheben, und insbesondere sind die den Farbstoffschichten von hoher Dichte entsprechenden Kurven nur als ungefähr richtig zu betrachten.

Der Verlauf der Kurven im violetten und ultravioletten Gebiete wurde, wie schon erwähnt, teils durch spektroskopische Beobachtungen, teils auf photographischem Wege ermittelt. Dieser Teil der Kurven ist daher nur als schematische Skizze zu betrachten und wurde aus diesem Grunde durch eine punktierte Linie angedeutet.

Das Absorptionsspektrum von Farbstofflösungen. Bei allen Farbstoffen wurden auch die Absorptionsverhältnisse der wässrigen Lösungen wenigstens für eine Konzentration bestimmt, wobei es sich zeigte, daß das Absorptionsspektrum der Gelatinefolie mit jenem der sehr verdünnten

Farbstofflösung stets die größte Ähnlichkeit besitzt. Beide Absorptionskurven zeigen dieselbe Form, nur ist die Wasserkurve um eine bestimmte Strecke gegen das blaue Spektralende verschoben.

Aus Fig. 8 sind z. B. die Resultate der Messungen zur Bestimmung der Absorptionsverhältnisse von Rose bengale in Wasser *a* und in trockener Gelatine *b* zu entnehmen, und wie ersichtlich, sind die beiden durch die gemessenen Punkte gelegten Kurven um etwa $15 \mu\mu$ der Wellenlängenskala gegeneinander verschoben, sonst aber so ähnlich, daß die vorhandenen Differenzen gewiß nur durch Beobachtungsfehler bei der Bestimmung der Transparenzen bedingt sind.

Der Unterschied in der Lage der beiden Rose bengale-Kurven ist ausnehmend groß, denn bei den meisten Farbstoffen liegen die beiden Kurven

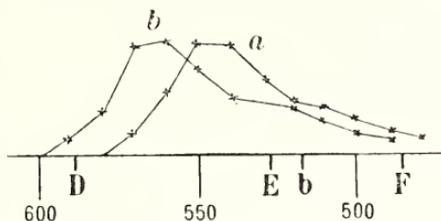


Fig. 8.

nur um eine $10 \mu\mu$ entsprechende Strecke auseinander, und bei Säurerhodamin und Methylenblau ist ihr gegenseitiger Abstand nur halb so groß. Der letztere Farbstoff zeigt bezüglich seiner Absorptionsverhältnisse in flüssigen und festen Schichten auch noch andere Unregelmäßigkeiten, die aber hier nicht weiter erörtert werden sollen.

Kennt man die Absorptionskurven einer trockenen Farbstoffschicht, so ergeben sich durch Verschieben derselben in der angegebenen Weise die der Lösung entsprechenden Kurven, und es bietet daher keine Schwierigkeit, für ein Trockenfilter ein ungefähr gleich wirkendes Flüssigkeitsfilter zu ermitteln.

Die Farbstoffdichte wird in beiden Fällen wesentlich verschieden sein, und das Verhältnis der Dichten hängt hauptsächlich von der Gestalt der Kurven ab und wird erst für höhere Konzentrationen annähernd konstant.

Ein ungleich genaueres Resultat ergibt sich, wenn man mit Hilfe eines Spektroskops jene Dichte der Farbstofflösung ermittelt, welche die gleichen Absorptionsverhältnisse, wie das zu reproduzierende Trockenfilter zeigt. Dazu ist das schon oben erwähnte Zeißsche Vergleichsspektroskop ausgezeichnet geeignet, wobei man für die Aufnahme der Lösung Absorptionsgefäße benutzt, welche die Dicke der Flüssigkeitsschicht zu variieren gestatten. Bei solchen Untersuchungen hat man aber zu berücksichtigen, daß konzentrierte und verdünnte Farbstofflösungen, wie Seite 19 erörtert wurde, oft ein verschiedenes Absorptionsspektrum besitzen, und daß daher die Konzentration der Vergleichslösung keineswegs gleichgültig ist.

Die nachstehende Tabelle zeigt z. B., in welchen Dichten eine konzentrierte und verdünnte Rose bengale-Lösung benutzt werden muß, um ein Trockenfilter von bestimmter Dichte zu ersetzen, wobei nur die Absorptionsverhältnisse in der roten Spektralzone berücksichtigt sind.

Diese Zahlen zeigen zunächst, daß Flüssigkeitsfilter viel reicher an Farbstoff sein müssen als Trockenfilter,

Farbstoffdichte für ein		
Trockenfilter	Flüssigkeitsfilter mit einer Lösung	
	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1000}$
0,5	2,6	6,0
1,0	5,4	10,0
1,5	8,4	15,0
2,0	11,2	20,0
2,5	13,6	25,0
3,0	16,0	30,0
3,5	18,0	35,0
4,0	20,0	40,0

denn um z. B. eine Rose bengale-Gelatinefolie, die pro Quadratmeter 1,5 g Farbstoff besitzt, zu ersetzen, ist eine Flüssigkeitsschicht erforderlich, die in der gleichen Fläche 8,4 resp. 15 g Farbstoff enthält. Die verdünnte Lösung muß also etwa doppelt so reich an Farbstoff sein, wie die konzentrierte. Die 8,4 g sind in 840 ccm Wasser zu lösen und auf 1 qm auszubreiten, während die 15 g in 15000 ccm Wasser gelöst werden müssen, damit ein äquivalentes Filter von gleicher Ausdehnung resultiert.

Man hat daher für die Lösung $\frac{1}{100}$ eine 0,84 mm weite Küvette, für die Lösung $\frac{1}{1000}$ eine solche von 15 mm Weite zu benutzen, um jene Absorptionsverhältnisse zu erzielen, die das Trockenfilter 1,5 zeigt.

Aus diesen Erörterungen geht hervor, daß es nicht immer zulässig ist, die Konzentration der Farbstofflösung proportional der Küvettenweite anzupassen. Da man aber in der Praxis meist nur verdünnte Farbstofflösungen und Küvetten von mindestens 5 mm Weite benutzt, so ändern sich die Absorptionsverhältnisse nicht merklich, wenn das Produkt aus Konzentration und Schichtdicke gleich bleibt.

2. Die chemischen Eigentümlichkeiten der Farbstoffe.

Alle hier zu besprechenden Farbstoffe werden künstlich aus gewissen, dem Steinkohlenteer entstammenden Produkten hergestellt und führen daher den allgemeinen Namen: Teerfarbstoffe.

In bezug auf ihr chemisches Verhalten werden sie in basische und saure Farbstoffe eingeteilt.

Basische und saure Farbstoffe. Basische Farbstoffe sind solche, bei welchen ein basischer Körper, die sogen. Farbbase, das eigentlich färbende Prinzip bildet. Die käuflichen Farbstoffe sind Verbindungen solcher Basen mit verschiedenen Säuren, wie Schwefelsäure, Salzsäure, Essigsäure usw., und dabei ist die Natur der Säure ohne Einfluß auf die Farbe der Substanz.

Die basischen Farbstoffe lösen sich meist in Wasser, und diese Lösungen zeigen oft die Eigentümlichkeit, daß sie an den Wänden des Glasgefäßes eine in Wasser unlösliche Farbstoffschicht ausscheiden, was sich aber durch Zusatz von etwas Essigsäure meist verhüten läßt.

Bei den sauren Farbstoffen bildet eine Farbsäure, d. i. ein gefärbter saurer Körper, das eigentlich färbende

	Säurerhodamin	Rose bengale	Phenosafranin	Kristallponceau	Echtröt D	Filterrot I	Filtergelb	Tartrazin	Naphtholorange	Säuregrün F	Dunkelrotgrün	Naphtholgrün	Patentblau	Methylenblau	Toluidinblau	Kristallviolett	Filterblau	Natur des Farbstoffes	Essigsäure	Salzsäure	Ammoniak	Kupfervitriol	Lichtbeständigkeit
Säurerhodamin . . .																		s	—	—	—	N	80
Rose bengale . . .																		s	N	N	—	—	80
Phenosafranin . . .			N															b	—	N	d	—	94
Kristallponceau . . .				N														s	—	—	—	—	70
Echtröt D . . .																		s	—	—	d	—	80
Filterrot I . . .																		s	N	N	—	N	80
Filtergelb . . .																		s	—	N	d	—	echt
Tartrazin . . .																		s	—	—	d	—	echt
Naphtholorange . . .																		s	—	N	d	N	echt
Säuregrün F . . .										N								s	—	N	e	—	fo
Dunkelrotgrün . . .										N								s	e	e	e	—	80
Naphtholgrün . . .											N							s	—	gelb	—	—	echt
Patentblau . . .																		s	—	—	—	N	echt
Methylenblau . . .																		b	blau	gelb	—	—	echt
Toluidinblau . . .																		b	blau	—	—	N	92
Kristallviolett . . .																		s	—	—	—	—	echt
Filterblau . . .																		b	blau	e	e	—	4

Abkürzungen: N Niederschlag oder Trübung, s sauer, e entfärbt, b basisch, d dunkler.

Prinzip, und die gebräuchlichen Farbstoffe sind Verbindungen dieser Säuren mit farblosen Basen, meist Kali, Natron oder Kalk. Die Art der Base ist ohne Bedeutung für die Farbe.

Werden wässrige Lösungen saurer und basischer Farbstoffe gemischt, so entstehen Trübungen und bei höherer Konzentration Niederschläge, wenn sich die Farbbase mit der Farbsäure zu einer in Wasser unlöslichen Verbindung vereinen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß sich wegen der verschiedenen Wasserlöslichkeit der entstehenden Verbindungen oft verdünnte, nicht aber konzentrierte Lösungen mischen lassen, und daß die Löslichkeit der Niederschläge auch durch einen Überschuß eines der beiden Farbstoffe wesentlich erhöht werden kann. Eine strenge Unterscheidung zwischen mischbaren und nicht mischbaren Farbstoffen ist daher nicht möglich.

Aus der Tabelle (Seite 34) ist das Verhalten der Farbstofflösungen bei gegenseitiger Mischung ersichtlich, und aus den weiteren Rubriken sind auch die Reaktionen der Farbstoffe mit Essigsäure, Salzsäure, Ammoniak und Kupfervitriol zu entnehmen.

Sehr charakteristisch ist oft das Verhalten der Farbstofflösungen gegen Gelatine- und Kollodiumschichten.

Der Lösung eines sauren Farbstoffes wird durch Gelatine der Farbstoff allmählich entzogen, und die Färbung der Gelatine nimmt so lange zu, bis ein Gleichgewichtszustand zwischen der Farbstoffmenge in der Gelatine und in der wässrigen Lösung eingetreten ist.

Durch den Zusatz einer schwachen Säure wird das Färbevermögen der Farbstofflösung gesteigert, es geht aber gänzlich verloren, wenn man die Lösung schwach alkalisch macht.

Basische Farbstoffe dagegen färben nur bei Gegenwart eines schwachen Alkalis, z. B. Borax, aber nicht in neutralen oder schwach sauren Lösungen.

Die die Gelatine nicht färbenden basischen Farbstoffe besitzen dagegen eine ausgesprochene Verwandtschaft zu Kollodiumschichten. Übergießt man z. B. eine mit Kollodium überzogene Glasplatte mit einer neutralen oder schwach sauren Gelatinelösung, die einen basischen Farbstoff enthält, so wandert derselbe allmählich in das Kollodium, und nach dem Trocknen liegt eine farblose Gelatineschicht auf dem gefärbten Kollodium.

Die Lösungen saurer Farbstoffe vermögen dagegen Kollodium unter keinen Umständen zu färben.

Lichtbeständigkeit der Farbstoffe. Von ziemlicher Wichtigkeit ist das Verhalten der Farbstoffe im Lichte, da es bei der Verwendung der Filter nicht gleichgültig ist, ob man sie sorglos dem Lichte exponieren kann oder ob sie, außer Gebrauch, geschützt aufbewahrt werden müssen.

Im allgemeinen kann man sagen, daß basische Farbstoffe viel weniger lichtecht sind als saure, und daß aber die Lichtechtheit auch sehr wesentlich von der Natur des Farbstoffträgers und von der Gegenwart gewisser Substanzen abhängt.

Da man als photographische Filter fast immer Gelatineschichten benutzt, so war es von Interesse, das Verhalten von gefärbter Gelatine im Lichte zu beobachten. Zu diesem Zwecke wurden mit den verschiedenen Farbstoffen gefärbte Gelatinefolien, zur Hälfte mit schwarzem Papier bedeckt, während der Sommermonate dem Sonnenlichte ausgesetzt und die Zeit beobachtet, bis ein Hellerwerden der Färbung wahrnehmbar wurde. Die so ermittelten Stundenzahlen sind in der Tabelle (Seite 34) eingetragen und bilden ein Maß für die Lichtechtheit des Farbstoffes bei Gegenwart von Gelatine. Jene Farbstoffe, die nach 100 Sonnenstunden noch keine Veränderung zeigten, sind als „echt“ bezeichnet.

Diese Zahlen sind natürlich nur relativ richtig, denn der Beginn des Ausbleichens wird um so eher wahr-

genommen, je geringer die Konzentration des Farbstoffes ist. Die Gefahr des Ausbleichens besteht daher besonders bei schwach gefärbten Schichten, während Filter von satter Färbung stets von großer Haltbarkeit sind. Nur wenn die Filter unausgesetzt dem Lichte exponiert sind, wie die gefärbten Scheiben zur Beleuchtung von Dunkelkammern, muß auch bei intensiver Färbung auf die tunlichste Lichtechtheit der Farbstoffe gesehen werden.

Ein Vergleich der Zahlen läßt erkennen, daß die basischen Farbstoffe Kristallviolett, Methylenblau und Phenosafranin im Lichte rasch ausbleichen, daß dagegen alle sauren Farbstoffe eine ausgezeichnete Haltbarkeit besitzen. Es ist das auffallend, da ja viele dieser Farbstoffe als sehr wenig lichtecht bekannt sind. Das Rose bengale z. B. wird aus diesem Grunde — ebenso wie alle anderen Farbstoffe der Eosin-Gruppe — in der Technik tunlichst wenig benutzt, und mit diesen Farbstoffen hergestellte Druckfarben sind so lichtempfindlich, daß sie, auf Papier aufgetragen, schon nach 2 bis 3 Stunden Exposition im Sonnenlichte deutlich heller werden. Die mit Rose bengale gefärbte Gelatinefolie zeigt dagegen erst nach 80 Stunden intensiver Sonnenbestrahlung die ersten, kaum wahrnehmbaren Spuren des Ausbleichens.

Die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens der Farbstoffe liegt wohl darin, daß sich die Gelatine ganz indifferent verhält, während der Firmis als ein recht kräftiger Sensibilisator wirkt.

Das Ausbleichen der Farbstoffe wird bekanntlich durch zahlreiche Substanzen mehr oder weniger beschleunigt, und von besonderem Interesse ist in dieser Beziehung hier das Glyzerin¹⁾, das besonders für die basischen Farbstoffe ein ausgezeichneter Sensibilisator ist. Bei der Herstellung gefärbter Gelatinefolien darf daher

1) „Wiener Mitteilungen“ 1909, S. 268.

zum Geschmeidigmachen der oft brüchigen Schichten keineswegs Glyzerin benutzt werden, und es ist in solchen Fällen ein geringer Zusatz von Sirup zu empfehlen.

Auch der Kanadabalsam, den man oft zum Verkitten der Filter verwendet, wirkt schwach sensibilisierend, was bei mit basischen Farbstoffen schwach gefärbten Schichten einige Beachtung verdient.

Andererseits gibt es wieder Stoffe, welche die Lichtbeständigkeit der Farbstoffe wesentlich erhöhen, und in dieser Beziehung sind besonders die Kupfer-, Kobalt- und Nickelsalze bemerkenswert. Es ist daher empfehlenswert, die wenig lichtbeständigen Farbstoffe, besonders das Methylenblau und Kristallviolett, stets mit solchen Zusätzen zu verwenden.

Erfahrungsgemäß muß die Menge des Metallsalzes, um tunlichsten Schutz zu gewähren, das Fünf- bis Zehnfache der Farbstoffmenge betragen, und Versuche zeigen, daß dadurch die Lichtbeständigkeit der erwähnten Farbstoffe auf mindestens das 50fache gesteigert werden kann.

3. Charakteristik der Filterfarbstoffe.

a) Rote Farbstoffe (Beilage Ia).

Alle mit roten Farbstoffen gefärbten Schichten absorbieren die Strahlen der grünen Spektralzone und lassen nebst den roten oft auch die blauen Strahlen durch. Entsprechend dieser Zusammensetzung des durchfallenden Lichtes erscheint die Schicht gelbrot, zinnoberrot, purpurrot oder rotviolett.

Aus den Seite 28 besprochenen Gründen zeigen sehr dünne Farbstoffschichten fast immer ein bläuliches Aussehen, und mit zunehmender Dichte geht dieser Blau- stich verloren, und bei höherer Konzentration entsteht stets ein gelbliches oder reines Rot. Fast alle hier erwähnten roten Farbstoffe sind auch für Ultraviolett durchlässig.

1. Säurerhodamin ist ein purpurroter, stark bläustichiger Farbstoff mit starker Fluoreszenz, der die gesamten roten und blauen Strahlen durchläßt und aus diesem Grunde eine überaus lebhafte und brillante Farbe besitzt. Das schmale Maximum von gefärbten Gelatineschichten liegt im Gelbgrün, die Absorptionsgrenze etwa bei $\lambda = 620 \mu\mu$, fast das ganze Reinblau zwischen *F* und *G* wird durchgelassen und das ganze Violett und Ultraviolett werden absorbiert. Mit Rhodamin lassen sich daher sehr transparente Rot- und Blaufilter herstellen.

Die nachstehende Tabelle zeigt die äquivalenten Farbstoffdichten einer festen und flüssigen Rhodaminschicht und ermöglicht es, ein gegebenes Trockenfilter durch ein Flüssigkeitsfilter zu ersetzen.

Trocken- Rot- oder Blaufilter	Flüssigkeits-	
	Rotfilter	Blaufilter
0,5	1,5	0,5
1,0	2,2	0,7
2,0	3,2	1,2
3,0	4,1	1,8
4,0	4,8	2,0
5,0	5,3	2,5
6,0	5,6	3,1

Soll z. B. ein Trockenblaufilter von der Dichte 4,0 durch ein Flüssigkeitsfilter ersetzt werden, so hat man eine Lösung von 2,0 g Rhodamin in 10 Liter Wasser in einer 1 cm weiten Küvette zu benutzen.

2. Rose bengale zeigt in der grünen Zone des Spektrums ein ganz ähnlich geformtes, jedoch weiter gegen Blau zu gelegenes Absorptionskurvensystem. Der Farbstoff ist daher weniger bläustichig als das Rhodamin und unterscheidet sich von diesem wesentlich dadurch, daß es auch für Violett und Ultraviolett durchlässig ist. Mit zunehmender Dichte werden die Schichten zinnoberrot, und die Absorptionsgrenze liegt etwa bei $\lambda = 600 \mu\mu$.

In wässriger Lösung ist das Absorptionsband um etwa $15 \mu\mu$ der Wellenlängenskala gegen Blau zu verschoben. Wegen der steil gegen Rot zu abfallenden Absorption und wegen der Lichtbeständigkeit benutzt man das Rose bengale mit Vorliebe für die Herstellung von Rotfiltern. Die äquivalenten Farbstoffdichten fester und flüssiger Schichten wurden schon Seite 32 angegeben.

3. Phenosafranin ist gleichfalls ein purpurroter Farbstoff mit schmalem Absorptionsband, jedoch weniger blautichig als Rose bengale. Es ist ein basischer Farbstoff von sehr geringer Lichtbeständigkeit. Die Absorptionsgrenze liegt bei etwa $\lambda = 600 \mu\mu$.

Eine Eigentümlichkeit des Phenosafranins, die zuweilen wertvoll sein kann, besteht darin, daß sein Absorptionsband sehr ähnlich dem Sensibilisierungsband orthochromatischer Platten ist, und daß man daher diesen Farbstoff benutzen kann, um die Gelbgrünempfindlichkeit solcher Platten gleichmäßig herabzusetzen.

4. Kristallponceau. Ein saurer, sehr reiner purpurroter Farbstoff mit ziemlich starker Blauabsorption, der sich bei Verwendung von Gelatine als Farbstoffträger durch ziemlich bedeutende Lichtechtheit auszeichnet. Die Absorptionsgrenze liegt etwa bei $600 \mu\mu$.

5. Echtröt D zeigt ein breites, flaches Absorptionsband, das auch bei hoher Konzentration keinen steilen Abfall besitzt. Die Absorptionsgrenze liegt etwa in der Mitte zwischen C und D, und die Grenzfarbe ist daher ein dunkles Rot, dem jedoch die volle Reinheit fehlt. Die Bezeichnung dieses Farbstoffes ist — wenn als Träger Gelatine dient — nicht ganz zutreffend, denn die mit Echtröt gefärbten Folien sind nicht lichtbeständiger als z. B. Rose bengale-Gelatineschichten.

6. Filterrot I (Dianilrot) besitzt ein dem Echtröt ähnliches Absorptionsband, jedoch eine ungleich stärkere Blauabsorption. Das Filterrot erscheint daher nur bei

sehr geringer Dichte bläulich, sonst stets gelblichrot. Es ist ein relativ unreiner Farbstoff, was man auch an der schwärzlichen Farbe etwas stärkerer Lösungen erkennt.

b) Gelbe Farbstoffe (Beilage Ib).

Die gelben Farbstoffe absorbieren lediglich die Strahlen der blauen Spektralzone und verdanken daher ihre Farbe einer Mischung von roten und grünen Lichtstrahlen. Je weiter das Absorptionsband in die grüne Zone reicht, desto rotstichiger ist das Gelb, während Farbstoffe mit einer erst hinter Blaugrün beginnenden Absorption grünstichig erscheinen. Die Absorptionsbänder sind nur mäßig breit, daher lassen alle rotstichigen gelben Farbstoffschichten reichlich das Ultraviolett durch.

1. Filtergelb ist ein sehr reiner, hellgelber Farbstoff mit der Absorptionsgrenze im Blaugrün und einem Absorptionsmaximum im Ultraviolett hinter der *H*-Linie. Es absorbiert daher das gesamte, bei der Photographie in Betracht kommende Ultraviolett, ist vollkommen lichtecht, sehr leicht in Wasser löslich, mit allen anderen Farbstoffen — mit Ausnahme von Phenosafranin — mischbar und bildet aus diesen Gründen einen überaus wertvollen Filterfarbstoff.

Flüssigkeitsfilter müssen, entsprechend der Regel, eine wesentlich höhere Dichte besitzen als Trockenfilter von gleicher Wirksamkeit, und das zwischen beiden nötige Dichteverhältnis zeigt folgende Übersicht:

Trockenfilter	Flüssigkeitsfilter
0,5	0,5
1,0	1,7
2,0	2,3
3,0	4,2
4,0	6,6
5,0	9,0

Das Absorptionsspektrum dieses Farbstoffes ist von der Konzentration der Lösung unabhängig, und daher sind Flüssigkeitsfilter in weiten und engen Küvetten gleichwertig, wenn die Konzentration der Lösung so gewählt wird, daß gleiche Farbstoffdichten resultieren.

2. Tartrazin. Ein gleichfalls sehr reiner, gelber Farbstoff, dessen Absorptionsgrenze jedoch schon bei *Eb* liegt, der also in etwas dichteren Schichten rotstichig erscheint. Sein Absorptionsmaximum liegt über *GH*, und daher lassen weniger dichte Tartrazinschichten reichlich Ultraviolett durch, was man eventuell durch einen Zusatz von in Ammoniak gelöstem Äskulin verhindern kann. Die Farbstoffdichten von gleich wirksamen trockenen und Flüssigkeitsfiltern stehen in folgendem Verhältnis:

Trockenfilter	Flüssigkeitsfilter
0,5	0,7
1,0	3,0
2,0	7,0
3,0	13,0

Für etwas dichtere Flüssigkeitsfilter hat man also fast die vierfache Menge des im Trockenfilter vorhandenen Farbstoffes zu verwenden. Das Absorptionsspektrum ist auch bei diesem Farbstoff unabhängig von der Konzentration der Lösung.

Das Absorptionsband des Tartrazins liegt im Vergleiche mit dem Filtergelb weiter gegen Rot zu, und es hängt ganz von der beabsichtigten Wirkung des Filters ab, ob man den einen oder den anderen Farbstoff wählt.

Für Schichten mit geringem Absorptionsvermögen ist das Filtergelb vorzuziehen, benötigt man aber sehr dichte Gelbschichten, so ist es besser, Tartrazin zu verwenden, und da die Absorptionskurven des Tartrazins steiler abfallen, so ist dieser Farbstoff auch für die Herstellung satter Grünmischungen besser geeignet als das Filtergelb.

Das Verhältnis der Dichte von gleich wirksamen trockenen Filtergelb- und Tartrazinschichten ist aus folgender Zusammenstellung ersichtlich:

Tartrazin	Filtergelb
0,5	3,0
1,0	7,5
2,0	20,0
3,0	34,0

Diese Zahlen zeigen deutlich, daß es zweckmäßig ist, für dunkle Filter nur Tartrazin zu benutzen, denn man erzielt ein Filter von gleichen Eigenschaften mit dem zehnten Teil des Farbstoffes. Die Durchlässigkeit des Tartrazins für Ultraviolett kommt nur bei schwach gefärbten Schichten in Betracht, bei dichten Schichten über 1,0 sind die etwa noch durchgelassenen ultravioletten Strahlen photographisch nicht mehr wirksam.

3. Naphtholorange. Ein orangeroter Farbstoff, der ein deutliches Maximum zwischen b und F besitzt und daher in dünnen Schichten auch blaue Strahlen durchläßt. Die Absorptionsgrenze liegt etwa bei $\lambda = 580 \mu\mu$, und daher zeigen dichte Schichten eine fast zinnoberrote Farbe.

4. Äskulin ist ein in Wasser unlöslicher farbloser Körper, den man, in verdünntem Ammoniak gelöst, zur Herstellung von das Ultraviolett absorbierenden Schichten benutzt. Die ammoniakalische Lösung muß unmittelbar vor dem Gebrauche bereitet werden, da sie bald gelbbraun wird und dann auch das gesamte Blau absorbiert. Die mit frischer Äskulinlösung hergestellten Gelatineschichten besitzen eine kaum merkliche gelbe Färbung, absorbieren aber trotzdem nicht nur das Ultraviolett, sondern auch das gesamte sichtbare Violett.

5. Chininsulfat. Aus diesem Grunde kann man Äskulin nicht gebrauchen, wenn das Filter lediglich das nicht sichtbare, hinter H gelegene Ultraviolett absorbieren

soll. In diesem Falle benutzt man ein Chininsalz, etwa schwefelsaures Chinin, das sich bei Gegenwart von etwas Schwefelsäure leicht in Wasser zu einer vollkommen farblosen Flüssigkeit löst. Das Chinin ist lediglich von Bedeutung bei der Herstellung von Filtern, die nur das spektrale Violett durchlassen sollen, eine Forderung, die bei der Mikrophotographie zuweilen gestellt wird.

Um das gesamte Ultraviolett, von der *H*-Linie angefangen, zu absorbieren, ist eine Chininschicht von der Dichte 50 erforderlich, die sich zwar leicht als Flüssigkeitsfilter, aber nicht als Gelatinefolie herstellen läßt, da das Chininsalz beim Trocknen der Gelatine auskristallisiert. Eine passende Vorratslösung erhält man durch Lösen von 5 g schwefelsaurem Chinin in 100 ccm Wasser und 10 Tropfen Schwefelsäure.

c) Grüne Farbstoffe (Beilage Ib und c).

Die grünen Farbstoffe lassen in transparenten Schichten die Strahlen der grünen Spektralzone durch, wobei das Transparenzmaximum über *E**b* oder mehr gegen *D* oder *F* gelegen sein kann und wodurch rein grüne, gelblich- oder bläulichgrüne Farben entstehen. Sehr oft lassen sie auch das äußerste spektrale Rot durch, das jedoch keinen Einfluß auf die Farbe hat, weil diese Strahlen so lichtschwach sind, daß sie neben den hellen grünen Strahlen nicht zur Wirkung kommen. Nur die schwärzlichen grünen Alizarinfarbstoffe oder die eisenhaltigen Naphtholfarbstoffe zeigen vollkommene Endabsorption.

1. Säuregrün F. Ein bläulichgrüner Farbstoff, der in dichten Schichten das zwischen *E* und *F* liegende Grün, dann das äußerste dunkle Rot und das Ultraviolett hinter *H* durchläßt. Mit Säuregrün gefärbte Gelatineschichten sind nicht besonders lichtbeständig, sie werden bald dunkler und mißfarbig und beginnen dann erst zu

bleichen. Der Farbstoff ist für die grünen Strahlen, wie sein Absorptionsspektrum zeigt, nicht besonders transparent und eignet sich daher für Reingrün- und Gelbgrünmischungen nicht besser als Patentblau.

2. Dunkelrotgrün. Diesen Farbstoff hat Dr. E. König als „Dunkelrot für Dunkelkammerlicht“ bezeichnet, da er aber in Schichten von geringer und mäßiger Dichte grün erscheint, so dürfte die oben gewählte Bezeichnung zweckmäßiger sein. Er läßt neben dem reinen Grün bei *Eb* ziemlich viel rote Strahlen durch, die aber bei geringer Farbstoffdichte auch hier nicht zur Wirkung gelangen. Verstärkt man aber allmählich die Konzentration, so verringert sich die Durchlässigkeit für die grünen Strahlen rascher als jene für die roten, und aus diesem Grunde erscheinen bei Tageslicht Schichten von der Dichte unter 10 grün, bei höherer Konzentration neutralisieren sich die roten und grünen Strahlen, und es entsteht ein gelbliches Weiß, das dann allmählich über Orange in Rot übergeht.

Bei elektrischem Glühlicht, das weniger grüne und mehr rote Strahlen enthält, tritt das Gleichgewicht zwischen Rot und Grün schon früher ein, und die Schicht erscheint schon bei der Dichte 6 gelblichweiß, bei 9 orange und bei 12 rot. Wässrige Lösungen verhalten sich in dieser Beziehung gleich den trockenen Schichten.

Diese Eigentümlichkeit des Farbstoffes erklärt auch das oft überraschende Aussehen, das viele blaue und grüne Körper zeigen, wenn man sie durch ein Dunkelrotgrünfilter betrachtet. Reflektieren nämlich solche Körper auch das äußerste spektrale Rot, was, wegen der Lichtschwäche dieser Strahlen, ohne jeden Einfluß auf ihre Farbe ist, so erscheinen sie bei der Betrachtung durch das erwähnte Filter deutlich rot. So sieht man z. B. sonnenbeleuchtete Wiesen und Bäume durch eine Schicht von der Dichte 10 bis 12 in roter Farbe, weil das.

Chlorophyll die erwähnten roten Strahlen reflektiert, und aus gleichem Grunde erscheint auch Ultramarin rot.

3. Naphtholgrün. Ein eisenhaltiger, gelbgrüner Farbstoff von schwärzlichem Aussehen, der vollkommene Endabsorption in der roten Spektralzone zeigt und, wie die meisten grünen Farbstoffe, ziemlich viel Ultraviolett durchläßt. Mit Naphtholgrün gefärbte Gelatineschichten sind sehr lichtecht und finden als Dunkelkammerscheiben vielfach Verwendung. Die Transparenz für Ultraviolett kommt selbstverständlich auch hier, bei Schichten von etwas höherer Dichte, nicht in Betracht.

d) **Blaue Farbstoffe** (Beilage Ic).

Mit blauen Farbstoffen gefärbte Schichten zeigen die Hauptabsorption im Rot oder Orange, erscheinen bei geringer Dichte oft grünstichig und bei höherer Konzentration rein blau. Oft lassen sie auch die jenseits der C-Linie gelegenen roten Strahlen durch, die aber wegen ihrer Lichtschwäche die Farbe nicht beeinflussen.

Blaue Farbstoffe mit völliger Endabsorption sind, wie das auch bei den grünen Farbstoffen der Fall ist, meist unrein, also von schwärzlichem Aussehen. Läßt die Farbstoffschicht viel Rot durch, liegt also das Maximum seiner Absorption im Gelb, so entstehen violette Töne.

1. Patentblau ist ein sehr reiner, in dünnen Schichten grünstichiger Farbstoff, der bei höherer Konzentration lediglich die beiderseits der F-Linie gelegenen Strahlen durchläßt. Er absorbiert also das spektrale Violett und auch das angrenzende Ultraviolett und läßt nur sehr wenig Rot durch, ist lichtecht, gut mischbar und daher als Filterfarbstoff sehr verwendbar. Mit Filtergelb oder Tartrazin liefert das Patentblau ein sehr reines Grün, und mit Kristallviolett oder Rhodamin bildet es Schichten, die lediglich die spektrale Blauzone durchlassen.

Die Farbstoffdichten für gleich wirkende Trocken- und Flüssigkeitsfilter besitzen nachstehende Werte:

Trockenfilter	Flüssigkeitsfilter
0,5	0,4
1,0	0,7
2,0	1,4
3,0	2,1
4,0	2,6

Patentblau ist in Wasser ziemlich schwer löslich und kann als Vorratslösung nur 1 : 250 angesetzt werden; seine Löslichkeit wird aber durch die Gegenwart anderer Farbstoffe, z. B. von Tartrazin, wesentlich erhöht.

2. Methylenblau besitzt ein breites, fast das ganze Rot und Orange gleichmäßig deckendes Absorptionsband mit zwei flach verlaufenden Maxima und zeigt eine rein blaue Farbe. Es gehört zu den basischen Farbstoffen und ist, an Gelatine gebunden, von sehr geringer Lichtbeständigkeit, die aber durch Zusatz von Kupfervitriol bedeutend gesteigert werden kann. Das Absorptionsband der wässrigen Lösung ist nur sehr wenig, kaum 5 $\mu\mu$ der Wellenlängenskala gegen Blau zu verschoben.

3. Toluidinblau. Ein blauer Farbstoff, der auch alle roten Strahlen absorbiert, eine sehr flach verlaufende Absorptionskurve besitzt und vornehmlich die blauen Strahlen zwischen *F* und *G* durchläßt. Es besitzt eine dem Pariserblau ganz ähnliche Farbe und zeigt auch das gleiche schwärzliche Aussehen; von Bedeutung ist seine außerordentliche Lichtbeständigkeit und die Eigentümlichkeit der völligen Endabsorption im roten Teil des Spektrums. Durch einen geringen Zusatz von Toluidinblau läßt sich daher die zuweilen störende Rotdurchlässigkeit gewisser Filter beseitigen. Das Absorptionsband verdünnter Schichten liegt zwar im äußersten Rot, verläuft aber mit einem zarten Halbschatten sehr allmählich

gegen das Orange und unterscheidet sich dadurch wesentlich von dem steil abfallenden Absorptionsband der Kupfersalze.

4. Kristallviolett läßt nebst den ganzen blauen und violetten auch reichlich rote Strahlen durch. Mit zunehmender Farbstoffdichte nimmt, wie das stets der Fall ist, die Transparenz für die blauen Strahlen rascher ab, als jene für die roten, und dadurch verändert sich die Farbe von Blauviolett über Rotviolett zu dunklem Rot.

Gegen Rot fällt das Absorptionsband ziemlich steil ab, und die Absorptionsgrenze liegt etwa bei $\lambda = 670 \mu\mu$. Das Kristallviolett wird aus diesem Grunde vielfach als Filterfarbstoff benutzt, um entweder das äußerste spektrale Rot oder das Blau und Violett zu isolieren. Besonders beliebt sind die mit diesem Farbstoff hergestellten Blaufilter, die sich durch hohe Transparenz und ziemlich scharfe Abgrenzung der spektralen Blauzone auszeichnen. In dieser Beziehung wird auch das Kristallviolett von keinem anderen Farbstoff übertroffen.

Es ist schlecht mischbar, bildet mit Patentblau einen schwer löslichen Niederschlag und verträgt sich auch mit Tartrazin nur in verdünnter Lösung.

Das Kristallviolett ist äußerst ausgiebig, da schon Schichten von der Dichte 0,025 sehr deutlich gefärbt sind; es gehört in die Gruppe der basischen Farbstoffe und besitzt eine nur geringe Lichtbeständigkeit, die sich aber durch einen Zusatz von Kupfer- oder Kobaltsulfat wesentlich steigern läßt. Man wird daher diesen Farbstoff stets mit einem Kupfersalz gemischt verwenden, und es ist am einfachsten, dieses gleich der Farbstoffvorratslösung zuzufügen, indem man 1 g Kristallviolett und 5 g Kupfersulfat in 100 cm Wasser löst und 10 Tropfen Essigsäure zufügt. Das Kupfersalz absorbiert das äußerste Rot, doch ist diese Absorption bei den zur Verwendung kommenden Farbstoffschichten gar nicht merkbar.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Farbstoffdichten für gleich wirksame Trocken- und Flüssigkeitsfilter, wobei man natürlich zu unterscheiden hat, ob es sich um ein Rot- oder Blaufilter handelt:

Trocken- Rot- oder Blaufilter	Flüssigkeits-	
	Blaufilter	Rotfilter
0,2	—	0,24
0,3	—	0,52
0,4	—	0,80
0,5	0,3	0,96
1,0	0,6	1,60
1,5	1,2	—
2,0	1,6	—
2,5	1,8	—
3,0	2,0	—

5. Filterblau ist gleichfalls ein violetter Farbstoff, jedoch etwas mehr rotstichig, was besonders bei dichteren Schichten bemerkbar ist. Das Filterblau ist von hoher Lichteinheit und wurde daher an Stelle des Kristallviolett empfohlen, vermag aber dieses durchaus nicht zu ersetzen, da es zu den unreinen, schwärzlichen Farbstoffen gehört und, wie die Absorptionskurve zeigt, eine nur geringe Blautransparenz besitzt. Sehr gut verwendbar ist es aber für Rotfilter, die zur Dunkelkammerbeleuchtung dienen.

Das Filterblau löst sich nur bei Gegenwart von etwas Ammoniak im Wasser, und auch dann noch ziemlich schwer, und erst beim Erwärmen der Flüssigkeit.

Zur Bereitung der Vorratslösung bringt man 1 g des Farbstoffes in 100 cem Wasser, fügt 1 cem Ammoniak zu und erwärmt bis zur vollständigen Lösung.

Trockene Gelatine- und Wasserfilter zeigen ungefähr gleiche Absorptionsverhältnisse in der roten Spektralzone, wenn die Farbstoffdichte der flüssigen Schicht etwa vier Drittel der Dichte des Trockenfilters beträgt. Es ist also

z. B. ein Gelatinetrockenfilter 1,6 gleich einem Wasserfilter 2,0. Will man das Kristallviolett in einem Trockenrotfilter durch Filterblau ersetzen, so hat man dieses in etwa der vierfachen Menge zu benutzen.

4. Die Ermittlung photographischer Filter auf Grund der Absorptionskurven.

Die Absorptionskurven bieten uns ein klares Bild über die optischen Eigenschaften der Farbstoffschichten, und sie sind daher unentbehrlich bei Entscheidung aller die photographischen Lichtfilter betreffenden Fragen. Sie lassen erkennen, welcher Anteil des auftreffenden Lichtes von einer Farbstoffschicht bestimmter Konzentration absorbiert und welcher durchgelassen wird und die photographische Platte erreicht.

Absorptionskurven von Farbstoffmischungen. Zuweilen reicht ein Farbstoff nicht aus, um die für einen bestimmten Zweck notwendige Farbdurchlässigkeit einer Schicht zu erzielen, und dann müssen mehrere Farbstoffe kombiniert werden.

Die Absorptionsverhältnisse solcher Mischungen sind auf Grund der Absorptionskurven leicht zu ermitteln. Werden nämlich die Kurven als Querschnitte durch die Schwärzungsreliefs betrachtet, so muß das Relief der Mischung offenbar einer Vereinigung des Komponentenreliefs entsprechen, und die Absorptionskurve der Mischung ergibt sich daher, wenn man die Absorptionskurven der Bestandteile durch Addition der Ordinaten vereint.

Handelt es sich um die Vereinigung einer Farbstoffschicht mit einer alle Strahlen gleichmäßig absorbierenden Schicht von der Transparenz $t = \frac{1}{p}$, belegt man also eine Farbschicht mit einem grauen oder matten Glas, so entspricht dieser Kombination die um das Maß $\log p$ gleichmäßig gehobene Kurve der gefärbten Schicht.

Legt man z. B. ein mattiertes oder graues Glas von der Transparenz $t = 0,2$ auf eine gefärbte Schicht, so restringiert man daher die Durchlässigkeit derselben für alle Strahlen gleichmäßig auf den fünften Teil, und die Absorptionskurve dieser Kombination erhält man aus der Kurve der Farbstoffschicht, indem man alle Ordinaten um $\log 5 = 0,7$ vergrößert.

Die Leichtigkeit, mit der sich so die Absorptionskurven von Kombinationen ermitteln lassen, macht die Darstellung der Absorptionsverhältnisse durch Reliefschnitte besonders wertvoll, und, gestützt auf diese Möglichkeit, lassen sich mit Hilfe der oben besprochenen Kurven eine Reihe von Aufgaben, betreffend die Reproduktion und Neuherstellung photographischer Lichtfilter, lösen.

Nachbildung vorhandener Filter. So läßt sich jedes bestehende Filter mit Hilfe der besprochenen Farbstoffe in einer den Bedürfnissen der Praxis ausreichenden Weise nachbilden, vorausgesetzt, daß man die Absorptionskurve desselben kennt, sie also eventuell mit einem Spektralphotometer ermittelt hat. Man konstruiert die Kurve mit jenem Ordinatenmaßstab, der auch bei der Zeichnung der Absorptionskurven in den Beilagen I zur Anwendung kam, und vergleicht sie dann mit diesem, um so jene Farbstoffe zu ermitteln, die, kombiniert, die gleichen Absorptionsverhältnisse zeigen. Das bietet meist keine Schwierigkeiten, und da alle Absorptionskurven einen einheitlichen Ordinatenmaßstab besitzen, so ergeben sich aus den zu kombinierenden Kurven auch annähernd die Dichten der zu mischenden Farbstoffe. So läßt sich eine Vorschrift für die Herstellung des Filters aufstellen, die dann praktisch überprüft und eventuell berichtigt werden kann. Als Beispiel hierfür soll die Nachbildung des bekannten Autochromgelbfilters besprochen werden.

Die Absorptionskurve dieses Filters besitzt — nach Messungen mit dem Spektralphotometer — die in Fig. 9 dargestellte Form. Wie ersichtlich, liegt über dem ganzen Spektrum ein gleichmäßiger, leichter Schatten, der die Transparenz des Filters um etwa $\frac{1}{10}$ verringert, und der durch die beiden farblosen Gläser und die zwischenliegende Gelatineschicht hervorgerufen wird. Die Absorptionsverhältnisse des reinen Farbstoffes sind daher erst nach Abzug dieser Schicht zu beurteilen. Zur Nachbildung der Kurve eignet sich am besten eine Kombination von Phenosafranin mit Tartrazin, und wenn man die Ordinaten — die nach Abzug des allgemeinen Schattens,

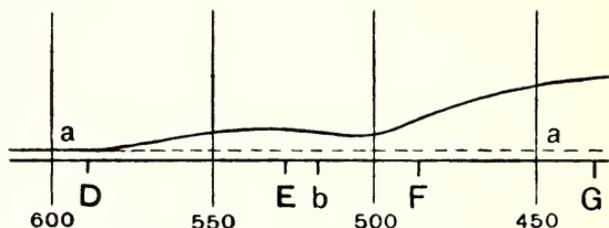


Fig. 9.

also von der Grundlinie *aa* zu messen sind — mit den Kurven der Beilage I vergleicht, so ergibt sich für den roten Farbstoff etwa die Dichte 0,017 und für den gelben die Dichte 0,20.

Auf Grund dieser Zahlen läßt sich leicht eine Vorschrift zur Herstellung eines solchen Filters aufstellen; denn erfahrungsgemäß sind zum Übergießen von 1 qdcm Glasfläche 7 bis 8 ccm Gelatinelösung 1:15 erforderlich, und diese müssen 0,00017 g Phenosafranin und 0,002 g Tartrazin enthalten. Da aber eine Tartrazinschicht von so geringer Dichte die photographische Platte gegen die violetten und ultravioletten Strahlen nur unvollkommen schützt, so muß man der Filterschicht überdies eine Substanz zufügen, welche die Strahlen dieser Spektral-

zone völlig absorbiert, also etwa eine ammoniakalische Lösung von Aeskulin.

An Stelle des Tartrazins kann man auch eine Filtergelbschicht mit ähnlicher Absorption, also von der Dichte 0,6, benutzen, und wenn man statt des wenig lichtechten Phenosafranins z. B. Echtröt D benutzen will, so hat man diesen Farbstoff, wie ein Vergleich der Kurvenordinaten lehrt, in solcher Menge zuzusetzen, daß die Dichte 0,07 beträgt.

So ergeben sich zwei ganz verschiedene Vorschriften für die Herstellung dieses Filters, nämlich: Tartrazin 0,20 + Phenosafranin 0,017 + Aeskulin, und Filtergelb 0,6 + Echtröt D 0,07. Die Erfahrung lehrt, daß beide von gleicher Wirksamkeit sind.

Beispiele für die Ermittlung photographischer Filter.

Sollen Filter für irgendeinen photographischen Zweck hergestellt werden, wobei es sich stets um eine Schwächung oder völlige Unterdrückung gewisser photographisch wirksamer Strahlen handelt, so lassen sich mit Hilfe der Absorptionskurven die hierzu geeigneten Farbstoffe auswählen, und die voraussichtlich notwendige Dichte derselben kann, wie nachstehende Beispiele zeigen, in vielen Fällen wenigstens annähernd ermittelt werden.

1. Handelt es sich z. B. um ein Filter, das nur das spektrale Rot, von der Wellenlänge $\lambda = 600 \mu\mu$ angefangen, durchläßt, so zeigen die Absorptionskurven (Beilage Ia) zunächst, daß man diese Aufgabe nur durch Kombination eines roten und gelben Farbstoffes lösen kann. Phenosafranin ist wenig lichtbeständig, daher möglichst zu vermeiden, Rose bengale, Dianilrot und Kristallponceau sind brauchbar, müßten aber mit einer Dichte von mindestens 12 benutzt werden. Derartig hohe Farbstoffdichten vermeidet man gern, da sie, um ein Auskristallisieren des Farbstoffes beim Trocknen des Aufgusses zu vermeiden, dicke Gelatineschichten fordern.

Viel günstiger verhält sich in dieser Beziehung das Säure-
rhodamin und Echtrot D. Ersteres liefert schon mit der
Dichte 2 die gewünschte Abgrenzung, besitzt aber ein so
schmales Absorptionsband, daß nebst dem gelben noch
ein zweiter — etwa orangeroter — Farbstoff nötig ist,
um das ganze Spektrum gleichmäßig zu decken. Echtrot
fordert die Dichte 5, besitzt aber ein breites, über F
reichendes Absorptionsband und bietet aus diesem Grunde
die günstigsten Verhältnisse.

Der gelbe Farbstoff muß so gewählt werden, daß
sein Absorptionsband sich mit jenem des Echtrots zu

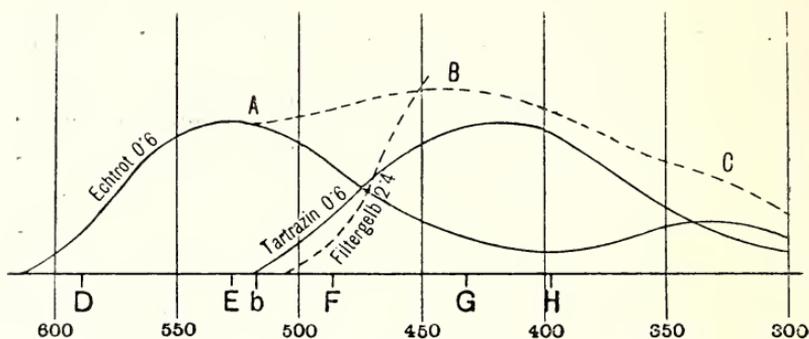


Fig. 10.

einer das Spektrum gleichmäßig deckenden Schwärzung
vereint. Es kommen Filtergelb oder Tartrazin in Be-
tracht, und um ihre notwendige Dichte zu ermitteln, be-
trachtet man die Absorptionsverhältnisse dieser drei Farb-
stoffe zunächst bei geringer Konzentration.

Wie die Fig. 10 zeigt, ist zur Ergänzung einer mit
Echtrot gefärbten Schicht von der Dichte 0,6 eine
Tartrazinschicht 0,6 erforderlich; denn durch Addition
der Kurvenordinaten erhält man die Kurve ABC , aus
der zu ersehen ist, daß durch diese Farbstoffkombination
das Spektrum bis $\lambda = 400 \mu\mu$ fast gleichmäßig gedeckt
wird. Hinter dem spektralen Violett sinkt dann die Ab-
sorptionskurve, doch kommt diese Durchlässigkeit für das

Ultraviolett bei der hier benutzten hohen Dichte der Farbstoffe nicht in Betracht. Da nämlich die notwendige Dichte der Echtrotschicht mit 5 ermittelt wurde, so muß auch eine Tartrazinschicht von gleicher Dichte benutzt werden, die als ganz durchlässig für ultraviolette Strahlen anzusehen ist.

An Stelle des Tartrazins könnte man auch Filtergelb verwenden, und zwar müßte, wie die Fig. 10 zeigt, mit Echtröt 0,6 Filtergelb 2,4 kombiniert werden, und für das Rotfilter wäre daher Echtröt 5 mit Filtergelb 20 zu mischen. Tartrazin ist also vorzuziehen, da man mit einem geringeren Quantum dieses Farbstoffes das Auslangen findet.

2. Für die Dreifarbenphotographie benötigt man ein Filter, welches lediglich die Strahlen der grünen Spektralzone von $\lambda = 585 \mu\mu$ bis $\lambda = 495 \mu\mu$ durchläßt, und welches das Transparenzmaximum etwa bei 530 besitzt.

Es ist daher das ganze Spektrum, mit Ausnahme dieser Zone, durch eine für Lichtstrahlen undurchdringliche Schicht zu decken, und das wird, den praktischen Verhältnissen entsprechend, der Fall sein, wenn diese absorbierende Schicht eine Transparenz unter $\frac{1}{100}$ besitzt.

Sei in Fig. 11 y diese Schichtdicke, so hat man ein Filter zu suchen, dessen Absorptionskurve durch die Punkte A und A' geht und dabei tunlichste Transparenz besitzt. Wenn man die Absorptionskurven der verschiedenen Farbstoffe betrachtet, so ergibt sich, daß keiner dieser Forderung ganz entspricht, und daß man dieses Filter durch Kombination einer blauen oder grünen Schicht mit einer gelben bilden muß.

Die Absorptionskurve der ersteren soll durch den Punkt A gehen und tunlichst steil abfallen; dieser Forderung entsprechen die Schichten von Patentblau 0,7 oder Säuregrün F 3,0 am besten, und die Absorptionskurven

dieser Farbstoffschichten fallen längs der hier in Betracht kommenden Strecke AB vollkommen zusammen.

Andere blaue Farbstoffe, wie Methylblau, Filterblau und Toluidinblau, sind nicht verwendbar, da sie, wie ihre flach verlaufenden Absorptionskurven zeigen, nur ein unreines, wenig transparentes Grün zu bilden vermögen.

Als gelber Farbstoff eignet sich am besten Tartrazin 2,5, das, mit einem der erwähnten Farbstoffe kombiniert, das

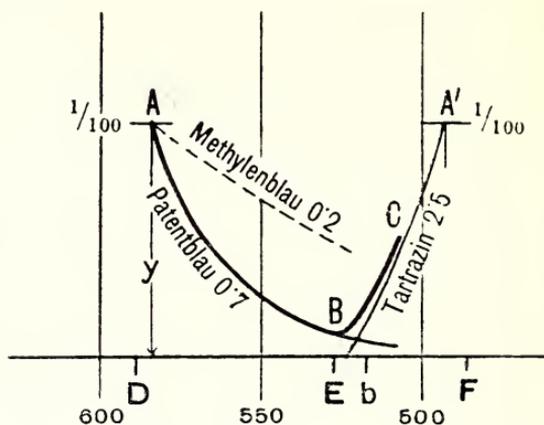


Fig. 11.

gesuchte Grünfilter mit der Kurve ABC ergibt. Filtergelb müßte in sehr hoher Dichte benutzt werden.

3. Um ein Filter zu formieren, das lediglich die blaue Zone des Spektrums durchläßt, also alle Strahlen mit Wellenlängen über $495 \mu\mu$ völlig absorbiert und dabei tunlichst transparent ist, hat man einen Farbstoff zu suchen, dessen Absorptionskurve durch den Punkt A geht (Fig. 12), tunlichst steil abfällt und, falls dieser auch das spektrale Violett und Ultraviolett durchläßt, ist er mit einer diese Strahlengattungen absorbierenden Schicht zu kombinieren.

Bei Durchsicht der Absorptionskurven findet man, daß das Kristallviolett der ersten Forderung am besten

entspricht, denn die Absorptionskurven von Methylblau und Filterblau verlaufen ungleich flacher.

Zur Absorption des Ultravioletts kann man eine Äskulinschicht etwa von der Dichte 16 benutzen, oder man kombiniert das Kristallviolett, das mit der Dichte 1,0 zu wählen ist, mit Patentblau 1,6, das ein Maximum über den *H*-Linien besitzt. In dieser Weise entsteht das Filter *ABC*, das den gestellten Forderungen tunlichst entspricht.

Ein sehr transparentes Blaufilter, das die Spektralzone von *F* bis *G* fast vollständig durchläßt, erhält man auch mit Hilfe von Rhodamin 3,0, das man zur Absorption der photographisch wirksamen roten Strahlen mit Patentblau 1,0 oder Toluidinblau 2,0 kombiniert, und vollkommen brauchbar, aber weniger transparent ist das Blaufilter: Rose bengale 3,0 + Patentblau 1,5.

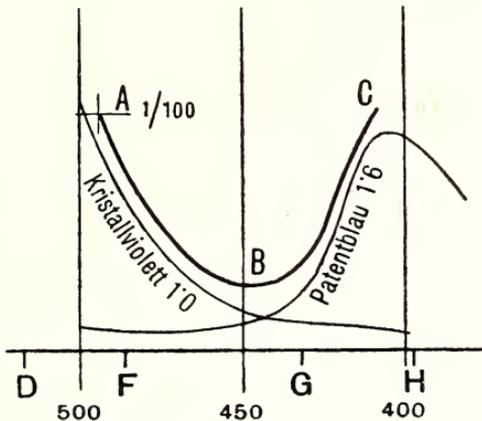


Fig. 12.

4. Soll die rote Spektralzone, die bis etwa $\lambda = 585 \mu\mu$ reicht, isoliert werden, so sind dazu fast alle roten Farbstoffe geeignet. Nur Rhodamin, das in der geringen Dichte 0,3 verwendet werden müßte, ist weniger brauchbar, da solche Schichten ungenügend decken. Sehr scharf wird die rote Zone durch Rose bengale von der Dichte 1,5 abgeschnitten, während alle anderen Farbstoffe eine mehr oder weniger weiche Abgrenzung bilden und, wie ihre Absorptionskurven zeigen, in nachstehenden Dichten benutzt werden müssen: Echröt 0,6, Pheno-safranin 3,0, Kristallponceau 1,5 und Filterrot 3,0.

Um die von allen diesen Schichten durchgelassenen blauen Strahlen zu beseitigen, muß stets ein gelber Farbstoff zugemischt werden, wozu sich aus dem schon unter 1. angegebenen Grunde am besten Tartrazin eignet, das man etwa in der Dichte 2 verwendet. Der Tartrazingehalt kann aber auch beliebig erhöht werden, ohne daß sich die Eigentümlichkeiten des Rotfilters ändern würden.

5. Um ein farbiges Objekt mit Hilfe einer orthochromatischen Platte „tonrichtig“ abzubilden, müssen bekanntlich stets Gelbfilter zur Verwendung kommen, und es entsteht die Frage, welcher gelbe Farbstoff zur Anfertigung solcher Filter am besten geeignet ist.

Der Farbstoff muß die von einem blauen Objekt reflektierten Strahlen schwächen, er muß also einen Teil der zwischen F und dem Ultraviolett $\lambda = 350 \mu\mu$ gelegenen Spektralstrahlen absorbieren; denn die Strahlen dieser ganzen Spektralzone kommen bei der Photographie eines solchen Objektes in Betracht.

Um die Strahlen der erwähnten Zone auf einen bestimmten Bruchteil zu reduzieren, ist zwar jeder gelbe Farbstoff brauchbar, während sich aber die Absorption von Filtergelb — wie aus Fig. 13 ersichtlich — hauptsächlich auf das Violett und Ultraviolett erstreckt, liegt das Maximum der Absorption einer Tartrazinschicht, die einen Teil des Ultravioletts durchläßt, im Blau. Will man die Strahlen des blauen Objektes auf das gleiche Maß mit Hilfe eines Orangefarbstoffes restringieren, so muß die Konzentration dieser Schicht der in Fig. 13 für diesen Farbstoff eingezeichneten Absorptionskurve entsprechen, und wie man sieht, ist in diesem Falle die Restringierung der blauen Strahlen mit einer gleichzeitigen bedeutenden Absorption in der grünen Zone verbunden.

Handelt es sich also lediglich um eine Schwächung des Blau, so sind alle drei Farbstoffe gleichwertig; Tartrazin und besonders Orange absorbieren aber auch

das grünliche Blau, also jene Strahlen, die an der Koloritbildung des Grün — hauptsächlich des Blaugrün — beteiligt sind, sie dämpfen nebst den blauen auch die blaugrünen und grünen Farben und verlängern dadurch auch die notwendige Expositionszeit.

Die Wirkung des Filtergelb ist dagegen lediglich auf die vom blauen Objekt reflektierten Strahlen beschränkt, es absorbiert insbesondere die an der Koloritbildung gar nicht beteiligten, photographisch aber doch wirksamen violetten und ultravioletten Strahlen und ist aus

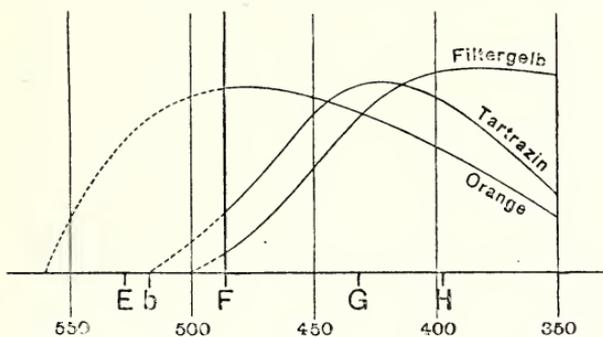


Fig. 13.

diesem Grunde den anderen gelben Farbstoffen vorzuziehen. Der Unterschied zwischen Filtergelb und Tartrazin ist allerdings, besonders bei stark gefärbten Schichten, praktisch kaum wahrnehmbar, dagegen macht sich die starke Grünabsorption eines Orangefilters in der erwähnten Weise sehr deutlich bemerkbar.

Trockene und flüssige Filter von gleicher Wirksamkeit.

Sehr oft begegnet man der Aufgabe, für ein gegebenes Trockenfilter ein gleichwertiges Flüssigkeitsfilter — oder auch umgekehrt — zu ermitteln, was sich auf Grund der diesbezüglichen Daten, die bei der Besprechung der Farbstoffe angeführt wurden, leicht durchführen läßt.

Aber auch mit Hilfe der Absorptionskurven kann man diese Aufgabe mit wenigstens annähernder Richtig-

keit lösen, denn die Farbstoffe besitzen im festen Zustande und in verdünnter Lösung die gleichen Absorptionskurven, nur sind dieselben um ein bestimmtes Maß gegeneinander verschoben. Diese Verschiebung beträgt, wie schon Seite 31 erörtert wurde, bei Rose bengale $15 \mu\mu$, bei Rhodamin und Methylenblau $5 \mu\mu$ und bei allen anderen Farbstoffen ungefähr $10 \mu\mu$ der Wellenlängenskala, und die Wasserkurve liegt stets weiter gegen Blau zu.

Sucht man daher im Absorptionsspektrum des Farbstoffes (Beilage I) jene Kurve auf, welche die Dichte der gegebenen trockenen Schicht charakterisiert, so zeigt die um das erwähnte Maß weiter gegen Rot zu gelegene Kurve die Dichte einer Flüssigkeitsschicht von gleicher Wirkung an. In dieser Weise ergibt sich z. B., daß eine Rose bengale-Gelatineschicht von der Dichte 1,5 und eine Lösung dieses Farbstoffes von der Dichte 15 die gleiche Absorption in der roten Spektralzone besitzen.

Soll an Stelle des auf Seite 54 besprochenen Rotfilters, bestehend aus einer Gelatineschicht, Echtrot 5,0 + Tartrazin 5,0, ein Flüssigkeitsfilter von gleichen Eigenschaften ermittelt werden, so findet man, daß an Stelle von 5 Echtrot fest etwa 15 Echtrot in Lösung zu benutzen sind. Eine Erhöhung des Tartrazingehaltes ist nicht erforderlich. Da die Echtrot-Wasserkurve 15 die Tartrazinkurve 5,0 reichlich übergreift.

Ein solches Flüssigkeitsrotfilter hat also in 10 Litern Wasser 15 g Echtrot und 5 g Tartrazin zu enthalten und ist in einer 1 cm dicken Schicht zu benutzen.

In gleicher Weise findet man, daß das auf Seite 55 besprochene Grünfilter, bestehend aus:

Patentblau 0,7 + Tartrazin 2,5,

durch ein Flüssigkeitsfilter:

Patentblau 0,5 + Tartrazin 10

ersetzt werden kann.

Die so erhaltenen Zahlen können aber keinen Anspruch auf besondere Genauigkeit erheben; denn abgesehen davon, daß der zu ihrer Ermittlung eingeschlagene Weg recht unsicher ist, sind auch die Absorptionsspektren keineswegs ganz einwandfrei. Aus diesem Grunde wurden auch bei allen wichtigeren Farbstoffen die Dichten für äquivalente feste und flüssige Schichten angegeben.

Schließlich muß noch bemerkt werden, daß alle so ermittelten Zahlen nur für verdünnte Farbstofflösungen, also für mindestens 5 mm weite Küvetten gelten, da konzentrierte Lösungen wesentlich andere Absorptionsverhältnisse zeigen können.

5. Die Technik der Filterherstellung.

In der Praxis kommen photographische Lichtfilter in zwei Formen zur Verwendung: Flüssigkeits- und Trockenfilter. Erstere bestehen aus Küvetten mit planparallelen Wänden, die mit gefärbten Flüssigkeiten gefüllt werden, während Trockenfilter aus farbigen Glasplatten oder aus gefärbten Gelatine-, Kollodium- oder Lackschichten bestehen.

Die Flüssigkeitsfilter sind weniger bequem und werden nur im Atelier benutzt, sie besitzen aber den Vorteil, daß sie sich rasch herstellen lassen, und daß die gefärbte Schicht vollkommen homogen und gleichförmig ist, was mit gefärbten trockenen Schichten nicht leicht zu erreichen ist.

Eine besondere Abart der Flüssigkeitsfilter bilden die „Gallertfilter“, die aus einer Schicht erstarrter, aber nicht trockener Gelatine bestehen, die zwischen zwei in passender Weise auseinandergehaltenen Glasplatten eingeschlossen ist. Sie zeigen alle Eigentümlichkeiten der Flüssigkeitsfilter, fordern aber keine so vorsichtige Behandlung.

Die besten Filter sind jedenfalls planparallele Platten aus farbigem Glas; da es aber vorläufig nicht möglich ist, Gläser von ganz bestimmten spektralen Eigentümlichkeiten herzustellen, so kommen solche Filter nur als Dunkelkammerscheiben und als Gelbfilter bei Landschaftsaufnahmen in Betracht. Will man aber mit Hilfe des Filters eine bestimmte, gesetzmäßige Farbenempfindlichkeit der photographischen Platte herbeiführen, muß also das Filter der Plattensensibilisierung angepaßt werden, so läßt sich das nur mit Hilfe von Farbstoffen — deren Art und Menge man beliebig variieren kann — erzielen.

Zur Herstellung von Trockenfiltern eignet sich nur Gelatine; durch Überziehen von Glasplatten mit gefärbtem Kollodium oder Lack sind gleichmäßige Filter von bestimmter Färbung nicht zu erreichen; denn die sich bildende Schicht hängt wesentlich von der Viskosität der Flüssigkeit, der Temperatur, der Größe des Filters usw. ab. Gelatinefilter können in zwei Formen hergestellt werden: Entweder beläßt man die Gelatineschicht nach dem Trocknen auf der Glasplatte, und in diesem Falle ist es zweckmäßig, sie durch eine mit Kanadabalsam aufgekittete zweite Glasplatte zu schützen, oder man zieht die trockene Schicht von der Platte ab, was jedoch weniger zu empfehlen ist, da die dünne Folie zu leicht verletzlich ist.

Herstellung von Gelatinetrockenfiltern. Als Träger für die Gelatineschicht eignen sich nur dünne — etwa 1,5 mm dicke — Spiegelglasplatten von rein weißer Farbe und gut polierter Oberfläche. Vor dem Gebrauch werden diese Glasplatten mit einer Mischung von Alkohol und Ammoniak überputzt und hierauf sorgfältig abgestaubt.

Die Glasplatten werden dann in horizontaler Lage mit einem bestimmten Quantum gefärbter Gelatinelösung

übergossen, und nach dem Erstarren der Lösung werden die Glasplatten an einem staubfreien Orte zum Trocknen aufgestellt.

Zur horizontalen Lagerung der Platten benutzt man eine dicke Spiegelglasplatte, die auf einem mit drei Stellschrauben versehenen Brett liegt, und die sich mit Hilfe einer Wasserwage horizontieren läßt.

Um die Gelatinelösung herzustellen, läßt man eine abgewogene Menge Gelatine mit einem bestimmten Quantum destillierten Wassers etwa $\frac{1}{2}$ Stunde quellen, erwärmt dann bis zur völligen Lösung und filtriert die Flüssigkeit durch eine in einen Glastrichter eingelegte Schicht von reiner Baumwolle. Eine abgemessene Menge dieser Lösung wird mit der Farbstofflösung gemischt und aus einer kleinen Mensur auf die zu überziehende Glasplatte, die auf der horizontierten Spiegelglasplatte liegt, aufgegossen. Die Flüssigkeit verteilt sich leicht über die ganze Fläche, wenn man mit einem gebogenen Glasstab etwas nachhilft.

Nach Dr. E. König¹⁾ soll die Flüssigkeit etwa 6 Prozent Gelatine enthalten und ist so aufzugießen, daß 7 cm derselben auf je 1 qdm Plattenoberfläche entfallen. Die Lösung soll 40 bis 45 Grad C. haben, und der Raum, in dem das Gießen vorgenommen wird, 15 bis 20 Grad C. Bei höherer Temperatur erstarrt die Gelatine zu langsam, bei sehr niedriger zu schnell, und die Platten müssen dann eventuell etwas vorgewärmt werden.

Nach dem Trocknen werden die Platten zum Schutz der Gelatineschicht mit einer zweiten Glasplatte verkittet. Statt ein farbloses Deckglas zu benutzen, ist es besser,

1) Dr. E. König, Das Arbeiten mit farbenempfindlichen Platten. Gustav Schmidt, Berlin 1909.

zwei Filter mit nur halbem Farbstoffgehalt zu gießen und sie dann, Schicht gegen Schicht, mit Kanadabalsam zu vereinen. In dieser Weise werden etwa vorhandene kleine Fehler ausgeglichen und tadellos gleichmäßige Filterscheiben erhalten.

Für das Verkitten der Gläser gibt Dr. E. König folgende Vorschrift: Man benutzt am besten „Kanadabalsam, gereinigt für Mikroskopie“, der aber nicht zu dünn sein darf. Die zu verkittenden Gläser werden schwach angewärmt und, mit der Gelatineseite nach oben, auf eine horizontale, mit einigen Bogen Fließpapier bedeckte Unterlage gelegt. Man gießt dann eine nicht zu gering bemessene Quantität Kanadabalsam mitten auf die Scheibe, wobei man sorgfältig darauf achtet, daß nicht etwa Luftblasen entstehen. Die zweite Glasscheibe wird unter spitzem Winkel mit einer Kante auf die entsprechende Kante der horizontal liegenden Scheibe gesetzt und nun langsam geneigt, bis sie den Kanadabalsamtropfen berührt. Jetzt kann man die beiden Scheiben schneller zusammenfallen lassen. Der Balsam breitet sich schnell aus, man fängt den an den Rändern hervorquellenden Überschuß auf, um ihn aufzubewahren und ihn nach dem Verdünnen mit etwas Xylol und nach dem Filtrieren von neuem zu benutzen. Schließlich preßt man die Gläser mit den Fingern zusammen und streicht den an den Kanten noch hervorquellenden Balsam mit einem Messer ab. Man bedeckt jetzt die obere Seite des Glases mit einem Blatt Papier und beschwert mit einem Gewichte von etwa 1 kg. Damit die obere Platte nicht von der unteren herabgleitet, werden ringsherum dicht an die Kanten einige passende Metallstückchen oder dergl. gestellt. Nach 8 Tagen pflegt an einem mäßig warmen Orte die Verkittung erhärtet zu sein; die beiden Gläser lassen sich dann nicht mehr aufeinander verschieben. Man putzt die Scheiben mit Benzol oder Terpentinöl

und schließlich mit Alkohol und Ammoniak, bis die Flächen spiegelblank sind. Meist werden die Filter an den Rändern mit Papier- oder Kalikostreifen eingefasst.

Zur Herstellung von gefärbten Gelatinefolien überzieht man gereinigte, ziemlich dicke Spiegelglasplatten zunächst mit fünfprozentigem Kollodium — das man mit 1 bis 2 Prozent Rizinusöl versetzt hat —, und nach dem Trocknen dieses Überzuges wird die gefärbte Gelatine-lösung aufgegossen. Dann läßt man an einem staubfreien Orte trocknen, überzieht die Schicht wieder mit Kollodium, damit die abgezogenen Folien flach liegen, durchschneidet die Schicht an den Rändern mit einem Messer und zieht schließlich die Folie von der Glasplatte ab.

Ein anderer Weg, um Gelatinetrockenfilter herzustellen, besteht darin, daß man mit farbloser Gelatine überzogene Glasplatten, z. B. unbrauchbar gewordene Bromsilbergelatineplatten, die mit Fixiernatron behandelt und dann gewaschen wurden, in eine Farbstofflösung bringt und sie in derselben so lange beläßt, bis die Färbung die gewünschte Intensität zeigt.

Fast alle Farbstoffe sind hierzu, wie schon auf Seite 35 erörtert wurde, geeignet, aber der Vorgang ist nur für die Herstellung von Filtern anwendbar, deren Brauchbarkeit schon aus ihrem Ansehen beurteilt werden kann, was z. B. bei den zur Dunkelkammerbeleuchtung dienenden Rotscheiben der Fall ist.

Eine Vorschrift, um Filter von bestimmten Eigenschaften zu erzielen, läßt sich bei diesem Verfahren nicht geben, denn die in einer bestimmten Zeit erzielte Färbung hängt von den verschiedensten Umständen ab. Dazu kommt noch, daß bei Farbstoffmischungen ein Bestandteil oft rascher als der andere an die Gelatine anfällt, und daß also z. B. eine aus Blau und Gelb bestehende grüne Lösung viel gelber oder auch blauer färbt, als man erwartet hat.

Herstellung der Filter mit bestimmter Farbstoffdichte.

Um ein Flüssigkeitsfilter von bestimmter Farbstoffdichte für eine 10 mm weite Küvette herzustellen, hat man die dieser Dichte gleiche Anzahl Gramm des Farbstoffes in 10 Litern Wasser zu lösen, bzw. $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{100}$ dieser Farbstoffmenge in 1000 oder 100 ccm. Beträgt die Weite der Küvette nur 5 mm, so ist die Farbstoffmenge zu verdoppeln, für eine Küvette von 20 mm ist sie zu halbieren, usw. Wie auf Seite 32 erörtert wurde, gilt aber diese Proportionalität zwischen Farbstoff, Konzentration und Küvettenweite nur für verdünnte Lösungen.

Für ein Trockenfilter ist die gleiche Farbstoffmenge in 700 ccm Gelatinelösung zu benutzen, denn diese Flüssigkeitsmenge ist für das Überziehen von 1 qm Filterfläche erforderlich.

Ist z. B. ein Blaufilter von der Dichte 1,6 herzustellen und soll dabei eine vorrätige Kristallviolettlösung 1:25 benutzt werden, so mischt man

Gelatinelösung 8:100	66 ccm	} 70 ccm.
mit Farbstofflösung	4 „	

Gießt man pro Quadratdezimeter Glasfläche 7 ccm dieser Farbstoffgelatine auf, so resultiert das gewünschte Filter von der Farbstoffdichte 1,6.

Das auf Seite 52 besprochene Autochromfilter besteht aus Filtergelb 0,6 und Echtrot 0,07. Man mischt daher:

Filtergelb 1:100	6 ccm,
Echtrot D 1:1000	7 „
Gelatinelösung 8:100	57 „

und benutzt diese Lösung zum Überziehen der Glasplatten.

Um Schichten von hoher Dichte herzustellen, kann man den festen Farbstoff auch direkt der warmen Gelatinelösung zufügen. Soll z. B. ein Naphtholgrünfilter von der Dichte 8 angefertigt werden, so versetzt man:

Gelatinelösung 8 : 100 90 ccm
mit Naphtholgrün 1 g
und benutzt die Flüssigkeit nach vollständiger Lösung
des Farbstoffes zum Übergießen der Glasplatten.

Sind bei der Herstellung eines Filters mehrere
Farbstoffe erforderlich, so ist es oft zweckmäßig, sie in
einer Vorratslösung zu vereinen. Für das auf Seite 56
angegebene Grünfilter, bestehend aus Patentblau 0,7
+ Tartrazin 2,5, benutzt man z. B. die Vorratslösung:

Patentblau 0,7 g } in 100 ccm Wasser
Tartrazin . 2,5 „ }

und mischt dann zur Filterherstellung:

Gelatinelösung 6 : 100 60 ccm
mit Farbstofflösung 10 „

Sollen in einem Filter zwei Farbstoffe kombiniert
werden, die sich als Lösungen nicht mischen lassen, weil
sie sich unter Bildung eines in Wasser unlöslichen Nieder-
schlages vereinen, so überzieht man mit jedem der beiden
Farbstoffe eine Glasplatte und vereint dann beide durch
Verkitten mit Kanadabalsam. Dieser Fall tritt z. B. ein
bei der Herstellung des oben angegebenen Blaufilters mit
Hilfe von Patentblau und Kristallviolett, da diese Farb-
stoffe beim Mischen ihrer Lösungen einen Niederschlag
bilden.

Um das auf Seite 56 erwähnte Blaufilter: Kristall-
violett 1,0 + Patentblau 1,6, herzustellen, übergießt man
eine Glasplatte mit

Gelatinelösung 6 : 100 60 ccm,
Kristallviolettlösung 1 : 100 10 „

und eine zweite mit

Gelatinelösung 10 : 100 33 ccm,
Patentblaulösung 1 : 250 40 „

und verkittet die beiden Platten zu einem Filter.

III. Die photographischen Lichtfilter.

Die in der Photographie benutzten Lichtfilter kann man nach Dr. Grebe¹⁾ in folgende Gruppen teilen:

1: Monochromatische Filter, welche nur einheitlich gefärbte Strahlen des Spektrums durchlassen sollen, und die bei der Mikro- und Astrophotographie benutzt werden.

2. Schutzfilter, die zur Beleuchtung der photographischen Dunkelkammern dienen, also die lichtempfindlichen Präparate gegen die schädliche Einwirkung gewisser Lichtstrahlen schützen sollen.

3. Kompensationsfilter²⁾, welche die spektrale Farbenempfindlichkeit einer photographischen Platte derart ausgleichen sollen, daß das Kolorit des Originals in einer bestimmten Abschattierung abgebildet wird, die also keine sichtbare Spektralzone gänzlich auslöschen, sondern nur dämpfend wirken dürfen. Da die photographischen Platten stets eine übertrieben hohe Empfindlichkeit für blaue und violette Strahlen besitzen, so dienen zum Ausgleich der Farbenempfindlichkeit meistens gelbe Filter, und alle bei der Landschaftsphotographie und Gemäldereproduktion gebräuchlichen Gelbscheiben zählen in die Gruppe der Kompensationsfilter.

1) „Photographische Korrespondenz“ 1900, S. 612.

2) Dr. Grebe unterscheidet neben den Kompensationsfiltern noch sogen. „Kontrastfilter“ als eigene Gruppen. Es dürfte aber zweckmäßiger sein, diese Filter, zu welchen z. B. die dunklen Gelbscheiben bei der Landschaftsphotographie gehören, gleichfalls den Kompensationsfiltern zuzuzählen.

4. Selektionsfilter sind jene Filter, welche nur eine ausgewählte Gruppe von farbigen Strahlen — eine in bestimmter Form abgegrenzte Spektralzone — durchlassen, alle anderen Teile des Spektrums aber völlig absorbieren. Man benutzt diese Filter bei der Dreifarbenphotographie, um auf photographischem Wege gewisse Farbengruppen des Originals von anderen zu trennen.

1. Monochromatische Filter.

Filter, die nur Strahlen einer Farbe, also nur Strahlen einer bestimmten Wellenlänge durchlassen, gibt es natürlich nicht, und man vermag nur annähernd monochromatische Filter mit Hilfe von Farbstoffschichten herzu-

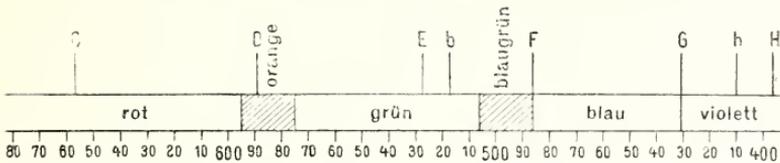


Fig. 14.

stellen, die das ganze auffallende Licht bis auf einen schmalen Ausschnitt des Spektrums absorbieren. Das durch solche Filter tretende Licht ist aber selbstverständlich ein Gemisch von vielleicht sehr ähnlich, aber keineswegs gleich gefärbten Strahlen, und wegen der ungleichmäßigen Verteilung der Farben im Spektrum sind auch solche annähernd monochromatische Filter nur für gewisse Farben möglich.

Wie nämlich die schematische Darstellung Fig. 14 zeigt, enthält das Spektrum wohl eine ziemlich ausgedehnte und fast homogen gefärbte rote, grüne und blaue Zone, dagegen ist reines Gelb kaum vorhanden, und die Übergangsfarben Orange und Blaugrün weisen in schmalen Zonen einen reichen Farbenwechsel auf. Daher lassen sich ziemlich monochromatische rote, grüne und blaue Filter herstellen, es ist aber ausgeschlossen, die

äußerst schmale gelbe Zone durch die stets verlaufend abgeschattierten Absorptionsbänder der Farbstoffe zu begrenzen, und ebensowenig läßt sich ein homogener gefärbter Streifen aus einer der Übergangszonen isolieren.

Das hinter *G* gelegene Violett besitzt dagegen ebenso wie das Rot außerhalb der *C*-Linie im ganzen Verlaufe den gleichen Farbenton, und daher sind auch fast völlig monochromatische, allerdings aber sehr dunkle Filter für diese Farben möglich.

Für monochromatische Filter eignen sich nur Farbstoffe mit steil abfallenden Absorptionsbändern, und sie müssen in hoher Konzentration, tunlichst nahe der Absorptionsgrenze, verwendet werden, damit die Spektralzone scharf begrenzt wird und nicht weiche, verwaschene Ränder entstehen. Bei scharfen Grenzen sind überdies die vom Filter durchgelassenen Strahlen fast unabhängig von der Intensität und Zusammensetzung des auffallenden weißen Lichtes, was bei einer allmählich verlaufenden Begrenzung nicht der Fall ist.

Monochromatische Rotfilter sind leicht herzustellen, da das Absorptionsband vieler Farbstoffe einen schroffen Abfall gegen die rote Spektralzone zeigte. Um die gesamten roten Strahlen, von $600 \mu\mu$ angefangen, zu isolieren, kann man z. B. eine konzentrierte Lösung von Rose bengale oder Säurerhodamin mit Filtergelb oder Tartrazin, oder mit diesen Farbstoffen stark gefärbte Gelatinefolien benutzen, und ein Filter, das nur die dunkle, zwischen *C* und *B* gelegene Strahlenzone durchläßt, kann durch Kombination dieses Rotfilters mit Kristallviolett gebildet werden.

Ungleich schwieriger ist es, die grüne Zone des Spektrums scharf begrenzt zu isolieren, da uns ein blauer oder grüner Farbstoff mit einer steil im Gelbgrün abfallenden Absorption fehlt. Relativ am besten verhalten sich — wie schon Seite 56 besprochen wurde —

das Patentblau und Säuregrün F, die man mit Tartrazin mischt. Dieser gelbe Farbstoff eignet sich für solche Grünmischungen besser als Filtergelb, und das Patentblau besitzt die zuweilen erwünschte Eigentümlichkeit, daß es fast das ganze spektrale Rot absorbiert.

Für Blaufilter benutzt man Mischungen von Kristallviolett + Patentblau oder Rhodamin + Patentblau, die es möglich machen, das Strahlengebiet 435 bis 480 zu isolieren. Das Kristallviolett begrenzt den Ausschnitt gegen Grün zu, während das Patentblau das Violett und das diesem nächstgelegene Ultraviolett absorbiert (Seite 46).

Violettfilter lassen sich mit Hilfe von konzentrierten Kristallviolettschichten bilden, die man zur Absorption der roten Strahlen mit etwas Toluidinblau und zur Beseitigung des Ultravioletts mit schwefelsaurem Chinin kombiniert.

Ein solches Flüssigkeitsfilter für eine 10 mm-Küvette kann man in folgender Weise zusammensetzen:

Kristallviolett 1 : 1000 .	6 ccm,	}	entsprechend	{	6,0
Chininlösung 1 : 20 .	2 „		den Farb-		100,0
Toluidinblau 1 : 1000 .	2 „		stoffdichten		2,0

Gelbe, orangerote, gelbgrüne und blaugrüne Filter, die als annähernd monochrom gelten sollen, lassen sich, wie schon erwähnt, nicht herstellen. Handelt es sich aber lediglich um ein Filter, das nur eine schmale, wenn auch nicht einheitlich gefärbte Spektralzone durchläßt, so lassen sich unschwer passende Kombinationen finden. Für mikrographische Zwecke benötigt man z. B. oft ein blaugrünes Filter, das nur die zwischen *b* und *F* gelegenen Strahlen durchläßt, und das man mit Hilfe von Säuregrün F oder durch Mischung von Patentblau + Filtergelb herstellen kann.

2. Schutzfilter.

Die Beleuchtung der photographischen Dunkelkammer erfolgt bekanntlich durch irgendeine Lichtquelle, der man

ein farbiges Medium vorschaltet, das man als „Schutzfilter“ bezeichnet, und das nur Strahlen durchläßt, die für das lichtempfindliche Präparat fast unwirksam sind.

Ganz unwirksame Strahlen gibt es nicht, denn das Empfindlichkeitsmaximum der photographischen Platte liegt zwar in der blauen Spektralzone, aber auch alle anderen Strahlen veranlassen bei genügend langer Wirkung eine beim Entwickeln wahrnehmbar werdende Veränderung des Bromsilbers.

Man muß es daher stets vermeiden, die Platte zwecklos dem Dunkelkammerlichte auszusetzen, und je geschickter in dieser Beziehung der Operateur ist, bei desto hellerem Lichte kann er arbeiten. Es ist ja bekannt, daß man bei entsprechender Vorsicht Bromsilbergelatineplatten auch bei gelbem Licht entwickeln kann, und vor einigen Jahren wurden Lampen mit sechsprozentiger Kaliumdichromatlösung als Schutzfilter vielfach empfohlen. Der Anfänger dagegen braucht einen nur schwach beleuchteten Raum, denn er muß die Platte wiederholt längere Zeit in der Nähe der Lichtquelle betrachten, um den Fortgang der Entwicklung zu erkennen. So wird die Dunkelkammerbeleuchtung nicht nur durch die Empfindlichkeitsverhältnisse der photographischen Platte bestimmt, sondern sie hängt auch wesentlich von den persönlichen Eigentümlichkeiten des Operateurs ab.

Die Farbe der Schutzfilter muß selbstverständlich der Intensität und spektralen Beschaffenheit der Lichtquelle angepaßt werden. Ein z. B. für elektrisches Licht vollkommen brauchbares Schutzfilter genügt nicht bei einer Beleuchtung mit Tageslicht, und oft auch dann nicht, wenn man die Lichtstärke desselben mit Hilfe durchscheinender Medien, wie Mattgläser, Papier usw. auf die Intensität der Glühlampe herabsetzt. Man muß vielmehr für das Tageslicht ein anderes, im allgemeinen dunkleres Schutzfilter benutzen.

Sonst ist das Vorschalten der erwähnten durchscheinenden Schichten ein sehr zweckmäßiges Mittel, um eine nicht ganz sichere Dunkelkammerbeleuchtung zu verbessern.

Im allgemeinen wird man, besonders bei der Benutzung von Tageslicht, gefärbte Gelatineschichten tunlichst vermeiden, denn kein Farbstoff — und sei er der beste — vermag mit dem Rubinglas zu konkurrieren. Bei Dunkelkammerlampen mit künstlichen Lichtquellen sind aber Gelatinefilter recht zweckmäßig, vorausgesetzt, daß es möglich ist, eine übermäßige Erhitzung derselben zu vermeiden.

Bei wenig empfindlichen Präparaten, wie nassen Kollodiumplatten und Auskopierpapieren, die schon für grüne Strahlen kaum mehr empfindlich sind, genügen gelbe Schutzfilter. Bei elektrischer Glühlampenbeleuchtung entspricht eine mit Tartrazin gefärbte Gelatinefolie von der Farbstoffdichte 10, während man bei der Verwendung von Tageslicht, das reichlich violette und ultraviolette Strahlen enthält, besser Filtergelbgeleatine, kombiniert mit Naphtholorange, benutzen wird, wobei die Farbstoffdichten mit etwa 20 und 5 zu wählen sind.

Die Bromsilbergelatineplatten zeigen dagegen auch für die grünen Strahlen des Spektrums noch eine ziemlich hohe Empfindlichkeit, und erst die vor der *D*-Linie, bei $\lambda = 600 \mu\mu$ liegenden Strahlen sind so wenig wirksam, daß sie für die Beleuchtung des Arbeitsraumes in Betracht kommen.

Derartige, die ganze rote Spektralzone durchlassende Schichten sind aber nur für die gewöhnliche photographische Platte brauchbar, während die grün- oder rotempfindliche Platte Schutzfilter von wesentlich anderer Beschaffenheit fordert.

Um ein Urteil über die Brauchbarkeit der verschiedenen Dunkelkammerscheiben zu gewinnen, ist es not-

wendig, ein Maß für den Schutz aufzustellen, welchen sie der photographischen Platte gewähren müssen. Die Erfahrung lehrt in dieser Beziehung, daß man eine Dunkelkammerbeleuchtung als „sicher“ bezeichnen kann, wenn die zu schützende photographische Platte im Abstände von 50 cm von der Lichtquelle, während 30 Sekunden belichtet, beim Entwickeln keine Schwärzung zeigt, und daß beim Zustandekommen einer geringen, aber doch deutlichen Schwärzung die Beleuchtung noch als „brauchbar“ gelten kann.

Eine andere sehr wichtige Eigentümlichkeit der Dunkelkammerbeleuchtung ist die Helligkeit, und als Maß für dieselbe kann jene Entfernung von der Lichtquelle dienen, bei der noch gewisse Details gesehen werden, also z. B. eine Schrift von bestimmter Größe noch gelesen werden kann. Diese Entfernung soll hier mit h bezeichnet werden.

Die nachstehenden Vorschriften für die Herstellung von Gelatineschutzfiltern gelten für eine 16 Kerzen-Glühlampe, und weiter unten sollen dann die bei Benutzung von Tageslicht notwendigen Abänderungen der Filter besprochen werden.

1. Rotfilter.

a) Beim Verarbeiten gewöhnlicher Platten können Schutzfilter verwendet werden, welche die ganze rote Zone des Spektrums — von der Wellenlänge 600 $\mu\mu$ angefangen — durchlassen. Wie schon Seite 53 erörtert wurde, entspricht dieser Bedingung eine Echttrot-Tartrazinschicht, und eine aus diesen Farbstoffen bestehende Mischung wird auch von den Höchster Farbwerken als „Rot für Dunkelkammerlicht“ in den Handel gebracht.

Man benutzt entweder diesen Farbstoff oder ein Gemenge von gleichen Teilen Echttrot D und Tartrazin und überzieht die Glasplatten mit

70 ccm Gelatinelösung 8 : 100 + 1 g Farbstoff

derart, daß 7 cm dieser Flüssigkeit auf 1 qdm Glasfläche entfallen.

Die mit Hilfe solcher Filter erzielte Beleuchtung ist so hell, daß auf 1,5 m Entfernung von der Lampe noch eine mittlere Druckschrift — also etwa der Text dieses Buches — gelesen werden kann, und doch kann sie als „sicher“ angesehen werden.

b) Für orthochromatische, also gelbgrünempfindliche Platten, die auch für das gelbliche Rot ziemlich empfindlich sind, ist diese Beleuchtung nicht brauchbar. Sie fordern Rotfilter, welche nur die Strahlen, von 630 $\mu\mu$ angefangen, durchlassen, und soll die Beleuchtung „sicher“ sein, so darf die Zone der durchgelassenen Strahlen nur bis 650 $\mu\mu$ reichen. Filter von dieser Beschaffenheit lassen sich leicht durch Kombination des obigen Rotfilters mit Kristallviolettsschichten von der Dichte 0,5 bis 1,0 herstellen. Man mischt zu diesem Zwecke

Gelatinelösung 6:100 60 ccm

mit Kristallviolett-Kupferlösung 1:100

(Seite 48) 5—10 ccm

und übergießt damit die Glasplatten (7 cm pro Quadratdezimeter).

An Stelle des Kristallvioletts kann man auch Filterblau benutzen, und zwar muß dieser Farbstoff, wie die Absorptionskurven zeigen, in der Dichte 1,5 bis 4,0 angewendet werden.

Das Filter mit niederem Violettgehalt ist noch ziemlich hell ($h = 0,25$ m), liefert aber eine nur „brauchbare“ Beleuchtung, fordert somit eine ziemlich vorsichtige Behandlung der Platten, während das Filter mit höherem Violettgehalt eine tief dunkelrote Farbe zeigt und eine zwar wenig helle, aber sichere Beleuchtung ermöglicht.

Statt das Filter aus einer Rot- und Violettscheibe zu bilden, kann man auch die Farbstoffe in der Gelatine mischen, wobei das Echrot ganz entfallen kann, da sich,

wie die Absorptionskurven (Beilage I) zeigen, Kristallviolett 0,4 mit Tartrazin sehr gut ergänzen, wenn man die Dichte des letzteren mit etwa 5 wählt. Echtrot muß in diesem Falle überhaupt vermieden werden, da es mit Kristallviolett einen in Wasser unlöslichen Niederschlag bildet.

Als Vorschrift für die Farbgelatine zur Herstellung der Dunkelrotfilter ergibt sich daher:

Gelätinelösung 8:100 53 ccm,
Tartrazinlösung 1:25 12 „
Kristallviolett-Kupferlösung 1:100 5—10 ccm.

c) Rotempfindliche Platten sind gewöhnlich bei einer grünen Dunkelkammerbeleuchtung leichter zu behandeln, doch hängt dabei viel von den Empfindlichkeitsverhältnissen der Platte und der Geschicklichkeit bei Handhabung ab. So läßt sich z. B. die Autochromplatte bei einiger Vorsicht ganz anstandslos bei einer Lampe einlegen und entwickeln, die mit der oben erwähnten Rotscheibe — mit höherem Violettgehalt — versehen ist, während diese Beleuchtung für rotempfindliche Badepplatten kaum verwendbar ist.

2. Grünfilter.

a) Grünfilter sind für gewöhnliche Platten vielfach empfohlen worden, konnten sich aber keinen allgemeinen Eingang verschaffen, hauptsächlich wohl aus dem Grunde, weil die grüne Dunkelkammerbeleuchtung nur von geringer Helligkeit sein darf. Allerdings ist die optische Helligkeit der grünen Strahlen etwa zehnmal so groß als jene der roten, da aber die photographische Platte für die ersteren vielleicht 20 bis 30 mal so empfindlich ist, so darf das grüne Licht nur $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ der Helligkeit des roten besitzen, wenn beide gleich unaktiv sein sollen.

Die relativ besten Resultate dürfte noch das von Dr. E. König für diese Zwecke empfohlene Dunkelrot-

grün (Seite 45) ergeben, da dieser Farbstoff nebst den grünen auch viele rote Strahlen durchläßt, wodurch eine ziemlich unaktinische und für das Auge sehr angenehme, gelbliche Beleuchtung entsteht.

Zur Herstellung solcher Schutzfilter mischt man
Gelatinelösung 6:100 60 ccm
mit Dunkelrotgrünlösung 6:100 . . . 10—14 ccm
und überzieht Glasplatten mit dieser Farbgelatine (7 ccm pro Quadratdezimeter).

Die Schicht mit niederem Farbstoffgehalt liefert, wie Seite 45 erwähnt, eine mattgelbliche, für gewöhnliche Platten „brauchbare“ Beleuchtung von der Helligkeit $h = 0,90$ m. Dieses Licht ist also bedeutend weniger hell als das oben unter 1a erwähnte Rotlicht, und doch fordert es eine vorsichtigeren Behandlung der Platten.

Soll die Beleuchtung „sicher“ sein, so muß man Filter mit dem höheren Farbstoffgehalt wählen, die Licht von orangeroter Farbe und verhältnismäßig recht geringer Helligkeit ($h = 0,3$ m) durchlassen.

Die Beleuchtung mit einem Gemisch von roten und grünen Strahlen bietet also, abgesehen von der allerdings sehr angenehmen Farbe, keinen Vorteil, hat aber den Nachteil, daß sie für orthochromatische Platten ganz ungeeignet ist.

b) Für diese gelbgrünempfindlichen Platten ist überhaupt keinerlei Grünfilter zu empfehlen, denn dieses müßte so dicht gewählt werden — etwa Dunkelrotgrün 18 —, daß eine Kontrolle bei der Entwicklung ganz ausgeschlossen ist, während das oben erwähnte verhältnismäßig helle Rotfilter ein bequemes und sicheres Arbeiten gestattet.

c) Für rotempfindliche Platten ist dagegen, wie schon oben erwähnt, die grüne Beleuchtung der roten vorzuziehen, und zwar hat man dabei jene grünen Strahlen zu benutzen, für welche die Platten die geringste

Empfindlichkeit besitzen. Die Photographie des Spektrums auf solchen Platten zeigt nämlich stets zwischen b und F ein Empfindlichkeitsminimum, das bei gewissen Sensibilisatoren sehr deutlich ausgebildet ist, und die zur Beleuchtung dienenden Filter sollen daher nur diese Strahlungsgattung durchlassen, müssen also von bläulichgrüner Farbe sein. Dieser Bedingung entsprechen, wenn man auch die Lichtbeständigkeit der Farbstoffe berücksichtigt, Mischungen von Naphtholgrün mit Filterblau am besten.

Bei der Pinazyanolplatte ist die Grünempfindlichkeit so gering, daß ihre Verarbeitung bei einem ziemlich hellen Grünfilter — Naphtholgrün 6 + Filterblau 0,2 — anstandslos erfolgen kann.

Um das Filter herzustellen, benutzt man zum Überziehen der Glasplatte nachstehende Farbgeleatine:

Gelatinelösung 8 : 100	120 ccm,
Naphtholgrün	1 g,
Filterblaulösung 1 : 100	4 ccm.

Die so erzielte Dunkelkammerbeleuchtung ist ziemlich hell ($h = 0,15$ m) und für die erwähnte Plattensorte und ebenso für die Autochromplatte beinahe sicher.

Für die anderen rotempfindlichen Platten ist es aber ausgeschlossen, eine genügend unaktinische Beleuchtung zu ermitteln, und man muß solche Platten stets mit äußerster Vorsicht behandeln.

Ein für ihre Verarbeitung brauchbares Grünfilter besteht aus Naphtholgrün 8,0 + Filterblau 0,3, das man erhält, wenn man in der oben angegebenen Vorschrift die Gelatinelösung auf 90 ccm restringiert. Die Helligkeit der mit diesem Filter erzielten Dunkelkammerbeleuchtung ist allerdings nur sehr gering ($h = 0,05$ m), sie ist aber doch etwas günstiger, wie eine ebenso unaktinische Rotbeleuchtung, die man mit einem Rotfilter 1 a, kombiniert mit einer dunklen Violett- oder Dunkelrotgrünscheibe, erzielen kann.

Auch das Lumière'sche Viridinpapier, das als Schutzfilter bei der Verarbeitung der Autochromplatten empfohlen wurde, liefert keine hellere Beleuchtung, die aber viel weniger sicher ist und in dieser Beziehung kaum dem Grünfilter mit niederem Blaugehalt entspricht.

Man findet daher mit vier Filtern in allen Fällen das Auslangen: Ein helles Rotfilter benutzt man für gewöhnliche und mit einem violetten Ergänzungsfilter für orthochromatische Platten, dann benötigt man eine helle Grünscheibe für die Verarbeitung von Pinazyanol- und Autochromplatten und ein dunkles Grünfilter für panchromatisch sensibilisierte Badeplatten. Eventuell genügt auch das Violettrotfilter für gewöhnliche und orthochromatische, und das dunkle Grünfilter für alle rotempfindlichen Platten.

Erfolgt die Beleuchtung der Dunkelkammer durch Tageslicht, so ist es schwer, bestimmte Vorschriften für die notwendigen Schutzfilter anzugeben, da ja das auf das Laboratoriumsfenster fallende Licht sehr verschieden sein kann. Im allgemeinen wird man sämtliche Schutzscheiben dunkler zu wählen haben, und ein allzu grelles Licht ist überdies mit Mattscheiben oder mit weißem Papier entsprechend zu dämpfen.

Für gewöhnliche Platten benutzt man das unter 1b, Seite 76, angegebene Dunkelrotfilter mit niederem Violettgehalt, und für orthochromatische Platten wird dasselbe noch mit einem Violettfilter kombiniert.

Für Pinazyanol- und Autochromplatten werden die Grünfilter nach der unter 2c angegebenen Vorschrift hergestellt, nur restringiert man die Gelatinelösung auf 100 ccm und für alle anderen rotempfindlichen Badeplatten auf 80 ccm.

Bei der Beleuchtung der Dunkelkammer können auch Flüssigkeitsfilter benutzt werden, und besonders zu empfehlen sind in dieser Beziehung die von Dr. Stenger

angegebenen elektrischen Lampen, bei welchen die Glühbirne nicht direkt in die Flüssigkeit taucht, sondern zunächst von einem Luftmantel und dann von der mit der Filterflüssigkeit gefüllten Glasglocke umgeben ist. Dadurch wird eine übermäßige Erhitzung der Flüssigkeit vermieden.

Für Bromsilberpapiere und Diapositivplatten benutzt man eine Lösung von Natriumbichromat 1:5 in Wasser, für Trockenplatten wird eine Lösung, bestehend aus:

Wasser	1000 ccm,
Kaliumdichromat	100 g,
und Säureviolett	0,2 g,

empfohlen. Der letztgenannte Farbstoff kann mit der Lampe bezogen werden.

Sollen die oben angegebenen Vorschriften für trockene Schutzfilter für Flüssigkeitsfilter umgestaltet werden, so kann das in folgender Weise geschehen:

Das unter 1a angegebene Rotfilter läßt sich auf Grund der Seite 60 angestellten Erwägungen durch eine Lösung von

15 g Echtrot + 5 Tartrazin in 10 Liter Wasser ersetzen, und da die Dicke der Flüssigkeitsschicht bei der Stengerschen Lampe 2,5 cm beträgt, so genügt diese Farbstoffmenge für 25 Liter Flüssigkeit.

Zur Herstellung der Rotlösung hat man daher

Echtrotlösung 1:100	60 ccm
und Tartrazinlösung 1:100	20 „
mit Wasser	900 „

zu mischen.

Für orthochromatische Platten benutzt man entsprechend der Vorschrift 1b:

Tartrazinlösung 1:100	80 ccm,
Kristallviolettlösung 1:100	2—6 ccm
mit Wasser	900 ccm.

Grünfilter: Für gewöhnliche Platten sind

Dunkelrotgrünlösung 6:100 4 ccm

mit Wasser 1000 „

zu mischen, und für Pinazyanol-, Dizyanin- und Autochromplatten:

Naphtholgrünlösung 1:100 24 ccm,

Filterblau 1:1000 7 „

mit Wasser 1000 „

Rotempfindliche Badeplatten fordern ein intensiveres Filter und daher restringiert man den Wassergehalt auf 750 ccm.

3. Kompensationsfilter.

Die Helligkeit, mit der die Farben eines Originals photographisch abgebildet werden, hängt von der Farbenempfindlichkeit der Platte ab, also von der Wirkung, welche die verschieden gefärbten Strahlen des Spektrums auf die lichtempfindliche Schicht auszuüben vermögen.

In dieser Beziehung sind besonders zwei Fälle der Farbenempfindlichkeit von praktischer Bedeutung: Entweder ist die Empfindlichkeit der Platte proportional der spezifischen Helligkeit der Spektralfarben oder die Plattenempfindlichkeit ist für alle Strahlen des Normalspektrums die gleiche. Mit einer photographischen Platte von der Farbenempfindlichkeit der ersteren Art — die man als „orthochromatische“ Platte bezeichnet — wird das Kolorit eines Objektes in Grautöne umgesetzt, welche die den einzelnen Farben eigentümliche Helligkeit zeigen, während die zweite Art von farbenempfindlichen sogen. isochromatischen Platten alle Pigmente beinahe gleich hell abbildet, also die in der Schwarzphotographie für das Kolorit charakteristischen Kennzeichen vernichtet.

Außer diesen beiden wohldefinierten Systemen der photographischen Farbumsetzung ist noch eine dritte, mehr willkürliche Abbildungsart der Farben möglich, die

darin besteht, daß man bestimmte Farben, ohne Rücksicht auf ihren natürlichen Tonwert, deutlicher hervorhebt, sie also auf Kosten der anderen besonders betont.

Da es nicht möglich ist, den photographischen Platten die gerade notwendige Empfindlichkeit für die verschiedenen Strahlen des Spektrums zu erteilen, so müssen immer Filter benutzt werden, welche die Unvollkommenheit der Sensibilisierung beseitigen. Sollen die Farben des Originals in ihrer natürlichen Helligkeit abgebildet werden, so bezeichnet man das zur Verwendung kommende Filter als „tonrichtig“; handelt es sich um eine Platte mit gleicher Empfindlichkeit für alle Farben des Spektrums, so benutzt man ein „Komplementärfilter“, und soll eine Farbe besonders deutlich hervorgehoben werden, so kommen „Kontrastfilter“ zur Verwendung.

Alle diese Filter tragen die Charakteristik der Kompensationsfilter, denn sie gleichen die Farbenempfindlichkeit der Platte nach einem gewissen Gesetze aus.

Die Gruppe der Kompensationsfilter zerfällt daher in tonrichtige, Komplementär- und Kontrastfilter.

Sobald es sich um eine systematische Umsetzung von Farben in Grautöne handelt, ist jedoch zu beachten, daß die Eigentümlichkeiten der Farben, besonders der mehr oder minder helle Eindruck, den sie hervorrufen, von verschiedenen Umständen abhängt. So ist die Farbe der Beleuchtung von großem Einflusse auf die Helligkeit der Pigmentfarben, und ein Filter, das bei Tageslicht ein tonrichtiges Bild gibt, vermag bei elektrischer Beleuchtung dieser Forderung nicht mehr zu entsprechen. Aber auch die Schwankungen in der Tageslichtfarbe sind viel größer als man meist annimmt und verursachen daher ganz bedeutende Verschiebungen in der Helligkeit der Farben.

Weiter hat man zu berücksichtigen, daß auch die Intensität der Beleuchtung in dieser Beziehung einen wesentlichen Einfluß ausübt. Wählt man ein Rot und

Blau derart, daß beide bei mittlerer Beleuchtung einen gleich hellen Eindruck machen, so wird bei zunehmender Beleuchtungsintensität das Rot heller erscheinen, und restringiert man die Beleuchtungsintensität, so zeigt das Blau die größere Helligkeit. Diese Erscheinung wird als Purkinjesches Phänomen bezeichnet und macht sich auch bei den Spektralfarben geltend. In einem lichtstarken Spektrum erscheint das Gelbgrün am hellsten, verringert man aber die Lichtstärke, etwa durch Verschmälerung des Spalts, so rückt das Maximum der Helligkeit gegen das blaue Ende des Spektrums und liegt dann im bläulichen Grün.

Die tonrichtigen und Komplementärfilter sind daher von der Farbe und Intensität der Beleuchtung abhängig, und es soll hier angenommen werden, daß die Filter für weißes Licht (Sonnenlicht oder das von weißen Wolken reflektierte Licht) und für die Helligkeit eines guten Atelierlichtes gelten sollen.

a) Tonrichtige Filter.

Mit Hilfe eines tonrichtigen Filters soll das Kolorit derart in Schwarz-Weißtöne umgesetzt werden, daß die im Original wahrnehmbaren Helligkeitsunterschiede der Farben in gleichem Maße auch im photographischen Bilde zur Darstellung kommen.

Diese Art der Farbenabbildung entspricht in der Praxis gewöhnlich am besten, nicht nur bei der Reproduktion von Gemälden, sondern auch bei der Landschaftsphotographie, obwohl man in gewissen Fällen, die später noch erörtert werden sollen, auch zur Verwendung anderer Filter gezwungen ist.

Da wir die Helligkeit der Farben nur unsicher abzuschätzen vermögen, so ist die Ermittlung eines tonrichtigen Filters keineswegs leicht, und wir sind aus den mit einem Filter erzielten Resultaten auch gar nicht im-

stande, zu erkennen, ob dasselbe den gestellten Forderungen tatsächlich entspricht.

Man kann z. B. mit Sicherheit behaupten, daß gelbes Licht heller als blaues erscheint, schwieriger ist es schon, in dieser Beziehung zwischen Rot und Grün zu entscheiden, und der Aufgabe, aus einer Reihe grauer Papiere jenes auszuwählen, das ebenso hell wie eine bestimmte Farbe erscheint, stehen wir ratlos gegenüber.

Man hat daher versucht, auf Grund theoretischer Erwägungen jenes Gelbfilter zu ermitteln, das den Forderungen der orthochromatischen Photographie am besten entspricht, das also die Farben des Originals einwandfrei in richtige photographische Grautöne umsetzt.

So war man bemüht, dieses Problem auf Grund der bekannten Helligkeitsverhältnisse der Spektralfarben zu lösen, und Dr. H. Lehmann hat diesen Weg mit Erfolg betreten, um eine Kontrolle und Klassifikation der Zeißschen Gelbscheiben zu ermöglichen.

Viel bequemer und sicherer läßt sich das tonrichtige Filter durch Probeaufnahmen von Pigmentfarben bestimmen.

P. Pichier¹⁾ benutzte zu diesem Zwecke eine große Zahl der verschiedensten Farben, deren gegenseitige Helligkeit abgeschätzt wurde, und suchte dann jenes Filter, welches eine mit dieser Schätzung tunlichst übereinstimmende Umsetzung der Farben in Grautöne ermöglicht. Die große Zahl der Farben schützt gegen grobe Fehler bei der Schätzung, weil unrichtig beurteilte Farben aus der Reihenfolge fallen, als Fehler erkannt und weiter nicht berücksichtigt werden.

Da aber auch das gegenseitige Abschätzen der Farbenhelligkeiten recht unsicher ist, so ist es besser, für den gedachten Zweck mit Farbe überzogene Papiere zu verwenden, deren Helligkeit man im Vergleiche mit der

1) „Der Amateur“ 1908.

Helligkeit des weißen Papiers zahlenmäßig festgestellt hat. Zur Abstimmung des Filters genügen dann vier bis sechs ungefähr symmetrisch im Farbenkreis liegende Farben. Man kombiniert sie mit grauen Papieren von gleicher Helligkeit und hat dann das Filter so zu wählen, daß die farbigen mit den zugehörigen grauen Flächen gleich hell abgebildet werden.

Die Helligkeit gefärbter Papiere läßt sich einfach und ziemlich sicher nach einer von Abney¹⁾ angegebenen Methode ermitteln, der die Erfahrung zugrunde liegt, daß bei stark herabgesetzter Beleuchtung alle farbigen Objekte farblos erscheinen und dann leicht mit grauen Tönen vergleichbar sind.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß, wie oben erwähnt, die Helligkeit farbiger Lichter von ihrer Intensität abhängt und daß sich nur gelbgrünes Licht in dieser Beziehung gleich dem weißen verhält. Daraus folgt, daß die bei herabgesetzter Beleuchtung ermittelte Helligkeit nur bei gelbgrünen Papieren — und sehr angenähert auch bei gelben und grünen — für die normalen Beleuchtungsverhältnisse gilt und daß dieses Hilfsmittel bei roten und blauen Tönen nicht anwendbar ist.

Es genügt aber auch vollkommen, wenn man die Helligkeit eines gelben und grünen Papieres kennt, weil man dann am Farbenkreisel Relationen mit allen anderen Farben aufstellen und aus diesen ihre Helligkeiten berechnen kann.

In dieser Weise²⁾ wurden die Helligkeiten von sechs farbigen Papieren ermittelt, die sich, wenn man die Helligkeit des weißen Papieres mit 100 annimmt, durch folgende Zahlen ausdrücken lassen:

1) Eder, Handbuch der Photographie 1902, Bd. 3, S. 283.

2) Das Verfahren ist in den „Wiener Mitteilungen“ 1909, S. 359, eingehend beschrieben.

Weiß	100		
Gelb	51	Zinnoberrot	23
Orange	45	Purpur	11
Gelbgrün	41	Ultramarinblau	7

Weiter wurden sechs graue Papiere — aus verschieden dunkel kopierten Platinpapieren — von eben solcher Helligkeit ausgewählt, was bei Benutzung des Farbenkreisels keine Schwierigkeiten bietet, und mit den farbigen zu einer Farbentafel vereint, deren photographische Abbildung aus Fig. 15 ersichtlich ist. Sie zeigt

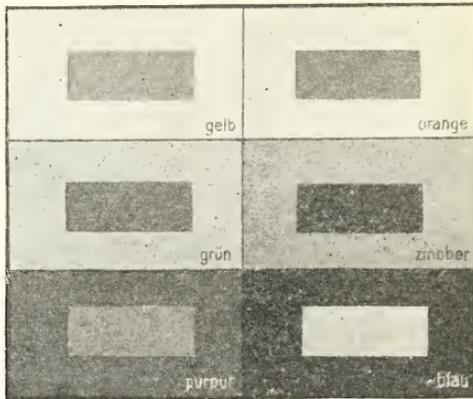


Fig. 15.

sechs Felder, welche aus je einem Ausschnitt eines farbigen Papiers bestehen, der von einem größeren grauen Rechteck von gleicher Helligkeit umgeben ist.

Soll die photographische Platte irgendein Objekt hellkeitswahr, also tonrichtig, abbilden, so muß sie diese Tafel so wiedergeben, daß sich die farbigen Flächen von den sie umgebenden grauen nicht unterscheiden.

Da die aus der Fig. 15 ersichtliche Reproduktion der Farbentafel mit einer guten orthochromatischen Platte (Kolorplatte) erfolgte, und die Farben trotzdem ganz verschieden von den zugehörigen Grautönen abgebildet wurden, so ist es klar, daß solche Platten ohne Filter

auch nicht annähernd den Forderungen einer tonrichtigen Photographie zu entsprechen vermögen.

Um den gewünschten Ausgleich der Farbentafeltöne herbeizuführen, muß ein Gelbfilter benutzt werden, und der Versuch lehrt, daß in dieser Beziehung eine Lösung von Filtergelb 1:2000 in einer 1 cm weiten Küvette, also eine Farbstoffschicht von der Dichte 5,0, am besten entspricht.

Man erhält dann die aus Fig. 16 ersichtliche Abbildung der Farbentafel, in welcher Blau, Grün und Gelb

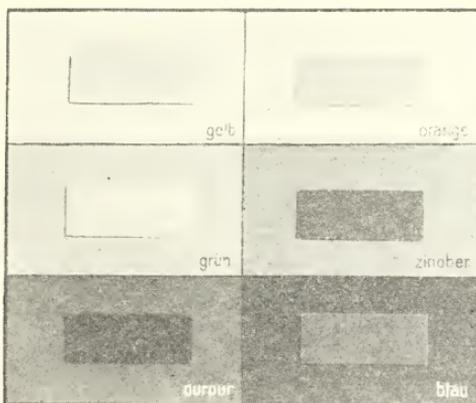


Fig. 16.

in fast richtiger Helligkeit abgebildet sind. Auch Orange wird beinahe hell genug wiedergegeben, so daß nur die ausgesprochen roten und purpurroten Farben viel zu dunkel erscheinen.

Allerdings ist auch die Abbildung von Blau und Grün nicht ganz tadellos, denn das Helligkeitsverhältnis der diesen Farben entsprechenden Töne ist zwar richtig, beide sind aber heller als ihre Umgebung. Dieser Mangel läßt sich zwar durch einen Rotzusatz zum Filter leicht beseitigen, dadurch wird aber die notwendige Expositionszeit sehr bedeutend verlängert und doch kein merkbarer praktischer Erfolg erzielt.

Eine zu weitgehende Sorgfalt bei der Abstimmung des Filters hat nämlich gar keinen Zweck, denn die Abbildung der Farben wird auch durch die Beschaffenheit des Objektes, durch die Expositionszeit und durch die verschiedene, oft wechselnde Farbe der Beleuchtung beeinflusst, hängt also zum Teile von Verhältnissen ab, die ganz außer dem Bereiche unserer Wirkungssphäre liegen.

Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse und auf den Umstand, daß die oben erwähnten, ausgesprochen roten Farben in der Landschaft gar nicht vorkommen, müssen die mit einer nur für Gelbgrün sensibilisierten Platte und dem obigen Gelbfilter erzielten Landschaftsaufnahmen wenigstens vom praktischen Standpunkte aus als „tonrichtig“ betrachtet werden.

An Stelle des Flüssigkeitsfilters kann man auch ein Trockenfilter herstellen, indem man

Gelatinelösung 8:100 53 ccm

mit Filtergelblösung 1:50 17 „

mischt, mit dieser Flüssigkeit dünne Spiegelglasplatten überzieht und trocknen läßt. Auf jedes Quadratdezimeter Glasfläche sind 7 ccm der Farbgelatine aufzugießen.

Die Farbstoffdichte dieses Filters beträgt 3,4 und ist daher viel geringer als jene des Flüssigkeitsfilters. Tatsächlich sind aber die Absorptionsverhältnisse beider Filter aus den schon wiederholt besprochenen Gründen die gleichen.

Da das Filter durch Versuche mit einer Kolorplatte ermittelt wurde, so gilt es eigentlich auch nur für diese Plattensorte. Der Versuch lehrt aber, daß auch alle anderen käuflichen orthochromatischen Platten mit diesem Filter fast ebenso tonrichtige Abbildungen liefern, daß also das Filter beinahe unabhängig von der Sensibilisierung der Platte ist. Nur bezüglich der Expositionszeit machen sich sehr bedeutende Unterschiede bemerkbar; so wird z. B. die Belichtungszeit für eine Kolorplatte

durch das Filter auf das Dreifache verlängert, während die orthochromatische Lumièreplatte — wegen ihrer geringen Gelbgrünempfindlichkeit — eine Erhöhung der Expositionszeit auf das Zwölfwache fordert. Das Resultat ist aber in beiden Fällen fast das gleiche, es wird nämlich das Blau sehr dunkel und das Gelb sehr hell abgebildet, und das genügt für die Praxis vollkommen.

Wirklich tonrichtige Aufnahmen lassen sich aber nur mit Platten erzielen, welche nicht nur für Grün, sondern

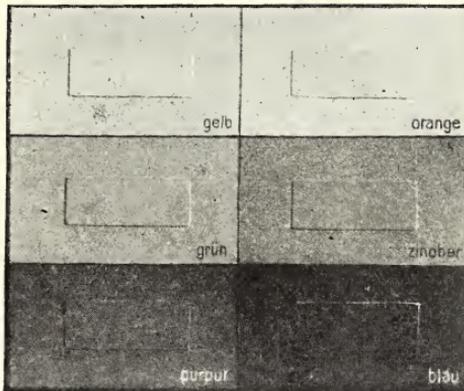


Fig. 17.

auch für Rot sensibilisiert sind, wobei die Filter nebst einem gelben auch einen roten oder blauen Farbstoff enthalten müssen. Solche Platten sind z. B. die Pina-verdol-Badeplatten, die mit einem Orangefilter die aus Fig. 17 ersichtliche vollkommen tonrichtige Aufnahme der Farbentafel liefert.

Das Filter wurde durch Überziehen von Glasplatten mit nachstehender Gelatinelösung hergestellt:

Gelatinelösung 1:10 50 ccm,

Filtergelblösung 1:50 25 „

Echrot D-Lösung 1:500 14 „

Pro Quadratdezimeter Glasfläche sind 7 ccm der Farbgelatine aufzugießen. Das Filter verlängert die Be-

lichtungszeit auf etwa das Fünffache. Das ganz gleiche Resultat liefert auch die käufliche Pinazyanol-Badeplatte mit einem Grünfilter, das man durch Überziehen von Glasplatten nachstehender Farbgelatine (7 ccm pro Quadratdezimeter) erhält:

Gelatinelösung 1:10	50 ccm,
Filtergelblösung 1:50	25 „
Patentblaulösung 1:1000	8 „

Beide Filter enthalten fast die gleiche Menge Filtergelb, etwa 4,6 g pro Quadratmeter, bei der Pinaverdolplatte muß noch Echtröt 0,25 zugesetzt werden, um die übermäßige Grünempfindlichkeit zu dämpfen, während das Filter der Pinazyanolplatte Patentblau 0,08 enthält, um die Wirksamkeit der roten Strahlen herabzusetzen. Diese Platte besitzt bekanntlich eine nur sehr geringe Grünempfindlichkeit und das Filter verlängert aus diesem Grunde die Belichtungsdauer auf das Zehnfache.

Die Pinaverdolplatte ist daher der Pinazyanolplatte überlegen und die relativ geringe Rotempfindlichkeit der ersteren ist völlig ausreichend, um alle roten Farben helligkeitswahr abzubilden.

So bietet uns die Farbentafel ein sicheres und einfaches Mittel, um zu jeder beliebigen Platte das tonrichtige Filter zu ermitteln, oder, wenn ein solches wegen der unvollkommenen Sensibilisierung der Platte nicht existiert, doch jenes Filter aufzusuchen, das eine tunlichst helligkeitswahre Aufnahme ermöglicht.

An Stelle dieser allerdings sehr charakteristischen, jedoch schwierig herstellbaren Farbentafel kann man auch eine aus weniger Farben und ohne grauen Tönen bestehende Zusammenstellung benutzen, wenn man eine tonrichtige Abbildung derselben kennt.

Die Beilage IIa zeigt eine solche Tafel und ihre photographische Reproduktion mit helligkeitswahrer Umsetzung der Farben. Soll zu einer gegebenen Platte das

tonrichtige Filter gefunden werden, so photographiert man die Tafel unter Vorschaltung verschiedener Filter, bis eine der beigegebenen Reproduktion tunlichst ähnliche Abbildung der Farben erzielt wird.

Bei sogen. orthochromatischen, also nur für Gelbgrün sensibilisierten Platten kann selbstverständlich nur das Helligkeitsverhältnis bei der Abbildung von Gelb und Blau berücksichtigt werden.

Mit Hilfe dieser Tafel läßt sich auch unter mehreren vorhandenen Filtern leicht jenes auswählen, das den Forderungen der orthochromatischen Photographie am besten entspricht.

b) Komplementärfilter.

Photographische Platten, welche für alle Spektralstrahlen eine gewisse, wenn auch nicht gleiche Empfindlichkeit besitzen, werden als „panchromatisch“ bezeichnet, und durch passend gewählte Filter läßt sich ihre Empfindlichkeit derart ausgleichen, daß alle Strahlen des Normalspektrums gleich wirksam sind, daß also die Platte „isochromatisch“ wird.

Das diesem Zwecke dienende Filter muß die Strahlen des Spektrums proportional ihrer Wirksamkeit schwächen, sein Absorptionsband wird somit ähnlich der Schwärzung sein, welche bei der Photographie des Normalspektrums auf der Platte entsteht. Die vom Filter durchgelassenen Strahlen, also die Farbe des Filters, ist daher spektroskopisch komplementär zu der Farbe des photographisch wirksamen Lichtes, und aus diesem Grunde können solche Filter als „Komplementärfilter“ bezeichnet werden.

Es ist zunächst von Interesse, die Frage zu entscheiden, wie sich eine solche isochromatisch gemachte Platte bei der Photographie farbiger Objekte verhält.

Selbstverständlich werden schwärzliche Farben dunkler abgebildet als reine, und diese müssen in der Photographie

wieder dunkler als Weiß erscheinen, denn das weiße Objekt reflektiert mehr Strahlen als das farbige. Aber auch eine gleich helle Abbildung aller Farben — auch wenn man nur die reinen und gesättigten Töne in Betracht zieht — ist nicht möglich, denn gewisse Farben, z. B. Gelb, reflektieren zwei Drittel des Spektrums, nämlich die ganze rote und grüne Zone, während die ebenso rein erscheinenden roten, grünen und blauen Pigmente nur mit den Strahlen einer Zone des Spektrums wirksam sind.

Die isochromatische Platte vermag also keineswegs ein farbiges Objekt so abzubilden, als ob es monochrom wäre, sie bringt neben den Schatten und dem Schwarzgehalt der Farben auch diese dunkler als Weiß, und bildet die roten, grünen und blauen Töne doppelt so dunkel ab, als gelbe, purpurrote und blaugüne Objekte.

Man benutzt die isochromatische Platte, um beim Vierfarbendruck den Schwarzgehalt aus dem Kolorit eines Objektes photographisch zu isolieren; wie ersichtlich, ist das aber nur sehr unvollkommen möglich, und das Problem läßt sich auch mit keiner anderen Platte lösen.

Von großer Bedeutung ist die isochromatische Platte bei den verschiedenen Methoden der Dreifarbenphotographie, bei welchen die von den drei Filtern durchgelassenen Strahlen zur vollen Wirkung auf die photographische Platte kommen müssen, was offenbar nur möglich ist, wenn diese für alle Strahlen des Spektrums gleichmäßig empfindlich ist. Insbesondere sind bei der Autochromplatte und den sonstigen Dreifarbenrasterplatten isochromatisch gemachte Schichten erforderlich, und die bei diesen Verfahren benutzten rötlichen Gelbscheiben bewirken den Empfindlichkeitsausgleich der panchromatischen Emulsion, spielen also die Rolle eines Komplementärfilters.

Die Ermittlung eines solchen Filters, dessen Beschaffenheit selbstverständlich von der Farbenempfindlichkeit der panchromatischen Platte abhängt, kann mit Hilfe

des Spektrographen erfolgen, indem man jenes Filter sucht, mit welchem das Normalspektrum als gleichmäßig gedeckter Streifen abgebildet wird.

Dieser Vorgang ist aber ziemlich unsicher, denn im Spektrographen und in der Kamera herrschen total verschiedene Lichtverhältnisse, und die Gleichmäßigkeit des photographierten Spektralbandes hängt auch wesentlich von der Belichtungsdauer ab.

Ungleich sicherer läßt sich das Filter mit der schon erwähnten Farbentafel — Beilage II a — bestimmen. Die drei Farben Rot, Grün und Blau sind von gleicher Reinheit, gleich gesättigt und überdies so gewählt, daß jede derselben ein Drittel des Spektrums reflektiert, sie müssen daher von einer isochromatischen Platte gleich hell abgebildet werden; das Gelb dagegen reflektiert das ganze spektrale Rot und Grün, also die zwei Drittel des Spektrums umfassenden Strahlen, und muß daher doppelt so hell erscheinen.

Daß die Farben in der Tafel tatsächlich diesen Bedingungen entsprechen, beweist unter anderem auch die Untersuchung ihres Bildes auf einer Autochromplatte. Diese Platte ermöglicht bekanntlich eine überraschend gute photographische Wiedergabe aller Pigmentfarben, und wir müssen daher annehmen, daß alle hierfür maßgebenden Faktoren sehr passend gewählt wurden. Die photographische Schicht muß somit durch das Gelbfilter auch tadellos isochromatisch gemacht werden, und daher besitzen wir in der Autochromplatte ein verlässliches Mittel, um die Abbildung verschiedener Farben auf einer isochromatischen Schicht kennen zu lernen.

Der Versuch zeigt, daß das auf der Autochromplatte entstehende Schwarzbild der Farbentafel auch beinahe vollkommen die früher erwähnte Beschaffenheit besitzt, und daß also auch umgekehrt eine Platte als isochromatisch zu betrachten ist, wenn sie die Farbentafel in dieser Weise abbildet.

Um zu einer panchromatischen Platte das zugehörige Komplementärfilter zu ermitteln, hat man daher durch Versuche jenes Filter zu suchen, mit welchem bei richtiger Exposition das Rot, Grün und Blau der Farbentafel gleich hell, also in der aus Beilage IIa ersichtlichen Weise, abgebildet werden. Dabei hat man für eine weiße Beleuchtung zu sorgen, also entweder direktes oder durch eine Mattscheibe gedämpftes Sonnenlicht oder das von weißen Wolken reflektierte Licht zu benutzen.

Selbstverständlich läßt sich eine solche Abbildung der Farben nur mit einer panchromatisch sensibilisierten Platte erzielen, und der Versuch zeigte, daß zu diesem Zwecke für eine Orthochrom-Badeplatte nachstehendes Flüssigkeitsfilter erforderlich ist:

Filtergelblösung 1:500	5 ccm,
Echtrotlösung 1:500	4 „
Wasser	91 „

Das Komplementärfilter für eine Pinaverdolplatte von Westendorf & Wehner besteht aus:

Filtergelblösung 1:500	10 ccm,
Echtrotlösung 1:500	6 „
Wasser	84 „

c) Kontrastfilter.

Wenn man bei der Photographie eines farbigen Objektes eine Farbe besonders deutlich hervorheben will, so benutzt man ein zu dieser Farbe komplementäres Filter, das aber so beschaffen sein muß, daß auch die andersfarbigen Teile des Originals, allerdings untergeordnet, aber doch mit allen Details abgebildet werden.

Solche Filter werden vielfach bei der Photographie von mikroskopischen Präparaten verwendet, deren Details durch Behandlung mit verschiedenen Farbstofflösungen deutlicher sichtbar gemacht wurden.

Für die Herstellung dieser Kontrastfilter lassen sich kaum bestimmte Vorschriften aufstellen; man kann nur im allgemeinen sagen, daß dasselbe jene Farbe absorbieren muß, die dunkel erscheinen soll, und daß man die Farbe des Filters um so intensiver zu wählen hat, je zarter und dünner die Färbung des Präparates ist.

Bei blau oder violett gefärbten Objekten verwendet man eine Filtergelbschicht oder ein Grünfilter und selbstverständlich orthochromatische Platten, und unter gleichen Verhältnissen sind auch Präparate zu photographieren, die mit Karminlösungen gefärbt wurden. Hat man aber Blau oder Blaugrün als Gegenfärbung benutzt, so kann zuweilen die gewünschte Differenzierung der Farbe durch ein sehr helles Gelbfilter erzielt werden, in anderen Fällen wird es besser sein, eine rotempfindliche Platte mit einem Orangefilter zu benutzen, also das Blau dunkler abzubilden als das Rot. Man hat eben immer zu überlegen, welche Farben hell und welche dunkel erscheinen sollen, damit die charakteristischen Eigentümlichkeiten des Objektes am besten gewahrt werden, und diesen Erwägungen entsprechend wählt man dann das Filter.

Ein Beispiel für die Aufnahme mit einem Kontrastfilter zeigt die Photographie der Farbentafel auf Beilage IIa. Es wurde eine mit Pinazyanol sensibilisierte Platte und ein Rhodaminfilter 4,0 benutzt, das nur die grüne Zone des Spektrums absorbiert, alle roten und blauen Strahlen aber fast ungehindert passieren läßt. Das grüne Feld erscheint daher in der Reproduktion dunkel, während alle anderen Farben wirksam waren und daher hell abgebildet werden.

Gelbscheiben bei der Gemälde- und Landschaftsphotographie. In die Gruppe der Kontrastfilter gehören auch gewisse bei der Reproduktions- und Landschaftsphotographie gebräuchliche Gelbscheiben.

Bei solchen Aufnahmen wird zwar in der Regel das tonrichtige Filter am besten entsprechen, zuweilen ist es aber doch geboten, ein Filter von anderer Beschaffenheit zu wählen.

So erscheinen uns z. B. die reinen Farben auf grauem Grunde lichter und leuchtender, als sie tatsächlich sind, denn ein gewisses Etwas, ein eigentümlicher Glanz vermehrt ihre Helligkeit, und der zinnoberrote Feuerschein in einem Bild, das irgendeine nächtliche Szenerie darstellt, leuchtet derart, daß man ihn unbedingt heller wiedergeben muß, als es sonst der Zinnober verlangt.

Dann hält die Farbe in einem Gemälde auch Gleichartiges zusammen und trennt nebeneinanderliegende verschiedene Objekte. Besitzen nun die Farben fast gleiche Helligkeit, so wird die mit dem tonrichtigen Filter erzielte Schwarzreproduktion unklar und verworren. Solche mit Farben von fast gleicher Helligkeit gemalte Bilder sind schwierig zu reproduzieren und müssen mit Kontrastfiltern photographiert werden.

Bei der Landschaftsphotographie zwingt uns wieder die Rücksicht auf eine passende Abbildung des Himmels oft zur Verwendung besonderer Filter. Soll das weißlich-blaue Firmament einer grünen Landschaft hellgrau erscheinen, so ist dazu eine sehr dunkle Gelbscheibe notwendig, während der tiefblaue Himmel im Hochgebirge wieder ein lichtes Filter fordert, um einen neben den weißen Schnee- und Felspartien schwer und bleigrau erscheinenden Ton zu vermeiden.

In diesem Falle wird vielleicht das tonrichtige Filter schon zu dunkel sein und man wird zur Verwendung einer abnorm lichten Gelbscheibe gezwungen.

Sehr lichte Filter wird man auch benutzen, wenn man bei Momentaufnahmen die falsche Abbildung der Farben etwas verbessern will, wenn man also z. B. bei

Aufnahmen im Hochgebirge den Himmel deutlich dunkler als den Schnee erhalten will, und auch bei Kostümaufnahmen im Atelier wird man sich mit einer hellen Gelbscheibe begnügen, um die übermäßig lange Exposition mit dem tonrichtigen Filter zu vermeiden.

Sehr dunkle Kontrastfilter sind dagegen notwendig, wenn man bei Landschaftsaufnahmen den bläulichen Luftschleier ganz beseitigen will, wenn man also eine tunlichst klare Abbildung der Ferne anstrebt. Solche Bilder ohne jede Luftperspektive werden besonders für technische Zwecke, so z. B. bei der photogrammetrischen Geländeaufnahme, gefordert.

Farbstoff	Dichte	F	Farbe	Verlängerung der Exposition		Charakteristik und Verwendung des Filters bei	
				a	b	Platte a	Platte b
Filtergelb	0,5	5 ccm 1 : 100	Sehr helles	Kaum merkbar	2	Gelb heller als Blau. Für Momentaufnahmen und für Porträts im Atelier.	
						Kein wesentlicher Unterschied von einer Aufnahme ohne Filter.	
	1,0 — 2,0	10 — 20 ccm 1 : 100	Mittleres			2	6 — 8
Tartrazin	3,0	17 ccm 1 : 50	Starkes	3	12	Tonrichtiges Filter (Seite 83). Normalfilter für Gemälde-reproduktion und Landschaftsaufnahmen.	
						Dunkles Kontrastfilter. Blau wie Schwarz, Gelb wie Weiß, Zinnober heller als Schwarz. Bei Landschaften mit blaßblauem Himmel, Gemälden, in welchen helles Blau dominiert, und für Fernaufnahmen ohne Luftperspektive.	

Die Wirkungsweise der Filter hängt selbstverständlich wesentlich von der Farbenempfindlichkeit der Platte ab, und man muß in dieser Beziehung zwei Sorten orthochromatischer Platten unterscheiden:

- a) Solche, die schon ohne Filter Blau und Gelb fast gleich hell abbilden, und diese Farbenempfindlichkeit besitzt z. B. die Colorplatte.
- b) Platten, die, wie die orthochromatische Lumière-Platte, eine so geringe Gelbgrünempfindlichkeit besitzen, daß diese bei Aufnahmen ohne Filter kaum bemerkbar ist.

Aus vorstehender Zusammenstellung sind die Farbstoffdichten und die mit diesen im Zusammenhange stehenden Eigentümlichkeiten verschiedener Gelbfilter zu entnehmen. Für die Herstellung derselben mischt man die unter *F* angegebene Menge der Farbstofflösung mit so viel sechs- bis achtprozentiger Gelatinelösung, daß 70 ccm resultieren, und überzieht mit dieser Farbstoffgelatine Glasplatten in der bekannten Weise (7 ccm pro Quadratdezimeter).

4. Selektionsfilter.

Als Grundlage der Dreifarbenphotographie betrachtet man gewöhnlich die Young-Helmholtzsche Theorie des Farbensehens, und, gestützt auf diese, stellt man an die drei, zur photographischen Farbenzerlegung dienenden Platten die Forderung, daß ihre spektralen Empfindlichkeitskurven den gleichen Verlauf zeigen, wie die drei Elementarempfindlichkeitskurven unseres Auges. Kommen isochromatisch ausgeglichene Platten zur Verwendung, so müssen die Filter die Strahlen des Spektrums in den diesen Kurven entsprechenden Intensitätsverhältnissen durchlassen.

Diese Grundsätze sind aber ohne jede Bedeutung für die Praxis der Dreifarbenphotographie, denn einer-

seits lassen sie uns über die Beschaffenheit der drei Grundfarben im unklaren und andererseits sind erfahrungsgemäß die den erwähnten Kurven entsprechenden Filter für die photographische Farbenspaltung ganz unbrauchbar, was insbesondere von den mit größter Sorgfalt von König und Dieterici ermittelten Kurven gilt.

Von der ganzen Young-Helmholtzschen Theorie ist für die Dreifarbenphotographie lediglich die Erkenntnis brauchbar, daß sich alle Farben des Spektrums durch Mischung von nur drei Grundfarben nachbilden lassen, und daß es daher auch möglich sein muß, jedes farbige Original durch additive Vereinigung von drei passend gefärbten Teilbildern zu reproduzieren. Um zu diesem Resultat zu gelangen, braucht man aber nicht den Umweg über die Physiologie des Auges einzuschlagen, dazu genügen schon einige Mischversuche mit dem Farbkreis.

Eine andere Grundlage für die Dreifarbenphotographie ergibt sich aus der Annahme, daß das Spektrum eigentlich nur aus drei fast einheitlich gefärbten Zonen besteht, und daß daher auch das Kolorit aller Körper nur aus Mischungen von roten, grünen und blauen Strahlen gebildet wird. Die spektralen Übergangsfarben Gelb und Blaugrün sind im Spektrum nur in geringer Menge vertreten, spielen daher keine Rolle in der Welt der Körperfarben, und das spektrale Violett ist so lichtschwach, daß es in Gemischen mit anderen Strahlen gar nicht wahrnehmbar ist.

Von dieser Annahme ausgehend, ergaben sich nachstehende, für die Praxis der Dreifarbenphotographie überaus wichtige Folgerungen:

1. Die drei Grundfarben, aus welchen das weiße Licht besteht, lassen sich direkt dem Spektrum entnehmen. Es sind die mittleren Farbentöne der drei Spektralzonen und werden am besten als Zinnoberrot,

Gelbgrün und Ultramarinblau bezeichnet. Auf dieses Grundfarbensystem muß sich jede Art der photographischen Dreifarbenverfahren stützen.

2. Die verschiedenen Körperfarben lassen sich nur in diese drei Grundfarben zerlegen, und es gibt daher nur eine einzige Art der photographischen Farbenzerlegung. Bei Verwendung isochromatischer Platten muß jedes der drei Filter ein Drittel des Spektrums durchlassen, und ihre Farbe entspricht daher den drei Grundfarben. Diese Filter sollen als „Normalfilter“ bezeichnet werden.

3. Sollen die Teilbilder additiv vereinigt werden, so muß ihre Farbe wieder den drei Bestandteilen des weißen Lichtes gleichkommen, daher ist auch die Farbe der bei diesen Verfahren benutzten Reproduktionsfilter gleich der Farbe der Aufnahmefilter. Bei der subtraktiven Vereinigung müssen die Farben komplementär zu diesen Filtern, also blaugrün, purpurrot und gelb gefärbt sein.

Ermittlung der Normalfilter. Wie oben erwähnt, soll jedes der drei Aufnahmefilter ein Drittel des Spektrums durchlassen, sie müssen also das Spektrum gleichsam in drei Teile zerschneiden. Da aber die uns zur Verfügung stehenden Farbstoffe eine scharfe Abgrenzung der Spektralzone nicht möglich machen, so wird man Filter wählen, die der Forderung wenigstens annähernd entsprechen, und die bei tunlichster Lichtstärke sich nur wenig übergreifen.

Die Teilung des Spektrums hat, wie die Fig. 14 (Seite 69) zeigt, im Gelb und Blaugrün, also ungefähr bei den Wellenlängen $\lambda = 585 \mu\mu$ und $\lambda = 495 \mu\mu$ zu erfolgen, und die außerhalb der Linien *C* und *G* gelegenen roten und violetten, sowie die anschließenden ultravioletten Strahlen sind zu eliminieren, da sie ohne Einfluß auf die Körperfarben sind. Die Wirksamkeit der

erwähnten dunklen roten Strahlen kann man durch Benutzung einer nur bei C sensibilisierten Platte beseitigen, und das spektrale Violett sowie das Ultraviolett läßt sich leicht durch ein passendes Filter unschädlich machen.

Es unterliegt keinen Schwierigkeiten, mit Hilfe der in den Beilagen I dargestellten Absorptionskurven jene Farbstoffe aufzusuchen, welche die gewünschte Dreiteilung des Spektrums ermöglichen, und auf Grund der auf

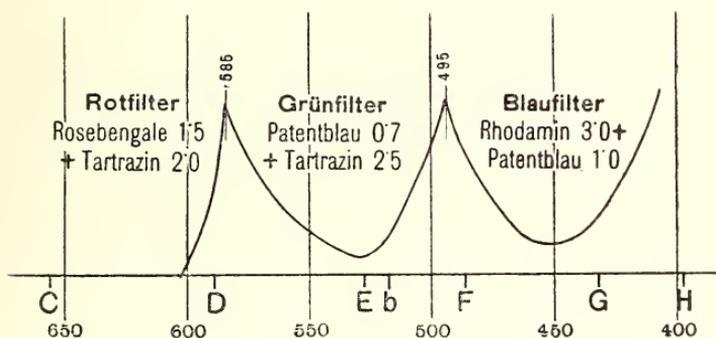


Fig. 18.

Seite 55 angestellten Erwägungen ergaben sich nachstehende, für diese Aufgabe brauchbare Filter:

Rotfilter: Rose bengale 1,5 + Tartrazin 2,0.

Grünfilter: Patentblau 0,7 + Tartrazin 2,5.

Blaufilter: Säurerhodamin 3,0 + Patentblau 1,0.

Aus Fig. 18 sind die Transparenzkurven der drei Filter ersichtlich.

Überprüfung der Filter mit der Farbentafel. In dieser Weise erhält man aber ein vielleicht nicht ganz richtiges Resultat, denn die Absorptionskurven sind, wie schon wiederholt bemerkt, nicht ganz einwandfrei, und es ist daher jedenfalls geboten, die drei Filter noch zu überprüfen. Dazu eignen sich systematisch ausgewählte Pigmentfarben, also etwa die in der Beilage IIa enthaltene

Farbentafel am besten, denn die photographische Aufnahme solcher Objekte gibt äußerst wertvolle Aufschlüsse über die Beschaffenheit der Filter und ist in gewisser Beziehung den spektroskopischen und spektrographischen Untersuchungen überlegen.

Die Tafel enthält die drei symmetrisch im Farbkreis liegenden, den Komponenten des weißen Lichtes entsprechenden Farben: Zinnoberrot, Gelbgrün und Ultramarinblau, die so gewählt sind, daß sie in Sektoren von je 120 Grad am Kreisel gemischt, neutrales Grau liefern, sie besitzen also gleichen koloristischen Wert. Das in der Tafel vorhandene Gelb gibt, zu gleichen Teilen mit Ultramarin gemischt, ebenfalls neutrales Grau. Überdies wurden die vier Farben auf ungefähr gleiche Reinheit gebracht, und ihr Gehalt an Schwarz ist aus dem sie umgebenden Grauton ersichtlich. Da gelbe und rote Farbstoffe viel reiner als blaue und grüne sind, so wurden die beiden ersteren durch einen Schwarzzusatz geschmutzt. Keine der Farben kann daher, man mag beliebige Platten und Filter verwenden, photographisch heller abgebildet werden, als der Grauton. Dadurch werden die Farben zu einem wertvollen Testobjekt für photographische Zwecke, denn ihre Wirksamkeit hängt nur mehr von ihrem Farbenton ab.

Das Rot, Grün und Blau entspricht also bezüglich Farbenton und koloristischem Wert auch den drei Aufnahme- und Reproduktionsfiltern, und es läßt sich daher leicht angeben, wie diese Farben bei den drei photographischen Aufnahmen abgebildet werden müssen.

Hinter dem Rotfilter darf nur der rote Anteil des weißen Lichtes, und das ist die vom Zinnoberrot reflektierte Spektralzone, photographisch wirksam sein, und im Negativ muß daher das rote Feld ebenso gedeckt sein, wie der Grauton, während die beiden anderen Felder —

das grüne und das blaue — vollkommen transparent erscheinen sollen.

Nur bei dieser Abbildung der Farben wird dann ein nach dem Negativ hergestelltes Positiv, mit dem gleichen Rotfilter bedeckt, jenen Anteil an zinnoberrotem Licht durchlassen, den die Pigmente der Farbentafel reflektieren. Ein solches rotgedecktes Positiv repräsentiert daher den Rotgehalt des Originals, es ist das rote Teilbild bei der Dreifarbenprojektion.

Die gleichen Betrachtungen führen zu dem Schluß, daß hinter dem Grünfilter nur die vom grünen Feld reflektierten Strahlen und hinter dem Blaufilter nur das vom Ultramarinblau reflektierte Licht photographisch wirksam sein sollen, daß also die Kopien der drei Teilnegative das aus der Beilage IIb ersichtliche Aussehen zeigen müssen. Denkt man sich diese Kopien transparent, jedes mit dem zugehörigen Filter bedeckt und auf eine weiße Wand übereinander projiziert, so werden wieder die Originalfarben entstehen.

Zur Überprüfung der Filter photographiert man daher die Farbentafel, und wenn die Negative das eben besprochene Aussehen besitzen, so ist die Farbenspaltung gelungen, und die Filter sind vollkommen brauchbar.

Zu bemerken wäre noch, daß alle Farben der Tafel etwas weißes Licht reflektieren, und daß daher auch jene Farbstrahlen, die ganz unwirksam sein sollen, doch eine leichte Veränderung der Bromsilberschicht hervorrufen, und daß daher kein Feld vollkommen schwarz erscheint.

Der Versuch lehrt, daß die Filter von der oben angegebenen Zusammensetzung Teilbilder von der geforderten Beschaffenheit liefern, daß sie also auch eine exakte photographische Farbenzerlegung ermöglichen.

Die Herstellung derselben kann daher in folgender Weise erfolgen:

Rotfilter: Rose bengale . . .	1,5 g,	} 20 ccm Farbstoff- lösung werden mit 50 ccm Gelatine- lösung 8 : 100 ge- mischt und je 7 ccm der Flüssigkeit für den Quadratdezi- meter Glasfläche aufgegossen.
Tartrazin . . .	2,0 "	
Wasser . . .	200,0 ccm.	
Grünfilter: Patentblau . . .	0,7 g,	
Tartrazin . . .	2,5 "	
Wasser . . .	200,0 ccm.	
Blaufilter: Säurerhodamin	3,0 g,	
Patentblau . . .	1,0 "	
Wasser . . .	200,0 ccm.)	

Nach dem Trocknen werden die Filter mit einer dünnen, farblosen Spiegelglasplatte mit Hilfe von Kanadabalsam verkittet.

Man kann auch die Filter mit nur der halben Farbstoffmenge herstellen, indem man die Farbstoffgelatine aus 10 ccm Farbstofflösung mit 60 ccm Gelatinelösung mischt und nach dem Trocknen des Aufgusses je zwei gleichgefärbten Scheiben vereint.

Sollen Flüssigkeits- oder Gallertfilter zur Verwendung kommen, so müssen die in die Küvette einzufüllenden Farbstofflösungen folgende Dichten besitzen:

Rotfilter: Rose bengale 15,0 + Tartrazin 4,0.

Grünfilter: Patentblau 0,5 + Tartrazin 10,0.

Blaufilter: Säurerhodamin 2,0 + Patentblau 1,0.

Auf Grund dieser Zahlen ist es leicht, die Farbstofflösungen für eine Küvette von bestimmter Weite herzustellen (Seite 66).

Streng genommen, gelten diese Normalfilter eigentlich nur für isochromatisch ausgeglichene Platten, doch lehrt der Versuch, daß das Resultat der photographischen Farbenspaltung gar nicht so bedeutend von der spektroskopischen Empfindlichkeit der Platte abhängt, als vielfach geglaubt wird. So geben mit Orthochrom, Pina-chrom, Pinaverdol, Isocol und Homocol sensibilisierte Platten fast ganz gleiche Teilbilder, und nur bei Pina-

cyanol- und Dicyaninplatten, die ganz andere Empfindlichkeitsverhältnisse besitzen, machen sich bei der Grünfilteraufnahme kleine Unterschiede bemerkbar.

Diese Tatsache wird selbstverständlich, wenn man die obige Annahme festhält, daß das Spektrum des weißen Lichtes nur aus drei gleichmäßig gefärbten Zonen besteht, denn in diesem Falle entsteht hinter dem Grünfilter stets das gleiche Teilbild, gleichgültig, ob das Maximum der Grünempfindlichkeit weiter gegen Blau oder gegen Rot zu gelegen ist.

Auch eine verschiedene Beleuchtung des Originals muß dann fast ohne Einfluß auf die Beschaffenheit der Teilbilder sein, und tatsächlich erhält man auch bei Tageslicht und elektrischem Bogenlicht ganz gleiche Resultate.

Die verschiedene Beleuchtung beeinflußt, ebenso wie die verschiedene spektrale Empfindlichkeit der Platten, lediglich das Verhältnis der Expositionszeiten hinter den drei Filtern, die Beschaffenheit der Teilnegative bleibt aber fast unverändert.

Modifizierte Filter für den Dreifarbendruck. Die photographische Zerlegung des Originalkolorits mit Hilfe der eben besprochenen Normalfilter ist die einzig systematisch richtige, und die so erhaltenen Negative sollten die Grundlage aller Methoden der Dreifarbenphotographie bilden.

Beim Dreifarbendruck fordern die Negative Druckfarben, welche zu den drei Bestandteilen des weißen Lichtes komplementär sind, also: Blaugrün, Purpur und Gelb. Da man aber vorläufig über solche lichtechte Firnisfarben nicht verfügt, benutzt man für den Druck ein zu wenig grünstichiges Blau — Pariserblau — und den nicht genügend blaustichigen Krapplack, wodurch in der Reproduktion unwahre Mischöne entstehen müssen. Man trachtet daher, durch Abänderung der Filter die

Negative den drei Druckfarben anzupassen. Eine systematisch richtige Zerlegung des Originalkolorits in die Farbentöne Pariserblau, Krapprot und Gelb ist ganz ausgeschlossen, weil die Bestandteile des weißen Lichtes nicht komplementär zu diesen Farben sind, immerhin ist es aber möglich, die Filter so zu wählen, dass gewisse, besonders störende Mängel in der Reproduktion vermieden werden, wenn auch dadurch andere, aber weniger auffallende Fehler entstehen.

Wenn man berücksichtigt, daß das in der Farbentafel vorhandene Rot, Grün und Blau bei systematisch richtiger Farbenzerlegung in der Reproduktion durch den Übereinanderdruck von gleichen Teilen je zweier Grundfarben zustande kommen soll, daß also

Zinnoberrot aus gleichen Teilen Purpur + Gelb,
Ultramarinblau „ „ „ „ Blaugrün + Purpur,
Gelbgrün „ „ „ „ Gelb + Blaugrün
zu bilden ist, so läßt sich leicht jene Beschaffenheit der drei Teilbilder angeben, damit bei abgeänderten Druckfarben doch wieder die tunlichst gleichen Mischfarben entstehen.

Soll das Rot, Grün und Blau der Farbentafel aus Krapplack, Pariserblau und Gelb gebildet werden, so muß offenbar im roten Teilbild das blaue Feld weniger satt gefärbt sein, als das rote, im blauen Teilbild muß das grüne Feld weniger farbensatt erscheinen, als das blaue, und das gelbe Teilbild muß das rote Feld heller als das grüne zeigen. Gleichzeitig muß sich auch bei den drei Aufnahmen je eine der Druckfarben unwirksam wie Schwarz verhalten, während die beiden anderen ebenso wirksam wie Weiß sein sollen.

Diesen Forderungen kann man bei der photographischen Aufnahme für das rote und blaue Teilbild durch Verwendung eines blaustichigen Grünfilters und eines gelbstichigen Rotfilters nachkommen, ein gelbes

Teilbild aber von der gegebenen Charakteristik läßt sich nicht herstellen, denn es ist unmöglich, Gelb dunkler als Rot zu photographieren.

Es wird sich daher empfehlen, für den Dreifarben- druck passend modifizierte Rot- und Grünfilter zu verwenden, eine Abänderung des Blaufilters ist aber nicht angezeigt, da sie nur eine Verschlechterung des Negatives zur Folge haben könnte.

Um die Zusammensetzung der Filter zu ermitteln, variiert man ihre Bestandteile derart, daß die Abbildung der Farbentafel das gewünschte Aussehen zeigt.

Für die Herstellung des Trockenrotfilters ist Rose bengale nicht brauchbar, da das Absorptionsmaximum zu weit gegen Rot zu gelegen ist. Besser geeignet ist Filterrot I (Dianilrot), das bei der Dichte 0,4, kombiniert mit etwas Filtergelb, den gestellten Forderungen entspricht.

Für das Grünfilter benutzt man, wie für das Normal- filter, Patentblau und Tartrazin, verschiebt aber, indem man letzteres reduziert, die Filteröffnung in das spektrale Blaugrün. Um die Farbentafel in der gewünschten Weise abzubilden, muß das Filter aus

Patentblau 0,7 + Tartrazin 0,7

bestehen.

Die Filter lassen sich daher in nachstehender Weise herstellen¹⁾:

1) Die den Filterfarbstoffen beigegebenen, von Dr. E. König aufgestellten Vorschriften für Trockenfilter, die bei der Aus- arbeitung des vorliegenden Themas von grundlegender Be- deutung waren, besitzen meist sattere Schichten, wie aus den nachstehenden Farbstoffdichten zu entnehmen ist.

Normale Lichtfilter.

(Als additive Lichtfilter bezeichnet.)

Rotfilter: Rose bengale 2,4 + Tartrazin 2,8

oder *) Filterrot II 5,0.

Orangefilter:	Filterrot I	0,4 g,	} 20 ccm Farbstofflösung werden mit 50 ccm Gela- tinelösung 8 : 100 ge- mischt und je 7 ccm der Flüssigkeit pro Quadrat- dezimeter Glasfläche auf- gegossen.
	Filtergelb	2 "	
	Wasser	200 ccm.	
Blaugrünfilter:	Patentblau	0,7 g,	}
	Tartrazin	0,7 "	
	Wasser	200 ccm.	

Als Flüssigkeits- oder Gallertfilter dienen Lösungen von nachstehender Zusammensetzung:

Rotfilter: Filterrot I 0,5 + Filtergelb 2,0.

Grünfilter: Patentblau 0,5 + Tartrazin 1,6.

Aus der Beilage IIb sind die Abbildungen der Farbentafel mit diesen für den Dreifarbendruck modifizierten Filtern ersichtlich. Man bezeichnet sie oft als „subtraktive“ Filter, jedoch mit Unrecht, denn sie sind nicht durch die Art der Farbmischung bei der Vereinigung der Teilbilder, sondern lediglich durch die Wahl unrichtiger Druckfarben bedingt.

Die beiden Filter sind für panchromatische, mit Pinachrom oder mit ähnlich wirkenden Farbstoffen sensibilisierte Platten abgestimmt, und es ist bemerkenswert, daß sich die Empfindlichkeitsverhältnisse der Platte und die Farbe der Beleuchtung bei diesen in die Nachbar-

Grünfilter: Patentblau 0,7 + Tartrazin 4,2
oder *) Filtergrün II 2,6.

Blaufilter: Kristallviolett 3,4 + Metylenblau 1,1.

Lichtfilter für den Dreifarbendruck.
(Als subtraktive Lichtfilter bezeichnet.)

Rotfilter: Filterrot I (Dianilrot) 1,4.

Grünfilter: Patentblau 1,3 + Tartrazin 0,6
oder *) Filtergrün I 2,5.

Blaufilter: Kristallviolett 3,2.
oder Filterblau 1,3.

Die mit *) bezeichneten Farbstoffe sind von den Höchster Farbwerken hergestellte Mischungen aus zwei Farbstoffen.

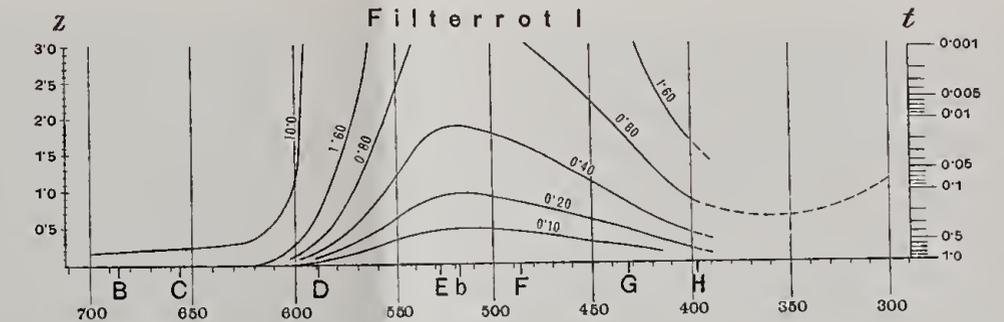
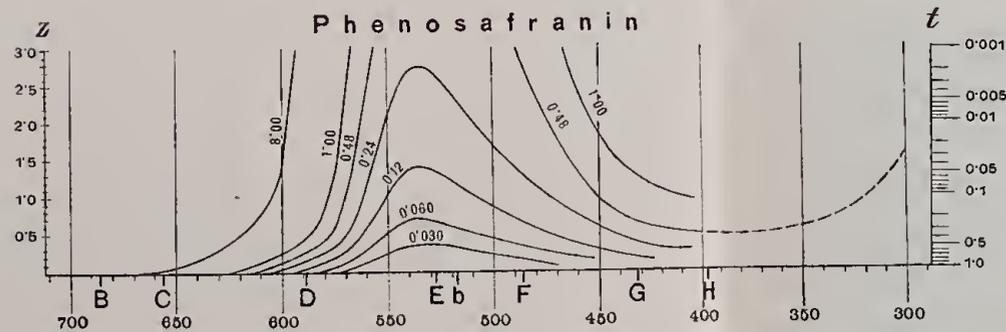
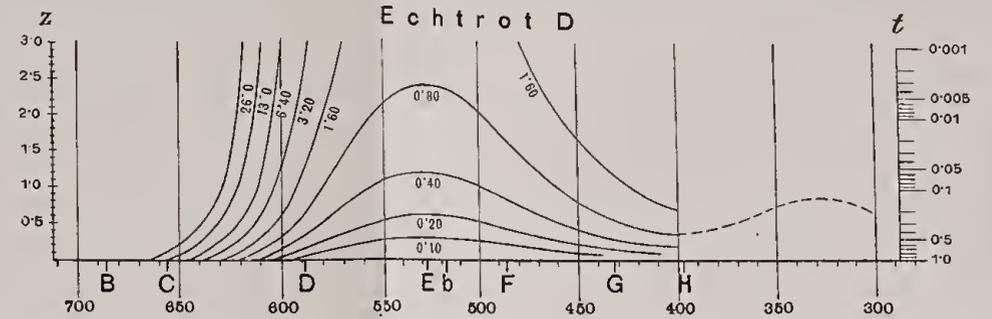
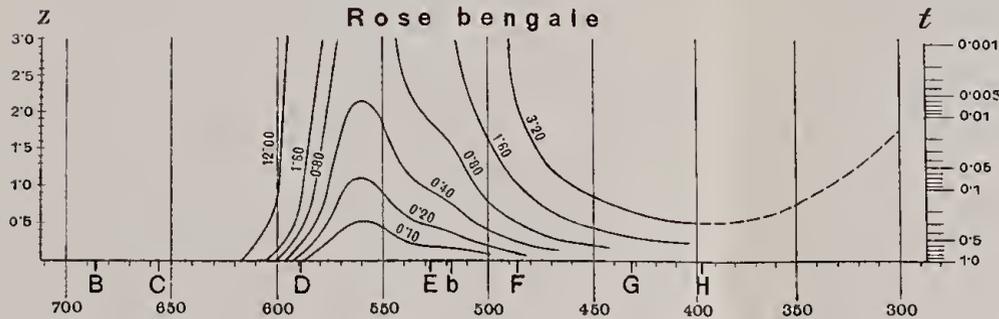
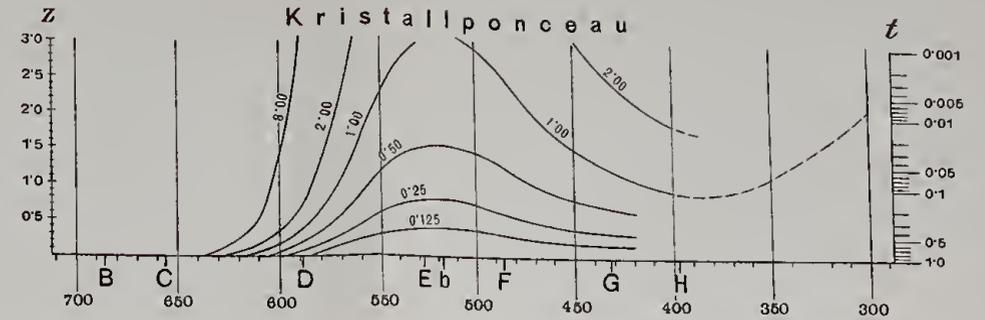
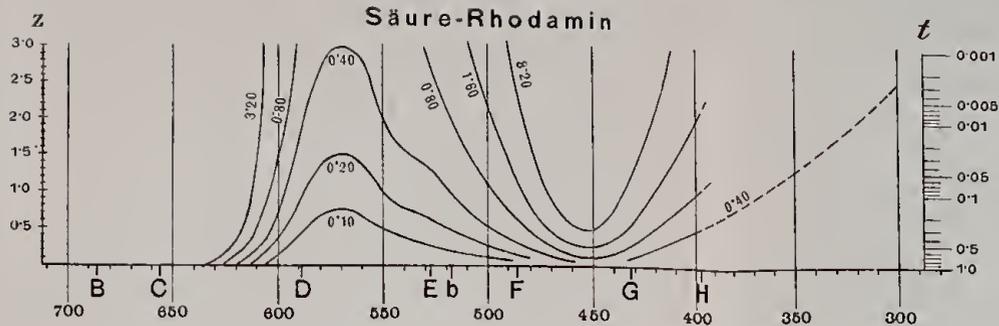
zone des Spektrums übergreifenden Filtern mehr geltend macht, als bei den früher besprochenen Normalfiltern. Mit Hilfe der Farbentafel ist es aber leicht, die Brauchbarkeit jedes Filters zu kontrollieren und bei einer Veränderung der Verhältnisse die notwendigen Korrekturen an denselben vorzunehmen.

Für die drei Aufnahmen, gleichgültig, welcher Methode der Dreifarbenphotographie sie zu dienen haben, soll man stets die gleiche Plattensorte verwenden, und die Negative sollen unter ganz gleichen Verhältnissen entwickelt werden, damit sie eine tunlichst gleiche Gradation zeigen. Selbstverständlich kommen hier nur panchromatische Platten in Betracht, und es ist gleichgültig, ob sie mit Pinaverdol, Orthochrom, Pinachrom, Äthylrot, Homocol oder Isocol sensibilisiert sind.

Das Blaufilter verlängert die Exposition auf das Vier- bis Fünffache, und die notwendigen Belichtungszeiten hinter dem normalen Blau-, Grün- und Rotfilter verhalten sich bei Pinaverdolplatten wie $1:2:6$ und bei Pinachromplatten wie $1:2:4$. Bei Verwendung der modifizierten Filter verhalten sich die Expositionszeiten wie $1:2:2$ bzw. $1:2:1$, da das orangegefärbte Rotfilter auch viel rotgelbe, sehr wirksame Strahlen durchläßt.

Absorptionsspektren der Farbstoffe in Gelatinefolien.

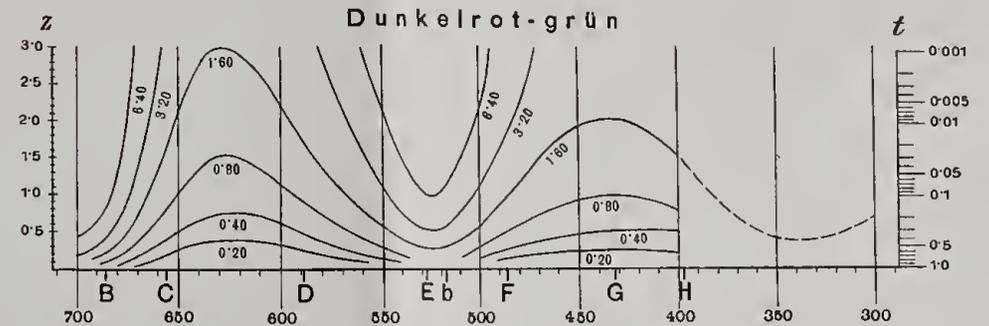
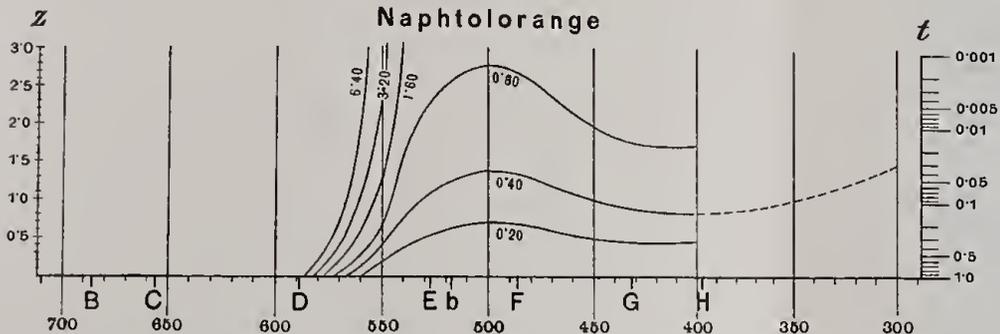
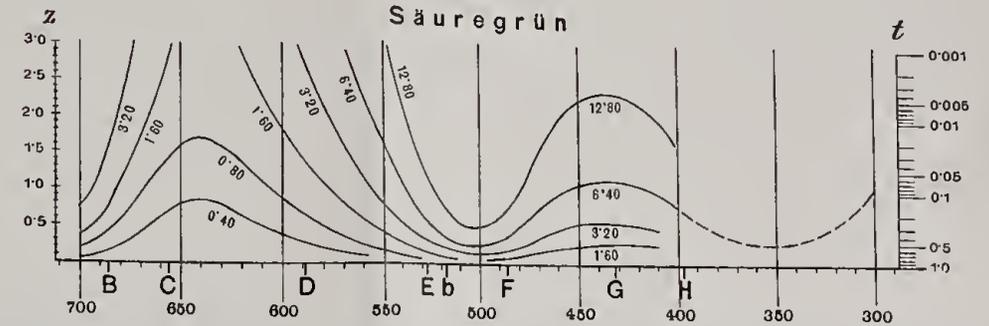
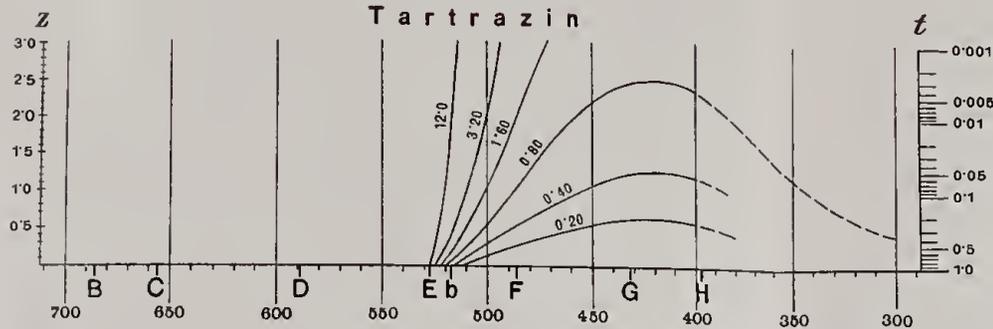
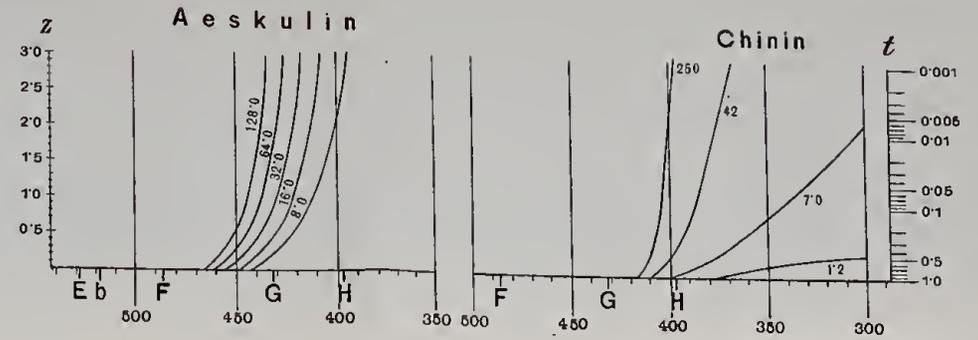
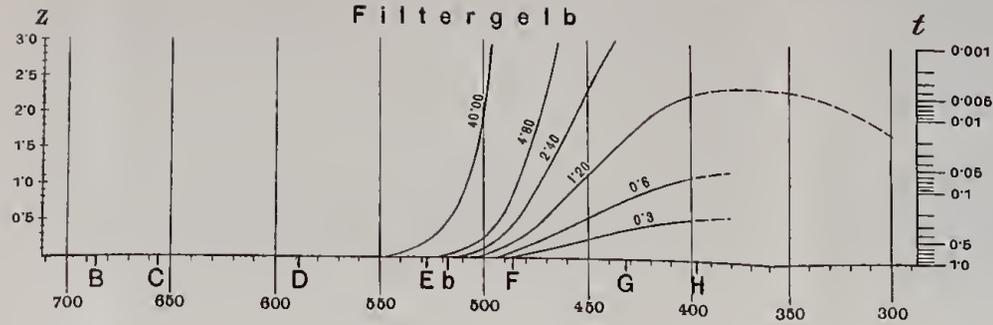
Beilage Ia.



Die Bezifferung der Kurven bedeutet die Dichte der Farbstoffschichten, also die Farbstoffmenge in Gramm pro Quadratmeter Gelatinefolie.

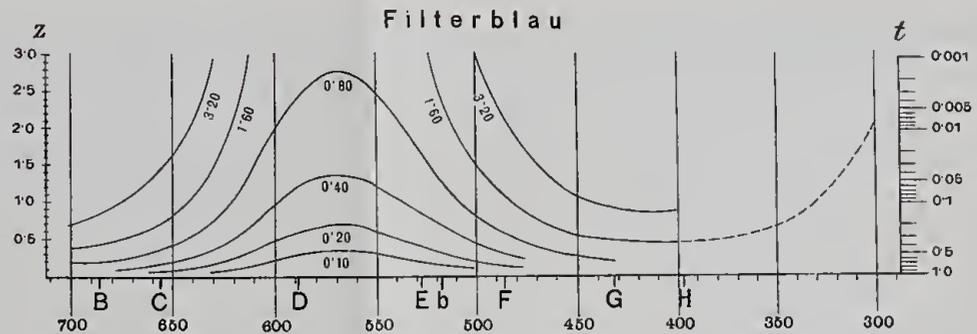
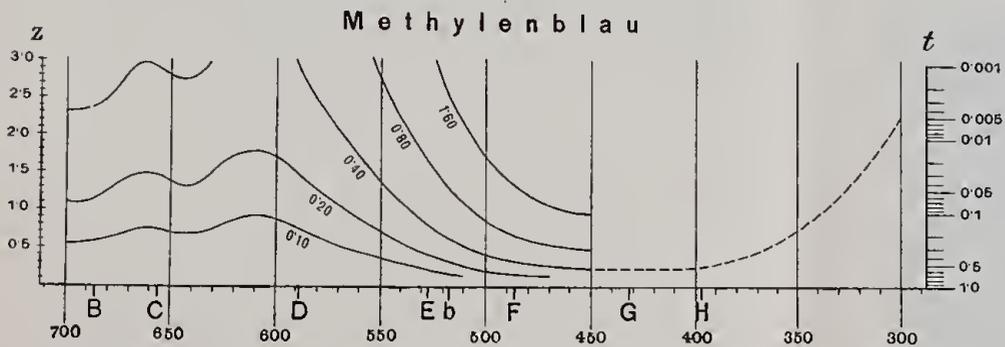
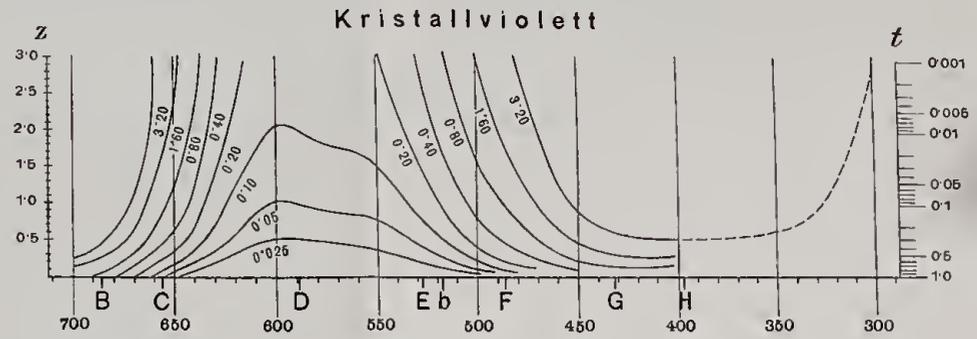
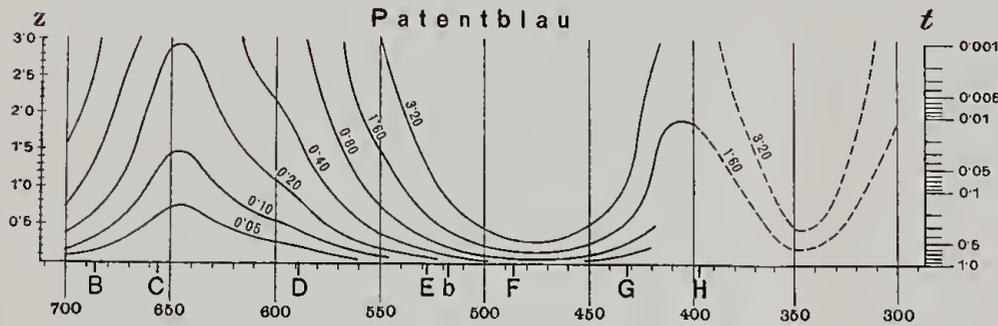
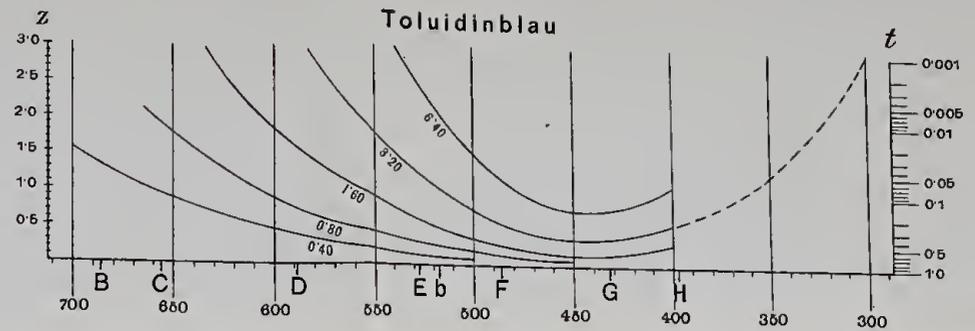
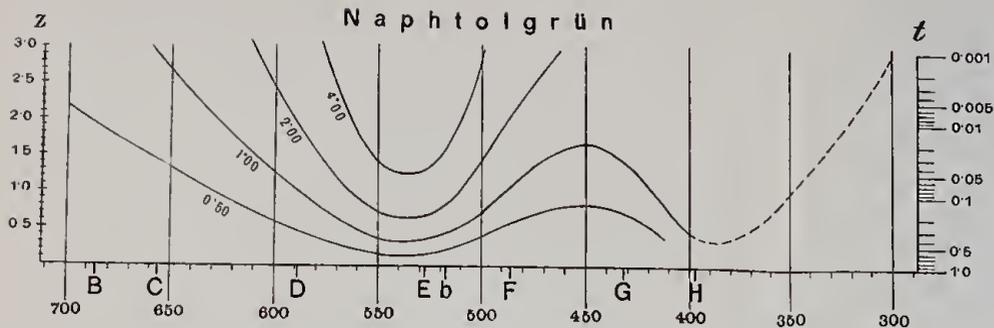
Absorptionsspektra der Farbstoffe in Gelatinefolien.

Beilage Ib.



Die Bezeichnung der Kurven bedeutet die Dichte der Farbstoffschichten, also die Farbstoffmenge in Grammen pro Quadratmeter Gelatinefolie.

Absorptionsspektren der Farbstoffe in Gelatinefolien.



Die Bezeichnung der Kurven bedeutet die Dichte der Farbstoffschichten, also die Farbstoffmenge in Grammen pro Quadratmeter Gelatinefolie.

Symmetrisch im Farbenkreis liegende Farbstoffe
von gleicher Sättigung und Reinheit.



Hübl

Das rote, grüne und blaue Feld reflektieren gleiche Mengen gleich reiner Strahlen und ihre Farben entsprechen den drei Bestandteilen des weißen Lichtes. Das zum Blau komplementäre Gelb repräsentiert die additive Vereinigung gleicher Mengen dieser roten und grünen Strahlen und das Grau zeigt den — allen vier Farben fast gleichen — Schwarzgehalt.

Die Farben besitzen folgende Helligkeiten:

Weiß	100
Rot	23
Grün	41
Blau	7
Gelb	51.

Bei der photographischen Farbenzerlegung sollen die Aufnahmefilter die gleiche rote, grüne und blaue Farbe zeigen und komplementär dazu sind die Farben für den Dreifarbendruck zu wählen.

Symmetrisch im Farbenkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.

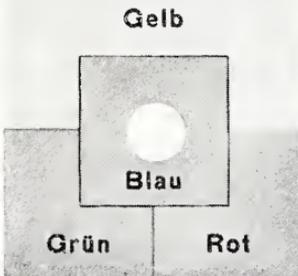


Hüb

Pinaverdolplatte
mit
tonrichtigem Filter

Filtergelb 4,6 + Echttrot 0,25
(trocken).

Symmetrisch im Farbenkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.

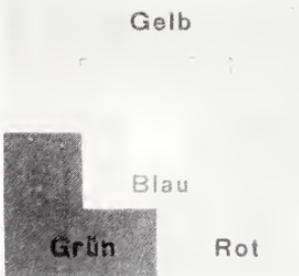


Hüb

Pinaverdolplatte
mit
Komplementärfilter

Filtergelb 2,0 + Echttrot 1,0
(Lösung).

Symmetrisch im Farbenkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.



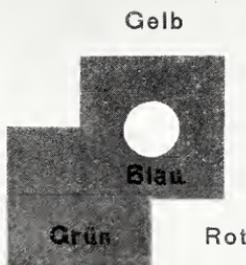
Hüb

Pinazyanolplatte
mit
Kontrastfilter

Rhodamin 4,0
(trocken).

Farbenzerlegung mit normalen Filtern.

Symmetrisch im Farbkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.



Hübtl

Pinachromplatte
mit
Rotfilter.

Rosebengale . . . 1,5)
Tartrazin 2,0)

Symmetrisch im Farbkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.

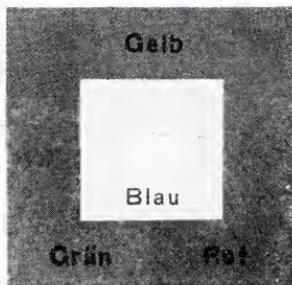


Hübtl

Pinachromplatte
mit
Grünfilter.

Patentblau . . . 0,7)
Tartrazin 2,5)

Symmetrisch im Farbkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.



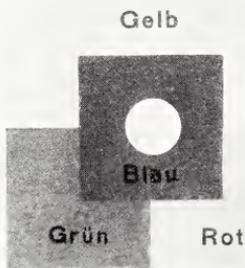
Hübtl

Pinachromplatte
mit
Blaufilter.

Rhodamin . . . 3,0)
Patentblau . . . 1,0)

Für den Dreifarbendruck modifizierte Filter.

Symmetrisch im Farbkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.



Hübl

Pinachromplatte
mit
Orangefilter.

Filterrot 0,4)
Filtergelb . . . 2,0)

Symmetrisch im Farbkreis liegende Farbstoffe von gleicher Sättigung und Reinheit.



Hübl

Pinachromplatte
mit
Blaugrünfilter.

Patentblau . . . 0,7)
Tartrazin 0,7)

Die photographische Aufnahme für das in gelber Farbe zu druckende Teilbild erfolgt mit dem normalen Blaufilter, da eine den drei Druckfarben angepaßte Abänderung desselben nicht möglich ist.

GETTY RESEARCH INSTITUTE



3 3125 01160 1248

