

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 18 (1945)
Heft: II

Artikel: Universalmessgerät für spektrale und integrale Licht- und Farbmessungen
Autor: Mäder, Friedrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-111601>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

**Universalmessgerät
für spektrale und integrale Licht- und Farbmessungen *)
von Friedrich Mäder (Bern).
(3. II. 1945.)**

Zusammenfassung: Heterochrome Photometrie und Kolorimetrie verlangen die Verwirklichung von Strahlungsmessgeräten mit vorgeschriebenen Empfindlichkeitskurven. Das Prinzip der spektralen Zerlegung und geometrischen Ausblendung in der Ebene des Spektrums bietet Möglichkeiten, die bisher noch nicht voll ausgeschöpft worden sind. Es wurde ein Universalmessgerät konstruiert, welches, auf dem genannten Prinzip beruhend, folgende Arten von Messungen auszuführen gestattet:

Spektrale Messungen:

- Direkte Aufnahmen von Durchlässigkeitskurven von Filtern.
- Direkte Aufnahmen von Reemissionskurven von Pigmenten.
- Direkte Aufnahmen von Energieverteilungskurven.
- Vergleich von Energieverteilungen.

Integrale Messungen:

- $V(\lambda)$ -getreue Bewertung von Lichtstrahlungen.
- Bestimmung der Farbkomponenten und Farbkoordinaten von Selbstleuchtern in irgendeinem Farbmesssystem.
- Bestimmung der Farbkoordinaten von Rückstrahlern bezogen auf eine vorgeschriebene Bezugsbeleuchtung.

Die Stärke des Apparates besteht, abgesehen davon, dass die Vorzüge aller bekannten Anpassungsprinzipien ausgenutzt werden, darin, dass die Blendenformen nicht rechnerisch, sondern empirisch bestimmt und nachkorrigiert werden können, bis die geforderte Durchlässigkeitsfunktion auf 1—2% genau erreicht ist.

Die $V(\lambda)$ -getreue Bewertung der Durchlässigkeit von beliebig gefärbten Glasfiltern erfolgt auf durchschnittlich 0,002, die Bewertung der Farbkoordinaten auf 0,002 genau.

Problemstellung.

Das mittlere Normalauge ist definiert durch die drei international festgelegten, in Fig. 1 dargestellten Normalreizfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ ¹. Es müssen Apparate geschaffen werden, die diese Funktionen experimentell verwirklichen, d. h. die für eine Energiestrahlung $S(\lambda)$ direkt die Integrale

$$X = \int S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y = \int S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad Z = \int S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

*) Dissertation Bern 1945. Siehe auch die vorläufige Mitteilung H.P.A. 16, 419, 1943.

abzulesen gestatten, aus denen dann die Farbkoordinaten

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

berechnet werden können. Damit ist unsere Aufgabe, eine rein physikalisch technische, allgemein umschrieben.

Zur Entlastung späterer Abschnitte sei kurz daran erinnert, wie man dazu kam, das an subjektiven Erscheinungen so reiche Gebiet der Bewertung von Licht und Farben in eine so straffe und abstrakte Form zu kleiden.

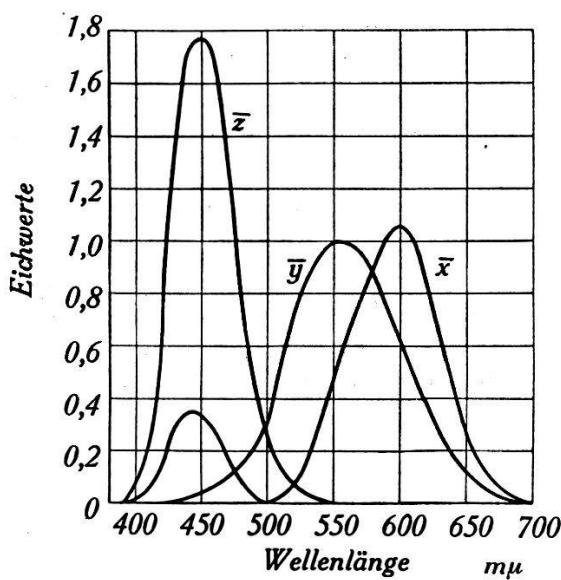


Fig. 1.
IBK-Normalreizkurven für das energiegleiche Spektrum.

Das Urteil über Helligkeit und Farbe einer Lichtquelle ist eine rein subjektive Angelegenheit unseres Empfindungsvermögens. Kein Mensch erfährt je, was der andere empfindet. Dies stört aber nicht, solange beide über den Gebrauch der Worte rot, grün usw. einig sind.

Ein schärferer Vergleich der Sehqualitäten ist nun möglich, indem jedem Beobachter zwei Flächen zum Vergleich dargeboten werden, von denen die eine durch Veränderung von „Intensität“, „Ton“ und „Sättigung“ der anderen in jeder Beziehung gleichgemacht werden soll. Die Herstellung solcher „Farbgleichungen“ durch Mischen von spektralreinen Lichtern bildet die Grundaufgabe der subjektiven Kolorimetrie. Es stellt sich heraus, dass 80% der Beobachter recht einheitliche Resultate erhalten, so dass es einen Sinn hat, ein mittleres normales Auge zu definieren²⁾. Da sich ferner zeigt, dass es *drei* Lichter braucht, um ein *beliebiges* zu ermischen und dass lineare Mischungsgesetze gelten (GRASSMANN),

darf man die Gesamtheit der an vielen Menschen gewonnenen Ergebnisse für ein beliebiges Licht mit den drei „Komponenten“ R , G , B in die Form

$$R = \int S(\lambda) r(\lambda) d\lambda, \quad G = \int S(\lambda) g(\lambda) d\lambda, \quad B = \int S(\lambda) b(\lambda) d\lambda$$

kleiden. Hierin sind $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ Gewichtsfunktionen, welche angeben, in welchem Mass der spektrale Anteil $S(\lambda) d\lambda$ zur „Rot“-, „Grün“- und „Blau-Komponente“ beiträgt. Der zweidimensionalen Mannigfaltigkeit der Verhältnisse $R:G:B$ können die „Farbpunkte“ oder „Farborte“ innerhalb eines Dreiecks, des sog. Farbdreiecks, zugeordnet werden.

Wichtig ist nun die Feststellung, dass die Aussage, wonach zwei Lichter gleich seien, invariant ist gegenüber einer linearen Transformation

$$\begin{aligned} r'(\lambda) &= a_{11} r(\lambda) + a_{12} g(\lambda) + a_{13} b(\lambda) \\ g'(\lambda) &= a_{21} r(\lambda) + a_{22} g(\lambda) + a_{23} b(\lambda) \\ b'(\lambda) &= a_{31} r(\lambda) + a_{32} g(\lambda) + a_{33} b(\lambda) \end{aligned}$$

In der Tat ist das Zusammenfallen zweier Farbpunkte von der Wahl des Koordinatensystems, d. h. von der Lage des Bezugsdreiecks unabhängig. Die erwähnten Messungen bestimmen also die $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ nur bis auf eine lineare Transformation. Das heisst nun nicht, dass die Ecken durch gar kein Merkmal ausgezeichnet seien. Messungen an Beobachtern, die der „Normale“ als „offensichtlich Rotblinde“ bezeichnet, zeigen, dass diese solche Farbpunkte, die auf den Geraden eines Geradenbündels mit ziemlich bestimmtem Schnittpunkt liegen, nicht unterscheiden können. Man sagt, ihnen fehle die „Rotfunktion“, und es ist nicht abwegig, den erwähnten Schnittpunkt als Ort der Rotfunktion des Normalen zu betrachten. Für die Grün- und Blau-Funktion ist die Frage nicht so einfach lösbar. Von dieser Unbestimmtheit in der Auszeichnung des Bezugsdreiecks hat man, wie unten noch gezeigt wird, Gebrauch gemacht. Soviel über das, was man aus dem Urteil „gleich“ herausholen kann.

Das an die Entschlusskraft des Beobachters viel höhere Ansprüche stellende photometrische Urteil „gleichhell“ bei verschiedenfarbigen Flächen führt bei verschiedenen Menschen, sofern sie im oben erwähnten kolorimetrischen Sinn als normal erkannt worden sind, ebenfalls noch zu recht einheitlichen Ergebnissen, und die in der Kolorimetrie weitgehend gültige Linearität ist in der subjektiven Photometrie stark verschiedenfarbiger Lichter wenigstens auf einige Prozent gewährleistet³⁾ ⁴⁾. Es ist daher berechtigt, die

an vielen Beobachtern gewonnenen Ergebnisse des Vergleichs spektralreiner Lichter in die Form

$$B = \text{Konst.} \int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

zu bringen; in Worten: eine lichttechnische Grösse, z. B. die Leuchtdichte B soll aus Energieverteilung $S(\lambda)$ und Hellempfindlichkeitsfunktion $V(\lambda)$ linear darstellbar sein.

Photometrie und Kolorimetrie sind verknüpft in der Abney'schen Beziehung

$$V(\lambda) = \alpha r(\lambda) + \beta g(\lambda) + \gamma b(\lambda).$$

Man kann diese Beziehung als Ausdruck der Tatsache auffassen, dass ein Licht nicht farbig sein kann, ohne zugleich auch hell zu sein und dass die spektralen Komponenten nicht additiv zum Helligkeitseindruck beisteuern, ohne zugleich additiv zu den einzelnen Farbfunktionen beizutragen⁵⁾. α, β, γ hängen mit $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda)$ von der Wahl des Bezugsdreiecks ab.

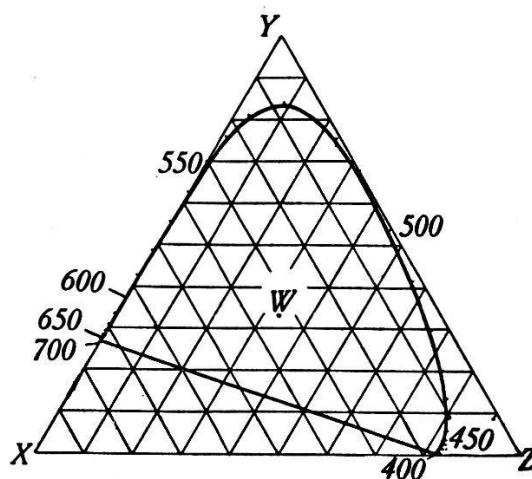


Fig. 2.
IBK-Farbendreieck.

Im Jahre 1924 konnte die Internationale Beleuchtungskommission $V(\lambda)$ festlegen⁶⁾.

Bei der im Jahre 1931¹⁾ erfolgten Festsetzung der sog. Normalreizkurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ liess sich die genannte Körperschaft von folgender Überlegung leiten: Die Farbmesstechnik interessiert sich nicht für den Streit der Wissenschaftler um die physiologisch natürliche Lage der Dreiecksecken, und man wählt drei Funktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ derart, dass sie Linearformen der Beobachtungsergebnisse $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$ sind, dass ferner in der Abney'schen Beziehung der grösste Koeffizient β zu 1, die beiden andern zu Null

werden und dass die von den Funktionen und der λ -Achse umschlossenen Flächen gleichen Inhalt haben. Dies hat den Vorteil, dass total nur drei Funktionen konventionell festgelegt werden müssen, nämlich $\bar{x}(\lambda)$, $V(\lambda) = \bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$, dass die Abney'sche Beziehung auf einfachste Weise erfüllt ist und dass der Farbort des energiegleichen Spektrums $S(\lambda) = \text{konst.}$ in den Weisspunkt, die Dreiecksmitte, fällt (siehe Fig. 2). Obschon zwar die X-Ecke der „wahren“ Rot-Ecke recht nahe liegt, soll trotzdem die neutrale Bezeichnung \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} daran erinnern, wie wenig mehr diese Funktionen mit „Farbe“ als Empfindung zu tun haben.

Dies zur Erläuterung, weshalb die Grundprobleme der objektiven Photometrie und Kolorimetrie mit der Realisierung von $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ gelöst sind.

Prinzip der Apparatur.

Zur Verwirklichung vorgeschriebener Empfindlichkeitsfunktionen stehen im wesentlichen zwei Wege offen: derjenige der flächenhaften Filterung durch Glas- oder Flüssigkeitsfilter und derjenige der spektralen Zerlegung und Ausblendung durch geeignet geformte Blenden in der Ebene des Spektrums. Während man bei den Filtern an die Absorptionskurven gewisser Chemikalien oder Farbgläser gebunden ist, macht der zweite Weg das Problem zu einem geometrischen, bei dem im Prinzip jede Kurve ohne Einschränkung zeichnerisch und mechanisch-konstruktiv hergestellt werden kann.

Das Verdienst, erstmals eine auf diesem Prinzip beruhende Apparatur gebaut zu haben, gebührt IVES⁷⁾ ⁸⁾. Die Blendenform wurde rechnerisch ermittelt. Als Empfänger diente eine Thermosäule. Die Empfindlichkeit war dementsprechend gering. Das Gerät war aber auch nicht für laufende Messungen an beliebigen Lichtquellen bestimmt.

Die relative Genauigkeit des rein geometrischen Verfahrens ist an den Stellen kleiner Blendenöffnung nicht eben befriedigend. KÖNIG⁹⁾ hat daher versucht, die Vorteile beider Verfahren zu kombinieren, indem die rohe Formung der Empfindlichkeitskurve einem ganz oder teilweise in den Strahlengang geschobenen Vorfilter übertragen wurde, so dass mehr nur die Feinanpassung geometrisch vorzunehmen war. Bei partieller Abdeckung des Spektrums mit Filtern ist eine rechnerische Ermittelung der Blendenform zu gewagt. Die gewünschte Form wurde daher mittelst einer bekannten

Eichstrahlung durch Einschieben einer Reihe von in den Strahlengang hineinragenden Stahlnadeln direkt eingestellt. In Unkenntnis des später von HAMAKER und BEEZHOOLD¹⁰⁾ entdeckten Trägheitseffektes bei niedrigen Beleuchtungsstärken wurde noch ein Selen-Photoelement als Empfänger verwendet. Der Apparat befriedigte in dieser Hinsicht nicht und wurde daher nur für photometrische Zwecke ($V(\lambda)$) ausgebaut.

Auch BERTLING¹¹⁾ hat die Ives'sche Schablonenmethode wieder empfohlen.

Recht vollkommene Geräte mit doppelter prismatischer Zerlegung und Kalium-Vakuumzelle wurden von VOOGD¹²⁾ und VAN ALPHEN und BOUMA¹³⁾ ¹⁴⁾ ¹⁵⁾ gebaut. VOOGD verwirklicht $V(\lambda)$, VAN ALPHEN und BOUMA zerlegen das Spektrum mit Schablonen in 8 Bezirke, welche Anzahl zur Farb-Bewertung beliebig zusammengesetzter Strahlungen ausreichen soll. Die Diaphragmen wurden nach berechneten Zeichnungen verkleinert photographiert. Zur Eichung diente eine Wolfram-Glühlampe bekannter Farbtemperatur.

In diesem Zusammenhang verdient auch HARDY's¹⁶⁾ ¹⁷⁾ registrierendes Spektralphotometer besondere Beachtung. Dieser äußerst sinnreiche Apparat ist ein objektives Spektral-Flimmerphotometer mit Doppelmonochromator, zwei Strahlengängen und vollautomatischem Abgleich derart, dass vom zu untersuchenden Pigment und vom MgO-Vergleichsschirm die gleichen Lichtmengen zurückgeworfen werden. Der Apparat liefert rasch und exakt Durchlässigkeits- und Reemissionskurven auf Koordinatenpapier. Das Spektralband wird konstant, und zwar in der einfacheren Ausführungsform auf 10 nm gehalten. Der Vorschub erfolgt prop. λ . Mit dem Vorschub und der Schreibvorrichtung sind mechanische Integratoren gekoppelt, die direkt die Integrale X , Y und Z geben. Der Apparat gestattet nicht, mit anderen Lichtquellen als der eingebauten zu arbeiten.

Bis dahin hat keiner der Autoren den Reichtum an Möglichkeiten, die das geometrische Prinzip in Kombination mit der flächenhaften Filterung sowohl in kolorimetrischer wie in photometrischer Hinsicht bietet, voll ausgeschöpft. Hier setzt unser Versuch zur Schaffung eines nicht zu komplizierten, allerdings auch nicht allzu exakt arbeitenden Universalgerätes für spektrale *und* integrale Messungen ein, welches die eingangs in der Zusammenfassung aufgezählten Aufgaben zu lösen gestattet.

Konstruktion.

In diesem Abschnitt soll der allgemeine Aufbau des Apparates sowie die praktische Lösung einiger Probleme, die bei der Konstruktion auftauchten, besprochen werden.

Das in Fig. 3 dargestellte 90 cm lange Metallgehäuse und die darin fest montierte Optik wurde von KÖNIG schon 1934 als künstliches Präzisionsauge KPA III verwendet⁹⁾. Der Achromat L_1 , das geradsichtige Amici-Prisma P und der Achromat L_2 entwerfen vom Licht, das durch den Eingangsspalt in den Apparat gelangt, in der Ebene dd' ein Spektrum. Zur Veranschaulichung der Art

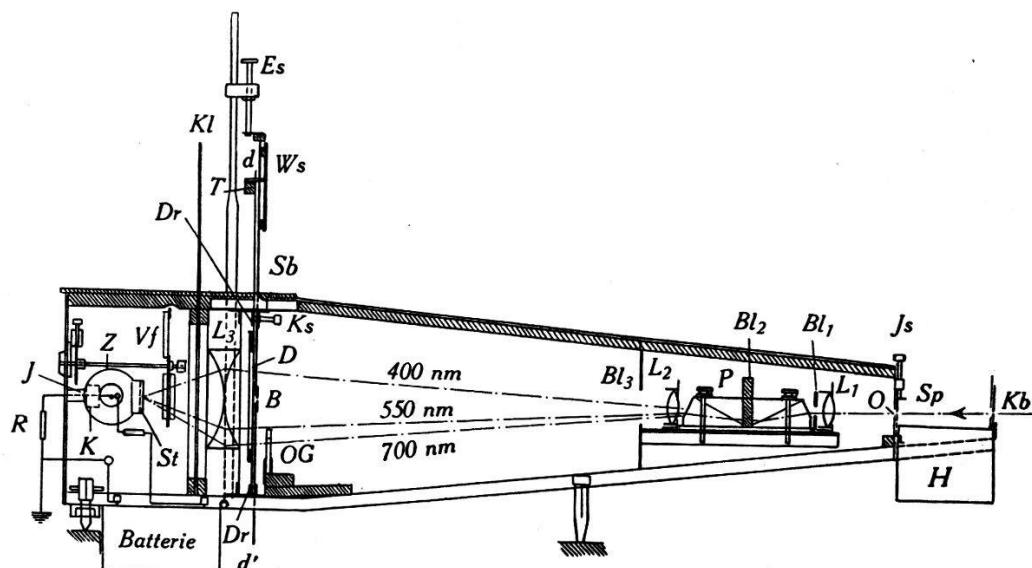


Fig. 3.
Schematischer Aufriss des Gerätes.

der Dispersion $\frac{ds}{d\lambda}$ sind in Fig. 3 die Strahlen des Lichtes von 700, 550 und 400 nm in richtigen Abstandsverhältnissen angedeutet. Der Abstand s von 400 bis 700 nm beträgt in der Ebene dd' 8 cm. In dieser Ebene befindet sich an Stelle des beim KPA III verwendeten Filterhalters mit verstellbarer Nadelblende ein festes Diaphragma D . Dahinter folgt die Linse L_3 , durch die alle Strahlen in die Kalium-Vakuum-Photozelle Z (Philips Type 3510) hineingeworfen werden. Zur Messung des Photostroms dienen Hochohmwiderstände und eine symmetrische Triodenbrücke. Der Dunkelstrom der Zelle wird mittelst eines besonderen Potentiometerkreises kompensiert. Der Ausschlag des Anzeigegerätes, eines Lichtmarkengalvanometers, wird nur dann kompensiert, wenn hohe Präzision verlangt ist. Die Ablesung erfolgt in diesem Falle an einem Präzisionsspannungsteiler, an welchem man die Kompen-

sationsspannung abgreift. Bei Messungen zweiter Präzision wird der Ausschlag des Galvanometers oder des an seiner Stelle eingeschalteten Koordinatenschreibers (Siemens) direkt abgelesen.

Unmittelbar vor dem Diaphragma kann ein Schieber *Sb* mit einer horizontalen Spaltblende *B* vertikal durch das Spektrum bewegt werden. Die Blendenöffnung hat die Breite und leicht gekrümmte Form des Eingangsspaltbildes in der Diaphragmenebene. Bei dem zum später beschriebenen engeren Eingangsspalt gehörenden Spektralblendenschieber beträgt die Breite der Blendenöffnung 1 mm, bei dem zum weiteren Eingangsspalt gehörenden 2 mm. Wenn in den folgenden Ausführungen über die Verwendung des engeren oder weiteren Eingangsspaltes berichtet wird, so führte man dabei die spektralen Messungen oder Eichungen immer mit dem zugehörigen Spektralblendenschieber aus. Am oberen aus dem Gehäuse herausragenden Ende ist eine Wellenlängenskala *WS* angebracht. Ein Zeiger, der am Träger *T* montiert und damit fest mit dem Gehäuse verbunden ist, gibt bei richtiger Stellung des Eingangsspaltes die Wellenlänge des Hauptlichtes an, das durch den Spalt fällt. Wegen des hier angewandten Abbe'schen Prinzips brauchen an die Schiebereinstellschraube *Es* keine grossen Anforderungen gestellt zu werden. Durch den Spektralblendenschieber wird der früher zur Einstellung der Nadelblenden verwendete Monochromator entbehrlich, die Herstellung der Diaphragmen ganz bedeutend erleichtert und der Apparat auch für spektrale Messungen brauchbar. Die Eingangsspaltblende *Sp* besitzt einen weiten Spalt (1 mm), der die Hauptöffnung *O* der Frontplatte frei gibt, einen mittleren von 0,3 mm und einen engen von nur 0,15 mm Breite. In dieser Arbeit gelangen nur die beiden letzteren zur Anwendung. Sie können mit Hilfe der Schraube *Js*, wie später beschrieben, an die richtige Stelle vor die Hauptöffnung geschoben werden. Der Apparat ist empfindlich gegen jede, ganz besonders aber gegen vertikale Verschiebung des Spektrums in bezug auf die Lage des Diaphragmas. Alle Durchbiegungen des Gehäuses würden solche Verschiebungen zur Folge haben. Dieser Gefahr ist deshalb beim Bau durch die solide Konstruktion Rechnung getragen worden. Einer seitlichen Verschiebung von Spektrum und Diaphragma begegnet man zudem durch Festklemmen des Diaphragmen-Einsatzrahmens *Dr* mit Hilfe zweier Klemmschrauben *Ks* und dadurch, dass man die Öffnung des Diaphragmas in horizontaler Richtung immer kleiner als die Länge des Spaltbildes wählt. Filter, die während einer Mess-Serie auszuwechseln sind, dürfen wegen der Verschiebung des Spektrums nicht zwischen der Linse *L₂* und

dem Diaphragma in den Strahlengang hineingebracht werden. Die von aussen drehbare Scheibe mit den allgemeinen Vorfiltern V_f befindet sich deshalb unmittelbar vor dem Eintrittsfenster der Photozelle.

Das Streulicht wird durch die Blenden Bl_3 und Bl_2 abgehalten und seine Entstehung im Amici-Prisma durch die enge Blende Bl_1 so gut als möglich verhindert. Der kleine Rest Blaulicht, der sich im langwelligen Gebiet noch nachweisen liess, wird vom fest montierten Orangefilter OG unschädlich gemacht¹⁸⁾. Eine entsprechende Filtrierung im kurzwelligen Gebiet des Spektrums erwies sich nicht als notwendig. Um die Wirkung lokaler Unregelmässigkeiten der Photokathode zu eliminieren, befindet sich vor dem Eingangsfenster der Photozelle ein mattierter Zelloidstreuer St .

Als Durchführung der Verbindung Kathode—Hochohmwiderstand R dient ein Bernsteinzyylinder J mit Lichtschutzkappe K . Bei Nichtgebrauch ist die Hell-Dunkelklappe Kl immer geschlossen; dafür kann die Anodenspannung an der Photozelle belassen werden.

Praktisch punktförmige Lichtquellen sind derart einzustellen, dass das Licht, das durch die kreuzförmige Öffnung der Blende Kb gelangt, symmetrisch auf eine Marke an der Frontplatte des Apparates fällt. Für Filtermessungen und Pigmentmessungen sind besondere Beleuchtungseinrichtungen geschaffen worden. Diese kann man in den Beleuchtungshalter H einsetzen, wobei ihre richtige Lage durch Anschläge bestimmt ist.

In Fig. 4 ist die Beleuchtungseinrichtung für Filtermessungen dargestellt. Die ganze Einrichtung ist auf einem starken Brett montiert. Unten befindet sich die Anschlagschraube As und die Fixierschraube Fs . Die Lampe, eine Luxram-Kleinkinolampe (110 V/450 W), wird zur Schonung nur mit 80 Volt Gleichspannung betrieben. Um eine möglichst gute Kühlung zu erreichen, ist das Lichtschutzgehäuse Sch oben und unten offen. Die Doppelwendel der Lampe wird durch die Linse L auf der Eingangsspaltblende Sp unscharf abgebildet. Damit das Licht, das in den Apparat hineingelangt, nicht ein allzu kleines Gebiet des zu untersuchenden Filters F durchsetzt, ist der mit der Kurbel K herunterklappbare Filterhalter so nahe als möglich hinter der Linse L aufgestellt worden. Besondere Aufmerksamkeit musste der Vermeidung einer Filtererwärmung gewidmet werden. Es erwies sich als notwendig, zur Absorption der Wärmestrahlung neben der Wassercuvette C auch ein Wärmeglas W (4 BG 19) in den Strahlengang einzuführen. B ist eine Wärmeschutzwand. Dreht man die mit der Drehachse des Filterhalters fest verbundene Kontaktfeder Ko vom Kontakt τ

zum Kontakt 1, so wird der Ausschlag statt mit einem der Filterdurchlässigkeit entsprechenden Teil mit der ganzen am Kompen-sator liegenden Spannung kompensiert.

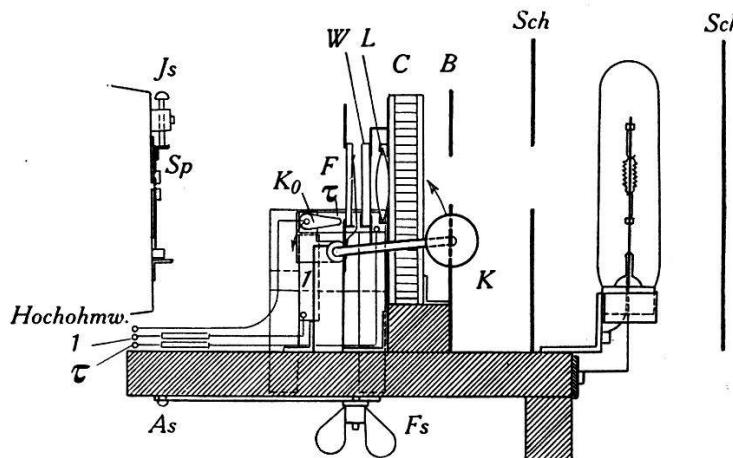


Fig. 4.
Beleuchtungseinrichtung für Filtermessungen.

Fig. 5 zeigt einen Grundriss der Beleuchtungseinrichtung für Pigmentmessungen. Das Pigment P wird von den zwei Lampen L_1 und L_2 (Osram Nitra 12 V/4,1 A) beleuchtet. Die ausgenutzte Pig-

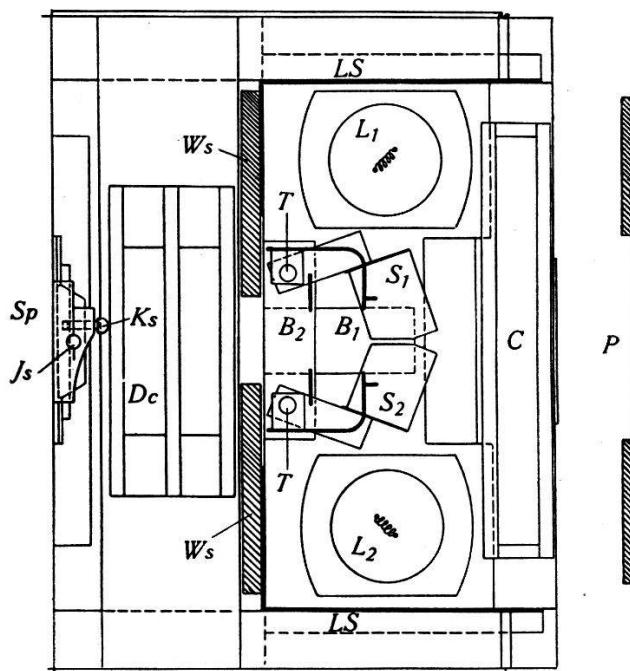


Fig. 5.
Beleuchtungseinrichtung für Pigmentmessung.

mentfläche, von der aus das zurückgeworfene Licht zum Eingangsspalt Sp gelangt, ist ein Rechteck von 2,5 auf 4 cm. Bei spektralen Messungen werden die Lampen mit 12 Volt, zur Bestimmung von Farbkoordinaten mit 11,5 Volt Gleichspannung betrieben. Ihre Um-

färbung auf 2848^0 K, d. h. auf Normalbeleuchtung A^1), erfolgt durch das Diaphragma. Ist Normalbeleuchtung B , C^1 oder E^{19}) erwünscht, so stellt man die Doppelcuvette Dc mit den entsprechenden Normallösungen hinter der Wärmeschutzwand Ws in den Strahlengang. Zur besseren Ausnutzung der Lampen dienen vier an den Trägern T befestigte Spiegel, von denen im Grundriss nur zwei S_1 und S_2 gezeichnet sind. Durch geeignete Anordnung dieser Spiegel wird ungefähr eine Verdoppelung der Beleuchtungsstärke erreicht. Im Falle der Farbkoordinatenbestimmungen, die nur eine kurze Zeit dauernde Bestrahlung erfordern, genügt die Wasser-cuvette C zur Verhinderung einer unzulässigen Erwärmung des Pigments. Bei länger dauernden Messungen dagegen ist eine künstliche Luftkühlung zu empfehlen. In der von der Licht- und Wärmeschutzwand Ls umgebenen Beleuchtungsanordnung muss zwangsläufig ziemlich viel Streulicht auftreten. Um ihm den Zugang zum Eingangsspalt zu verwehren, müssen weit nach vorn ragende Blenden B_1 und B_2 eingesetzt werden.

Die früher von KÖNIG⁹) verwendeten verstellbaren Nadelblenden besitzen neben dem Nachteil einer treppenförmigen Begrenzung der Blendenöffnung den grossen Vorteil, dass mit ihnen die zur Verwirklichung einer vorgeschriebenen Empfindlichkeit nötige Blendenform rein empirisch aufgefunden werden kann. Es erwies sich als wünschenswert, nach einer Methode zu suchen, die, ohne Verzicht auf den Vorteil der Nadelblenden, den Bau von Diaphragmen mit glatten Begrenzungskurven ermöglicht. Dies erforderte die Herstellung eines besonderen, in Fig. 6 zur Darstellung gebrachten Schreibeinsatzrahmens. Links befindet sich der 19,9 cm hohe und 16 cm breite Teil $a b c d$, der in den Apparat hineingeführt wird. Er ist im wesentlichen gleich gebaut, wie die früher benutzten Einsatzrahmen mit verstellbarer Nadelblende. Eine am Rand durch Winkelstäbe verstärkte Metallplatte besitzt einen 10 cm hohen und 3,8 cm breiten rechteckförmigen Ausschnitt, der bei richtig in den Apparat eingesetztem Rahmen in die Ebene des Spektrums zu liegen kommt. In diesen Ausschnitt kann eine gelatinierte Glasplatte Gp eingelegt werden. Der Anschlag A bestimmt die richtige Lage der durch die Federn F_1 und F_2 festgehaltenen Platte. Die horizontalen Randverstärkungen des Einsatzrahmens sind verlängert und aussen durch eine Antikorrodalplatte Ap verbunden. An diesen verlängerten Verstärkungen ist die ganze Schreibvorrichtung montiert. Ein vertikal und ein horizontal verschiebbarer Schlitten VV und HH , wobei an ersterem bei Sh der Spektralblendenschieber Sb befestigt ist und letzterer an seinem äusseren Ende einen Schreibstift Sc und am inneren Ende eine

Messingplatte mit Stahlnadel Mp trägt, sind die wesentlichen Bestandteile dieser Vorrichtung. Der Vertikalschlitten besteht aus zwei durch den Schieberträger St und den Querbalken Q fest miteinander verbundenen Rundeisenstäben. Diese gleiten in Führungen durch die Winkelstäbe und Messingplatten P hindurch.

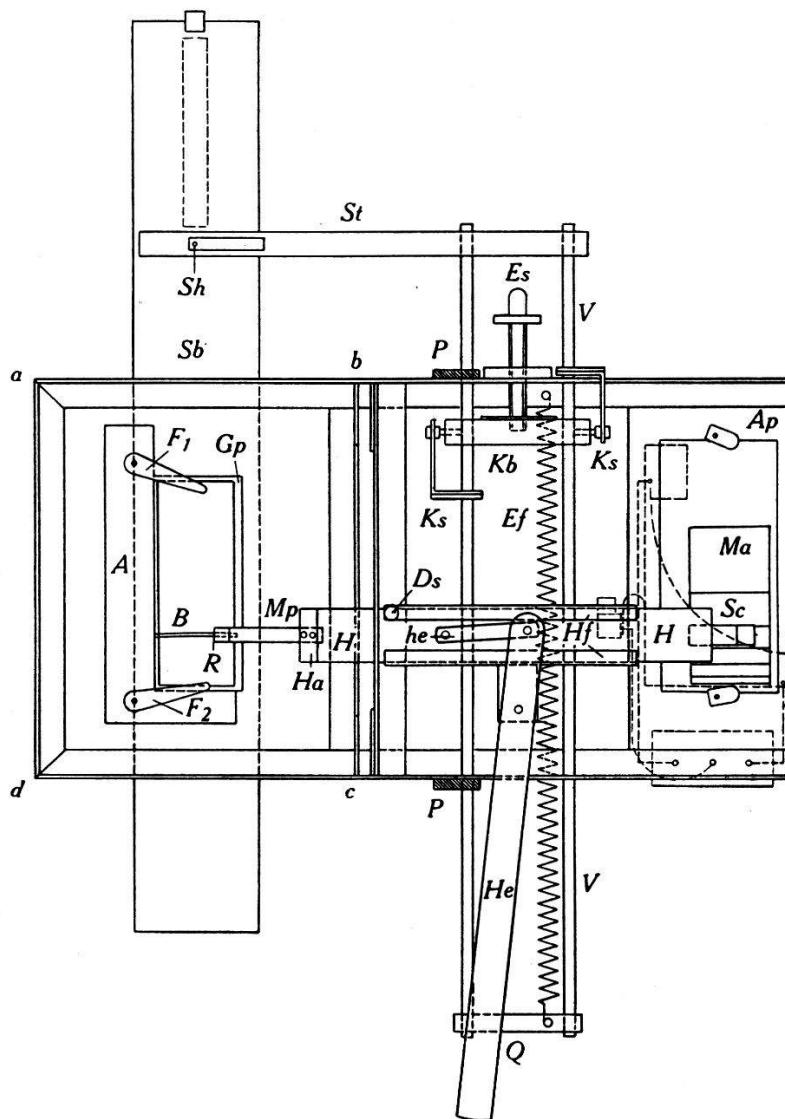


Fig. 6.
Schreib-Einsatzrahmen.

Exakte Einstellungen und sehr langsame Verschiebungen des Schlittens werden mit der feinen Einstellschraube Es vorgenommen. Dazu klemmt man die Rundeisenstäbe mit den Schrauben Ks am Balken Kb fest. Um die Einstellschraube etwas zu entlasten, wurde der Schlitten mit der langen Feder Ef am oberen Winkelstab aufgehängt. Als Horizontalschlitten dient ein 2,5 cm breites und 19,5 cm langes Stahlband, das mit den Hebeln He verschoben werden kann. Die lange, jedoch nicht bis zu den Enden der ge-

zeichneten Messingwinkel hinausragende Horizontalschlittenführung *Hf* ist derart am Vertikalschlitten festgeschraubt, dass sich Spalt des Spektralblendenschiebers *B* und Messingplatte mit Stahlnadel *Mp* immer in gleicher Höhe befinden. Da die Spitze der Stahlnadel genau unter dem inneren Rand der Messingplatte *R* die gelinierte Glasplatte berührt, reisst sie stets die Stelle an, bis zu welcher die Messingplatte den Spalt *B* abdeckt. Ausser der Platte *Mp* gehört zur Vorrichtung ein weiterer Schreibeinsatz, der den Spalt von der Seite *ad* her abdeckt und, wie *Mp*, am Halter *Ha* befestigt wird. Am gleichen Halter lassen sich, mit Hilfe einer Klemmvorrichtung, Filmstreifen montieren. Ort des Spalts und Betrag der Abdeckung können mit dem Schreibstift *Sc* auf der an der Antikorrodalplatte festgeklemmten Masskarte *Ma* markiert werden. Auf der andern Seite der Antikorrodalplatte ist ein in der Zeichnung gestrichelt angedeutetes Potentiometer festgeschraubt, das dazu dient, am Koordinatenschreiber einen der Wellenlänge proportionalen Ausschlag zu erzeugen. Abgegriffen wird die Spannung mit einer Feder, die fest mit dem Horizontalschlitten verbunden ist. Es ist hier noch zu erwähnen, dass ein zu grosses Spiel der beiden Schlitten sowie ein zu grosser toter Gang der Einstellschraube die Genauigkeit der Aufzeichnungen beträchtlich herabmindern, sich also bei der Herstellung der Diaphragmen sehr lästig auswirken würden. Man muss deshalb beim Bau der Schreibvorrichtungen die nötige Sorgfalt walten lassen.

Wellenlängen-Eichung.

Ähnlich wie es bei der Wellenlängeneichung des Spektralphotometers von HARDY¹⁷⁾ gemacht wird, verwenden auch wir zur Justierung der Wellenlängenskala unseres Photometers Filter von bekannter Durchlässigkeit. Die Eichwellenlängen wählen wir in Gebieten, in welchen die Durchlässigkeitskurve der Filter eine grosse Steilheit aufweist, also an Stellen, an denen einer kleinen Wellenlängenänderung eine möglichst grosse Änderung der Durchlässigkeit entspricht. Als Hauptfilter dient uns das Schott-Glas 2 OG 3. Seine Durchlässigkeit fällt von 74,2% bei 600 nm auf 3,2% bei 580 nm. Dieses Glas besitzt bei einer Temperatur von 17,5° C für Licht von der Wellenlänge 590 nm unter Berücksichtigung der Spaltbreite eine Durchlässigkeit von 33% für den engen und 33,5% für den weiteren Spalt. Einer Änderung der Wellenlänge um 1 nm entspricht hier eine Durchlässigkeitsänderung von 4,5%. Zur Eichung stellt man vorerst den Spektralblendenschieber bei richtig justierter Lichtquelle auf 590 nm. Die Aufgabe besteht nun darin,

mit Hilfe der Justierschraube *Js* (Fig. 4) den Eingangsspalt so lange vertikal zu verschieben, bis das Spektrum an die richtige Stelle zu liegen kommt, so dass das Licht von 590 nm durch den Spalt des Spektralblendenschiebers fällt, d. h. bis die Durchlässigkeitsmessung des Haupteichfilters den geforderten Wert von 33% bzw. 33,5% ergibt. Ist dies erreicht, so kontrolliert man die Einstellung mit Filtern, die bei 520, 570, 587,6 und 620 nm einen ähnlichen Durchlässigkeitskurvenverlauf besitzen wie 2 OG 3 bei 590 nm und fixiert dann die Justierschraube *Js* mit der Klemmschraube *Ks* (Fig. 5). Während der Justierarbeit, die kaum 5 Minuten in Anspruch nimmt, dürfen sich die Eichfilter unter keinen Umständen erwärmen, da sonst die nach den langen Wellen hin erfolgende Verschiebung der Absorptionsgrenzen eine genaue Einstellung verunmöglicht.

Herstellung von Diaphragmen.

Das Diaphragma ist im Grunde genommen der Kern des ganzen Apparates und stellt den Punkt dar, in dem wir am ausgesprochensten gezwungen waren, neue Wege zu beschreiten. Wir gehen daher in der Angabe von präparativen und konstruktiven Einzelheiten so weit als nötig ist, damit an Hand dieser Angaben solche Diaphragmen nachkonstruiert werden können. Anderseits beschränken wir uns der Übersicht zuliebe auf den speziellen Fall der Verwirklichung der \bar{x}_λ -Kurve, da bei ihr wegen der Nullstelle bei 500 nm alle Gesichtspunkte deutlich in Erscheinung treten und weil gerade dieses Diaphragma am schwierigsten herzustellen ist.

Wie van ALPHEN und BOUMA¹⁴⁾ benutzen wir beim Aufsuchen der Blendenformen eine Wolframfadenlampe von bekannter Farbtemperatur als Eichstrahler. Für diese Lampe sind die relativen Ausschläge in Funktion der Wellenlänge, wie man sie mit einem richtig angepassten Empfänger erhalten würde, von 10 zu 10 nm zu berechnen und in eine Tabelle einzutragen.

Das zur Herstellung der Diaphragmen nötige Rohmaterial besteht aus gelatinisierten Glasplatten von der Grösse 107×44 mm, Filmstreifen von möglichst homogener Durchlässigkeit, Scribtol und Tusche. Damit immer das Diaphragma die Blendenöffnung begrenzt, wird an den Längsrändern 2 und 4 der Glasplatte (Fig. 7) ein 4—5 mm breiter Streifen *r* mit Scribtol abgedeckt. Die Wahl des Filmstreifens, der zur Änderung der Durchlässigkeit der Platte in den verschiedenen Spektralbereichen dient, richtet sich nach der Art der Empfindlichkeitskurve, die erreicht werden soll. Im Falle, wo die zu verwirklichende Empfindlichkeit, wie die \bar{x}_λ -Kurve, sehr

starke Änderungen aufweist, verwendet man am besten ein Filmblatt mit einer Durchlässigkeit von 30 bis 40%. Vom ausgewählten Stück muss ein 5 cm langer und 1 cm breiter Streifen abgeschnitten werden. Dieser ist am Horizontalschlitten des Einsatzrahmens festzuklemmen und dient, wie später beschrieben, zur empirischen Ermittlung der zur Anpassung nötigen Filterform. Die schwarzen Randabdeckungen r der Schreibvorrichtung zugekehrt, legt man jetzt die Glasplatte in den Einsatzrahmen. Parallel zur Seite 4

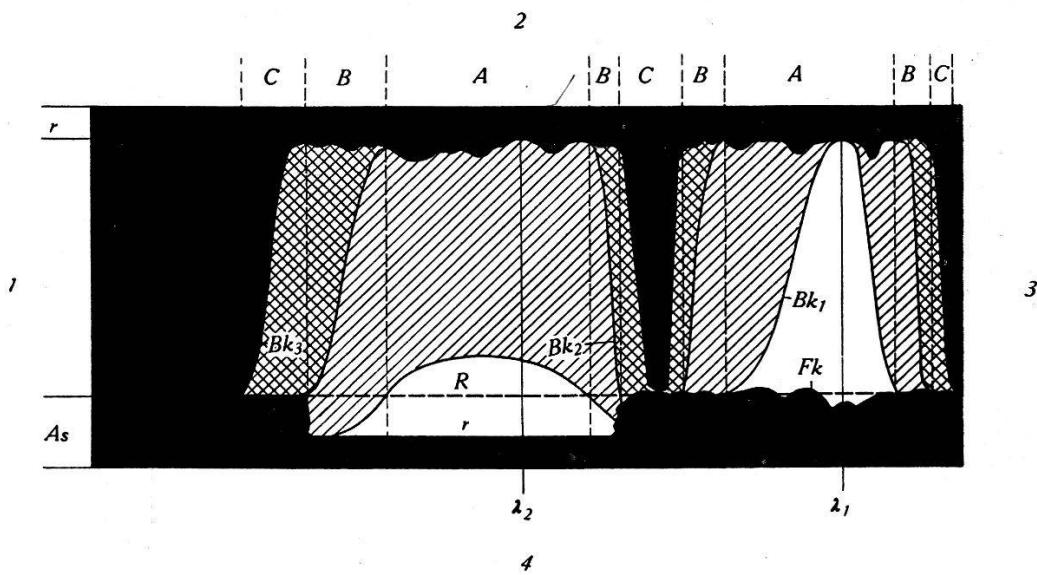


Fig. 7.

Aufbau eines Filmdiaphragmas schematisch dargestellt.

wird ein Abdeckstreifen As derart unter die Platte geklemmt, dass er etwa 5 mm in die Diaphragmenöffnung hineinragt. Es ist dies der mittlere Betrag der von der unten beschriebenen Feinkorrekturkurve begrenzten Abdeckung.

Nun kann der Rahmen in den Apparat eingesetzt und die Masskarte Ma (Fig. 6) mit Hilfe der Linien 450 und 600 nm justiert werden. Dabei sind auf den erwähnten Linien der Masskarte die Punkte zu markieren, die dem Rande von r auf Seite 2, d. h. vollständiger Öffnung und dem Rande des Abdeckstreifens As auf Seite 4, d. h. vollständiger Abdeckung der Spektralblende entsprechen. Beim Aufsuchen der Begrenzungskurve Bk_1 des Filmstreifens F_1 geht man folgendermassen vor: Um ein möglichst lichtstarkes Diaphragma zu erhalten, wird zuerst die Stelle maximaler Öffnung λ_1 ermittelt. Diese Stelle befindet sich im allgemeinen in der Nähe derjenigen Wellenlänge, bei der die zu verwirklichende Empfindlichkeitskurve ihren maximalen Wert aufweist. Zur Feststellung der Wellenlänge λ_1 schiebt man die Spektralblende mit vollständig geöffnetem Spalt von 10 zu 10 nm weiter und stellt am Kompen-

sator die entsprechenden relativen Ausschlagsbeträge der Sollwerttabelle ein. Der noch verbleibende Ausschlag des Galvanometers ist durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Spannung am Kompensator auf Null zurückzuführen. An jenem Ort, wo man dazu die kleinste Spannung benötigt, liegt die gesuchte Stelle λ_1 . Diese „kleinste Spannung“ muss während der Anpassung der Filmbänder F_1 und F_2 beibehalten werden. Nun beginnt man mit der punktweisen Aufnahme der Begrenzungskurve Bk_1 . Von λ_1 aus wird die Spektralblende um 10 nm weitergeschoben und mit dem zu dieser Wellenlänge gehörenden Tabellenwert kompensiert. Wegen der „kleinsten Spannung“ am Kompensator zeigt jetzt das Galvanometer einen positiven Ausschlag. Der am Horizontalschlitten befestigte Filmstreifen ist nun so weit in den Strahlengang hineinzuschieben, bis die Lichtmarke des Galvanometers auf Null steht. Die Stellung des Horizontalschlittens, in der dies erreicht wird, markiert man mit dem Stift Sc auf der Masskarte Ma (Fig. 6). Es ist das ein Punkt der gesuchten Kurve Bk_1 . Jetzt schiebt man den Vertikalschlitten um 10 nm weiter und ermittelt wieder den zugehörigen Kurvenpunkt usw. Mit dem Film F_1 lassen sich natürlich nur jene Gebiete A anpassen, in denen die erforderliche Schwächung des Lichtes kleiner ist als die 60—70% betragende Absorption des verwendeten Films. Bevor man die Glasplatte aus dem Einsatzrahmen herausnimmt, wird auf ihr mit Hilfe der Schreibvorrichtung Mp (Fig. 6) die Randlinie R von As in die Gelatine eingerissen und bei 400 nm eine deutliche Marke angebracht.

Zur Bearbeitung des Filmstreifens F_1 werden vorerst die auf der Masskarte durch Punkte markierten Begrenzungskurvenstücke Bk_1 und Randlinien von r und As ausgezogen. Diese Linien sind durch den auf die Masskarte aufgepressten Filmstreifen hindurch gut zu erkennen und lassen sich daher leicht mit einer Stahlnadel auf den Film pausen. Der Anschläge wegen, die sich auf Seite 2 und 3 befinden, schneidet man die äussern Filmränder so, dass der Film wohl gut unter die schwarzen Randzonen r hinunterragt, jedoch nicht ganz bis zu den Glasrändern 2 und 3 hinausreicht. Zum Ausschneiden der Kurve Bk_1 wird am besten eine gute Schere verwendet. Die Schnittkurve muss möglichst glatt verlaufen, da sich sonst bei der Feinanpassung oft schwer zu behebende Unregelmässigkeiten zeigen.

Mit 3—4 Tropfen eines geeigneten Klebstoffes, z. B. „Plüssifix-Glas“ klebt man den zurechtgeschnittenen Film so auf die Masskarte, dass sich die Kurven Bk_1 und die Randlinien von r und As genau decken. Längs den Rändern 1, 3 und 4 trägt man

nun ein wenig vom genannten Klebstoff auf und drückt die Glasplatte mit nach oben gekehrten Randabdeckungen in richtiger Lage auf den Filmstreifen. Diese Lage ist durch den Rand von r und die Marke bei 400 nm gekennzeichnet. Nach kurzer Zeit haftet der Film so stark an der Glasplatte, dass die Masskarte ohne Gefahr, den Film auf der Platte zu verschieben, abgelöst werden kann. Bevor man zur Anpassung der Gebiete B übergeht, wird eine Kontrolle der Spektralgebiete A durchgeführt. Alle Stellen, an denen die erreichte Anpassung vom Sollwert um mehr als 10% abweicht, sind nachzukorrigieren. In Gebieten, wo der Ausschlag kleiner ist als der Sollwert, schneidet man mit einer Rasierklinge einen der Abweichung entsprechenden Streifen vom Film weg. Das Filmbrett braucht dabei nicht von der Glasplatte abgelöst zu werden. Es ist darauf zu achten, dass die glatte Form der Kurve möglichst erhalten bleibt.

Als zweiten Film, der zur Anpassung der Gebiete B dienen soll, wählt man im Falle der \bar{x}_λ -Kurve einen Streifen von ungefähr gleicher Durchlässigkeit wie sie F_1 besitzt. Wieder wird ein Stück von 5×1 cm vom ausgewählten Film abgeschnitten und am Horizontalschlitten befestigt. Bei vollständig geöffneter Spektralblende beginnt man an den Grenzen der Gebiete A mit der Aufnahme der Kurvenpunkte von Bk_2 . Es besteht nun hier die Möglichkeit, die noch verbliebenen Fehler von F_1 im Gebiete A zu korrigieren. Wie bei der ersten Anpassung, wird die erhaltene Begrenzungskurve auf das Filmbrett F_2 gepaust und ausgeschnitten. Zur Kontrolle schiebt man den zugeschnittenen Film F_2 bei der noch nicht verklebten Seite 2 an die richtige Stelle unter F_1 . Erweist sich eine Korrektur als notwendig, so lässt sich F_2 zur weiteren Bearbeitung leicht unter F_1 hervorziehen. Erst, wenn die erreichte Anpassung nirgends mehr als 10% vom Sollwert abweicht, klebt man die beiden Filme längs dem Rande 2 fest. Mehr als zwei Filme sollen nie verwendet werden.

Zur Anpassung der Gebiete C und gleichzeitig zur Korrektur der Gebiete A und B dient die Messingplatte mit Stahlnadel Mp (Fig. 6). Für Grobkorrekturen justiert man die Platte Mp mit Hilfe einer Marke, auf die die Nadelspitze, bei vollständig heruntergezogenem Vertikalschlitten, einzustellen ist. Vor dem Einsetzen des Rahmens ist der Druck der Stahlnadel auf die Glasplatte mit der Druckschraube Ds (Fig. 6) so zu regulieren, dass die Spitze überall eine gleichmässige Linie in die Gelatine einreisst. Bei der punktweisen Aufnahme der Kurve Bk_3 geht man gleich vor, wie beim oben beschriebenen Aufsuchen der Kurvenpunkte von Bk_1 .

Die Stahlspitze zeichnet jedoch hier die Bewegungen des Horizontal- und Vertikalschlittens direkt auf der Gelatineplatte ein. Wieder sucht man mit vollständig zurückgezogenem Horizontalschlitten die Stelle λ_2 der „kleinsten Spannung“, schiebt den Vertikalschlitten auf die nächste Wellenlängenmarke, stellt am Kompen-sator den zu dieser Wellenlänge gehörenden Tabellenwert ein und führt die Messingplatte Mp so tief in den Strahlengang hinein, bis die Lichtmarke des Galvanometers auf Null steht. Ohne den Horizontalschlitten zu bewegen, schiebt man jetzt den Vertikalschlitten ein wenig gegen die vorher eingestellte Wellenlänge zurück und dann erst um 10 nm vorwärts auf die nächste Linie der Wellen-längenskala. Auf diese Weise entstehen an den Stellen der Kurvenpunkte leicht zu erkennende Kreuzmarken. Durch diese Marken zieht man mit rasch trocknender Tusche die Kurve Bk_3 und deckt dann die Fläche gegen den Rand 2 hin mit dick aufgetragenem Scribtol ab. Mit dieser ersten Korrekturkurve werden die Sollwerte innerhalb jener Gebiete, in denen die Ausschlagsbeträge oberhalb 10% des Maximalwertes sind, auf 3—4% des jeweiligen Wertes erreicht. Sollten sich bei der Kontrolle grössere Abweichungen zeigen, so korrigiert man die fehlerhaften Stellen durch Abkratzen oder durch zusätzliches Auftragen von Scribtol. Falls sich später in der schwarzen Schicht Risse bilden, so können diese leicht mit einem schwarzen Lack abgedeckt werden, z. B. mit Enameloid. Die Feinkorrekturkurve Fk wird mit der Schreibvorrichtung aufgenom-men, die von der Seite 4 her in den Strahlengang hineinragt. Die Vorrichtung muss derart eingesetzt werden, dass die Stahlspitze auf der Randlinie R des nun wegzunehmenden Abdeckstreifens As in die Mitte der Spaltöffnung des Spektralblendenschiebers zu stehen kommt. Im übrigen ist gleich zu verfahren wie bei der ersten Korrektur. Die durch die zweite Korrektur erreichte Genau-igkeit beträgt in den oben erwähnten Gebieten 1—2% des jewei-lichen Wertes.

Hat die zu verwirklichende Empfindlichkeitskurve eine ein-fachere Form als dies bei der \bar{x}_λ -Kurve der Fall ist, so kann das oben beschriebene Anpassungsverfahren sinngemäss vereinfacht werden. Wenn z. B. keine Spektralgebiete C vorhanden sind, in denen die Kurve Bk_3 tief in den Strahlengang hineinragt, braucht man Bk_3 gar nicht aufzunehmen. Ein solches Beispiel zeigt Fig. 8.

Bei diesem Beispiel erkennt man deutlich den Vorteil eines Graufilterdiaphragmas gegenüber einer reinen „Schwarzweiss-blende“. An jener Stelle, wo die beiden Filter die Diaphragmen-öffnung in ihrer Breite vollständig abdecken, wird das Licht um

92% geschwächt. Wollte man eine gleich grosse „Schwarzweissblende“ mit gleicher Anpassung und gleicher Lichtstärke herstellen, so müsste an dieser Stelle die Blende bis auf eine kleine Öffnung von nur 8% von 34 mm, also ca. 2,7 mm abgedeckt werden. Der mittlere Abstand der Korrekturkurve von der ihr gegenüberliegenden Randabschwärzung beträgt beim dargestellten Beispiel 27 mm.

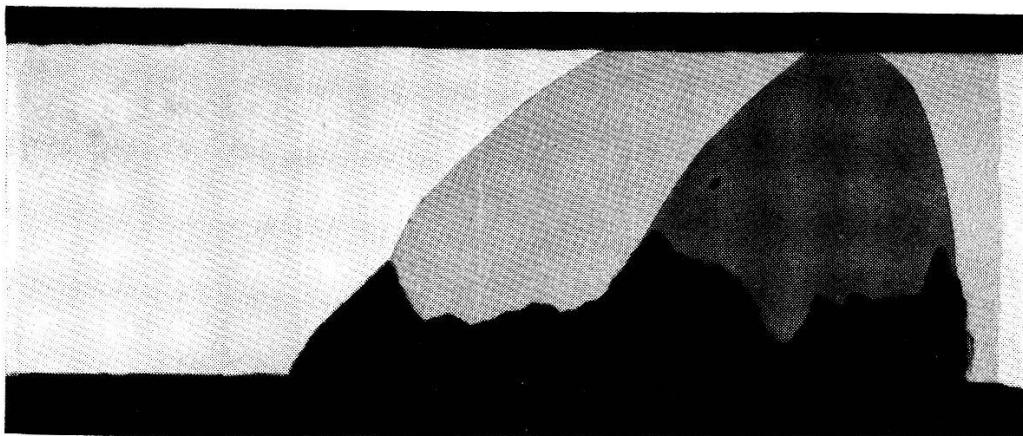


Fig.8.

Photographie eines Diaphragmas für die Messung von Durchlässigkeitskurven.

An der betreffenden Stelle ist somit das Graufilterdiaphragma gegen Verschiebungen der zur Feinkorrektur dienenden Messingplatte 10mal weniger empfindlich als die entsprechende „Schwarzweissblende“. Eine Verschiebung der Messingplatte um 0,5 mm ergibt beim erstenen eine Lichtschwächung von rund 1,8%, bei der letzteren dagegen ergäbe sich bereits eine solche von rund 18%. Dadurch würde eine auf 1—2% genaue Anpassung verunmöglich.

Kontrolle des Apparates.

Die Kontrolle besteht in der Erbringung folgender Nachweise:

1. Die Normalreizkurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda) = V(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ werden, wie schon früher erwähnt, für Werte über 10% des Maximalwertes auf 1—2% des jeweiligen Wertes genau verwirklicht (Tabelle 1).
2. Der von λ unabhängige Ausschlag, wie er für die Bestimmung von Durchlässigkeitskurven verwendet wird, lässt sich auf 1% genau verwirklichen (Fig. 9).
3. Hinsichtlich der Durchlässigkeitsfunktion von Filtern gestattet der Apparat zwar nicht Erreichung höchster Präzision, wohl aber eine recht gute Orientierung (Tabelle 2, Fig. 9 und 10).
4. Die photometrische Bewertung von Farbgläsern ($Y_{\text{mit F.}}$ / $Y_{\text{ohne F.}}$) erfolgt $V(\lambda)$ -getreu auf durchschnittlich 0,002 genau (Tabelle 3).

*

5. Die kolorimetrische Bewertung von Farbgläsern, im besonderen die Ermittlung der Farbkoordinaten x, y, z ($x + y + z = 1$), erfolgt normalreiz-getreu auf durchschnittlich 0,002 genau (Tabelle 3).

6. Die Punkt 5 entsprechende Bewertung von Farbgläsern in der Pigmentmessanordnung erfolgt normalreiz-getreu auf durchschnittlich 0,002 genau (Tabelle 4).

Hierzu noch einige Einzelheiten.

Tabelle 1.
Eichwertetabelle.

λ	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}	$\frac{ds}{d\lambda}$	S_{2720}	Sollwerte			Gemessene Werte		
						$\frac{S\bar{x}}{ds/d\lambda}$	$\frac{S\bar{y}}{ds/d\lambda}$	$\frac{S\bar{z}}{ds/d\lambda}$	$\frac{S\bar{x}}{ds/d\lambda}$	$\frac{S\bar{y}}{ds/d\lambda}$	$\frac{S\bar{z}}{ds/d\lambda}$
400	0,0143	0,0000	0,0679	17,50	0,1004	0,1	0,0	0,39	0,1	—	0,35
410	0,0435	0,0012	0,2074	15,10	0,1224	0,35	0,0	1,68	0,35	—	1,7
420	0,1344	0,0040	0,6456	13,10	0,1474	1,51	0,0	7,26	1,47	—	7,3
430	0,2839	0,0116	1,3856	11,35	0,1754	4,37	0,18	21,41	4,33	—	21,45
440	0,3483	0,0230	1,7471	9,90	0,2065	7,24	0,48	36,44	7,09	0,5	36,5
450	0,3362	0,0380	1,7721	8,80	0,2408	9,2	1,04	48,48	9,2	1,02	48,4
460	0,2908	0,0600	1,6692	7,85	0,2783	10,3	2,13	59,2	10,3	2,10	59,15
470	0,1954	0,0910	1,2876	7,05	0,3189	8,84	4,11	58,2	8,82	4,11	58,6
480	0,0956	0,1390	0,8130	6,40	0,3625	5,41	7,87	46,05	5,31	7,66	46,4
490	0,0320	0,2080	0,4652	5,80	0,4091	2,26	14,7	32,8	1,94	14,6	33,0
500	0,0049	0,3230	0,2720	5,30	0,4585	0,4	27,9	23,5	—	28,0	23,7
510	0,0093	0,5030	0,1582	4,85	0,5106	1,0	53,0	16,7	—	53,0	16,75
520	0,0633	0,7100	0,0782	4,45	0,5652	8,04	90,2	9,93	8,13	90	10,0
530	0,1655	0,8620	0,0422	4,10	0,6220	25,1	130,8	6,40	25,0	132	6,3
540	0,2904	0,9540	0,0203	3,78	0,6810	52,3	171,8	3,67	53,0	172	3,7
550	0,4334	0,9950	0,0087	3,50	0,7419	91,9	210,9	1,84	91,0	209	1,8
560	0,5945	0,9950	0,0039	3,25	0,8045	147,1	246,3	0,96	146	247	1,0
570	0,7621	0,9520	0,0021	3,02	0,8686	219,2	273,8	0,60	221	275	0,55
580	0,9163	0,8700	0,0017	2,82	0,9338	303,4	288,1	0,56	303	288	0,55
590	1,0263	0,7570	0,0011	2,64	1,0000	388,8	286,7	0,42	388	286	0,4
600	1,0622	0,6310	0,0008	2,47	1,0670	458,9	272,6	0,35	457,5	270	—
610	1,0026	0,5030	0,0003	2,31	1,1344	492,4	247,0	0,15	488	246	—
620	0,8544	0,3810	0,0002	2,18	1,2022	471,2	210,1	—	471	207	—
630	0,6424	0,2650		2,05	1,2700	398,0	164,2	—	402	161	—
640	0,4479	0,1750		1,93	1,3379	310,5	121,3	—	310	119	—
650	0,2835	0,1070		1,82	1,4052	218,9	82,6	—	215	82,5	—
660	0,1649	0,0610		1,72	1,4720	141,7	52,2	—	140,5	52	—
670	0,0874	0,0320		1,63	1,5382	82,5	30,2	—	84	30,5	—
680	0,0468	0,0170		1,55	1,6036	48,4	17,6	—	47,5	17,5	—
690	0,0227	0,0082		1,47	1,6680	25,7	9,3	—	26,5	9	—
700	0,0114	0,0041		1,40	1,7312	14,8	5,1	—	15	5	—

In Tabelle 1 sind die erreichten Anpassungen für die Normalreizkurven zusammengestellt. Am schwierigsten zu behandeln ist, wie bereits erwähnt, die $\bar{x}(\lambda)$ -Kurve. Besondere Schwierigkeiten bietet hier die Nullstelle bei 500 nm. Fast ebenso heikel würde sich sowohl bei der $\bar{x}(\lambda)$ -Kurve als auch bei der $\bar{y}(\lambda)$ -Kurve die Anpassung der Gebiete gegen 700 nm zu gestalten, wenn man sich die Arbeit nicht durch Vorfilterung mit einem geeigneten Blaupfilter bedeutend erleichtern könnte. Bei den \bar{x}_λ - und \bar{y}_λ -Diaphragmen dienten als allgemeine Vorfilter die Schottgläser 1 GG 10 und 2 BG 15, beim \bar{z}_λ -Diaphragma das Schottglas 1 BG 5. Trotz den sehr kleinen Ausschlägen sind dagegen die Gebiete gegen die kurzen Wellen hin relativ leicht anzupassen. Der Grund dafür liegt darin, dass

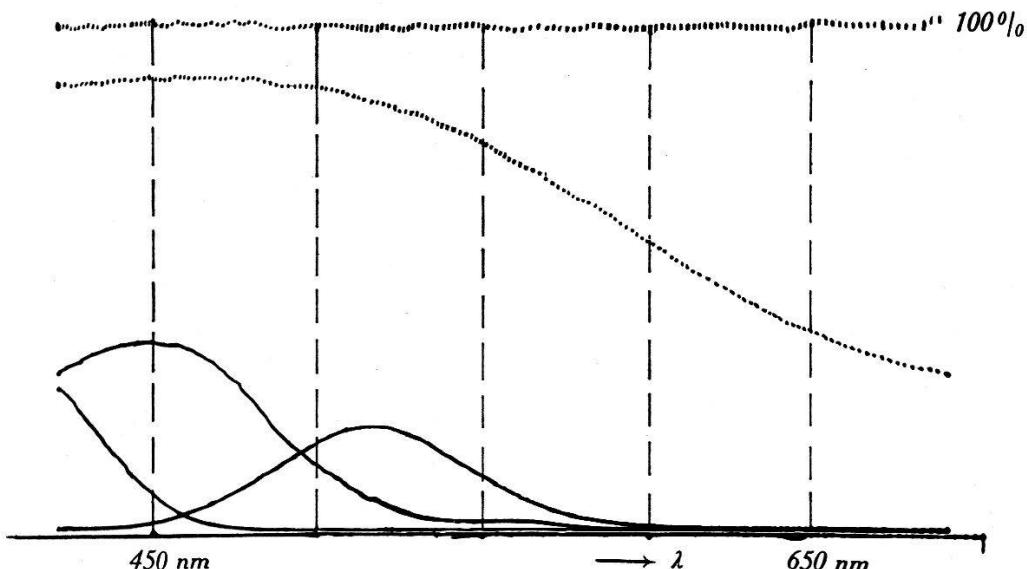


Fig. 9.

Mit Koordinatenschreiber aufgenommene 100%-Linie und Durchlässigkeitsskurven einiger Filter.

der Spalt bei 440 nm nur 2 (4), bei 700 nm aber 15 (30) nm umfasst. Von 510 nm gegen die kurzen Wellen hin wurde für die Feinkorrektur eine höhere Empfindlichkeit gewählt, weshalb hier noch die Zehntel angegeben werden dürfen.

Die schärfste Prüfung der Anpassungsmethode ergeben die Diaphragmen, welche zur direkten Anzeige von Durchlässigkeitssfunktionen von Filtern und Reemissionsfunktionen von Pigmenten dienen. Diese Diaphragmen, wovon eines in Fig. 8 dargestellt ist, sind so beschaffen, dass der Ausschlag am Instrument ohne Filter bzw. mit Magnesiaschirm an Stelle des farbigen Pigments durch das ganze Spektrum konstant bleibt. Fig. 9 zeigt eine solche mit dem Koordinatenschreiber aufgenommene 100%-Linie. Ihre Abweichungen vom Sollwert betragen im allgemeinen nicht mehr als

1 %. Muss man die Diaphragmen bei schwächerem Licht und daher relativ schlechterer Nullpunktskonstanz und mit dem 0,3 mm-Eingangsspalt herstellen, so wird die Anpassung etwas weniger gut als bei obigem Beispiel. Eine Genauigkeit von 1—2 % lässt sich aber immer erreichen.

Wegen der Verwendung von Spaltblenden mit konstanter Weite Δs werden die Ergebnisse spektraler Messungen gegen die langen Wellen hin schlechter. Der 0,3 mm-Spalt umfasst oberhalb 540 nm ein Spektralband von mehr als 10 nm Breite. Daraus können sich im langwelligen Gebiet an Stellen starker Krümmung der Durchlässigkeitskurven mehrere Prozente betragende Abweichungen von der richtigen Durchlässigkeit ergeben. Für Durchlässigkeitsmessungen von Filtern, bei denen stark gekrümmte Durchlässigkeitskurven nicht selten sind, wird deshalb nur der 0,15 mm-Eingangsspalt verwendet. Erst oberhalb 650 nm umfasst dieser

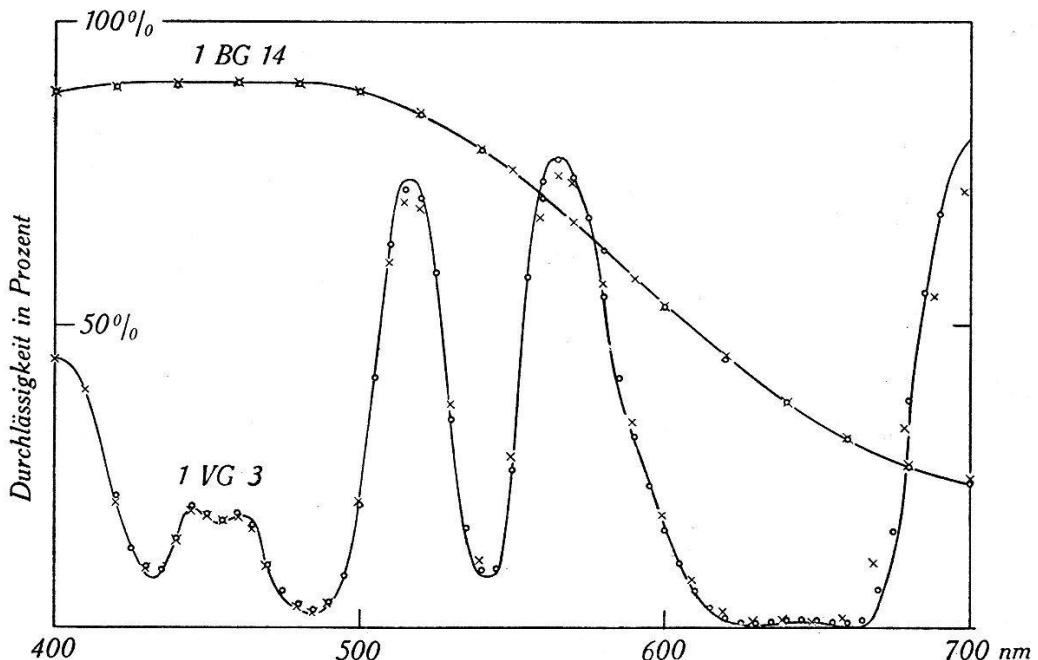


Fig. 10.
Einfluss der Spaltbreite bei spektralen Messungen.
— Sollwerte. \times weiter Spalt. ○ enger Spalt.

Spalt ein breiteres als das im Hardy'schen Spektralanalysator gewöhnlich verwendete konstante Spektralband von 10 nm¹⁷⁾. Die ausgezogenen Linien der Fig. 10 sind die mit einer besonderen Apparatur gemessenen richtigen Durchlässigkeitskurven der Filter 1 VG 3 und 1 BG 14. Während die mit dem 0,3 mm-Eingangsspalt gemessenen Werte des ausgeglichenen Blauglases im ganzen Spektrum gut mit den Sollwerten übereinstimmen, zeigen die Werte für 1 VG 3 bei den Maximalwerten der Durchlässigkeit und besonders

gegen 700 nm hin beträchtliche Abweichungen. Dagegen erhält man bei Verwendung des 0,15 mm-Eingangsspaltes Messwerte, die sowohl für das Blauglas 1 BG 14 wie für 1 VG 3 im langwelligen Gebiet gut mit den Sollwerten übereinstimmen.

In Tabelle 2 sind die mit dem 0,15 mm-Eingangsspalt gemessenen Durchlässigkeiten der Schott-Filter 1 RG 2 und 2 BG 12 sowie die entsprechenden Sollwerte eingetragen. Bei derart kräftigen Rot- und Blaufiltern muss sich das Vorhandensein von falschem

Tabelle 2.
Durchlässigkeit des Rotfilters 1 mm RG 2 und des
Blaufilters 2 mm BG 12.

λ	2 BG 12		1 RG 2		λ	2 BG 12		1 RG 2	
	Soll-wert	Mess-wert	Soll-wert	Mess-wert		Soll-wert	Mess-wert	Soll-wert	Mess-wert
410	70,2	68	0,0	0,1	560	0,0	0,0	0,0	0,2
420	68,8	67	0,0	0,1	570	0,0	0,0	0,0	0,2
430	65,6	64	0,0	0,1	580	0,0	0,0	0,0	0,3
440	61,3	60	0,0	0,1	590	0,0	0,0	0,0	0,4
450	55,3	54	0,0	0,1	600	0,0	0,0	1,1	1,6
460	45,6	45,7	0,0	0,1	610	0,0	0,0	12,0	13,4
470	32,5	32,5	0,0	0,1	620	0,0	0,0	47,0	47,0
480	17,9	18,0	0,0	0,1	630	0,0	0,0	75,1	74,0
490	7,9	7,8	0,0	0,1	640	0,0	0,0	85,4	85
500	3,0	3,2	0,0	0,1	650	0,0	0,0	88,9	88
510	0,9	1,0	0,0	0,1	660	0,0	0,0	89,9	89
520	0,2	0,3	0,0	0,1	670	0,0	0,0	90,5	89
530	0,0	0,2	0,0	0,1	680	0,0	0,1	90,7	89
540	0,0	0,1	0,0	0,1	690	0,1	0,2	90,9	89
550	0,0	0,0	0,0	0,2	700	0,3	0,3	91,0	89

Licht bei den Resultaten der Durchlässigkeitsmessungen ganz besonders deutlich zeigen. In der Nähe von 400 nm und von 700 nm treten denn auch Abweichungen der Messwerte von den Sollwerten auf, die durch falsches Licht verursacht werden. Anderseits ist aus der Tabelle zu ersehen, dass die Messwerte für 1 RG 2 unterhalb 580 nm und diejenigen für 2 BG 12 oberhalb 520 nm praktisch null sind, d. h., dass im grössten Teil des Spektrums kein störendes Streulicht vorhanden ist.

Zur Bestimmung der Farbkomponenten X , Y und Z im Falle von Filtern und Pigmenten sind die Ausschläge A_x , A_y und A_z , die man durch Messungen mit den entsprechenden Diaphragmen erhält, mit Faktoren f_x , f_y und f_z zu multiplizieren. Diese Eich-

Tabelle 3.

Farbkoordinaten und $V(\lambda)$ -getreue Bewertung einiger Filter. Unter den mit dem 0,3 mm-Eingangsspalt (w) und dem 0,15 mm-Eingangsspalt (e) gemessenen Werten steht der berechnete Sollwert.

		V mit F V ohne F	x	y	z
Ohne Filter		1	0,4574	0,4102	0,1324
2 RG 2 (F 8)	gemessen w .	0,043	0,729	0,271	0,000
	gemessen e .	0,044	0,723	0,277	0,000
	berechnet . .	0,0441	0,7268	0,2732	0,0000
1 RG 2 (F 45)	gemessen w .	0,115	0,716	0,284	0,000
	gemessen e .	0,118	0,713	0,287	0,000
	berechnet . .	0,1206	0,7110	0,2890	0,0000
1 RG 2 (F 45a)	gemessen w .	0,127	0,713	0,287	0,000
	gemessen e .	0,130	0,710	0,290	0,000
	berechnet . .	0,1315	0,7087	0,2913	0,0000
2 OG 3 (F 44)	gemessen w .	0,276	0,679	0,321	0,000
	gemessen e .	0,279	0,679	0,321	0,000
	berechnet . .	0,2833	0,6766	0,3232	0,0002
1 OG 3b (F 88)	gemessen w .	0,320	0,667	0,333	0,000
	gemessen e .	0,323	0,668	0,332	0,000
	berechnet . .	0,3273	0,6660	0,3338	0,0002
2 OG 2 (F 43)	gemessen w .	0,469	0,629	0,371	0,000
	gemessen e .	0,475	0,628	0,371	0,001
	berechnet . .	0,4744	0,6285	0,3711	0,0004
2 OG 1 (F 42)	gemessen w .	0,696	0,569	0,429	0,002
	gemessen e .	0,703	0,567	0,432	0,001
	berechnet . .	0,7051	0,5678	0,4306	0,0016
2 OG 4 (F 41)	gemessen w .	0,805	0,540	0,456	0,004
	gemessen e .	0,810	0,538	0,457	0,005
	berechnet . .	0,8108	0,5387	0,4563	0,0050
1 BG 7 (F 1)	gemessen w .	0,293	0,270	0,415	0,315
	gemessen e .	0,292	0,267	0,415	0,318
	berechnet . .	0,2873	0,2646	0,4150	0,3204
1 BG 12 (F 3a)	gemessen w .	0,029	0,155	0,112	0,733
	gemessen e .	0,029	0,152	0,112	0,736
	berechnet . .	0,0288	0,1566	0,1124	0,7310
2 BG 14 (F 4)	gemessen w .	0,513	0,348	0,419	0,233
	gemessen e .	0,512	0,348	0,419	0,233
	berechnet . .	0,5081	0,3482	0,4183	0,2335
1 VG 1 (F 5a)	gemessen w .	0,337	0,376	0,540	0,084
	gemessen e .	0,338	0,378	0,538	0,084
	berechnet . .	0,3336	0,3738	0,5410	0,0852

faktoren werden durch die Forderung bestimmt, wonach die A_x , A_y , A_z für den Fall „kein Filter“ mit den berechneten oder aus Tabellen zu entnehmenden X , Y , Z der Eichstrahlung übereinstimmen. In Tabelle 3 sind die mit Hilfe der Diaphragmen der Tabelle 1 gemessenen Farbkoordinaten einiger Filter zusammengestellt, und zwar sind sowohl die mit dem 0,15 mm-Eingangsspalte (e) als auch die

Tabelle 4.

Mit der Pigmentmess-Beleuchtungseinrichtung gemessene Farbkoordinaten und $V(\lambda)$ -getreue Bewertung einiger Kontrollfilter.

	$\frac{V \text{ mit } F}{V \text{ ohne } F}$	x	y	z
Ohne Filter	1	0,4476	0,4074	0,1450
2 RG 2 gemessen	0,042	0,730	0,270	0,000
berechnet	0,0417	0,7260	0,2740	0,0000
1 RG 2 gemessen	0,116	0,712	0,288	0,000
berechnet	0,1155	0,7109	0,2891	0,0000
1 RG 2 gemessen	0,128	0,709	0,291	0,000
berechnet	0,1260	0,7084	0,2916	0,0000
2 OG 3 gemessen	0,273	0,675	0,325	0,000
berechnet	0,2743	0,6761	0,3237	0,0002
1 OG 3b gemessen	0,319	0,666	0,334	0,000
berechnet	0,3176	0,6654	0,3344	0,0002
2 OG 2 gemessen	0,465	0,628	0,372	0,000
berechnet	0,4613	0,6286	0,3710	0,0004
2 OG 1 gemessen	0,699	0,562	0,436	0,002
berechnet	0,6966	0,5649	0,4335	0,0016
2 OG 4 gemessen	0,800	0,535	0,460	0,005
berechnet	0,8109	0,5332	0,4616	0,0052
1 BG 7 gemessen	0,295	0,258	0,406	0,336
berechnet	0,2934	0,2576	0,4050	0,3374
2 BG 12 gemessen	0,006	0,146	0,035	0,819
berechnet	0,0062	0,1489	0,0354	0,8157
1 BG 12 gemessen	0,030	0,150	0,103	0,747
berechnet	0,0302	0,1553	0,1065	0,7382
2 BG 14 gemessen	0,513	0,336	0,413	0,251
berechnet	0,5142	0,3378	0,4117	0,2505
1 BG 14 gemessen	0,645	0,381	0,415	0,204
berechnet	0,6475	0,3819	0,4139	0,2042
1 VG 1 gemessen	0,340	0,369	0,542	0,089
berechnet	0,3378	0,3678	0,5417	0,0905

Tabelle 5.
Anwendungsmöglichkeiten des Apparates.

1	2	3	4	5
Gesucht Aussage über Arbeitsbeleuchtung S_λ^a Im besonderen:	Bei der Messung verwendeter Blendschieber	Geforderte Empfindlichkeit des App. ohne Diaphragma	Empfindlichkeit des App. mit Diaphragma zu übernehmende Funktion	
Energie, integral	Kein Schieber Halb-Schieber	konst. = 1	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda}$
Energieverteilungs-Kurve S_λ^a	Spektralblendenschieber ($\Delta s = \text{konst.}$)	$\frac{ds}{d\lambda}$	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda} \cdot \frac{ds}{d\lambda}$
Energie mit f_λ bewertet, integral	Kein Schieber Halb-Schieber	f_λ	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda} \cdot f_\lambda$
Reizbeitrags-Kurve $S_\lambda^a \cdot f_\lambda$	Spektralblendenschieber	$f_\lambda \cdot \frac{ds}{d\lambda}$	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda} \cdot f_\lambda \cdot \frac{ds}{d\lambda}$
Gesucht Aussage über Bezugsbeleuchtung S_λ^b bei Arbeitsbeleuchtung S_λ^a Im besonderen:				.
Energieverteilungs-Kurve S_λ^b	Spektralblendenschieber	$\frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} \cdot \frac{ds}{d\lambda}$	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda} \frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} \frac{ds}{d\lambda}$
Energie S_λ^b mit f_λ bewertet integral	Kein Schieber Halb-Schieber	$\frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} \cdot f_\lambda$	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda} \frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} \cdot f_\lambda$
Bezogene Reizbeitrags-Kurve $S_\lambda^b \cdot f_\lambda$	Spektralblendenschieber	$\frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} \cdot f_\lambda \cdot \frac{ds}{d\lambda}$	ξ_λ	$\frac{1}{\xi_\lambda} \frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} f_\lambda \frac{ds}{d\lambda}$

Tabelle 5. (Fortsetzung.)
Anwendungsmöglichkeiten des Apparates.

6	7	8	9
Einstellwerte der Eichtabelle	Der Apparat misst:	Kontrolle mit $S_\lambda^a = \text{konst.} = \bar{K}$ ergäbe:	Hauptsächliche Anwendungsmöglichkeiten
$\left\{ \begin{array}{l} K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{a s} \Delta s = \\ K' S_\lambda^a \frac{d\lambda}{a s} \Delta s \end{array} \right.$	$K' \int_{400}^{700} S_\lambda^a d\lambda$ $K' \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda^a d\lambda$	$K' \bar{K} 200 \text{ nm}$ $K' \bar{K} (\lambda_2 - \lambda_1)$	Energieanteile in vorgeschriebenen Spektralbereichen
$K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} \frac{d\lambda}{a \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{d s} \Delta s =$ $K' S_\lambda^a \Delta s$	$K' \underline{S_\lambda^a} \Delta s$	$K' \bar{K} \Delta s$	Energieverteilung beliebiger Lichtquellen
$\left\{ \begin{array}{l} K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} f_\lambda \cdot \frac{d\lambda}{a s} \Delta s = \\ K' S_\lambda^a f_\lambda \frac{d\lambda}{a s} \Delta s \end{array} \right.$	$K' \int_{400}^{700} S_\lambda^a f_\lambda d\lambda$ $K' \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda^a f_\lambda d\lambda$	$K' \bar{K} \int_{400}^{700} f_\lambda \cdot d\lambda$ $K' \bar{K} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_\lambda \cdot d\lambda$	$V_\lambda^*, \bar{x}_\lambda^*, \bar{y}_\lambda^*, \bar{z}_\lambda^*$ getreue Bewertung von Selbstleuchtern und Rückstrahlern. Hell- und Farbreizanteile in vorgeschriebenen Spektralbereichen
$K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} f_\lambda \frac{d\lambda}{a \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{d s} \Delta s =$ $K' S_\lambda^a f_\lambda \Delta s$	$K' \underline{S_\lambda^a f_\lambda} \Delta s$	$K' \bar{K} f_\lambda \Delta s$	
		Kontrolle mit $S_\lambda^b = \text{konst.} = \bar{K}$ ergibt:	
$K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} \frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} \frac{d\lambda}{a s} \cdot$ $\frac{d\lambda}{d s} \Delta s = K' S_\lambda^b \Delta s$	$K' \underline{S_\lambda^b} \Delta s$	$K' \bar{K} \Delta s$	Durchlässigkeitsskurven von Filtern, Reemissionskurven von Pigmenten
$\left\{ \begin{array}{l} K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} \frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} f_\lambda \cdot \\ \frac{d\lambda}{a s} \Delta s = K' S_\lambda^b f_\lambda \frac{d\lambda}{a s} \Delta s \end{array} \right.$	$K' \int_{400}^{700} S_\lambda^b f_\lambda d\lambda$ $K' \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda^b f_\lambda d\lambda$	$K' \bar{K} \int_{400}^{700} f_\lambda \cdot d\lambda$ $K' \bar{K} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_\lambda \cdot d\lambda$	$V_\lambda^*, \bar{x}_\lambda^*, \bar{y}_\lambda^*, \bar{z}_\lambda^*$ getreue Bewertung von Filtern und Pigmenten bezogen auf Normalbeleuchtung $A, B, C, E, S_\lambda^b = \text{konst}$ Hell- und Farbreizanteile von Filtern und Pigmenten in vorgeschriebenen Spektralbereichen bezogen auf vorgeschr. Beleuchtung
$K' S_\lambda^a \xi_\lambda \cdot \frac{1}{\xi_\lambda} \frac{S_\lambda^b}{S_\lambda^a} f_\lambda \frac{d\lambda}{a s} \cdot$ $\frac{d\lambda}{d s} \Delta s = K' S_\lambda^b f_\lambda \Delta s$	$K' \underline{S_\lambda^b f_\lambda} \Delta s$	$K' \bar{K} f_\lambda \Delta s$	

mit dem 0,3 mm-Eingangsspalt (w) gemessenen Werte angegeben. Wir kommen im letzten Abschnitt auf diesen Vergleich zurück. Unter den gemessenen Werten stehen die aus exakten Durchlässigkeitsmessungen berechneten Sollwerte (Hauptfarbgläser des AMG).

Zur Kontrolle des \bar{x}_λ -, \bar{y}_λ - und \bar{z}_λ -Diaphragmas für Pigmentmessungen wurden hinter der Wärmeschutzwand W_s (Fig. 5) Filter bekannter Durchlässigkeit in den Strahlengang hineingeführt und ihre Farbkoordinaten bezogen auf Normalbeleuchtung A bestimmt.

Anwendungsmöglichkeiten.

Einer der grossen Vorzüge des beschriebenen Apparates liegt, wie Tabelle 5, Kol. 9 zeigt, in seiner vielseitigen Anwendbarkeit. In erster Linie wird er zur $V(\lambda)$ -getreuen Bewertung des Lichtes und zur Bestimmung der Farbkoordinaten von Selbstleuchtern und Rückstrahlern verwendet. Für Filter- und Pigmentmessungen braucht man dabei keine Normalbeleuchtungseinrichtungen A , B , C oder E zu besitzen. Nötig sind nur gut eingearbeitete Glühlampen, deren Farbtemperaturen unter den verwendeten konstanten Betriebsbedingungen nicht einmal bekannt sein müssen. Die Umfärbung auf eine Bezugsbeleuchtung, z. B. Normalbeleuchtung A oder das energiegleiche Spektrum, erfolgt mit Hilfe des Diaphragmas.

Durch die Verwendung des Spektralblendenschiebers lässt sich der Apparat leicht in ein Messgerät für spektrale Messungen umwandeln. Es können Durchlässigkeitskurven von Filtern, Reemissionskurven von Pigmenten und Energieverteilungskurven von Lampen direkt gemessen oder, bei weniger hoher Anforderung an die Präzision, mit einem Koordinatenschreiber photographisch aufgenommen werden.

Die möglichen Eich- und Messarten sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die erste Kolonne gibt an, was im Prinzip gemessen werden soll. Kolonne 2 orientiert über den allfällig zu verwendenden Blenden-Schieber. Unter dem Halbschieber verstehen wir einen Schieber, dessen Blendenöffnung auf der einen Seite von einer der Form des Spaltbildes gemäss gekrümmten Schneide begrenzt ist; die zweite Begrenzung liegt stets jenseits des roten Endes des Spektrums. Kolonne 3 enthält die beim betreffenden Problemtypus erforderliche spektrale Empfindlichkeit des gesamten Apparates. Unter f_λ hat man nicht nur $x(\lambda)$, $y(\lambda) = V(\lambda)$, $z(\lambda)$ zu verstehen, sondern auch die im ersten Abschnitt besprochenen Bewertungsfunktionen $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$, wenn aus irgend einem Grunde die Messergebnisse sich direkt in diesem Koordinatensystem ausdrücken sollen. In Kolonne 4 ist die Empfindlichkeit des Apparates *ohne*

Schablone stets mit ξ_λ bezeichnet, obschon die übrigens in praxi unbekannt bleibende Funktion nicht immer dieselbe ist, da in ihr neben der Absorption in der Optik und der Zellenempfindlichkeit die von Aufgabe zu Aufgabe verschiedenen Vorfilter berücksichtigt sind. Die vom Diaphragma zu übernehmende Funktion (Kol. 5) ist damit bestimmt. Bei der Herstellung der Diaphragmen (Eichung) dient stets der Spektralblenden-Schieber mit konstantem Δs , also mit variablem $\Delta\lambda = \frac{d\lambda}{ds} \Delta s$. Die Einstellwerte sind stets proportional den Faktoren von Δs in Kolonne 6, wenn bei der Eichung die Arbeitsbeleuchtung S_λ^a (in Tabelle 1 S_{2720}) zur Verwendung gelangt. An Hand von Kolonne 7 überzeugt man sich, dass der Apparat bei der Anwendung gemäss den Bedingungen von Kolonne 2 wirklich theoretisch das gibt, was Kolonne 1 voraussagt. In Kolonne 8 ist durch die Kopfbezeichnungen „Kontrolle . . . ergäbe“ und „Kontrolle . . . ergibt“ zum Ausdruck gebracht, dass man über das Spektrum konstanter Energie $S_\lambda^a = \text{konst.}$ nicht verfügt, dass aber der Apparat zu messen gestattet, wie wenn man dieses Spektrum als Bezugsbeleuchtung $S_\lambda^b = \text{konst. hätte}$. Um jede Unklarheit auszuschalten, sind von den in Kolonne 1 enthaltenen Anwendungsmöglichkeiten die praktisch wichtigsten zusammengestellt.

Ergänzende Bemerkungen.

Wir haben der Klarheit zuliebe zunächst unser Vorgehen geschildert und vermieden, die Darstellung zu sehr mit entwicklungs geschichtlichen Begründungen zu belasten. Hier sei einiges nach geholt.

Über die Wahl der Spaltweite. Die Anwendung eines weiten Eintrittsspaltes bringt den Vorteil grosser Gesamtempfindlichkeit, im übrigen aber nur Nachteile mit sich. KÖNIG benutzte einen Spalt von 1 mm Weite. Die einzelnen spektralreinen Komponenten überdeckten sich daher derart, dass eine Verschiebung der Nadel bei 620 nm die Anpassung für Licht von 600 und 650 nm merklich beeinflusste. Eine Berechnung der Blendenform hätte der Lösung einer Integralgleichung bedurft. KÖNIG „löste“ sie *experimentell* durch Verschieben der Nadeln, bis sich für die von einem besonderen Monochromator gelieferte praktisch monochromatische Eich strahlung $S(\lambda) \Delta\lambda$ die erwarteten Ausschläge $S(\lambda) \Delta\lambda V(\lambda)$ ergaben. Dies gelang hauptsächlich dank der sorgfältigen Wahl der flächenhaften Voranpassung⁹⁾.

Nach unveröffentlichten Angaben von KÖNIG hat nun die Eichung mittelst eines besonderen Monochromators Nachteile:

1. Eine solche (im Amt für Mass und Gewicht mit Thermosäule und Zernike-Galvanometer gemessene) Eichstrahlung ist nicht genauer bekannt als die Energieverteilung einer geeichten Glühlampe. Die Anwendung der Monochromator-Strahlung bedeutet zwar ein unmittelbareres Zurückgreifen auf absolute Messungen; der Praktiker legt hierauf jedoch weniger Gewicht als auf Einfachheit, und hierin ist die Glühlampe weit überlegen.

2. Die geometrischen Verhältnisse im Strahlenbündel, welches einen Monochromator verlässt, sind sehr kompliziert und sogar von der Wellenlänge abhängig, und es war schwer, den Spalt des *KPA* homogen auszuleuchten. Jede Inhomogenität und λ -Abhängigkeit bei der Eichung fälscht die Blendenform, wenn bei der Anwendung des *KPA* ein homogenes Bündel mit λ -unabhängiger Struktur in den Apparat fällt.

Wir vermieden beide Schwierigkeiten, indem wir, wie VOOGD¹²⁾, das Gerät so bauten, dass es mit sich selbst geeicht werden kann. Der Strahlengang ist bei Eichung (Farbtemperatur-Normal) und Anwendung sicher gleichartig. Der Spektralblenden-Schieber wird dadurch zur Notwendigkeit.

In dieser neuen Form wäre für einen 1 mm-Spalt die Integralgleichung noch viel schwieriger zu lösen; rechnerisch käme dies noch weniger in Frage als bei KÖNIG. Aber auch der Grundsatz der rein empirischen Ausfertigung der Diaphragmen ist bei so breitem Spalt und entsprechend polychromatischem Licht nicht ohne grössere rechnerische Vorarbeit möglich. In einer bestimmten Stellung des Spektralblenden-Schiebers wirkt nicht ein monochromatisches $S(\lambda) \frac{ds}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda$, sondern ein komplizierter Mittelwert über ein grösseres Δs (6 mm) und ein entsprechendes $\Delta \lambda$. Die Differenz gegenüber dem Grenzfall engen Spaltes, eine Art Paschen-Runge-Korrektur, würde in ungünstigen Fällen 100% des Einstellwertes überschreiten und ist, wie alle Korrekturen, unsicher.

Wir wählten daher folgende Kompromisslösung: Unter Einbuße an Empfindlichkeit wurde zunächst mit einem 0,3 mm-Spalt (= 10 nm bei 540 nm) gearbeitet. Im ungünstigsten Fall, nämlich demjenigen der Messung eines spektralreinen Lichtes von 680 nm mit der $\bar{x}(\lambda)$ -Schablone, beträgt die Korrektur ca. 20% des \bar{x} -Wertes. In allen anderen Kombinationen ist sie weit kleiner, unter 600 nm unterhalb 1%. Wir haben, wie Tab. 1 zeigt, die Diaphragmen trotz des in einem Fall hohen Wertes von 20% ohne Anbringung jeglicher Korrekturen mit dem 0,3 mm-Spalt hergestellt. Dieses Vorgehen erscheint gewagt, ist aber — und das ist uns die Hauptsache — praktisch zulässig. Die richtige Bewertung von Rotgläsern

gemäss Tabelle 3 beweist dies. Dass spektrale Messungen an steil-flankigen Filtern und Pigmenten mit dem 0,3 mm-Spalt im Rot nicht befriedigen können, wurde im Zusammenhang mit Fig. 10 schon bemerkt und ist selbstverständlich. Die Lücke wird eben durch den 0,15 mm-Spalt ausgefüllt, wobei allerdings die Gesamt-empfindlichkeit gegenüber dem 0,3 mm-Spalt auf $\frac{1}{4}$ fällt.

Über andere Verfahren zur Herstellung von Diaphragmen. Ein Verfahren, welches vor der Herstellung der Halbton-Diaphragmen mit einem Erfolg ausprobiert wurde, ist das Punktierverfahren. Man verwendete dazu dieselben gelatinierten Glasplatten wie zur Herstellung der Filmdiaphragmen. Die Durchlässigkeit wurde durch mehr oder weniger dichtes Auftragen von Tusche-Punkten oder -Strichen auf das vorgeschriebene Mass heruntergedrückt. Anpassungsfähigkeit: 2 bis 3 %, also für viele Zwecke ausreichend. Nachteile: Die Bearbeitung erfordert einige Geschicklichkeit; der Rahmen muss zur Bearbeitung immer wieder aus dem Apparat genommen werden.

Die punktierten und gestrichelten Gelatineplatten wie auch die reinen Schwarz-Weiss-Blenden, deren Nachteile in Abschnitt „Herstellung der Diaphragmen“ besprochen sind, haben den Filmdiaphragmen gegenüber den grossen Vorteil, dass sich von ihnen Photokopien herstellen lassen. Man kam daher später auf dieses Verfahren zurück und verfeinerte es in dem Sinne, dass die Punkte und Striche nicht mehr von Hand aufgetragen wurden, sondern dass Raster, wie sie seinerzeit von GOLDMANN zu seinen Versuchen über objektive Sehschärfenbestimmungen²¹⁾ verwendet worden sind, zur Anwendung gelangten. Die Ermittelung der Form der Rasterfolie gestaltet sich gleich wie beim Halbtonfilm. Das nur mit Rasterfolien belegte, rohangepasste Original-Diaphragma wird auf eine harte Diapositivplatte kopiert, die Rückseite gelatiniert und, wie üblich, mit Korrekturkurve versehen. Für den Fall eines Diaphragmas für konstanten Ausschlag (100%-Kurve) ergab sich eine Abweichung von maximal 2 %, also etwas weniger gut als im entsprechenden Fall des Halbton-Diaphragmas (Fig. 8 und 9).

Der Versuch, die Schablonenform direkt im Apparat mit einer Schreibvorrichtung, wie sie in Registrapparaten Verwendung finden, aufzuzeichnen, wurde aufgegeben, da eine Einrichtung, die eine genügend stark deckende Schwärzungsflüssigkeit mit der nötigen Feinheit und Regelmässigkeit im Strich ausfliessen lässt, nicht gefunden werden konnte.

Wir glaubten, die Stärke des geometrischen Anpassungsprinzipes in Verbindung mit passender Vorfilterung am besten dadurch

nachzuweisen, indem wir mit einem mechanisch und optisch relativ unvollkommenen Gerät brauchbare spektrale und sehr gute integrale Messungen ausführten.

Tatsächlich könnte der Apparat, allerdings mit dem entsprechenden Aufwand, wesentlich verbessert werden. Optisch wäre ein gekrümmter Eingangsspalt und dementsprechend ein gerades Spaltbild namentlich bei der Herstellung der Diaphragmen von Vorteil. Die Reihe der sukzessiven Korrekturen würde besser konvergieren.

Volle Beseitigung des Streulichtes würde doppelte prismatische Zerlegung bedingen. Ein Mechanismus wie bei HARDY¹⁷⁾, der den Eingangsspalt auf konstantem $\Delta\lambda$ halten und den Vorschub im Spektrum proportional λ machen würde, würde die Dispersion bzw. $\frac{ds}{d\lambda}$ aus Tabelle 1 verschwinden lassen und die Herstellung der Blenden ebenfalls wesentlich erleichtern.

Zu den Verfeinerungen gehört auch der Anschluss eines gegengekoppelten Gleichstromverstärkers an den Ausgang der Triodenbrücke²⁰⁾, wodurch höhere Empfindlichkeit und raschere Einstellung des Anzeigegerätes erreicht wird. Die vorliegende Arbeit soll mit der Beschreibung unserer diesbezüglichen Versuche nicht belastet werden.

Wichtig ist uns die Feststellung, dass das Gerät in der beschriebenen Form sehr vielen Zwecken Genüge leistet.

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Direktor F. BUCHMÜLLER für die Möglichkeit, in seinem Institute arbeiten zu können und Herrn Prof. Dr. H. KÖNIG für die Anregung zu dieser Arbeit und seine Unterstützung im Laufe der Entwicklung.

Eidg. Amt für Mass und Gewicht, Bern.

Oktober 1944.

Literatur.

- ¹⁾ Commission Internationale de l'Eclairage, Compte-rendu, Cambridge 1931, S. 10. — DINORM-Blatt 5033: Bewertung und Messung von Farben.
- ²⁾ Siehe z. B. RICHTER, Grundriss der Farbenlehre der Gegenwart, 1940, S. 53.
- ³⁾ JAGGI, Helv. Phys. Acta **12**, 77, 1939.
- ⁴⁾ LÜTHY, Helv. Phys. Acta **15**, 343, 1942.
- ⁵⁾ KÖNIG, Helv. Phys. Acta **14**, 559, 1941.
- ⁶⁾ Commission Internationale de l'Eclairage, Compte-rendu, Genève 1924, S. 67. DINORM-Blatt 5032: Photometrische Bewertung und Messung von Lampen und Beleuchtung. — Schweizerische Leitsätze für elektrische Beleuchtung, Zürich 1939.

- 7) IVES und KINGSBURY, Phys. Review **6**, 319, 1915.
- 8) IVES, Phys. Review **6**, 334, 1915.
- 9) KÖNIG, Helv. Phys. Acta **7**, 433, 1934.
- 10) HAMAKER und BEEZHOLD, Physica I, 119, 1933.
- 11) BERTLING, Licht und Lampe **24**, 320, 1935.
- 12) VOOGD, Philips' Technische Rundschau **4**, 272, 1939.
- 13) VAN ALPHEN, Philips' Technische Rundschau **4**, 71, 1939.
- 14) VAN ALPHEN, Internationale Beleuchtungskommission, Vorträge II, 45, 1939.
- 15) BOUMA, Internationale Beleuchtungskommission, Vorträge II, 57, 1939.
- 16) HARDY, Journal of the Opt. Soc. of Am. **18**, 96, 1929.
- 17) HARDY, Journal of the Opt. Soc. of Am. **28**, 360, 1938. — MICHAELSON, Journal of the Opt. Soc. of Am. **28**, 365, 1938. — GIBSON and KEEGAN, Journal of the Opt. Soc. of Am. **28**, 372, 1938.
- 18) IVES, Phys. Review **30**, 446, 1910.
- 19) Internationale Beleuchtungskommission, Sekretariatsberichte I, 136, 1939.
- 20) KÖNIG und MÄDER, Helv. Phys. Acta **16**, 419, 1943.
- 21) GOLDMANN, Ophthalmologica, Zeitschr. f. Augenheilk. **105**, 240, 1943.