



Art. plast.

2591⁵/₁

Beiträge zur quantitativen Spektralphotographie.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin.

von

Hans Ewest

aus Königsberg N./M.



Tag der Promotion: 28. Juni 1913.

279

266,71

XXIX 2834

Referenten:

Prof. Dr. **Beckmann.**

Prof. Dr. **Nernst.**

Emil Ebering, Berlin NW., Mittelstr. 39.

Disposition

Meiner lieben Braut

und

ihren verehrten Eltern.

Meiner lieben Frau

und

Ihren verehrten Eltern

Carl Ludwig, Sohn v. v. v. v. v.

Disposition.

- A. Einleitung.
 - I. Prinzip der photographischen Photometrie.
 - II. Die bisher versuchten Methoden:
 - 1. Bei veränderlicher Expositionszeit.
 - 2. Bei konstanter Expositionszeit.
 - III. Die von mir versuchte Methode.
 - B. Apparatur.
 - I. Beschreibung des Apparates.
 - II. Herstellung des Graukeils.
 - C. Experimenteller Teil.
 - I. Bestimmung der Fehler der einzelnen Komponenten des Resultates.
 - 1. Grenzkurve.
 - 2. Spektrale Keilkonstantenfunktion.
 - II. Bestimmung des Gesamtfehlers durch Vergleich mit okularen Messungen.
 - D. Vorschläge zum weiteren Ausbau der Methode.
 - E. Anhang.
 - F. Zusammenfassung.
-

Disposition

A. Einleitung

- I. Prinzip der photographischen Photometrie
- II. Die bisher versuchten Methoden
 1. Bei veränderlicher Expositionszeit
 2. Bei konstanter Expositionszeit
- III. Die von mir versuchte Methode

B. Apparat

- I. Beschreibung des Apparates
- II. Herstellung des Grenzkells

C. Experimenteller Teil

- I. Bestimmung der Fehler der einzelnen Komponenten des Resultates

1. Grenzkurve

2. Spektrale Keilkonstantenfunktion

- II. Bestimmung des Gesamtfehlers durch Vergleich mit okularen Messungen

D. Vorschlag zum weiteren Ausbau der Methode

E. Anhang

F. Zusammenfassung

Die photographische Photometrie beruht darauf, die durch zwei Beleuchtungen hervorgerufenen Schwärzungen zahlenmäßig zu vergleichen und daraus rückwärts das Verhältnis der Beleuchtungen selber zu berechnen. Die Schwärzung S einer belichteten und entwickelten Platte hängt aber nicht allein von der Beleuchtung ab, sondern ist eine implicite Funktion von der Wellenlänge λ , der Beleuchtung i , der Belichtungsdauer t , den Eigenschaften des Entwicklers e und der Beschaffenheit der Platte p , also $S = f(\lambda, i, t, e, p)$. Wenn diese Funktion gegeben ist, so kann man direkt aus der Schwärzung S eine der Variablen berechnen, falls alle anderen durch den Versuch vorher zahlenmäßig festgelegt sind. Die einzelnen Variablen von Versuch zu Versuch konstant zu erhalten, ist leicht bei λ und t , schwieriger bei e und p , i hängt von der gewählten Lichtquelle ab.

λ kann durch spektrale Zerlegung leicht konstant gehalten und t sehr genau bestimmt werden.

e hängt von der Temperatur des Entwicklers, der Dauer seiner Einwirkung, seiner Zusammensetzung und Neigung zur Schleierbildung ab.

p ist eine Funktion der Herstellung der Emulsion, des Alters der Platte, ihres Feuchtigkeitsgehaltes und ihrer Empfindlichkeit. Da bei den Messungen meist Differenzen in Betracht kommen, kann man diese Einflüsse möglichst umgehen, indem man Vergleichsaufnahmen auf derselben Platte,

oder wenigstens auf Platten derselben Emulsion und desselben Alters, die in gleicher Weise aufbewahrt wurden, macht und zu gleicher Zeit resp. in gleich zusammengesetztem Entwickler bei derselben Temperatur gleich lange entwickelt. Meist wird in dieser Weise verfahren, trotzdem in dieser Methode noch keine Gewähr dafür gegeben ist, daß die zu vergleichenden Schwärzungen nur von der Belichtung und nicht von der Entwicklung abhängen. Bekanntlich ist die Schwärzung einer belichteten Plattenstelle eine Funktion der Entwicklungsdauer, und zwar hat die Beziehung folgende Gestalt.

$$\frac{dS}{dt} = K(S_{\infty} - S_t).$$

Hierin bedeutet S_t die Schwärzung, die zur Zeit t , S_{∞} die Schwärzung, die nach sehr langer Entwicklungszeit asymptotisch erreicht wird, und K die sogen. Konstante der Entwicklungsgeschwindigkeit. K hängt von den Entwicklungsbedingungen, und S_{∞} und S_t sehr stark von der Platte ab, sie ändern sich nach Mees (Enzyklopädie der Photographie 72, 1910) oft in verschiedenen Plattenstellen (was sich häufig auf allmähliche ungleichmäßige Gerbung der Schicht, die im Laufe der Zeit eintritt, zurückführen läßt). Da die maximale Schwärzung asymptotisch erreicht wird, so genügt es, wenn man eine Platte rund 5 mal so lange entwickelt, als bei gleichen Bedingungen ein normales Bild auf derselben sich entwickeln würde. (Bei Brenzkatechin-Pottasche-Entwickler 15—20 Minuten, Metol-Hydrochinon-Entwickler 10—15 Minuten). Wird durch hinreichend lange Entwicklung

$$S_t = S_\infty, \text{ so wird } \frac{dS}{dt} = 0,$$

und man ist von K unabhängig.

Die Inkonstanz der Lichtquelle (z. B. Bogenlampe) sucht man dadurch zu umgehen, daß man zu gleicher Zeit die Vergleichsaufnahme macht. Ist dies nicht möglich, so wird man solche Lichtquellen wählen, welche sich leicht regulieren lassen (z. B. Glühlampen mit konstanter Strombelastung).

Die vorgeschlagenen und versuchten Methoden laufen darauf hinaus, durch geeignete Versuchsanordnung die verschiedenen Beleuchtungen teils wirklich gefundene, teils interpolatorisch bestimmte gleiche Schwärzungen erzielen zu lassen und daraus i_1/i_2 zu berechnen. Hat man, wie oben angegeben, den Einfluß von λ , e und p eliminiert, so möge $S = \varphi(i, t)$ werden, resp. $i = \psi(t, S)$ und bei gleichem S $i = \chi(t)$, so daß man $i_1/i_2 = \frac{\chi(t_1)}{\chi(t_2)}$ bestimmen kann.

Zwei Gruppen von Arbeiten kann man nach dieser Einteilung unterscheiden, solche, die auf Grund eigener oder fremder Versuche bestimmte Annahmen über die Funktion $\chi(t)$ machen (Simon, Bélin, Callier, Schell, Herzprung, Henri, Defregger) und solche, welche $t_1 = t_2$ setzen und die eine Beleuchtung solange meßbar schwächen, bis $S_1 = S_2$, also auch $i_1 = i_2$.

Hieraus läßt sich rückwärts ohne irgendeine Annahme über die Funktion φ das Verhältnis der ursprünglichen Beleuchtungen berechnen. Als verschiedene Methoden, um eine Beleuchtung meßbar zu schwächen, kommen hier in Betracht:

1. Polarisation (P. G. Nutting, J. Königsberger, Luther u. Forbes).

1. Polarisation (P. G. Nutting, J. Königsberger, Luther und Forbes.

2. in den Strahlengang geeignet angebrachte Blenden (Hartmann, Glazel, P. P. Koch, Stark, Ewest),

3. variierte Strombelastung (P. P. Koch),

4. Abstandsänderung (Baisch),

5. absorbierende Media (Stark, Mees, Ewest).

Bei Anwendung aller Methoden für meßbare Veränderung der Beleuchtung ist der Ort der Lichtschwächung im Strahlengang von größter Bedeutung für die Zuverlässigkeit des Resultates.

Zwei Grenzfälle sind zu unterscheiden, zwischen denen es mannigfache Uebergänge gibt:

1. Condensor nahe am Spalt. Das Bild der Lichtquelle wird in das optische System projiziert. Der Spalt und sein Bild sind gleichmäßig beleuchtet, d. h. jeder Punkt des Spaltes bekommt von jedem Punkt der Lichtquelle Licht, falls das optische System größer ist als das Bild der Lichtquelle, oder falls die Aperturblende genau am Orte des Lichtquellenbildes liegt (Figur 1). Diese Anordnung ist den Verhältnissen bei den Projektionen ähnlich.

2. Der Condensor entwirft das Bild der Lichtquelle auf den Kollimatorspalt, dann ist das Bild des Spaltes nur gleichmäßig beleuchtet, falls die Lichtquelle über die auf den Spalt fallende Fläche gleichmäßig leuchtet (Figur 2).

Die häufig verwendete Anordnung, bei der oft nur die Mitte des Spaltes gleichmäßig beleuchtet ist, zeigt Figur 3.

Betrachten wir nun die einzelnen Methoden: Als erster untersucht Simon auf photographischem Wege im Ultraviolett Absorptionen (Wiedemanns Annalen 1896, Eders Jahrbuch

Fig. 1.
Spalt und sein Bild gleichmäßig beleuchtet.

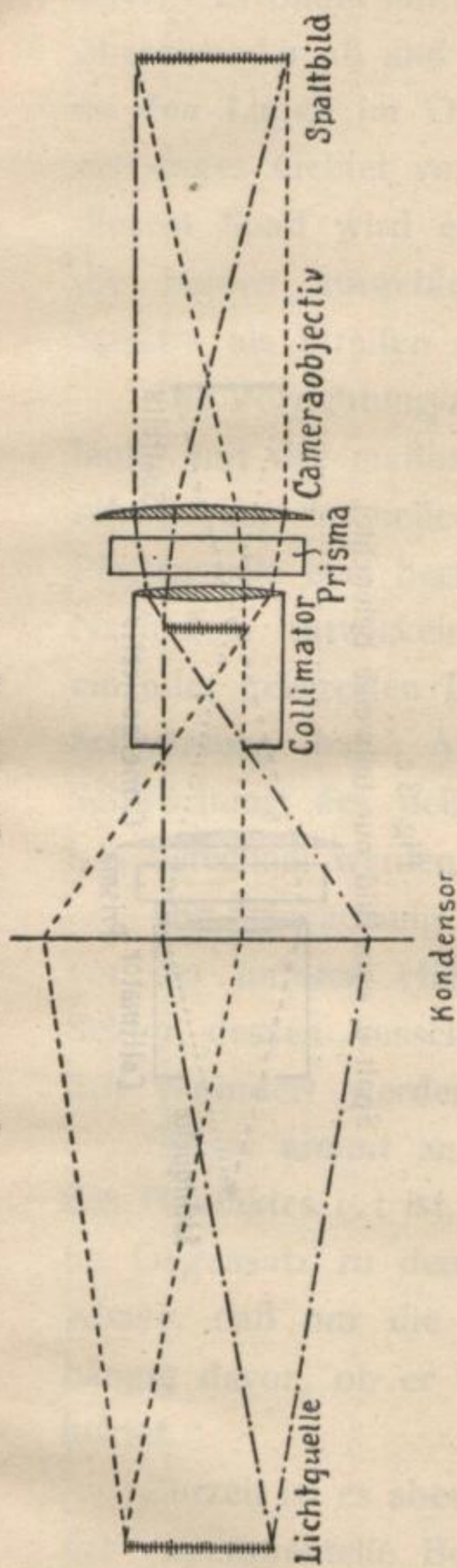


Fig. 2.
Eintrittspupille gleichmäßig beleuchtet. Spalt u. sein Bild nur, falls Lichtquelle gleichmäßig leuchtet.

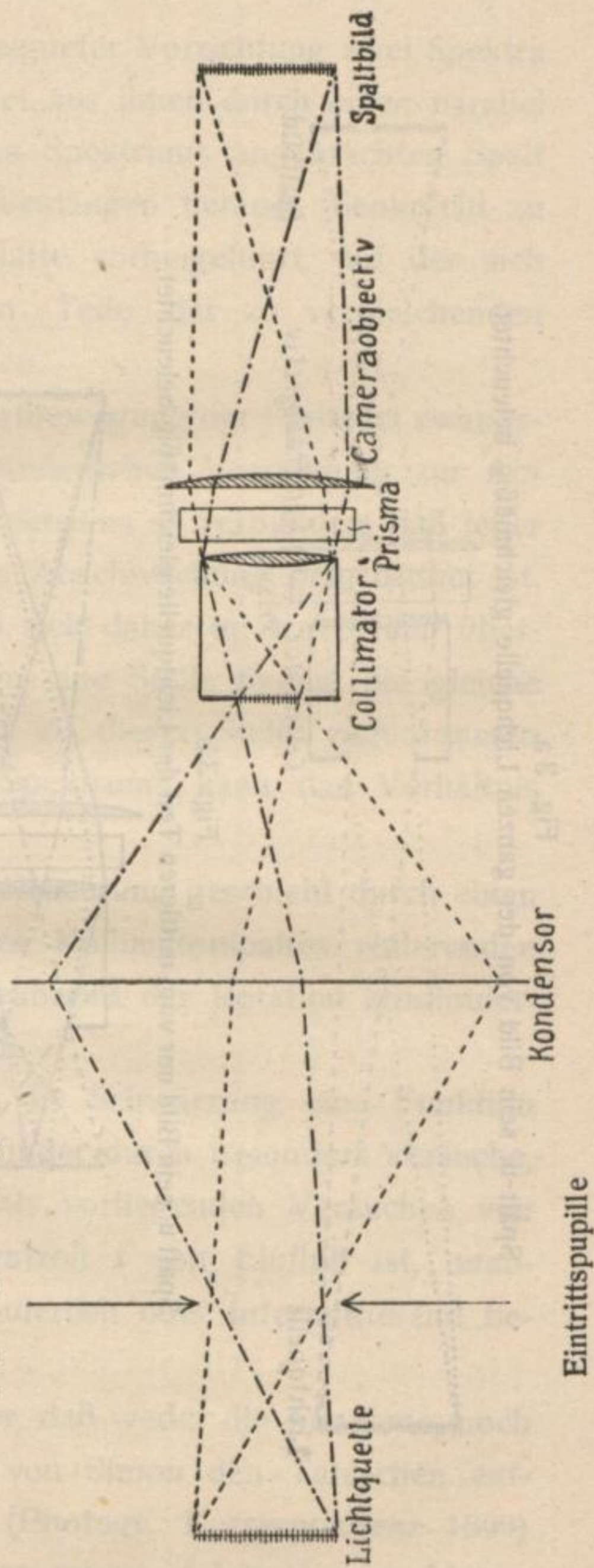


Fig. 3 a.

Spalt u. sein Bild von der ganzen Lichtquelle gleichmäßig beleuchtet.

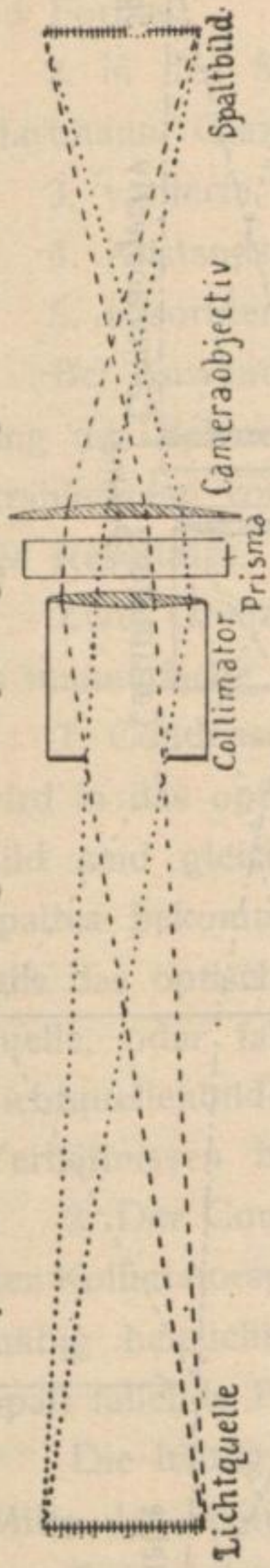


Fig. 3 b.

Spalt u. sein Bild nur vom mittleren Teil der Lichtquelle gleichmäßig beleuchtet.

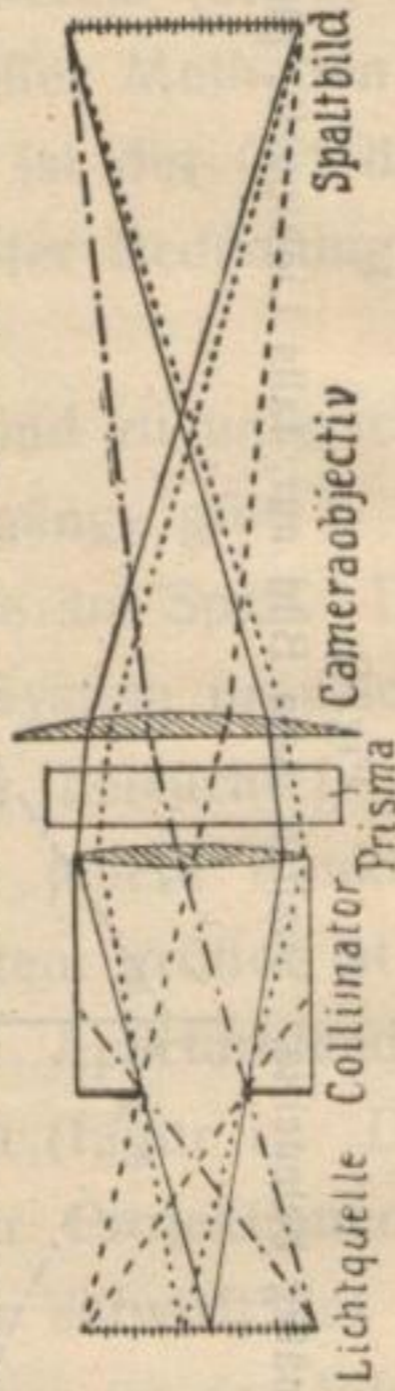
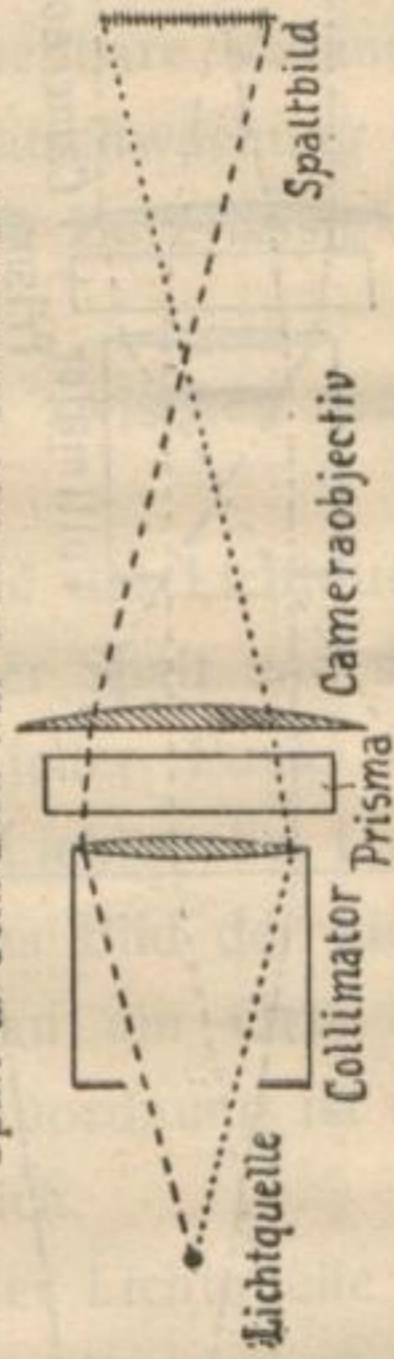


Fig. 3 c.

Spalt u. sein Bild nur teilweise beleuchtet.



1897). Er bildet mittels geeigneter Vorrichtung zwei Spektre übereinander ab und blendet aus ihnen durch einen parallel zu den Linien im Orte des Spektrums angebrachten Spalt ein enges Gebiet von Wellenlängen heraus. Senkrecht zu diesem Spalt wird eine Platte vorbeigeführt, auf der sich die beiden ausgeblendeten Teile der zu vergleichenden Spektre als Streifen abbilden.

Die Vorrichtung zur Fortbewegung der Platte ist zwangsläufig mit der meßbar veränderlichen Vorrichtung zur Abschwächung des helleren Spektrums so verbunden, daß jeder Plattenstelle eine bestimmte Abschwächung beigeordnet ist. Nach dem Entwickeln wird sich daher in den beiden übereinander gelagerten Bändern eine Stelle finden, die gleiche Schwärzung hat. Aus der zu dieser Stelle zugeordneten Schwächung des helleren Spektrums kann das Verhältnis i_1/i_2 berechnet werden.

Die Schwächung der Beleuchtung geschieht durch einen vor der unteren Hälfte des Kollimatorspaltes rotierenden Sektor, dessen Ausschnitt während der Rotation kontinuierlich verändert werden kann.

Simon nimmt an, daß die Schwärzung eine Funktion des Produktes $i \cdot t$ ist, und findet durch besondere Versuche, im Gegensatz zu den damals vorliegenden Versuchen von Abney, daß nur die Gesamtzeit t von Einfluß ist, unabhängig davon, ob er kontinuierlich oder intermittierend be-lichtet.

Zurzeit ist es aber sicher, daß weder die Annahme, noch der experimentelle Befund von Simon den Tatsachen entspricht. K. Schwarzschild (Photogr. Korrespondenz 1899) untersuchte diese Verhältnisse genau und fand einen Unterschied bis zu 20 % bei gleichem t , je nachdem ob konti-

nuierlich oder intermittierend belichtet wird. Das für das Auge gültige „Talbotsche Gesetz“ gilt also für die photographische Platte nicht. Für kontinuierliche Belichtung fand Schwarzschild $S = \varphi (i.t^p)$, während das von Simon angenommene sog. Bunsen-Roscoesche Gesetz $S = \varphi (i.t)$ ist.

Leimbach (Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie 1909) bestimmt $p = \text{konst.}$ für alle Wellenlängen.

Da weder das Talbotsche, noch das Bunsen-Roscoesche Gesetz für die photographische Platte gilt, so sind auch die von Simon nach diesen Gesetzen berechneten Werte der Absorption von Kaliumnitrat ungenau, was auch von Glatzel (siehe später) bestätigt wurde.

Bélin (British journal of photography 1907) läßt dicht vor dem Kollimatorschlitz seines Gitterspektrographen eine kleine Scheinerscheibe (altes Modell mit kontinuierlichem Ausschnitt) rotieren, so daß benachbarte Stellen der Platte eine stetig größer werdende Beleuchtung bekommen. Die Orte der Stellen, wo die Beleuchtung eben ausreicht, eine sichtbare Schwärzung (Schwellenschwärzung) zu erzielen, geben ihm die Grenzkurve der Schwärzung. Aus dem Vergleich zweier Kurven, die nacheinander auf verschiedenen Platten erhalten werden, lassen sich dann die Beleuchtungen vergleichen, nachdem bestimmte Annahmen über den Einfluß von t bei intermittierender Beleuchtung gemacht sind.

Die Bélin'sche Methode setzt vollkommen gleichmäßige Beleuchtung des Spaltes voraus, während bei Simon nur der mittlere Teil gleichmäßig beleuchtet sein muß, weil die Grenzflächen der beiden Streifen zur Bestimmung genügen, Bélin aber auf die ganze Platte angewiesen ist. Die Fehler ungleichmäßiger Platten umgeht seine Methode nicht.

Callier (Ueber den gegenwärtigen Zustand der Empfindlichkeitsbestimmung orthochromatischer Platten, Eders Jahrbuch 1908) arbeitet in derselben Weise, nur ändert er die rotierende Scheibe so um, wie auf Eders Vorschlag die Scheinerscheibe geändert ist (stufenförmiger Ausschnitt). Er erhält dadurch 7 Spektre durch eine Aufnahme übereinander, von denen jedes zweite die doppelte Beleuchtung des ersteren erfahren hat. Um 2 Beleuchtungen zu vergleichen, muß Callier, ebenso wie Bélin, 2 Vergleichsaufnahmen machen, außerdem muß er auf seinen Spektren Stellen gleicher Schwärzung photometrisch bestimmen, da er nicht die Schwellenmethode benutzen kann. Auf Konstanz der Lichtquelle ist er ebenso wie Bélin angewiesen. Bezüglich der Plattenfehler, der Gültigkeit des Bunsen-Roscoeschen und des Talbotschen Gesetzes sowie der gleichmäßigen Beleuchtung des Spaltes gilt dasselbe wie bei Bélin.

Herzprung (Zeitschrift für wissenschaftl. Photographie 1905) photographiert die zu untersuchenden Spektre nacheinander auf verschiedenen Platten mit geometrisch ansteigender kontinuierlicher Exposition und sucht an Kopien auf Papier, das er in Streifen schneidet, die Wellenlängen zu bestimmen, bei denen gleiche Schwärzung auftritt. Unter Annahme des Schwarzschildschen Gesetzes lassen sich die Beleuchtungen berechnen. Er ist auf Konstanz der Lichtquelle und gleichmäßige Beschaffenheit der Platten angewiesen. Ungleichmäßige Spaltbeleuchtung kann er umgehen durch Vergleichen der Schwärzungen gleicher Spaltbildstellen.

Defregger (Photographische Rundschau 1912 Heft 5) verfährt bei den Aufnahmen wie Herzprung. Zur Be-

rechnung benutzt er aber die Grenzkurve, d. h. die Orte der eben sichtbaren Schwärzung, die er interpolatorisch durch die Schwellenwerte seiner Spektrogramme legt.

Den Einfluß der Verschiedenheit zweier Platten vermeidet Henri (nach privaten Mitteilungen) dadurch, daß er abwechselnd auf einer Platte das zu untersuchende Spektrum mit ansteigender und das Normalspektrum mit gleichbleibender Exposition photographiert und für die Stellen der gleichen Schwärzung die Wellenlängen aufsucht. Von den allmählichen Schwankungen der Lichtquelle ist er unabhängiger als Herzprung, auf gleichmäßige Spaltbeleuchtung aber mehr angewiesen, da verschiedene Teile des Spaltbildes verglichen werden. Ein Gesetz über den Einfluß von t muß er ebenfalls annehmen.

C. Schell (photogr.-photometr. Absorptionsmessungen an Jodsilber im ultravioletten Spektrum, Diss. Leipzig 1910) bestimmt durch Abstandsvariation der Lichtquelle und durch verschiedene t in Vorversuchen für eine Reihe von Wellenlängen die Faktoren m und n im erweiterten Schwarzschild'schen Gesetz $S = \log k \cdot i^m t^n$. Mit dem nun bekannten Quotienten n/m berechnet er aus verschiedenen Schwärzungen das Verhältnis i_1/i_2 nach einer Interpolationsformel, die sich ergibt aus $S_\nu = \log k + m \log i_\nu + n \log t_\nu$.

Methode bei konstantem t .

P. G. Nutting (Physik. Zeitschrift IV 1903 pag. 201) und J. Königsberger (Physik. Zeitschrift IV 1903 pag. 345) benutzten polarisiertes Licht und bestimmen mit ihren Aufnahmen, von denen jede einer bekannten Stellung des Nikols entspricht, das Verschwinden der Savartschen Streifen.

Luther und Forbes benutzten das König-Martenssche Spektralphotometer. Sie photographieren den Martensschen Doppelkeil bei verschiedenen Stellungen des Nikols, wobei jeder Stellung eine bestimmte Stellung des Negativs zugeordnet ist. Durch Einengen der Grenzen erhalten sie dann die Stellungen, bei denen gleiche Beleuchtung beider Felder eintritt.

Hartmann (Anwendung der Photographie zu spektral-photometrischen Messungen der Helligkeit von Himmelskörpern, Eders Jahrbuch 1910) photographiert nacheinander auf verschiedenen Platten die zu vergleichenden Spektra. Er ändert bei jeder Aufnahme systematisch die Spaltbreite, mißt die erhaltenen Schwärzungen und berechnet aus ihnen die relativen Helligkeiten. Voraussetzung ist, daß die Stelle des Spaltes, deren Bilder nachher photometriert werden, durch die Lichtquelle gleichmäßig beleuchtet ist und diese während der Versuche konstant sind.

Glatzel (Physik. Zeitschrift 1900 Bd. 1) arbeitet ebenfalls mit verstellbarem Spalt, umgeht aber die Inkonstanz der Lichtquelle und Verschiedenheit der Platten durch Benutzung eines Vierodtschen Doppelspaltes, durch den er, wie Simon, die Aufnahmen nebeneinander erhält. Ebenso wie Hartmann mußte Glatzel die einzelnen Schwärzungen photometrieren, er begnügt sich aber, durch eine Reihe von Versuchen die Grenzen der Verschiedenheit der Schwärzungen von den Vergleichsspektren einzuengen. Die Methode der variablen Spaltöffnungen gibt aber nur gute Resultate bei kontinuierlichem Spektrum, bei monochromatischem Licht ist sie nicht zu verwenden, da durch größere Spaltöffnungen wohl breitere Linien erreicht werden, aber keine größere Flächenhelligkeit. Analog dürfen bei Absorptionsmessungen

keine allzu engen und steilen Absorptionsbanden vorhanden sein, da im andern Falle, wie leicht ersichtlich, das Integral der zur Wirkung kommenden Wellenlängen nicht dem Mittelwerte entspricht.

P. P. Koch (Annalen der Physik 30 1909) belichtet mit einer Glühlampe, deren Strombelastung er in reproduzierbarer Weise variiert. Zur Bestimmung der dadurch bedingten spektralen Intensitätsänderung vergleicht er im sichtbaren Teil des Spektrums die verschieden belastete Lampe nach dem Talbotschen Prinzip gegen eine andere konstant brennende Lampe. Beim Photographieren benutzt er meßbar verstellbare Blenden, die im Strahlengang so angebracht sind, daß sie gleichmäßig mit Licht erfüllt sind.

J. Stark (Annalen der Physik 35 1911) benutzt zur Variation von i die Blende seines Kamera-Objektives. Da durch die Blende die Strahlen verschiedener Wellenlängen im allgemeinen nicht gleichmäßig hindurchgehen, eicht er die Blendenöffnungen im sichtbaren Teil durch Okularmessungen. Für Ultraviolett schlägt er Eichung durch Abstandsänderung vor. Dies müßte aber aus dem oben angegebenen Grunde für jede Wellenlänge extra geschehen. Daher dürften Messungen ziemlich umständlich werden.

E. Baisch (Annalen der Physik 35 1911) variiert die Beleuchtung des Vergleichsspektrums durch den Abstand der Lichtquelle von einer weißen Fläche, durch die der Spalt des Spektralapparates beleuchtet wird. Die Eichung des Abstandes wird photometrisch nach dem Talbotschen Prinzip vorgenommen, da bei ausgedehnten Körpern das einfache quadratische Entfernungsgesetz bei der gewählten Versuchsanordnung keine Gültigkeit hat, er kann aber mit

Recht annehmen, daß seine Eichung auch für das ultraviolette Spektrum gilt, da die spektrale Zusammensetzung sich nicht ändert.

C. E. Mees (An atlas of absorptionsspektra, London 1909) bringt vor dem Spalt seines Spektrographen einen Rauchglaskeil an und erhält dadurch auf der Platte für jede Wellenlänge eine stetig abnehmende Schwärzung. Durch geeignet gewesene Filter gibt er der Grenzkurve, d. h. den Orten der eben sichtbaren Schwärzung einen möglichst gradlinigen Verlauf senkrecht zur Linienrichtung. Schaltet er nun ein Absorptionsgefäß vor den Keil oder benutzt statt des Rauchglases einen Flüssigkeitskeil und photographiert auf einer zweiten Platte, so kann er aus der Differenz der Ordinaten der Grenzkurven beider Platten die Absorption halbquantitativ bestimmen.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. Luther habe ich nun eine neue Methode der spektralphotometrischen Messung versucht. Bei den vorläufig ungünstigen Laboratoriumsbedingungen konnte ich zunächst nur in groben Zügen die Anwendbarkeit der Methode prüfen, so daß der wesentliche Inhalt der Arbeit die Bestimmung der Fehler meiner Versuchsanordnung sein wird. Das Verfahren erinnert an Bélin, Defregger und Mees, da auch bei meiner Methode die Orte gleicher Schwärzung (Isopaken oder Isodensen) und speziell die Grenzkurven bestimmt und zur Grundlage der weiteren Messungen gemacht werden. Es werden, wie bei Mees, mit demselben Apparat die zu vergleichenden Aufnahmen auf zwei Platten nach einander photographiert und an der vertikalen Differenz der Isodensen das gesuchte

Verhältnis der Beleuchtung berechnet¹. Bélin und Defregger erhalten die Grenzkurven durch Variieren der Expositionszeit, Mees schwächt die Beleuchtung durch einen Keil vor dem Spalt. Meine Methode schließt sich an die von Mees an, da ich ebenfalls einen Keil verwende und die Expositionszeit konstant halte.

Im Gegensatz zu Mees bringe ich den neutralen Keil (Graukeil) direkt vor der Platte an und lasse Keil mit Platte am Orte des Spaltbildes parallel zu den Linien und senkrecht zur Keilkante mit einer konstanten Geschwindigkeit vorbeigleiten, wobei die Geschwindigkeit durch ein Uhrwerk reguliert wird. Durch diese Methode werden einige Uebelstände vermieden, die bei der von Mees gebrauchten Versuchsanordnung leicht auftreten können.

1. Der verwendete Keil muß bei Mees sehr sorgfältig gearbeitet sein, da nur eine kleine Fläche benutzt wird und diese über das ganze Spektrum abgebildet wird, so daß event. Unregelmäßigkeiten im ganzen Spektrum sich bemerkbar machen würden.

2. Der Keil muß in gutem optischen und mechanischen Kontakt mit dem Spalte sein, da anderenfalls seine Schwächung der Beleuchtung nicht der im Spaltbilde entsprechen würde, da der Keil dort nicht scharf abgebildet würde.

Diese Forderungen brauchen bei meiner Methode nicht so streng erfüllt zu sein, da der Graukeil direkt vor der Platte angebracht ist. Kleine Unregelmäßigkeiten desselben werden sich daher nur an den entsprechenden Plattenstellen, nicht aber im ganzen Spektrum bemerkbar machen.

1. Der bequemen Ausdrucksweise wegen wollen wir annehmen, daß im fertigen Spektrogramme die Spektral-Linien vertikal verlaufen.

3. Der Spalt muß gleichförmig beleuchtet und beschaffen¹ sein. Da Spalt und Platte fest stehen, würden Unregelmäßigkeiten der Beleuchtung und Beschaffenheit des Spaltes einen Fehler im Resultat bedingen, da dann die Beleuchtung nicht dem Keil entsprechend abnehmen würde. Bei Auswertung der Differenzen der Orte der Isopaken würde der gefundene Abstand in diesem Falle dem bei der aus der Beschaffenheit des Keils angenommenen Schwächung nicht entsprechen.

4. Die Höhe des Spektrums in der Richtung der Spektrallinien kann nur gering sein, besonders im Prismenapparat, wo wegen der bekannten Krümmung der Spektrallinien nur ein kurzer Spalt Verwendung finden kann (Bélin benutzt deswegen einen Gitterspektrographen), die z. B. bei Absorptionsmessungen erforderliche Beleuchtungsvariation bedingt einen großen Unterschied der Dichte² des Keils. Da dieser Dichteunterschied bei der Berechnung des Resultates berücksichtigt werden muß, ergeben kleine Ablesungsfehler beim Ausmessen der Differenzen der Orte der Isopaken große prozentuale Fehler.

Da bei meiner Methode der Keil in innigem Kontakt mit der Platte vertikal und senkrecht zur Keilkante am Ausschnitte des Spaltbildes vorbeigleitet, bekommt jede Stelle der Platte von jeder Stelle des Spaltes Licht, und Unregelmäßigkeiten der Spaltbeschaffenheit werden eliminiert. Der Dichteunterschied des Keils pro Längeneinheit kann kleiner gewählt werden, da die Beleuchtungsvariation nicht auf die

1. d. h. die Spaltbacken müssen geradlinig und einander parallel sein.

2. Dichte = $\log \frac{\text{auffallendes Licht}}{\text{hindurchgegang. Licht.}}$

kleine Strecke vor dem Spalt, sondern auf die ganze Länge der Platte verteilt wird.

5. Die Höhe des Spektrums ist im allgemeinen nicht unabhängig von der Wellenlänge, daher auch die Isopaken keine Grade. Ein Bildbegrenzungsspalt ist nicht anzubringen und die Auswertung der Differenzen der Isopaken schwierig.

Dieser Fehler wird ebenfalls durch die Anbringung des Keils vor der Platte vermieden, da die Beleuchtung erst vor der Platte geschwächt wird, und ich daher mit einem vertikalen Ausschnitt des Spaltbildes arbeiten kann.

Das Prinzip der Auswertung.

Das Prinzip der Auswertung beruht auf der Annahme, daß die Dichte des Keils linear zunimmt, und daß gleiche Schwärzungen bei gleicher Belichtungsdauer nur von der Beleuchtung (vgl. pag. 9) abhängen. Die Annahme, daß die Dichte des Keils linear zunimmt, setzt die Gültigkeit des Lambertschen Gesetzes

$$i = i_0 10^{-\varepsilon d}, \text{ wo } i_0 = \text{auffallendes Licht}$$

$$i = \text{hindurchgegangenes Licht}$$

$$\varepsilon = \text{Extinktionskoeffizient}$$

$$d = \text{Dicke der durchstrahlten Schicht}$$

voraus. Wie später gezeigt wird, gilt dies Gesetz, welches für homogene absorbierende Media aufgestellt ist, auch für die von mir benutzten Graukeile. Aus dem Lambertschen Gesetz folgt

$\varepsilon d = \log(i_0/i) = \text{Dichte} = D$. Da d linear zunimmt, so wird auch D linear wachsen. Bestimme ich D_m und D_n , wo m die senkrechten Abstände zweier Punkte von der Keilkante be-

deutet, so wird $\frac{D_m - D_n}{m - n}$ konstant sein und zwar gleich der Keilkonstanten K , Dichteunterschied pro Längeneinheit. Die Keilkonstante wird zwar für jedes einzelne λ konstant sein, aber verschieden für verschiedene λ . Den Verlauf der Kurve in Abhängigkeit von den Wellenlängen will ich kurz die spektrale Keilkonstantenfunktion nennen. Ihren Gang zeigt Kurve 1. Wie diese sehr wichtige Kurve erhalten wurde, wird später beschrieben werden.

Als gleiche Schwärzungen wurden auf den Vergleichspektrogrammen die Schwellenwerte gewählt. Diese sind unbekannte, aber eindeutige Funktionen von λ , Empfindlichkeit der Platte, spektraler Intensität der Lichtquelle, Dispersion des Prismas, spektraler Absorption der optischen Teile sowie der Keilkonstantenfunktionen multipliziert mit dem senkrechten Abstände des der Schwellenschwärzung entsprechenden Punktes des Keils von der Keilkante. Die Auswertung ergibt sich nun aus folgender Ueberlegung: Für eine bestimmte Wellenlänge wird die gleiche Schwärzung S_λ der Vergleichsplatten nur eine Funktion φ der Beleuchtung i sein, da t konstant ist. Bei Absorptionsmessungen z. B. wird beim ersten Versuch ohne absorbierendes Medium

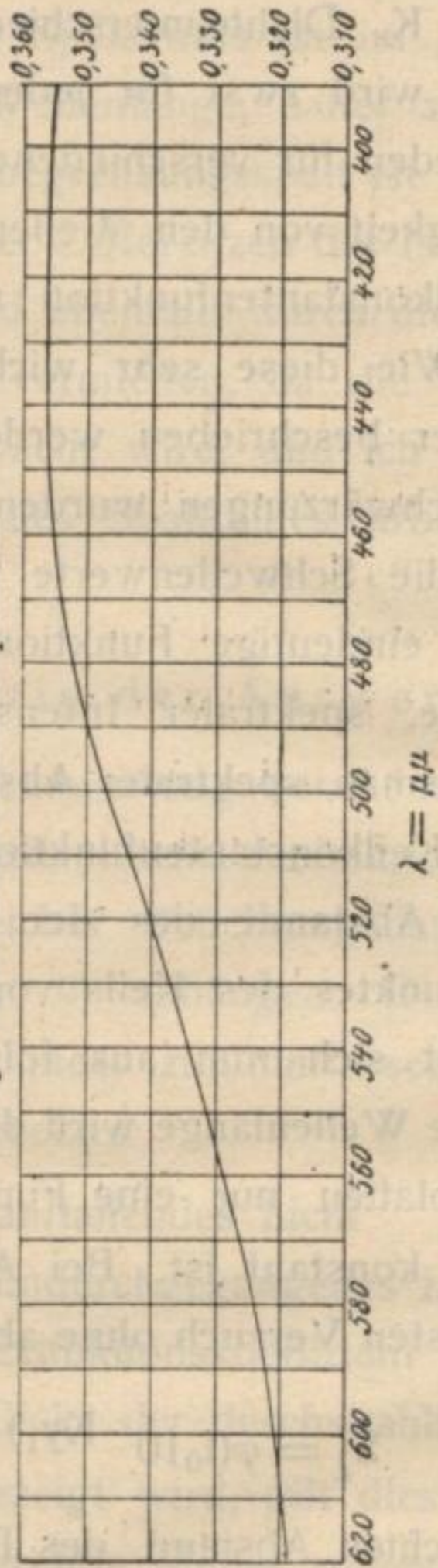
$$S_\lambda = \varphi(i_0 10^{-Ky_1})$$

wo y_1 den senkrechten Abstand des Punktes von der Keilkante bedeuten soll. Beim zweiten Versuch mit absorbierendem Medium

$$S_\lambda = \varphi(i_0 10^{-Ky_2} \cdot 10^{-\varepsilon d})$$

In i_0 seien die Einflüsse der Apparate mit enthalten, die in

Kurve 1.
Spektrale Kühikonstantenpaktion.



$\lambda = \mu\text{m}$

beiden Versuchen gleich sind. Da beide Schwärzungen gleich sind, so folgt

$$i_0 10^{-Ky_1} = i_0 10^{-Ky_2 - \epsilon d}$$

$$\epsilon d = K(y_1 - y_2).$$

Man hat also nur den Wert der Keilkonstantenfunktion für diese Wellenlängen mit dem Abstände der Isopaken zu multiplizieren, um die Extinktion für diese Wellenlänge zu erhalten. Selbstverständlich gilt diese Ueberlegung für jede Wellenlänge. Beim Vergleich zweier Lichtquellen, der Empfindlichkeitsverschiedenheit zweier Platten usw. ergeben sich mutatis mutandis, wie leicht zu ersehen, dieselben einfachen Beziehungen.

Figur 4 zeigt ein Spektrogramm ohne absorbierendes Medium, Figur 5 eine Aufnahme mit absorbierendem Medium,

- Kurve 2 die Grenzkurve vom 1. Spektrogramm,
- Kurve 3 vom 2. Spektrogramm,
- Kurve 4 die Differenz der Ordinaten,
- Kurve 5 die daraus erhaltenen Extinktionen.

B. Apparatur.

Als Lichtquelle dient ein Nernststift von 200 Kerzen, der durch einen Kondensator auf den Spalt eines kleinen Handspektroskops von Schmidt & Haensch, Berlin, abgebildet wird. Hinter dem Spektroskop befindet sich ein achromatisches Objektiv von 24 cm Brennweite, welches das Spektrum von $\lambda = 600 \mu\mu$ bis $\lambda = 400 \mu\mu$ in einer Länge von ca. 6 cm abbildet. Die Höhe in vertikaler Richtung

Fig. 4.

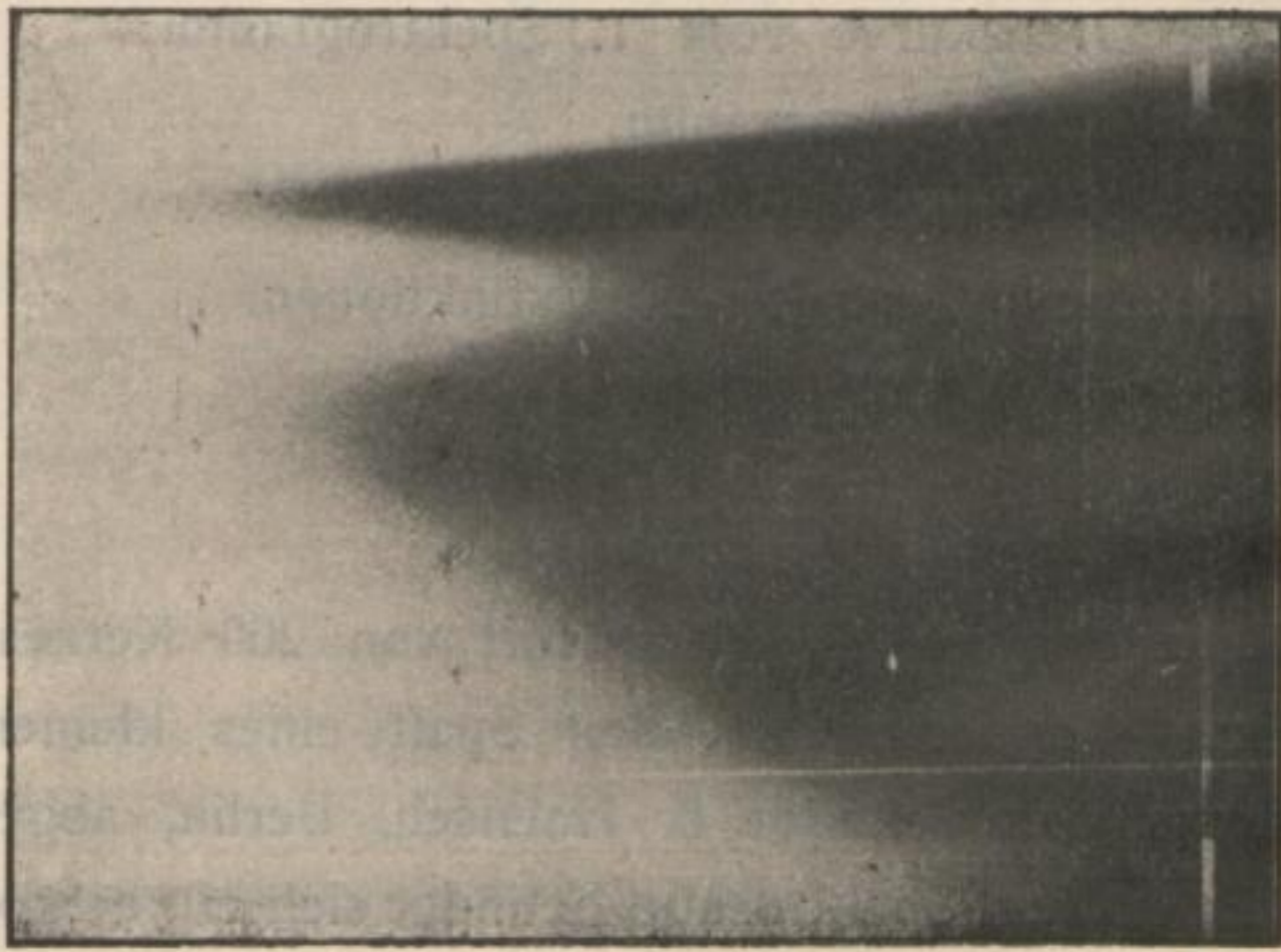
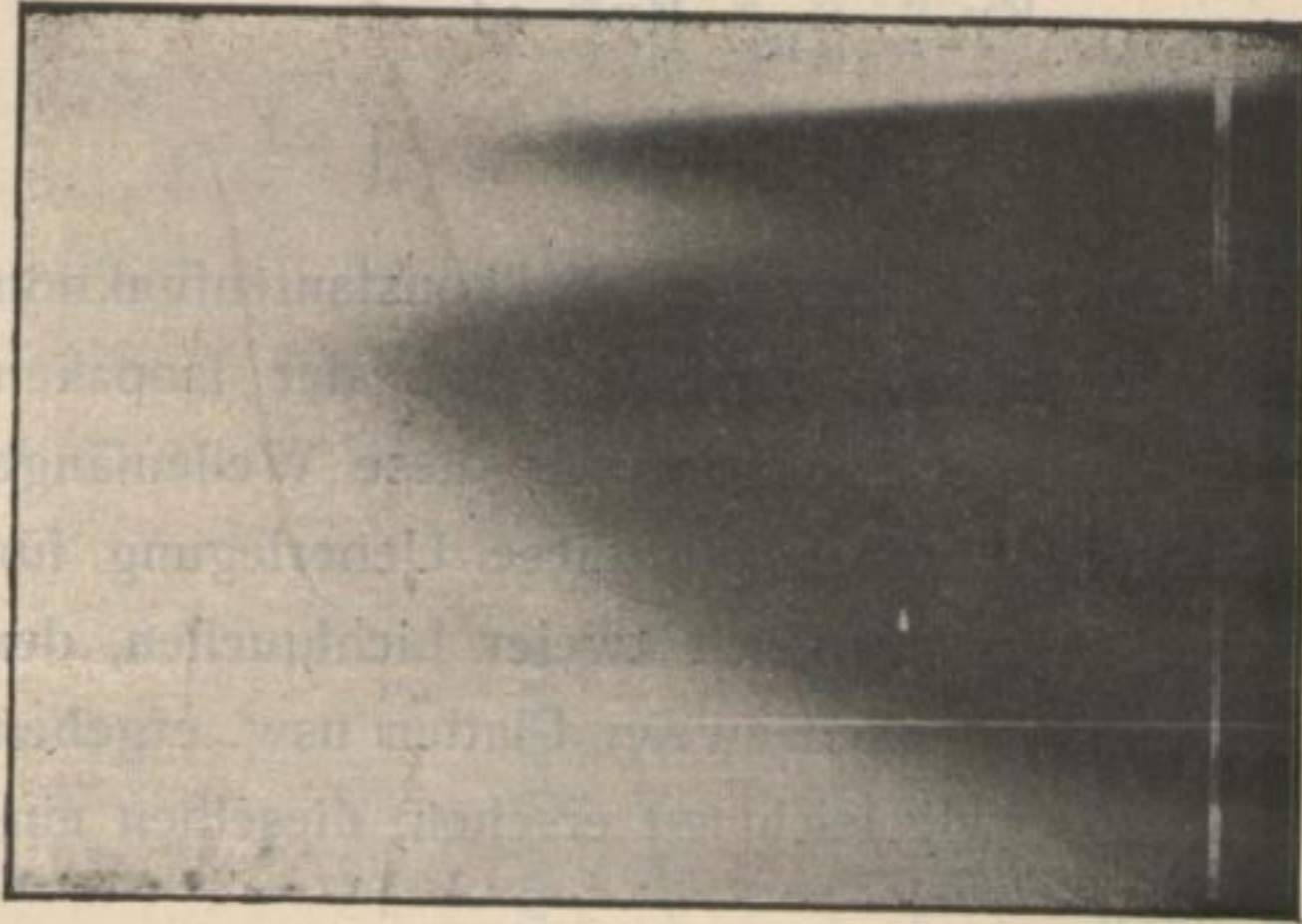


Fig. 5.



Die helle vertikale Linie rührt von einem in der Kasette befestigten schwarzen Faden her u. dient als Bezugspunkt der Abszissen (in der Skala = 6 gesetzt). Die horizontale Linie entspricht einem schwarzen Strich auf dem Keil u. dient als 0-Punkt der Ordinaten. Da nur Differenzen der Ordinaten in Betracht kommen, so kann die in 1 cm Entfernung von der Keilkante liegende Linie als Nullpunkt angenommen werden. (Beide Fig. $\frac{4}{5}$ verkl.)

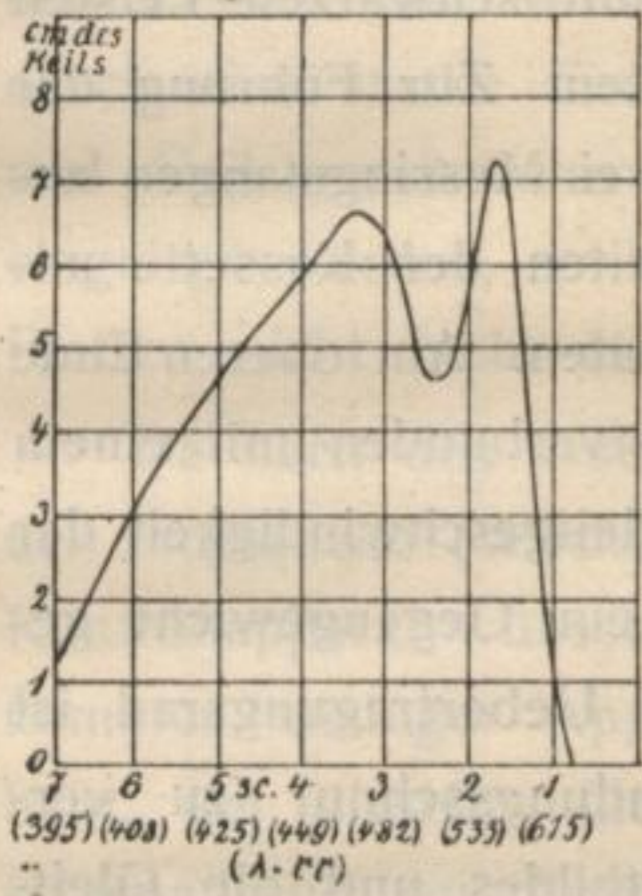
Das Objektiv von 24 cm Brennweite, welches das Spektrum von $\lambda = 600 \mu$ bis $\lambda = 400 \mu$ in einer Länge von ca. 6 cm abbildet. Die Höhe in vertikaler Richtung

Figur 5. Eine Aufnahme mit abschießendem Licht zeigt ein Spektrum ohne abschießendes Licht.

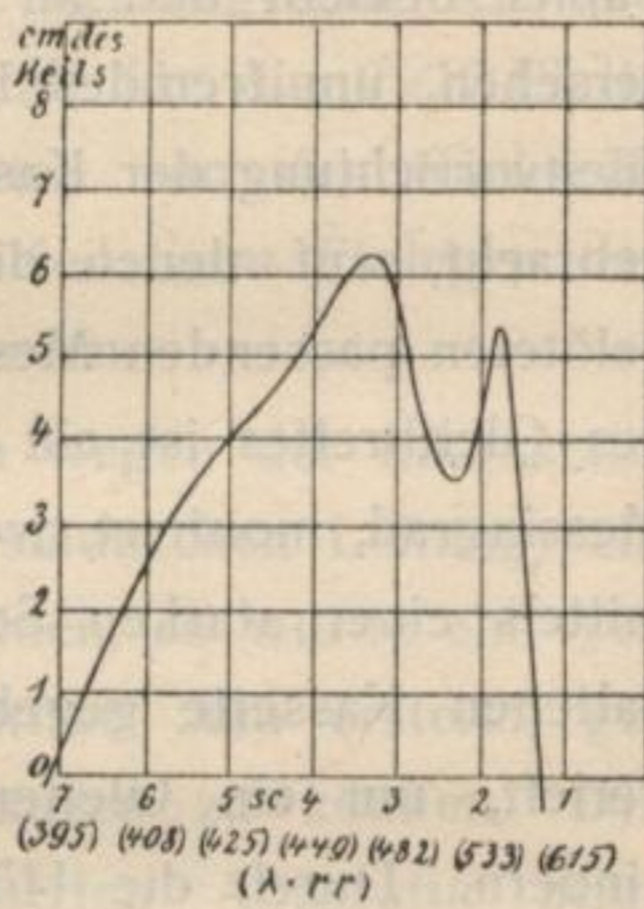
Die Aufnahme zeigt ein Spektrum mit abschießendem Licht. Die Aufnahme zeigt ein Spektrum mit abschießendem Licht.

beiden Versuchen gleich sind. Da beide Schwärzungen gleich sind, so folgt

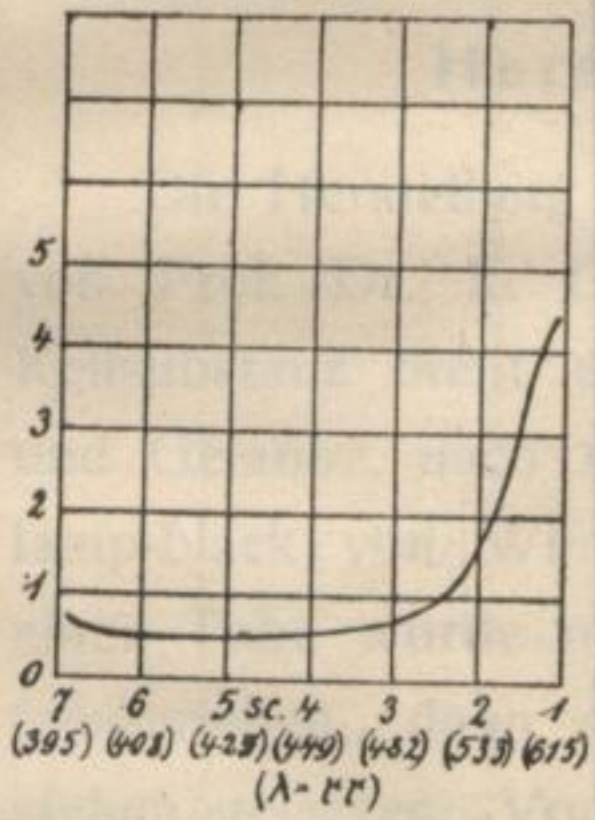
Kurve 2



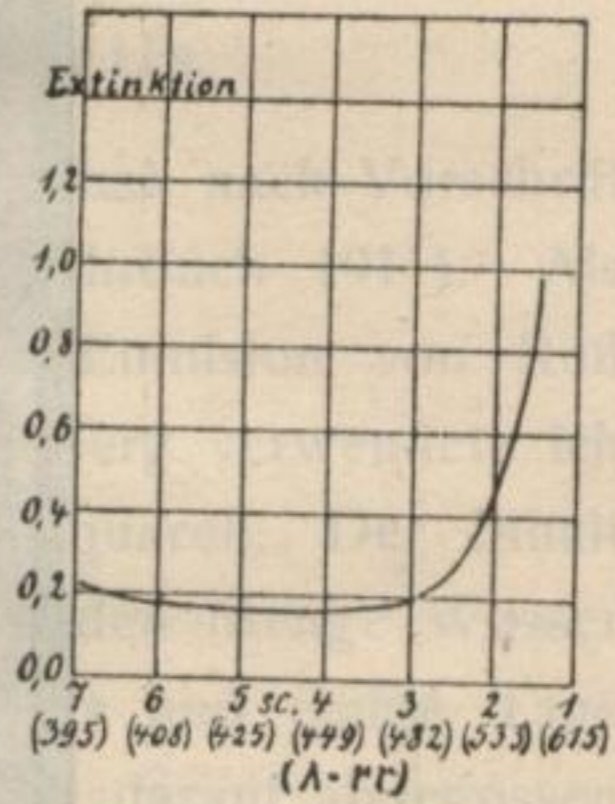
Kurve 3



Kurve 4



Kurve 5



1/2 verkleinert.

Fig. 82

des Spektrums kann durch zwei geschwärzte Stahlbacken B (Figur 6a) verändert werden, welche an dem Ausschnitt des Gleitbrettes angebracht sind. Das letztere ist mit schwarzem Papier beklebt und an den Seiten mit schwarzen Leisten versehen, um fremdes Licht abzuhalten. Zur Führung der Gleitvorrichtung der Kasette sind zwei Messingstangen angebracht, auf denen die an den Seiten der Kasette angelöteten passenden Messingrohre gleiten. Am oberen Ende des Gleitbrettes ist ein Uhrwerk, festverbunden mit einem Messingrad, montiert, wodurch die Gleitgeschwindigkeit der mittels einer starken Schnur durch ein Gegengewicht gehaltenen Kasette gegeben ist. Das Uebertragungsrade ist gerieft, um ein Gleiten der Verbindungsschnur zu verhindern. Durch die Höhe des Spaltbildes und die Gleit-



Fig. 6 a.

geschwindigkeit, welche an der Skala Sc (Figur 6 a) abgelesen werden kann, ist die Belichtungszeit bestimmt. Die gebrauchten Kassetten waren Doppelkassetten für das Format 13×18. Die Mittelwand wurde herausgeschnitten und durch eine starke Einlage fester Halt für die 9×12-Platte und Keil geschaffen. Da die Platten von der Rückseite eingelegt wurden, so brauchte der Keil beim Einlegen der Platten nicht mehr berührt zu werden.

Da nach den ersten Versuchen wegen der Inkonstanz der Lichtquelle (Wechselstrom der städtischen Leitung) ein Kontrollapparat wünschenswert erschien, so wurde ein vollkommen analoger Apparat symmetrisch zum ersteren gebaut, um dieselbe Lichtquelle benutzen zu können. Die schematische Anordnung der benutzten Apparatur zeigt Figur 6 b.

Herstellung des Keils.

Die Herstellung des Graukeils geschah nach Vorschrift von Prof. Dr. E. Goldberg (Eders Jahrbuch 1911). Als Keilsubstanz dient eine fein verteilte Emulsion von Ruß und Gelatine, nach Angaben von Goldberg verwendete ich lamp-black von Winsor & Newton, Aquarell. Der Inhalt einer Tube wurde mit einer hinreichenden Menge Wasser feingerieben, dann durch Watte filtriert und einige Tage stehen gelassen. Vom Bodensatz wurde darauf abgegossen und die Lösung mit 20proz. Gelatinelösung vermischt. Als Vorratslösung diente ein Teil lamp-blacklösung 1:15 und 4 Teile Gelatinelösung. Der Gelatinelösung setzte ich einige

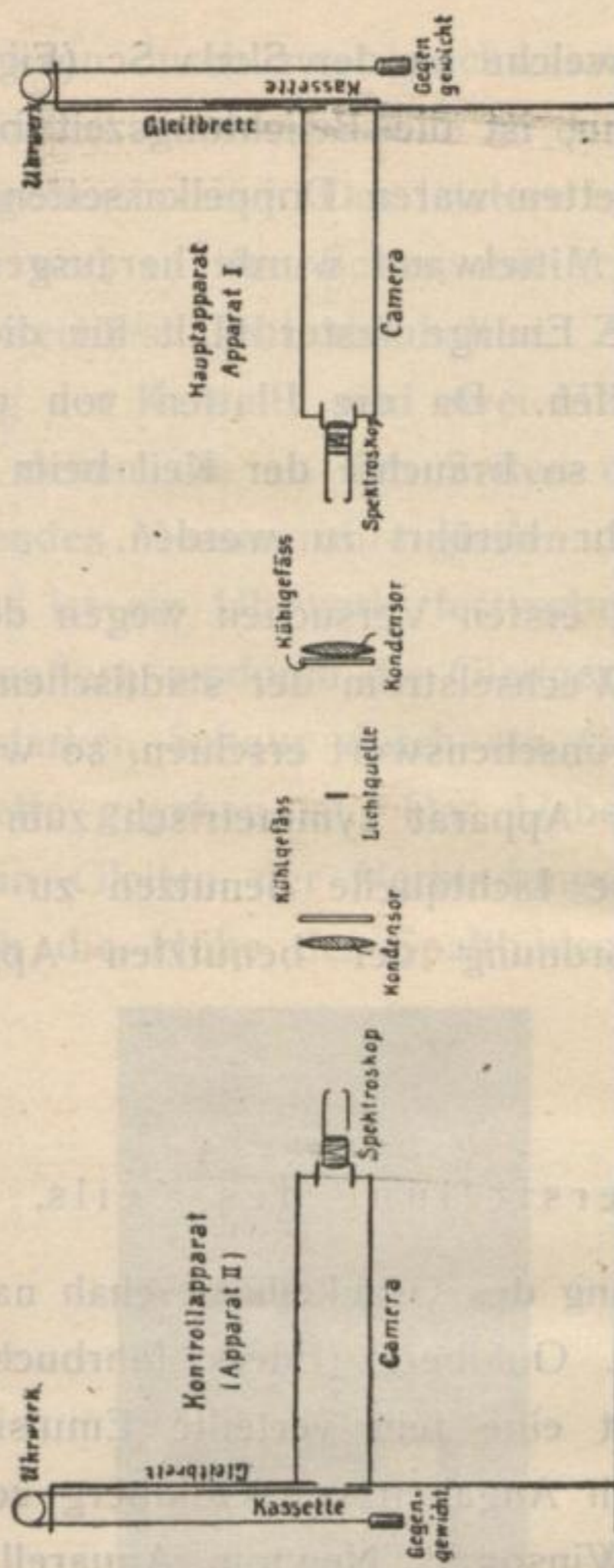


Fig. 6 b.

Tropfen Thymolalkohol 1 : 100 hinzu, um ein Schimmeln zu verhüten.

Um stets gleichmäßige Keile zu bekommen, befestigte ich auf einer Spiegelglasplatte, deren Planfläche vorher geprüft war, mit Wasserglas einige Glasstückchen (siehe Figur 7), a und b dienen zum Festlegen der Spiegelglasplatte 9×12 , auf die der Keil gegossen werden soll, c ca.

1 mm starkes Glas dient als Unterstützungspunkt, so daß von der Seite gesehen die Keilplatte so auf der Unterlage aufliegt, wie Fig. 7 B zeigt. Die auf 40° erwärmte Gelatinemischung, mit 10 proz. Gelatinelösung im Verhältnis 6 : 3 weiterverdünnt, wurde mittels einer Pipette so zwischen beide Scheiben gegossen, daß an den Rändern etwas Gelatine hervortrat. Die untere Platte wurde vorher mit einer Lösung von Zelloidin in Amylacetat 1 : 100 wie beim Lackieren von Platten begossen, getrocknet und auf dem Wasserbade vorgewärmt. Nach dem Erstarren wurde die an den Rändern hervorgetretene Gelatine mit einem scharfen Messer abgeschnitten, der Keil durch Unterfassen mit einem Messer unter eine Ecke vorsichtig abgehoben, in Amylacetat einige Male abgespült und getrocknet.

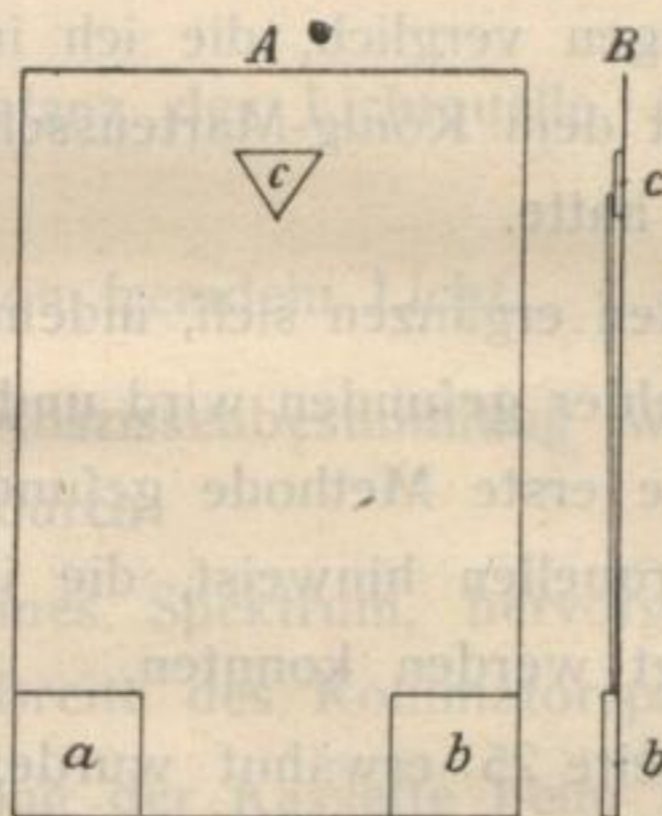


Fig. 7.

Experimenteller Teil.

Die Anwendbarkeit der Methode prüfte ich auf zweierlei Weise, indem ich

I. die Fehler der einzelnen Komponenten des Resultates bestimmte und daraus die Fehler des Resultates berechnete, und

II. die erhaltenen Resultate bei Absorptionsmessungen mit Okularmessungen verglich, die ich im sichtbaren Teil des Spektrums mit dem König-Martensschen Spektralphotometer gewonnen hatte.

Beide Methoden ergänzen sich, indem durch die zweite die Summe der Fehler gefunden wird und eine Abweichung von den durch die erste Methode gefundenen Werten auf unbekannte Fehlerquellen hinweist, die im Versuch selbst nicht berücksichtigt werden konnten.

Wie schon Seite 25 erwähnt wurde, gewann ich die Resultate durch Multiplikation der Differenz der Ordinaten der Grenzkurven mit den Werten der spektralen Keilkonstantenfunktion. Dementsprechend zerfällt dieser Teil der Arbeit in zwei Abschnitte:

1. Bestimmung der Grenzkurven,
2. Bestimmung der spektralen Keilkonstantenfunktion.

1. Grenzkurve.

Da die Grenzkurve in jedem Punkte durch die betreffende Ordinate und Abszisse bestimmt ist, so werden bei ihrer Bestimmung die Fehler der Ordinate und Abszisse zu berücksichtigen sein:

a) Bei der Messung der Differenz der Ordinaten werden von Einfluß sein:

α) Verschiedene Behandlung und Beschaffenheit der Vergleichsplatten.

β) Genaue Bestimmung der Lage der Grenzkurve.

γ) Verschieden lange Belichtungszeit zweier zu vergleichender Plattenstellen, hervorgerufen durch verschieden rasches Vorbeigleiten der Platten am Bildspalt.

δ) Die Konstanz der Lichtquelle in einem Doppelversuch.

ε) Einfluß von fremdem Licht.

b) In der Abszissenbestimmung werden Fehler verursacht werden durch:

α) Ein unreines Spektrum, hervorgerufen durch die endliche Breite des Kollimatorspaltes;

β) Schlotterung der Kassette beim Herabgleiten;

γ) Ungenauigkeit der Eichung der Skala, auf die die Wellenlängen bezogen sind;

δ) Fehlerhafte Uebertragung dieser Skala bei jeder Bestimmung einer Grenzkurve.

a) Ordinatenfehler.

α) Verschiedene Behandlung und Beschaffenheit der Platten.

Wie schon in der Einleitung angegeben, hängt die Schwärzung einer photographischen Platte nicht allein von der Beleuchtung ab, sondern auch bei konstanten λ und t sehr von der Art der Behandlung der Platte und ihrer Beschaffenheit (vgl. pag. 8).

Um gleiche Schwärzungen zur möglichst genauen Berechnung der ursprünglichen Beleuchtung zu haben, wurden die Platten stets im Dunkeln eingelegt und nach dem Belichten im Apparat im Dunkeln herausgenommen. In die Entwicklungsschale wurden sie bei schwachem diffusen roten Licht getan, einige Male mit Wasser abgespült und im Dunkeln mit Metol-Hydrochinon 10 Minuten bei Zimmertemperatur ($16-18^{\circ}$) entwickelt¹. Der Entwickler wurde abgossen, die Platten bei demselben Licht wie oben einige Male abgespült und zu möglichst gleicher Zeit in das saure Fixierbad getan. Nach dem Ausfixieren wurden sie möglichst gleichzeitig herausgenommen, damit die abschwächende Wirkung des Fixierbades die gleiche war, und eine halbe Stunde in fließendem Wasser gewässert. Die Zeit genügte, da die Platten Schichtseite nach unten lagen, was ohne Schädigung der Schicht durch Auflegen auf Korkstücke an drei Punkten der Plattenränder erreicht wurde.

1. Zusammensetzung des Entwicklers:

Dest. Wasser 1000 g
Hydrochinon 50 g
Metol 5 g
Natriumsulfit, krist. 160 g
Pottasche 200 g
Bromkali 4 g

} Zum Gebrauch mit
4-5facher Menge
Wasser verdünnt.

Da es mir hauptsächlich darauf ankam, die Anwendbarkeit der Methode zu prüfen, so suchte ich die Verschiedenheit zweier Vergleichsplatten nur zu umgehen, indem ich bei einem Versuch derselben Schachtel entnommene Platten verwandte. Ich gebrauchte bei meinen Versuchen ortholichthoffreie Sigurdplatten der Firma R. Jahr, Dresden. Den bisweilen von einer Stelle zu einer anderen Stelle derselben Platte auftretenden Empfindlichkeitsunterschied konnte ich auch nicht berücksichtigen. Umgehen ließen sich die durch die verschiedene Empfindlichkeit auftretenden Fehler vielleicht, indem man mit Präzisionsmaschinen auf Spiegelglas gegossene Platten verwendet, jedoch würden übereinstimmende Resultate auf gleiche Empfindlichkeit einer oder mehrerer Platten nicht ohne weiteres einen Rückschluß auf alle Platten gestatten, da die Prüfung einen irreversiblen Prozeß erfordert und nur für die betreffende Platte gilt.

Bekannt ist ferner die Eigenschaft einer photographischen Platte, eine feine Linie, besonders bei stärkerer Beleuchtung nicht als Linie, sondern als Band abzubilden. Professor Goldberg (Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1912, Heft 9 und 10) hat diese Erscheinung in zwei Einzelkomponenten aufgelöst. Er hat gefunden, daß eine unscharfe Abbildung in der Ungleichmäßigkeit der Emulsion begründet ist, daß aber die weiter gehende Verbreiterung der Linie nur auf Lichtstreuung innerhalb der Schicht beruht und nicht auf einem Einfluß in der Entwicklung, wie Scheffer angenommen hat.

Bei Benutzung der Schwellenwerte wird die Verbrei-

terung der Linien vermieden, ebenso auch die Fehler, welche dadurch eintreten können.

β) Bestimmung der Lage der Grenzkurven.

Die Dichtebestimmung einer photographischen Platte wird stets mit Fehlern behaftet sein, eine einfache optische Schwellenmethode natürlich mit größeren Fehlern als eine Bestimmung in einem Photometer, da bei der Schwellenmethode die Ablesung sehr von der Umgebung (Schleier, Form der Kurve) abhängig ist. Wie ich die durch die Umgebung entstehenden Fehler nach Möglichkeit zu vermeiden suchte, werde ich später besprechen.

In meinen Spektrogrammen herrscht in jeder Vertikalrichtung gleicher oder doch annähernd gleicher Abfall der Dichten, weil durch die stetig wachsende Schwächung der Beleuchtung durch den fast neutralen Graukeil für jede Wellenlänge eine Schwärzungskurve auf der Platte gegeben ist. Leimbach (Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie 1909) hat gefunden, daß die charakteristischen Kurven für verschiedene Wellenlängen keine wesentliche Aenderung der Form haben, wohl aber eine Verschiebung, die auch an meinen Spektrogrammen durch die verschiedene Höhe der Ordinaten der Grenzkurve zum Ausdruck kommt (vgl. Figur 4 und 5, pag. 26). Bei diesen Spektrogrammen sind aber noch die spektrale Intensität der Lichtquelle und die Dispersion und die Absorption der Apparatur mitbestimmend, während Leimbach nur die spektrale Empfindlichkeit bei gleichen $\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$ gemessen hat.

Es wäre also zu erwarten, daß die Ablesungsfehler der Grenzkurve im ganzen Spektrogramm gleich große sind, weil die Grenzkurve als Verbindungslinie der Schwellenwerte der einzelnen charakteristischen Kurven aufzufassen ist, die man sich in einer Ebene senkrecht zum Spektrogramm auf den jeweiligen Ordinaten konstruiert zu denken hat (vgl. Figur 8).

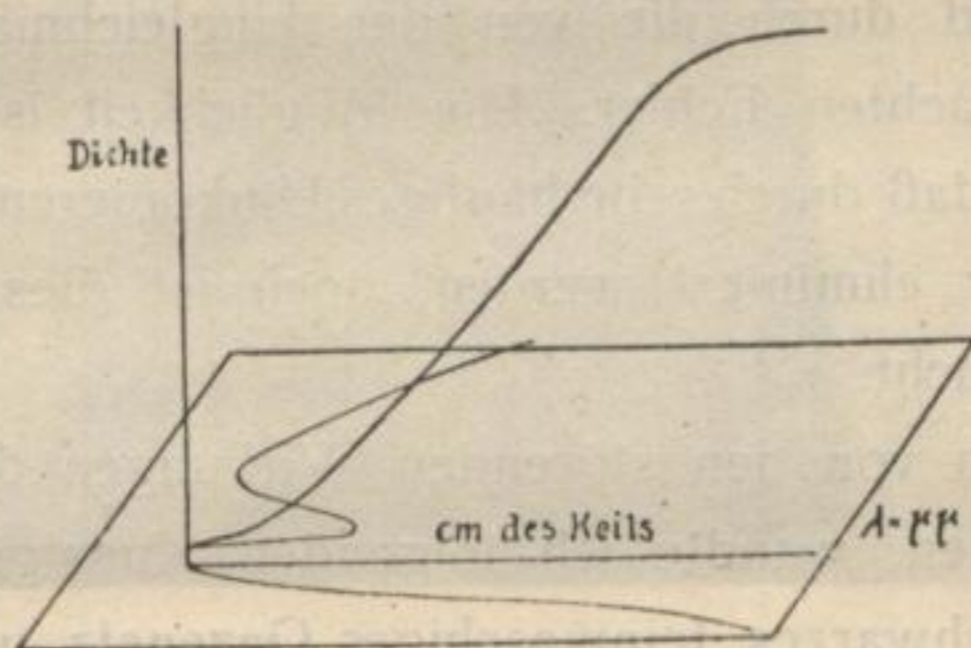


Fig. 8.

Aus der Figur 4 geht hervor, daß scheinbar im steil ansteigenden Teil der Kurve die Grenzkurvenbestimmung günstiger erscheint, doch ist dies ein Trugschluß. Denn dort liegen die einzelnen charakteristischen Kurven einer großen Anzahl von Wellenlängen innerhalb eines kleinen Abszissenbereiches so eng zusammengedrängt, daß das Auge unwillkürlich die Schwelle nicht in vertikaler, sondern, die schärferen Uebergänge benutzend, in mehr horizontaler Richtung abzulesen geneigt ist. Es wirkt dort für jede Bestimmung die Umgebung sehr störend.

Die Ablesungen wurden zuerst am Spektrogramm selber vorgenommen, indem das Negativ auf Millimeterpapier gelegt wurde und die Ordinaten der eben sichtbaren Schwärzung abgelesen wurden. Da in den mehr horizontalen Teilen

die Grenzübergänge weniger scharf sind, so wurde durch Umkopieren (vgl. auch die Arbeit von Goldberg, auf pag. 36 angegeben) auf hartarbeitende Diapositive, die mit hartarbeitendem Entwickler hervorgerufen waren, der Unterschied der Schwärzung zu erhöhen versucht. Durch mehrfaches Umkopieren werden zwar die Uebergänge steiler, doch ist es fraglich, ob nicht der Gewinn an Schärfe aufgehoben wird durch die von der Ungleichmäßigkeit der Platte verursachten Fehler. Die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, daß durch sehr häufiges Umkopieren die Plattenfehler wieder eliminiert werden, doch ist dies noch nicht näher untersucht.

Um mich von den störenden Wirkungen des Schleiers frei zu machen, wandte ich folgenden Kunstgriff an: Ich brachte ein schwarzes, feinmaschiges Gazenetz, wie es Luther und Goldberg bei der automatischen Aufzeichnung der charakteristischen Kurve benutzt haben, vor dem Keil an, so daß auf der entwickelten Platte auch das Bild des Netzes war (siehe Figur 9). Als Grenzkurve bestimmte ich dann die Orte der eben sichtbaren Abbildung des Netzes.

Da eine direkte Ablesung schwierig war, so versuchte ich folgende Methoden: Zuerst bestimmte ich die Grenzkurve, indem ich Pauspapier auf das Spektrogramm legte und bei einer bei Vergleichsplatten konstanten Beleuchtung in einem Retouchierpult die Orte des eben sichtbaren Netzbildes durch eine Kurve verband. Da Pauspapier zu ungleichmäßig ist, verwandte ich nach den ersten Bestimmungen „Paushaut“ (auf einer Seite mattiertes, dünnes Gelatineblatt).

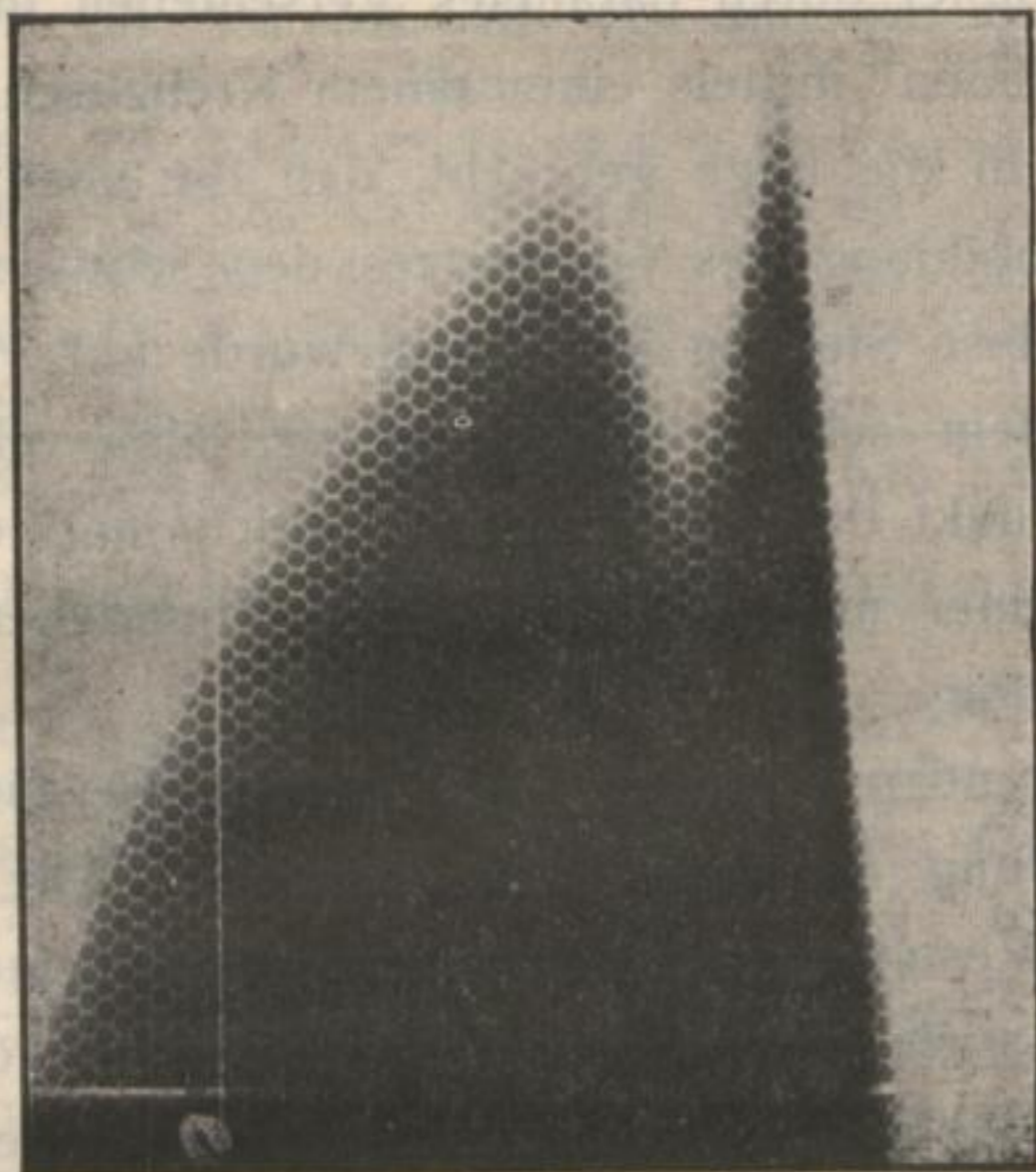


Fig. 9.

Die Forderung der gleichmäßigen Dichte der bei den Bestimmungen zweier zu vergleichenden Grenzkurven verwandten Paushaut ist zwar besser als bei Pauspapier, aber doch nicht streng erfüllt. Außerdem hat man nach Bestimmen eines Punktes nicht mehr die Möglichkeit einer nochmaligen Kontrolle, da der Bleistiftstrich das unter ihm liegende Negativstück verdeckt. Die Kurvenführung ist dabei nicht unabhängig von der Vorgeschichte, da man unwillkürlich geneigt ist, die Kurven möglichst gradlinig fortzusetzen.

Als noch genauere Methode ergab sich folgende: Auf einen größeren Bogen schwarzen Papiers wurde ein schmales Stück glänzendes weißes Papier (mit einem schwarzen Punkt in der Mitte) geklebt und die Platte Schicht-

seite nach Papier durch paralleles Verschieben in Richtung der Spektrallinien¹ mittels einer einem Kreutztisch ähnlichen Vorrichtung in die Lage gebracht, daß die eben noch bemerkbare Abbildung des Gazeetzes den schwarzen Punkt berührte. Diese Stellung der Platte wurde auf Papier, das fest unter dem schwarzen Bogen lag, also relativ zum schwarzen Punkt durch einen feinen Stich markiert mittels Betätigung einer mit der Platte fest verbundenen Pointierungsvorrichtung.

Die folgenden Tabellen I—III zeigen die Genauigkeit der Bestimmung der einzelnen Methoden. Die mittleren Fehler des Resultates der Bestimmung mit einem Gaze-schleier sind auch in den dazugehörigen Kurven verzeichnet.

Bei der Methode im Kreutztisch wurden in jedem Vertikalstreifen mehrere Messungen vorgenommen und durch die einzelnen Bestimmungen nach Augenmaß die mittleren Grenzkurven gelegt. Dies Verfahren ist zuverlässiger als das Durchpausen, da man von der verschiedenen Dichte der Haut frei ist. Paralaxe wird ebenfalls vermieden, da Schichtseite und schwarzer Punkt in innigem Kontakt sind, ferner wird durch eine Messung die folgende nicht beeinflußt, da das Auge unabhängig ist von der Umgebung des gesuchten Punktes. Ein fernerer Vorzug dieser Methode ist die Verdoppelung der Dichte und des Dichtegradienten, da der in das Auge gelangende Lichtstrahl die Schicht zweimal passieren muß.

Die Genauigkeit der Ablesung zeigenden Tabellen wurden durch wiederholte Bestimmung der Kurven gewonnen

1. Und der Längsachse des weißen Papiers.

Tabelle I.

Direkte Ablesung der Grenzkurve von der Platte.

| | $\lambda = 610$ | 561 | 533 | 504 | 482 | 463 | 449 | 436 | 425 | 416 | 408 | 401 $\mu\mu$ |
|--------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Platte A. | | | | | | | | | | | | |
| Ordinaten | 1,6 | 7,3 | 5,1 | 4,2 | 7,0 | 7,4 | 6,6 | 5,4 | 4,6 | 3,8 | 2,5 | 1,4 |
| der Grenz- | 1,8 | 7,2 | 5,8 | 4,6 | 6,9 | 7,6 | 6,8 | 6,3 | 5,6 | 4,6 | 3,2 | 1,8 |
| kurve in cm | 1,8 | 7,6 | 5,1 | 4,4 | 7,0 | 7,6 | 7,2 | 6,3 | 5,8 | 5,0 | 3,6 | 1,4 |
| | 1,9 | 7,6 | 5,3 | 4,8 | 7,1 | 7,6 | 7,0 | 6,4 | 5,8 | 4,4 | 3,3 | 2,4 |
| | 1,9 | 7,9 | 6,0 | 5,2 | 7,1 | 7,6 | 7,2 | 6,4 | 5,8 | 5,0 | 4,2 | 2,8 |
| Mittel | 1,80 | 7,52 | 5,46 | 4,64 | 7,02 | 7,56 | 6,96 | 6,16 | 5,52 | 4,56 | 3,36 | 2,16 |
| Mittlerer Fehler | | | | | | | | | | | | |
| der Resultate | $\pm 0,06$ | 0,13 | 0,19 | 0,17 | 0,04 | 0,04 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,22 | 0,26 | 0,25 |
| Platte B. | | | | | | | | | | | | |
| | -0,6 | 4,3 | 4,6 | 4,4 | 6,9 | 7,6 | 7,0 | 6,0 | 5,6 | 5,1 | 4,0 | 2,8 |
| | -1,0 | 4,5 | 4,9 | 4,6 | 7,1 | 7,8 | 6,6 | 6,1 | 5,3 | 4,8 | 4,0 | 3,0 |
| | -0,8 | 4,9 | 5,0 | 4,6 | 7,0 | 7,5 | 7,0 | 6,2 | 5,6 | 5,0 | 4,4 | 3,2 |
| | -0,7 | 4,6 | 4,7 | 4,2 | 7,6 | 8,0 | 7,3 | 6,2 | 5,6 | 5,0 | 4,3 | 3,2 |
| | -0,4 | 5,0 | 4,8 | 4,9 | 7,1 | 8,1 | 7,1 | 6,2 | 5,8 | 5,0 | 4,1 | 3,0 |
| Mittel | -0,70 | 4,66 | 4,80 | 4,54 | 7,14 | 7,80 | 7,00 | 6,14 | 5,58 | 4,98 | 4,16 | 3,04 |
| | $\pm 0,11$ | 0,13 | 0,07 | 0,12 | 0,14 | 0,12 | 0,12 | 0,04 | 0,10 | 0,06 | 0,09 | 0,08 |
| Differenz d. | | | | | | | | | | | | |
| Ordinaten | 2,50 | 2,86 | 0,66 | 0,10 | 0,12 | 0,24 | 0,04 | 0,02 | 0,06 | 0,42 | 0,80 | 0,88 |
| | $\pm 0,13$ | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,15 | 0,13 | 0,17 | 0,19 | 0,25 | 0,23 | 0,28 | 0,26 |
| Diapositiv von Platte A. | | | | | | | | | | | | |
| | 0,4 | 6,0 | 4,6 | 3,5 | 5,2 | 5,6 | 4,9 | 4,3 | 3,6 | 2,8 | 2,0 | 0,6 |
| | 0,2 | 5,6 | 4,9 | 3,5 | 5,1 | 5,6 | 5,0 | 4,3 | 3,7 | 2,8 | 1,9 | 0,4 |
| | 0,3 | 5,4 | 5,1 | 3,5 | 4,9 | 5,4 | 5,0 | 4,2 | 3,6 | 2,7 | 2,0 | 0,5 |
| | 0,2 | 5,7 | 5,0 | 3,4 | 5,0 | 5,6 | 5,0 | 4,3 | 3,5 | 2,7 | 1,9 | 0,5 |
| | 0,5 | 5,7 | 4,8 | 3,5 | 5,0 | 5,7 | 4,9 | 4,2 | 3,4 | 2,8 | 2,0 | 0,8 |
| Mittel | 0,32 | 5,68 | 4,88 | 3,48 | 5,04 | 5,58 | 4,96 | 4,26 | 3,56 | 2,76 | 1,96 | 0,56 |
| | $\pm 0,06$ | 0,10 | 0,09 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,07 |
| Diapositiv von Platte B. | | | | | | | | | | | | |
| | — | 2,5 | 3,1 | 2,4 | 4,7 | 5,1 | 4,6 | 4,0 | 3,0 | 2,4 | 1,8 | 0,6 |
| | — | 2,7 | 3,2 | 2,6 | 4,6 | 5,0 | 4,3 | 3,6 | 2,9 | 2,3 | 1,5 | 0,4 |
| | — | 2,4 | 3,1 | 2,6 | 4,6 | 5,0 | 4,2 | 3,4 | 2,9 | 2,3 | 1,3 | 0,2 |
| | — | 2,6 | 3,5 | 2,6 | 4,5 | 4,9 | 4,3 | 3,6 | 2,9 | 2,0 | 1,3 | 0,6 |
| | — | 2,8 | 3,2 | 2,6 | 4,7 | 5,0 | 4,5 | 3,8 | 3,0 | 2,4 | 1,6 | 0,4 |
| Mittel | — | 2,60 | 3,22 | 2,56 | 4,62 | 5,00 | 4,38 | 3,68 | 2,94 | 2,28 | 1,50 | 0,44 |
| | \pm — | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,07 | 0,10 | 0,03 | 0,08 | 0,09 | 0,09 |
| Differenz d. | — | | | | | | | | | | | |
| Ordinaten | \pm — | 3,08 | 1,66 | 0,92 | 0,42 | 0,58 | 0,58 | 0,58 | 0,62 | 0,48 | 0,46 | 0,12 |
| | \pm — | 0,12 | 0,12 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,11 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,11 |

Die Platte A war ohne absorbierendes Medium, die Platte B mit vorgeschaltetem absorbierendem Medium aufgenommen. Aus der Differenz der Ordinaten bei der direkten Bestimmung der Grenzkurven im Spektrogramm sieht man deutlich den Einfluß des Plattenschleiers. Auf den hartarbeitenden Diapositiven fällt dieser Einfluß fort, daher sind dort auch die Bestimmungen viel genauer.

Tabelle II.

Bestimmung der Grenzkurven mittels Durchpausen auf „Paushaut“.

$\lambda = 620 \quad 585 \quad 545 \quad 515 \quad 487 \quad 466 \quad 449 \quad 435 \quad 423 \quad 412 \quad 403 \quad 396 \mu\mu$

| Platte 1. | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ordinaten | 3,3 | 8,3 | 10,0 | 8,0 | 9,0 | 9,8 | 9,4 | 8,7 | 8,0 | 7,4 | 6,7 | 5,8 |
| d. Grenzkurve | 3,2 | 8,4 | 9,1 | 7,8 | 8,9 | 9,7 | 9,1 | 8,6 | 8,0 | 7,3 | 6,6 | 5,7 |
| in cm. | 3,2 | 8,3 | 9,7 | 7,8 | 9,1 | 9,8 | 9,4 | 8,8 | 8,1 | 7,3 | 6,6 | 5,8 |
| | 3,1 | 8,2 | 9,4 | 7,8 | 9,0 | 9,7 | 9,4 | 8,7 | 8,0 | 7,3 | 6,5 | 5,9 |
| | 3,2 | 8,0 | 9,5 | 7,8 | 8,9 | 9,7 | 9,4 | 8,7 | 7,9 | 7,2 | 6,6 | 5,8 |
| Mittel | 3,20 | 8,24 | 9,54 | 7,84 | 8,98 | 9,72 | 9,34 | 8,70 | 8,00 | 7,30 | 6,60 | 5,80 |
| Mittlerer Fehler der Resultate \pm | 0,03 | 0,05 | 0,17 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,08 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Platte 2. | | | | | | | | | | | | |
| | 1,0 | 6,2 | 7,0 | 5,7 | 7,0 | 7,5 | 7,2 | 6,5 | 5,9 | 5,2 | 4,5 | 3,7 |
| | 0,9 | 6,2 | 7,0 | 5,6 | 6,9 | 7,5 | 7,1 | 6,6 | 6,0 | 5,4 | 4,7 | 3,9 |
| | 0,8 | 5,8 | 7,2 | 5,5 | 6,8 | 7,5 | 7,4 | 6,6 | 6,0 | 5,4 | 4,7 | 3,9 |
| | 0,8 | 5,9 | 7,3 | 5,6 | 6,9 | 7,6 | 7,2 | 6,7 | 6,0 | 5,4 | 4,6 | 3,8 |
| | 0,8 | 6,0 | 7,2 | 5,7 | 6,7 | 7,6 | 7,4 | 6,6 | 5,9 | 5,2 | 4,5 | 3,6 |
| Mittel | 0,86 | 6,02 | 7,14 | 5,62 | 6,86 | 7,54 | 7,26 | 6,60 | 5,96 | 5,32 | 4,60 | 3,78 |
| \pm | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Differenz der Ordinaten \pm | 2,34 | 2,22 | 2,40 | 2,22 | 2,12 | 2,18 | 2,08 | 2,10 | 2,04 | 1,98 | 2,00 | 2,02 |
| | 0,06 | 0,09 | 0,18 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,07 |
| Platte 3. | | | | | | | | | | | | |
| | 3,1 | 8,0 | 9,5 | 7,8 | 8,7 | 9,6 | 9,1 | 8,7 | 8,1 | 7,5 | 6,8 | 6,0 |
| | 3,2 | 7,8 | 10,0 | 7,7 | 8,7 | 9,7 | 9,4 | 8,8 | 8,2 | 7,5 | 6,9 | 6,1 |
| | 2,9 | 7,7 | 9,8 | 7,8 | 8,9 | 9,8 | 9,4 | 8,8 | 8,2 | 7,7 | 6,9 | 6,0 |
| | 3,0 | 7,9 | 9,2 | 7,8 | 8,7 | 9,8 | 9,4 | 8,7 | 8,2 | 7,6 | 6,9 | 6,1 |
| | 2,9 | 8,0 | 9,3 | 7,8 | 9,0 | 9,8 | 9,2 | 8,7 | 8,1 | 7,5 | 6,9 | 6,1 |
| Mittel | 3,02 | 7,88 | 9,56 | 7,78 | 8,80 | 9,74 | 9,30 | 8,74 | 8,16 | 7,56 | 6,88 | 6,06 |
| \pm | 0,06 | 0,06 | 0,15 | 0,02 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,03 |

$\lambda = 620 \quad 585 \quad 545 \quad 515 \quad 478 \quad 466 \quad 449 \quad 435 \quad 423 \quad 412 \quad 403 \quad 396 \mu\mu$

Platte 4.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,6 | 5,4 | 6,9 | 5,5 | 6,7 | 7,4 | 7,1 | 6,6 | 6,0 | 5,3 | 4,5 | 4,0 |
| | 0,6 | 5,8 | 6,9 | 5,4 | 7,3 | 7,3 | 7,0 | 6,6 | 6,0 | 5,4 | 4,7 | 3,9 |
| | 0,6 | 5,9 | 7,4 | 5,4 | 7,4 | 7,3 | 0,0 | 6,5 | 6,0 | 5,3 | 4,8 | 3,8 |
| | 0,4 | 5,0 | 7,8 | 5,4 | 6,5 | 7,6 | 7,2 | 6,6 | 6,0 | 5,4 | 4,6 | 3,9 |
| | 0,5 | 5,3 | 7,0 | 5,2 | 7,0 | 7,3 | 7,0 | 6,5 | 5,9 | 5,3 | 4,7 | 4,0 |
| Mittel | 0,54 | 5,48 | 7,20 | 5,38 | 6,98 | 0,38 | 7,06 | 6,56 | 5,98 | 5,34 | 5,66 | 3,92 |
| | $\pm 0,04$ | 0,17 | 0,18 | 0,05 | 0,17 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,04 |
| Differenz | 2,48 | 2,40 | 2,36 | 2,40 | 1,82 | 2,36 | 2,24 | 2,18 | 2,16 | 2,22 | 2,22 | 2,14 |
| | $\pm 0,07$ | 0,18 | 0,23 | 0,05 | 0,19 | 0,08 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |

Platte 5.

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3,5 | 8,5 | 9,6 | 7,9 | 9,6 | 9,8 | 9,6 | 9,1 | 8,4 | 7,9 | 7,2 | 6,4 |
| | 3,5 | 8,5 | 9,3 | 8,1 | 9,2 | 9,8 | 9,6 | 9,1 | 8,5 | 7,8 | 7,1 | 6,3 |
| | 3,6 | 8,4 | 9,6 | 7,8 | 9,4 | 9,8 | 9,4 | 8,9 | 8,4 | 7,8 | 7,2 | 6,6 |
| | 3,6 | 7,9 | 9,5 | 7,9 | 9,0 | 9,9 | 9,6 | 9,1 | 8,5 | 7,9 | 7,1 | 6,5 |
| | 3,5 | 8,4 | 9,6 | 7,8 | 9,2 | 10,0 | 9,6 | 9,0 | 8,3 | 7,7 | 7,0 | 6,4 |
| Mittel | 3,54 | 8,34 | 9,52 | 7,92 | 9,28 | 9,86 | 9,56 | 9,02 | 8,42 | 7,82 | 7,12 | 6,44 |
| | $\pm 0,03$ | 0,02 | 0,06 | 0,06 | 0,11 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |

Platte 6.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1,0 | 5,8 | 7,8 | 6,1 | 7,8 | 8,0 | 6,8 | 7,1 | 6,5 | 6,0 | 5,5 | 4,7 |
| | 1,0 | 5,7 | 7,3 | 5,9 | 7,2 | 7,7 | 7,3 | 6,8 | 6,3 | 5,8 | 5,3 | 4,6 |
| | 1,2 | 5,4 | 0,2 | 6,0 | 7,2 | 7,8 | 7,5 | 7,0 | 6,5 | 5,9 | 5,4 | 4,8 |
| | 1,2 | 6,0 | 7,4 | 6,1 | 7,3 | 8,0 | 7,7 | 7,2 | 6,7 | 6,0 | 5,5 | 4,8 |
| | 1,1 | 5,9 | 7,7 | 5,9 | 7,3 | 7,7 | 7,5 | 7,0 | 6,5 | 5,8 | 5,2 | 4,5 |
| Mittel | 1,10 | 5,76 | 7,48 | 6,00 | 7,36 | 7,84 | 7,56 | 7,02 | 6,50 | 5,92 | 5,38 | 4,68 |
| | $\pm 0,05$ | 0,11 | 0,12 | 0,05 | 0,12 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Differenz | 2,44 | 2,58 | 2,04 | 1,92 | 1,92 | 2,02 | 2,00 | 2,00 | 1,92 | 1,90 | 1,74 | 1,76 |
| | $\pm 0,06$ | 0,16 | 0,14 | 0,08 | 0,16 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |

Tabelle III.

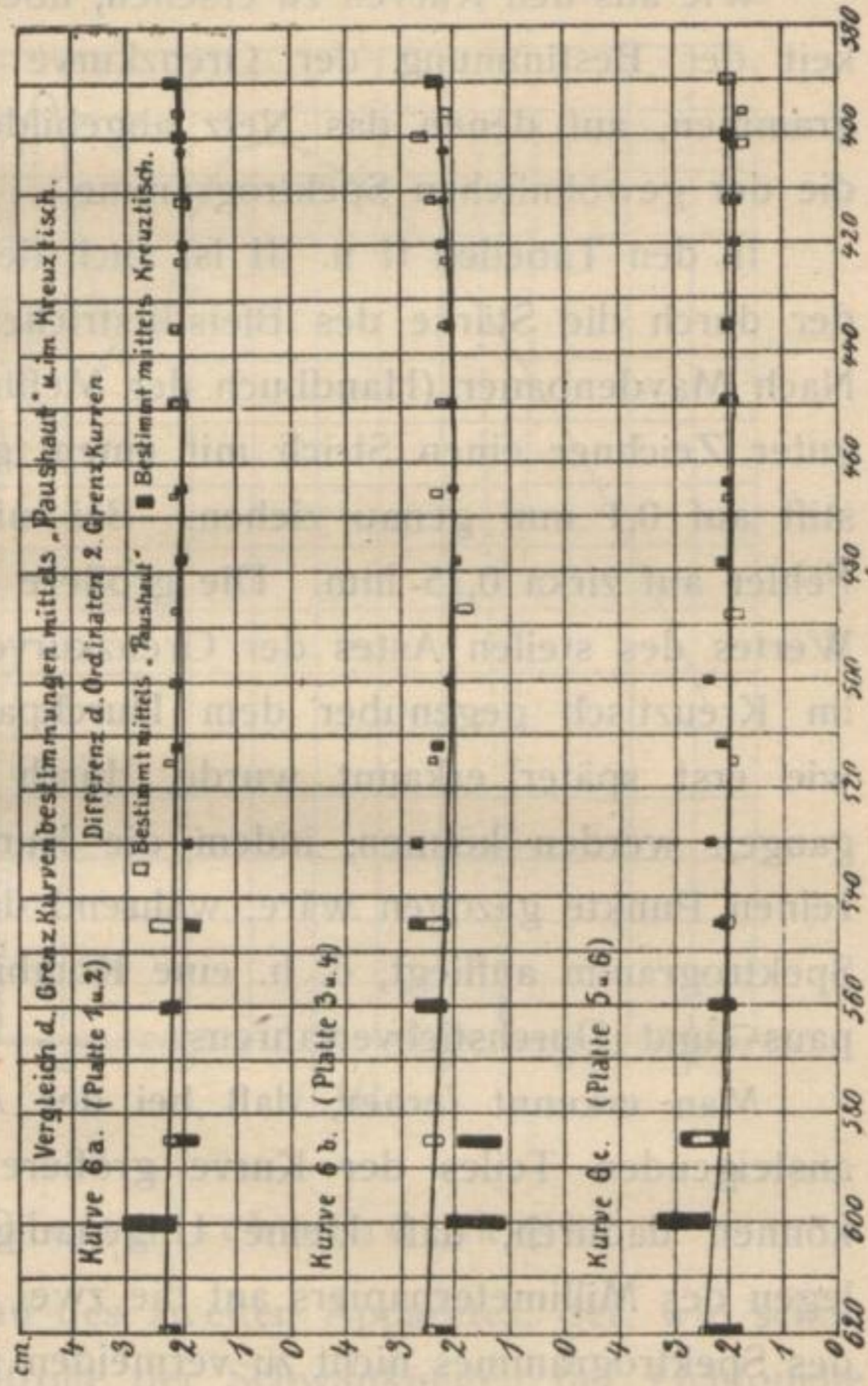
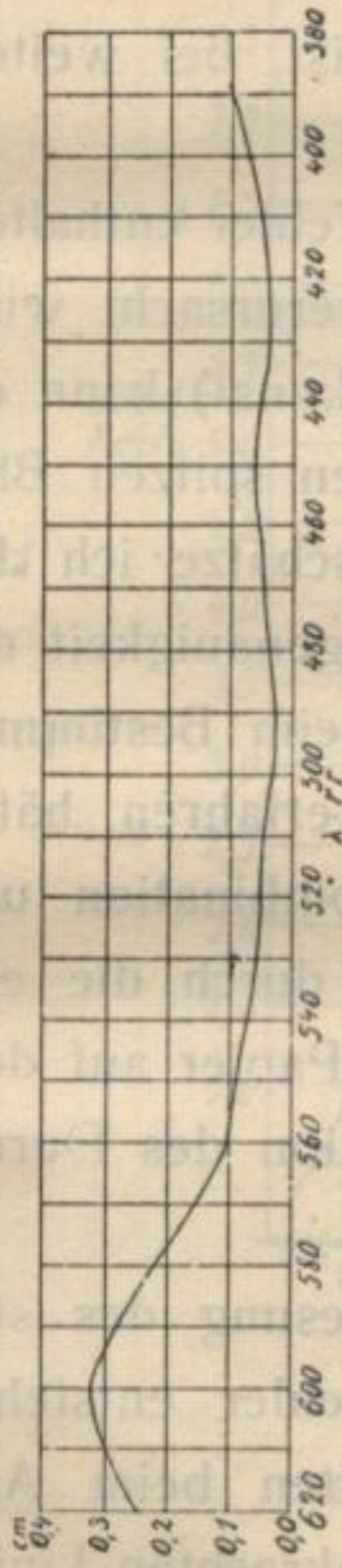
Der mittlere Fehler bei der Bestimmung der Grenzkurven im „Kreuztisch“ wurde ermittelt, indem von einem Spectrogramm 4 Grenzkurven bestimmt wurden und daraus der mittlere Fehler einer Kurve berechnet wurde. Es ergab sich, daß in dem steil ansteigenden Ast der Kurve der Fehler groß in den anderen Teilen aber annähernd konstant war, wie Kurve 6 zeigt. Man hat in diesen Teilen des Spektrums durch eine Grenzkurve dieselbe Genauigkeit, wie beim Durchpausen durch das Mittel von fünf Kurven.

Es ergab sich:

| $\lambda =$ | 620 | 600 | 585 | 560 | 545 | 530 | 512 | 500 | 478 | 464 | 449 | 435 | 420 | 412 | 400 | 390 | $\mu\mu$ |
|-------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | Platte 1. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3,10 | 5,35 | 8,08 | 9,76 | 8,80 | 7,95 | 7,51 | 7,60 | 9,00 | 9,15 | 9,02 | 8,54 | 7,70 | 7,16 | 6,12 | 4,59 | |
| | \pm 0,14 | 0,33 | 0,20 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | |
| | Platte 2. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,85 | 3,72 | 6,15 | 7,48 | 7,02 | 6,05 | 5,41 | 5,49 | 7,00 | 7,12 | 6,91 | 6,44 | 5,72 | 5,24 | 4,10 | 2,39 | |
| | \pm 0,14 | 0,33 | 0,20 | 0,00 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | |
| Differenz | 2,25 | 1,63 | 1,93 | 2,28 | 1,78 | 1,90 | 2,10 | 2,12 | 2,00 | 2,03 | 2,11 | 2,10 | 1,98 | 1,92 | 2,02 | 2,20 | |
| | \pm 0,20 | 0,47 | 0,28 | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,14 | |
| | Platte 3. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3,15 | 5,40 | 8,05 | 9,84 | 9,70 | 8,47 | 7,61 | 7,97 | 9,12 | 9,30 | 9,15 | 8,65 | 8,10 | 7,68 | 6,65 | 5,10 | |
| | Platte 4. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,87 | 3,70 | 6,45 | 7,37 | 6,00 | 5,73 | 5,36 | 5,84 | 7,16 | 7,27 | 7,05 | 6,54 | 5,82 | 5,23 | 4,02 | 2,64 | |
| Differenz | 2,28 | 1,70 | 1,60 | 2,47 | 2,80 | 2,74 | 2,35 | 2,13 | 1,96 | 2,06 | 2,09 | 2,12 | 2,29 | 2,45 | 2,62 | 2,44 | |
| | Platte 5. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2,97 | 5,60 | 7,90 | 9,69 | 9,34 | 8,45 | 7,54 | 9,86 | 9,04 | 9,34 | 9,20 | 8,75 | 8,03 | 7,54 | 6,50 | 5,05 | |
| | Platte 6. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,87 | 2,75 | 5,50 | 7,55 | 7,18 | 6,07 | 5,36 | 5,49 | 6,89 | 7,27 | 7,14 | 6,80 | 6,14 | 5,85 | 4,59 | 3,04 | |
| Differenz | 2,10 | 2,85 | 2,40 | 2,14 | 2,16 | 2,38 | 2,18 | 2,37 | 2,15 | 2,07 | 2,06 | 1,95 | 1,89 | 1,89 | 2,00 | 2,01 | |

Zum Vergleich der von den drei Plattenpaaren erhaltenen Differenzen mittels Durchpausverfahrens und des Verfahrens im Kreuztisch siehe Kurven 6 a, b, c.

Kurve 6. Mittlere Fehler einer Grenzkurve im „Kreuztisch“.



und daraus das Resultat und der mittlere Fehler berechnet. Benutzt wurde Plattenmaterial, das gelegentlich der später zu besprechenden Bestimmung der spektralen Keilkonstantenfunktion gewonnen wurde.

Wie aus den Kurven zu ersehen, übertrifft die Genauigkeit der Bestimmung der Grenzkurve bei den Spektrogrammen, auf denen das Netz abgebildet ist, bei weitem die der gewöhnlichen Spektrogramme.

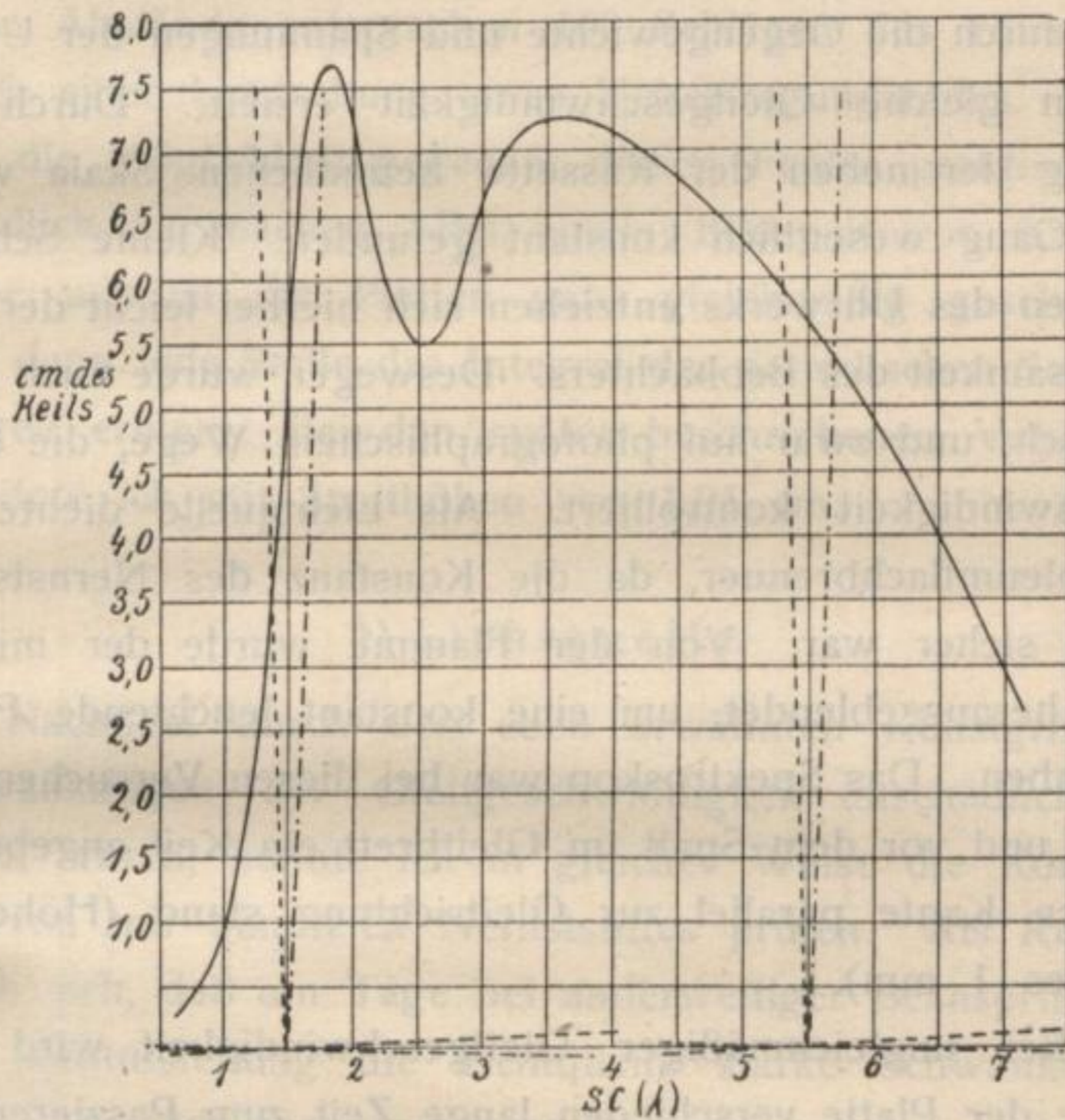
In den Tabellen II u. III ist auch der Fehler enthalten, der durch die Stärke des Bleistiftstriches verursacht wird. Nach Maydenbauer (Handbuch der Meßbildkunst) kann ein guter Zeichner einen Strich mit einem guten spitzen Bleistift auf 0,1 mm genau ziehen. Bei mir schätze ich den Fehler auf zirka 0,15 mm. Die größere Ungenauigkeit des Wertes des steilen Astes der Grenzkurve beim Bestimmen im Kreuztisch gegenüber dem Durchpausverfahren hätte, wie erst später erkannt wurde, durch Kombination umgangen werden können, indem die Kurve durch die einzelnen Punkte gezogen wäre, während das Papier auf dem Spektrogramm aufliegt, d. h. eine Kombination des Durchpaus- und Durchstichverfahrens.

Man erkennt ferner, daß bei der Ablesung des steil ansteigenden Teiles der Kurve größere Fehler entstehen können dadurch, daß kleine Ungenauigkeiten beim Auflegen des Millimeterpapiers auf die zwei senkrechten Linien des Spektrogrammes nicht zu vermeiden waren. So können im steilen Teil der Kurve dem gleichen Abszissenbild mit erheblichen Fehlern belastete Ordinatenwerte entsprechen, wie Figur 10 in übertriebenem Maßstabe zeigt.

Von $\lambda = 620 \mu\mu$ bis $\lambda = 560 \mu\mu$ sind die Fehler der Ablesung

sehr groß, die Messungen daher dort sehr ungenau. Den kleineren Fehlern im weiteren Teil des Spektrums entsprechen genauere Werte der Messungen.

Fig. 10.
Einfluß des nicht genauen Auflegens der Skala auf das Spektrogramm.



γ) Gleitgeschwindigkeit

Nach dem Bau des zweiten Apparates, der, wie schon erwähnt, zur Kontrolle der Schwankungen der Lichtquelle dienen sollte, galt es zunächst, die Gleitgeschwindigkeit der Kassetten konstant zu erhalten. Da der Apparat zur Kontrolle dienen sollte, mußte die zweite Platte möglichst gleichzeitig mit der im ersten Apparat belichtet werden.

Dies suchte ich dadurch zu erreichen, daß ich eine starke Schnur vom ersten Apparat hinüberlegte, um beide Gleitgeschwindigkeiten durch ein Uhrwerk zu regeln; die Ergebnisse befriedigten aber durchaus nicht, deswegen wurde auf dem zweiten Apparat ein gleiches Uhrwerk montiert und durch die Gegengewichte und Spannungen der Unruhfedern gleiche Gleitgeschwindigkeit erzielt. Durch Ablesung der neben der Kasette befindlichen Skala wurde der Gang wesentlich konstant gefunden. Kleine Schwankungen des Uhrwerks entziehen sich hierbei leicht der Aufmerksamkeit des Beobachters. Deswegen wurde auch automatisch, und zwar auf photographischem Wege, die Gleitgeschwindigkeit kontrolliert. Als Lichtquelle diente ein Petroleumflachbrenner, da die Konstanz des Nernststiftes nicht sicher war. Von der Flamme wurde der mittlere Teil herausgeblendet, um eine konstant leuchtende Fläche zu haben. Das Spektroskop war bei diesen Versuchen entfernt und vor dem Spalt im Gleitbrett ein Keil angebracht, dessen Kante parallel zur Gleitrichtung stand (Höhe des Spaltes 1 mm).

Bei ungleichmäßiger Gleitgeschwindigkeit wird jede Stelle der Platte verschieden lange Zeit zum Passieren des Spaltes gebrauchen. Je länger aber eine Platte hinter einem Keil mit konstanter Beleuchtung belichtet wird, durch umso dichtere Stellen des Keiles hindurch kann die Beleuchtung eine Schwellenschwärzung erzielen. Der Gang der Grenzkurve wird demnach ein Kriterium der Gleitgeschwindigkeit sein. Ist letztere konstant, so wird die Grenzkurve eine Gerade sein parallel zur Gleitrichtung, im anderen Falle wird sie mehr oder weniger starke Zacken aufweisen. In

den entwickelten Platten zeigten sich leider Zacken zum Zeichen, daß das Vorbeigleiten nicht mit konstanter Geschwindigkeit erfolgte. Eine nähere Betrachtung lehrte, daß diese Zacken eine regelmäßige Periode von 0,26 cm hatten, und zwar ganz übereinstimmend in beiden Apparaten. Diese Abstände entsprachen 100 Schlägen des Uhrwerkes gleich einer Umdrehung eines Uebertragungsrades. Damit war die Möglichkeit gegeben, diesen Fehler praktisch unschädlich zu machen. Bei einem Bildspalt von 0,52 cm Höhe wurden die Platten ganz gleichmäßig geschwärzt, weil dann jede Stelle das Integral der periodischen Schwankungen erhielt. Bei den später beschriebenen Versuchen arbeitete ich mit Spalthöhen von 1,04 cm.

δ) Lichtquelle.

Nachdem durch den eben erwähnten Kunstgriff die Schwankungen der Gleitgeschwindigkeit unschädlich gemacht waren, konnte ich in gleicher Weise die Konstanz des von mir benutzten Nernststiftes prüfen. Als Resultat ergab sich, daß am Tage bei anderweitiger Beanspruchung der Institutsleitung die Lichtquelle starke Schwankungen zeigte. Abends vorgenommene Versuche ergaben bedeutend bessere Resultate. Deswegen wurde von mir auch meistens abends und nachts gearbeitet oder zu einer Zeit, wo die Institutsleitung nicht weiter beansprucht war.

Da auf die angegebene Art aber nur die Schwankung der Gesamthelligkeit, nicht die der Spektralintensitäten registriert werden, so wurde, wie schon erwähnt, in den Kontrollapparat ebenfalls ein Spektrograph hineingebaut. Durch gleiche Spalthöhen und durch die Breiten der Koll-

matorspalte wurde dem Abstand der Grenzkurve von der Keilkante in beiden Apparaten eine möglichst gleiche Höhe gegeben.

Gearbeitet wurde bei der Aufnahme von Absorptionen mit „Vertauschung“, d. h. es wurde das absorbierende Medium in den Strahlengang des Hauptapparates gebracht, während das reine Lösungsmittel in den Strahlengang des Kontrollapparates kam, worauf bei einem neuen Plattenpaar die beiden Flüssigkeitsgefäße vertauscht wurden. Zu jedem Versuch gehören also 4 Platten, von denen 2 die Grenzkurve des reinen Lösungsmittels, die beiden anderen die Grenzkurve des absorbierenden Mediums zeigen. Es wurden dann die Differenzen der Ordinaten der Grenzkurven der beiden Versuche sowohl vom Haupt- wie vom Kontrollapparat bestimmt und durch die Feststellung des Mittelwertes die Schwankungen der Lichtquelle nach Möglichkeit ausgeglichen.

Es ist die Schwellenschwärzung bei zwei Versuchen in demselben Apparat nur abhängig von i , und zwar will ich mit den Indices a die Versuche im Apparat 1, mit b die im Apparat 2 bezeichnen, mit 1 das erste Paar Platten, mit 2 das zweite Paar. Dann wird sein die gleiche Schwärzung entsprechender Stellen

$$S_{1. \text{ App.}} = \varphi(i_{a_1} 10^{-Ky_{a_1} - \varepsilon d}) = \varphi(i_{a_2} 10^{-Ky_{a_2}})$$

$$S_{2. \text{ App.}} = \varphi(i_{b_1} 10^{-Ky_{b_1}}) = \varphi(i_{b_2} 10^{-Ky_{b_2} - \varepsilon d})$$

wobei in i_a und i_b der Einfluß der Apparatur mit enthalten sei.

Aus den obigen Formeln folgt

$$\varepsilon d = (Ky_{a_2} - y_{a_1}) + \log\left(\frac{i_{a_1}}{i_{a_2}}\right)$$

$$\varepsilon d = K(y_{b_1} - y_{b_2}) + \log\left(\frac{i_{b_2}}{i_{b_1}}\right)$$

Mittel:

$$\varepsilon d = \frac{K}{2}(y_{a_2} - y_{a_1} + y_{b_1} - y_{a_2}) + \frac{1}{2} \log\left(\frac{i_{a_1}}{i_{a_2}} \frac{i_{b_2}}{i_{b_1}}\right)$$

Diese Art des Mittelnehmens ist natürlich gültig für jede Wellenlänge, setzt aber voraus, daß die Intensität der Lampe zwar in Versuch 1 und 2 verschieden sein kann, dagegen während jedes Einzelversuches konstant bleibt, damit der $\log = 0$. Es werden also nur allmähliche Aenderungen der Lichtquelle eliminiert. Die viel gefährlicheren Schwankungen von mittlerer Dauer konnten bei der mir zur Verfügung stehenden Apparatur nicht berücksichtigt werden. Ganz kurze Schwankungen sind nicht so gefährlich, da sie nur die Schwellenwerte in den Teilen der beiden Platten verschieben, welche in diesem Augenblick den Bildspalt passieren, nicht aber im ganzen Spektrogramm Fehler hervorrufen.

Es sind natürlich mannigfache Aenderungen möglich, die mit etwas größerem Aufwand an experimentellen Hilfsmitteln diese Kontrolle gestatten.

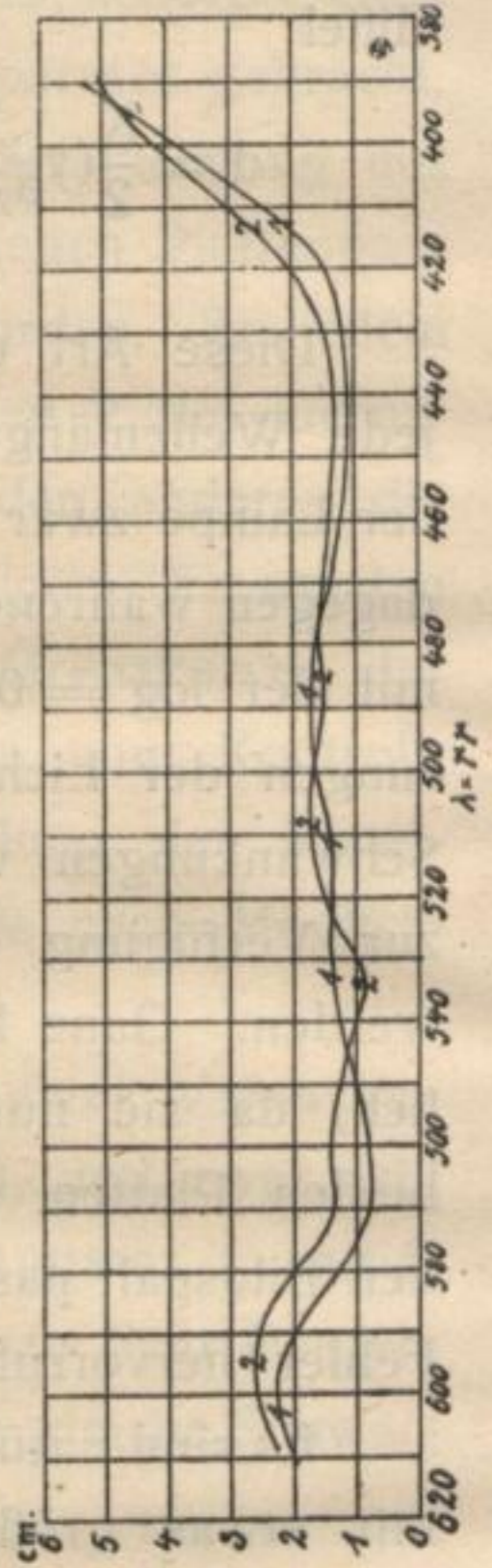
Daß bei meinen Versuchen das Korrektionsglied $\frac{1}{2} \log \frac{i_{a_1} i_{b_2}}{i_{a_2} i_{b_1}}$ nicht gleich Null wurde, zeigen die Kurven 7 u. 8 bei denen je ein Versuch mehrere Male wiederholt wurde. Die Aufnahmen sind abends gemacht, wo die Institutsleitung nicht weiter beansprucht war.

Kurve 7.
Einfluß des Korrektionsgliedes: $\log \left(\frac{ia_1 \cdot ib_1}{ia_2 \cdot ib_2} \right)$

Ein Doppelversuch 3 mal wiederholt.
Mittlere Differenzenkurven.



Kurve 8.
Ein Doppelversuch 2 mal wiederholt.
Mittlere Differenzenkurven.



ε) Fremdes Licht.

Fremdes Licht, das in Handspektroskopen stets auftritt, wurde durch Blenden möglichst unschädlich gemacht.

Allerdings kann auch ein prozentual kleiner Bruchteil fremden Lichtes bei Absorptionsmessungen einen größeren Fehler im Resultat bedingen. Nehme ich als Beispiel an, daß im Violett 1 % gelbes, fremdes Licht sei, so werden Medien, die Gelb hindurchlassen, und für Violett eine Dichte 2 haben, im Violett eine Beleuchtung von 0,99 % Violett und 1 % Gelb hervorrufen, also wird das fremde Licht bei den angegebenen Verhältnissen einen Fehler von 50 % bedingen.

Derselbe Fehler tritt übrigens auch bei den meisten Spektralphotometern hervor.

Die Fehler, hervorgerufen durch Schwankungen der Lichtquelle, fremdes Licht und verschiedene Plattenempfindlichkeit ließen sich nicht getrennt messen, kommen also erst im Endresultat zum Vorschein.

b) Abszissenfehler.

a) Kollimatorspalt.

Bei Vergleichsversuchen wurde der Spalt nicht verändert. Korrekturen deswegen waren also nicht nötig. Es sind nur die Fehler zu berechnen, welche durch die Unreinheit des Spektrums, gegeben durch die endliche Oeffnung des Spaltes, auftraten. Diese kann man nach folgender Methode berechnen (vgl. auch Runge, Ztschr. f. Mathematik u. Physik 1898): Habe ich einen unendlich dünnen Spalt, so

werde ich ein ganz feines Spektrum erhalten (von den Beugungserscheinungen durch enge Spaltöffnungen kann man bei dieser theoretischen Untersuchung absehen). Oeffne ich jetzt den Spalt auf k mm, so werden sich die Linien übereinander lagern, umgekehrt proportional der Dispersion des Prismas. Letzteren Einfluß kann ich umgehen, indem ich als Variable die Skalenteile nehme, auf die ich die Wellenlängen bezogen habe. Nach der Gausschen Methode werde ich die Beleuchtung an einer Stelle bekommen nach der Formel

$$I = ki + \frac{k^3}{2^2 \cdot 3!} i^{II} + \frac{k^5}{2^4 \cdot 5!} i^{IV} + \dots$$

von der Einheit des Spaltes

$$I = i + \frac{k^2}{2^2 \cdot 3!} i^{II} + \frac{k^4}{2^4 \cdot 5!} + \dots$$

wo i die Beleuchtung der Wellenlänge λ bedeutet, welche an dieser Skalenstelle beim reinen Spektrum liegt. Die Glieder höherer als der zweiten Ableitung kann ich vernachlässigen, da sie mindestens mit $2^4 \cdot 5!$ dividiert sind und k selber eine kleine Größe ist. Die Schwellenschwärzung wird nicht nur eine Funktion von i sein, sondern es ist beim ersten Versuch ohne absorbierendes Medium

$$S = \varphi \left(i 10^{-Ky_1} + \frac{k^2}{24} \frac{d^2 i 10^{-Ky_1}}{ds^2} \right)$$

beim zweiten Versuch mit absorbierendem Medium

$$S = \varphi \left(i 10^{-Ky_2 - \epsilon d} + \frac{k^2}{24} \frac{d^2 i 10^{-Ky_2 - \epsilon d}}{ds^2} \right)$$

daraus folgt

$$i10^{-Ky_1} \left(1 + \frac{k^2 \cdot 10^{K-y_1}}{24i} \frac{d^2 i 10^{-Ky_1}}{ds^2} \right)$$

$$= i10^{-Ky_1} \left(1 + \frac{k^2 10 + Ky_2 + \varepsilon d}{24i} \frac{d^2 i 10^{-Ky_2 - \varepsilon d}}{ds^2} \right)$$

Werte ich die Differentiale aus, so erhalte ich

$$\varepsilon d = K(y_1 - y_2)$$

$$+ \log \left[\left\{ 1 + \frac{k^2}{24i} \left(i'' - 2i' \ln 10 \frac{d(Ky_2 + \varepsilon d)}{ds} + i \left(\ln 10 \cdot \frac{d(Ky_2 + \varepsilon d)}{ds} \right)^2 - i \ln 10 \frac{(d^2 Ky_2 + \varepsilon d)}{ds^2} \right) \right\} \cdot \left\{ 1 + \frac{k_2}{24i} \left(i'' - 2i' \ln 10 \frac{dKy_1}{ds} + i \left(\ln 10 \frac{dKy_1}{ds} \right)^2 - i \ln 10 \frac{d^2 Ky_1}{ds^2} \right) \right\} \right]$$

da $Ky_1 = Ky_2 + \varepsilon d$, so wird der Quotient gleich 1, der log gleich 0, folglich gibt meine Methode sehr genaue Resultate, wenn man mit Spaltöffnungen arbeitet, bei denen man die Gaußsche Näherungsformel benutzen kann.

β) Schlotterung der Kasette.

Ein eventuelles, nicht lotrechtes Hinabgleiten der Kasette wird einen Fehler in der Abszisse bedingen, da dann die Stelle der Skala nicht mit der ihr zugehörigen Wellenlänge übereinstimmen würde. Um das Schlottern der Kasette zu prüfen, belichtete ich die Platte ohne Keil mittels der Uviolampe. Die einzelnen Linien zeigten eine gleichmäßige Breite. Da jedoch ein Fehler von 0,05 cm der Beobachtung entgehen kann, so schließe ich, daß der Einfluß des Schlotterns kleiner ist.

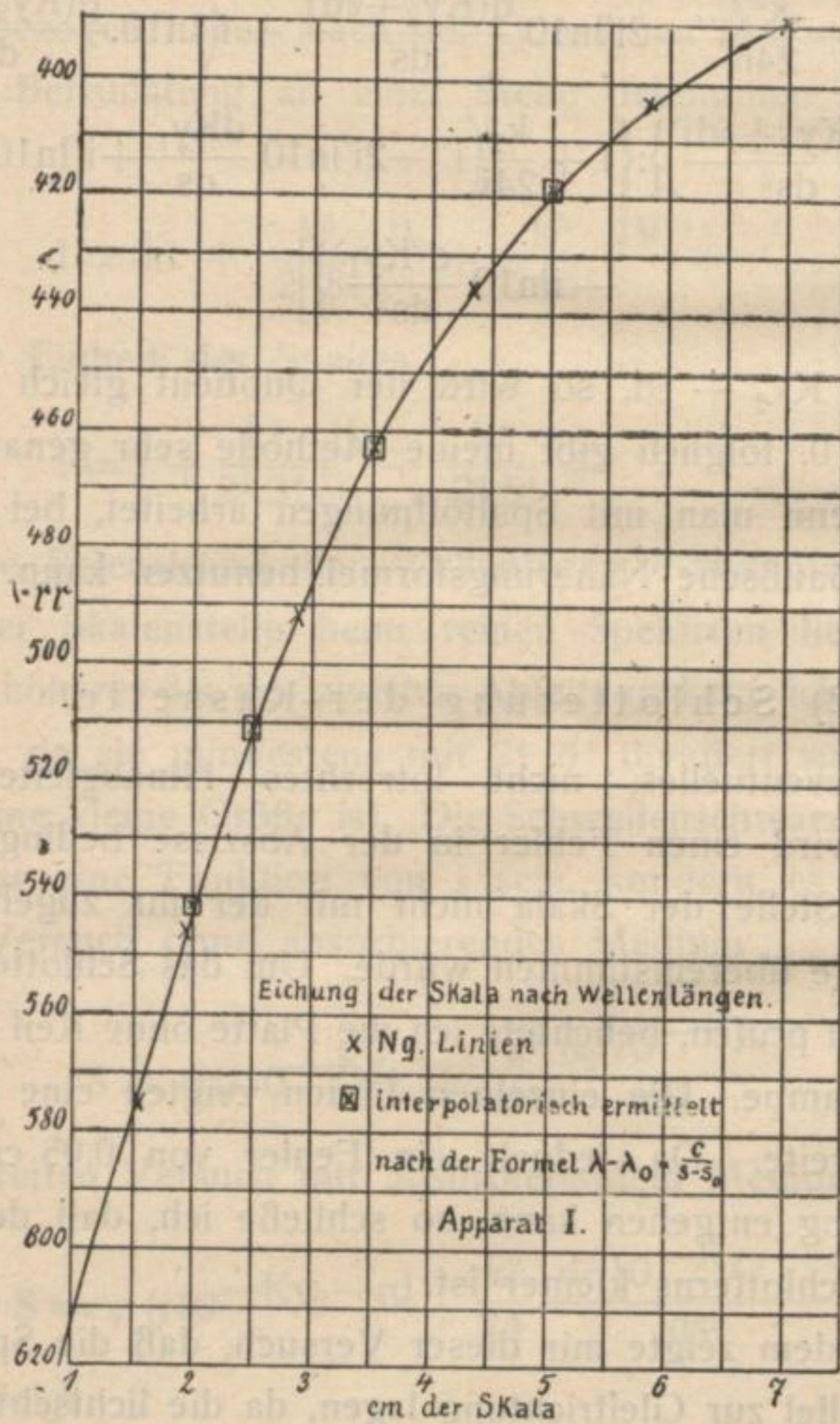
Außerdem zeigte mir dieser Versuch, daß die Spektrallinien parallel zur Gleitrichtung lagen, da die lichtschwachen

Linien als feine Striche abgebildet wurden, während sie sonst breitere Bänder ergeben hätten.

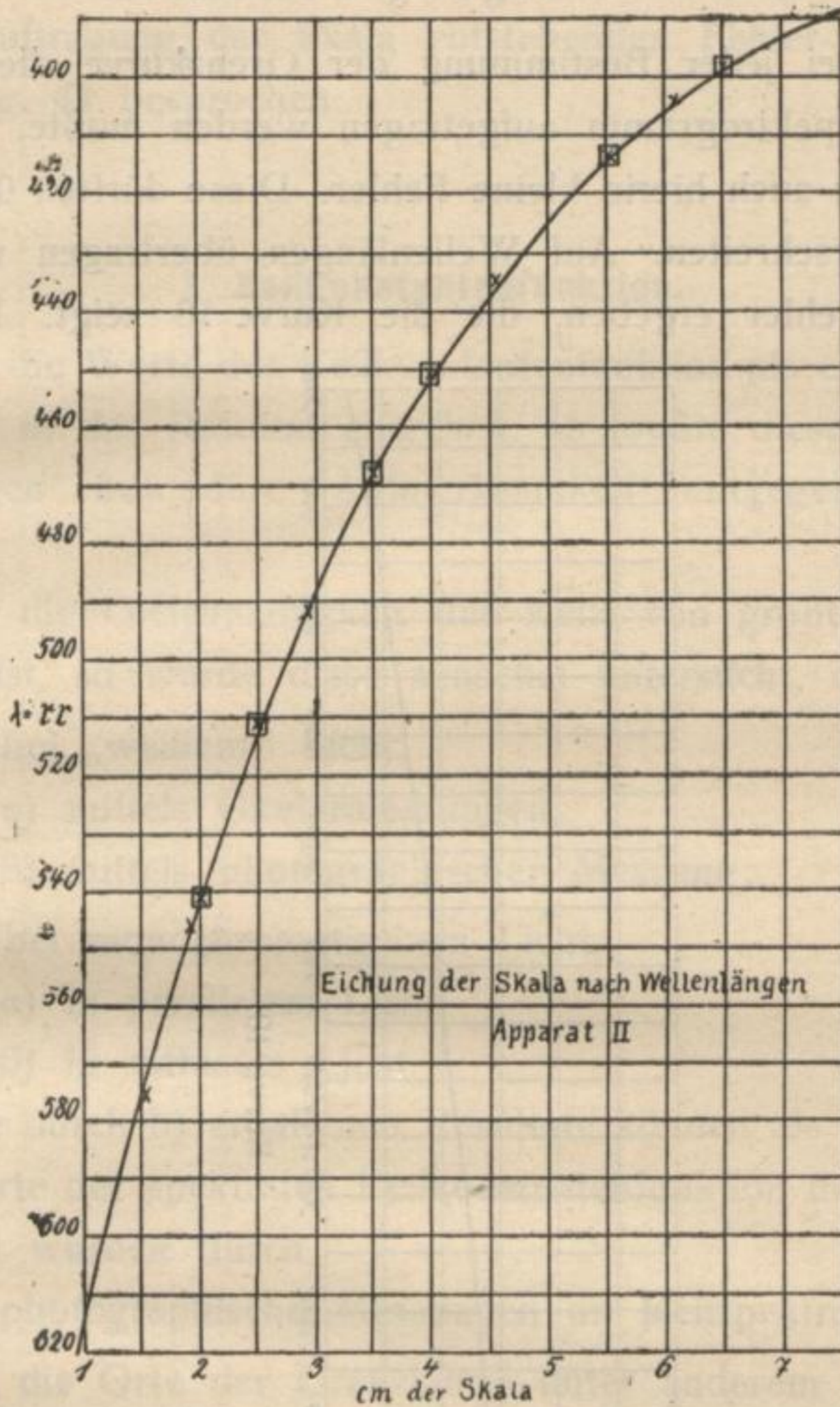
γ) Eichung der Skala.

Die Eichung der Skala nach Wellenlängen (Kurve 9) geschah mittels der Uviolampe und nach der Formel

Kurve 9 a.



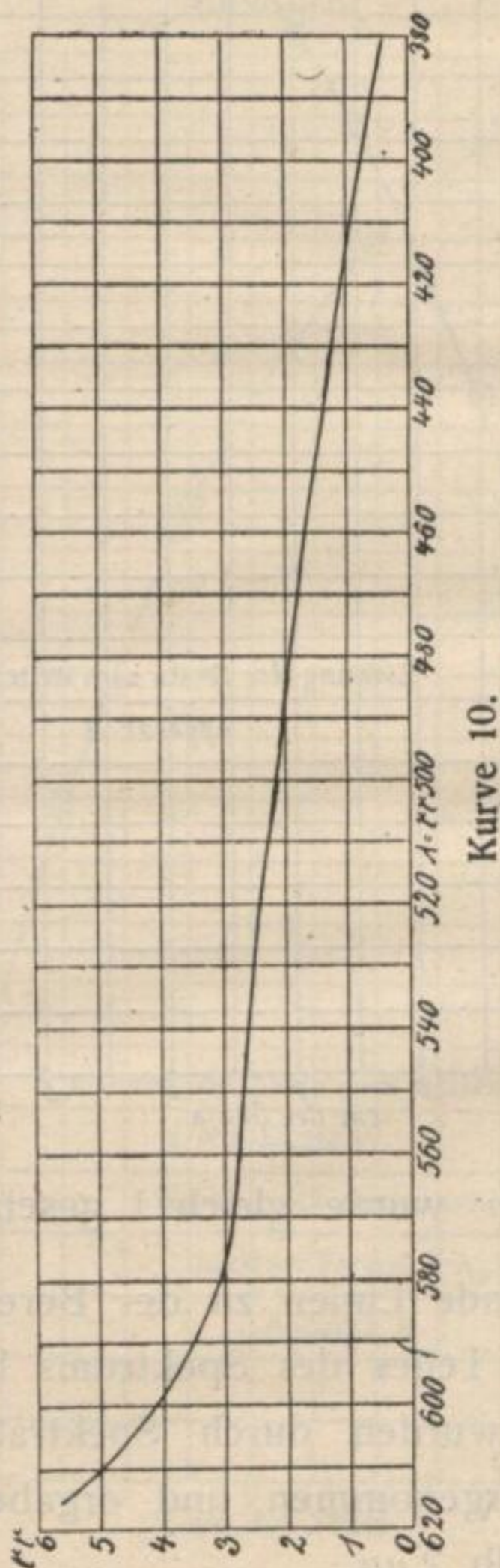
Kurve 9 b.



$\lambda - \lambda_0 = \frac{c}{(s - s_0)^\alpha}$. α wurde gleich 1 gesetzt, da stets drei nebeneinander liegende Linien zu der Berechnung des dazwischen liegenden Teiles des Spektrums benutzt wurden. Kontrollmessungen wurden durch Spektrallinien verschiedener Elemente vorgenommen und ergaben eine Uebereinstimmung innerhalb $2 \mu\mu$.

δ) Uebertragung der Skala.

Da bei jeder Bestimmung der Grenzkurve die Skala auf das Spektrogramm aufgetragen werden mußte, so ergeben sich auch hierin kleine Fehler. Diese dürften 0,05 cm nicht überschreiten. Auf Wellenlängen übertragen würden sie die Fehler ergeben, die die Kurve 10 zeigt. Die in



Kurve 10.

dem steil ansteigenden Teil der Grenzkurve durch ungenaue Auftragung der Skala entstehenden Fehler sind bereits pag. 47 besprochen.

2. Keilkonstantenfunktion.

Da die Werte der Keilkonstantenfunktion als eine Komponente in das Resultat eingehen, so mußte diesen Untersuchungen besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden.

Da die Gleichmäßigkeit des Keils von größter Wichtigkeit ist, so wurde diese zunächst untersucht, und zwar

- a) bei „weißem“ Licht,
 - α) mittels Okularmessungen,
 - β) mittels photographischer Messung;
- b) bei monochromatischem Licht,
 - α) in parallelem Licht,
 - β) in diffusem Licht.

Die durch b) erhaltenen Resultate können als Kontrolle der Werte der spektralen Keilkonstantenfunktion dienen, die erhalten wurden durch

- c) photographische Messungen im Keilspektrographen.

Da die Orte der Grenzkurve unter anderem abhängig sind von der Dichte des Keils an den betreffenden Stellen und die Dichten linear mit dem Abstand von der Keilkante zunehmen sollen, so ist zunächst nur erforderlich, daß für jede Stelle der Abszisse (Keilkante) die dazu gehörige Ordinate in bezug auf die Dichte linear ansteigt. Dies würde auch die Gültigkeit des Lambertschen Gesetzes zeigen, was

a priori nicht angenommen werden kann. Das Lambertsche Gesetz gilt zwar für homogene Lösungen, braucht aber nicht für andere Stoffe Gültigkeit zu haben. Zwar ist es schon für Ag,AgBr u. BaSO₄ Emulsionen geprüft und auch dort gültig befunden worden. Daß es für meine Keile ebenfalls Gültigkeit hat, wird in den später beschriebenen Messungen bewiesen werden.

Da bei den photographischen Aufnahmen Keil und Platte trotz Anschlägen in den Kassetten nicht stets in genau dieselbe Lage kamen, mußten auch bei meinen Keilen die Dichtezunahmen der einzelnen Ordinaten einander entsprechen, d. h. die Keilkonstanten unabhängig von der Abszisse sein.

a) Prüfungen im „weißen“ Licht.

a) Okularmessungen.

Die Prüfungen nahm ich bei „weißem“ Licht (Auerlicht) im Martensschen Polarisations-Photometer vor. Streng genommen hätte ich monochromatisches Licht anwenden müssen, da jedoch der Graukeil praktisch neutral ist, so begnügte ich mich mit dem weißen Licht.

Durch Anbringung von Millimeterpapier auf dem Tisch des Photometers konnte ich die Stellen des Keils, welche in der Mitte des Photometers lagen, bestimmen. Der Keil lag stets mit der Kante senkrecht zur Trennungslinie des Gesichtsfeldes; letzteres erschien aber trotzdem gleichförmig beleuchtet, weil jede Stelle von allen Teilen des Keils, die auf der Lichtöffnung lagen, Licht empfing. Da es hauptsächlich auf den Gang der Dichte von den einzelnen Ordi-

natenstreifen des Keils ankam, so hat die eventuelle, nicht absolute Messung der Dichte keinen Einfluß. Zur schnelleren Markierung der einzelnen Messungen war das drehbare Nikol nach dem Vorschlag von Herrn Professor Dr. Luther mit einem Arm verbunden, der über einem mit weißem Papier belegten kleinen Tisch gleiten konnte und am Ende einen schmalen Schlitz zum Durchstecken der Bleistiftspitze hatte. Jede Messung wurde pointiert, graphisch von den einzelnen zusammengehörigen Werten das Mittel genommen und dieses auf der Photometerskala abgelesen. Auf diese Weise kann man schnell hintereinander eine große Anzahl Messungen machen, ohne durch fortwährendes Ablesen bei hellerem Licht das Auge zu ermüden.

Die Tabelle IV S. 62 zeigt, daß das Lambertsche Gesetz auch für die von mir benutzten Keile gilt. Der Nullpunkt ist gegen Luft, nicht gegen Glas genommen, daher laufen auch die Kurven nicht auf den Nullpunkt hinaus. Die Messungen geben zugleich die Keilkonstanten für weißes Licht und diffuse Durchleuchtung zu $\frac{0,320}{\text{cm}}$.

β) Photographische Messungen.

Nachdem sich im Martensschen Polarisationsphotometer die Gleichmäßigkeit der von mir benutzten Keile gezeigt hatte, wurde die Keilkonstante auch photographisch auf nichtorthochromatischen Platten geprüft, um die Wirkung der blauen Strahlen des Spektrums mehr zur Geltung kommen zu lassen. Die meßbar veränderliche Beleuchtung wurde ähnlich wie im Weberschen Photometer hergestellt, indem die Platte in einem lichtsicheren Gehäuse von einer

Tabelle IV.

Dichte einer Serie Graukeile, von denen 2 bei den beschriebenen Versuchen benutzt werden.

X = Abstand in cm des Keilkantenpunktes von einer Ecke.

Y = senkrechter Abstand in cm von der Keilkante.

| Dichte der Graukeile | | | | | |
|----------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| X | Y | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,0 | 2,0 | 0,692 | 0,691 | 0,692 | 0,694 |
| " | 3,0 | 1,010 | 1,014 | 1,011 | 1,012 |
| " | 4,0 | 1,335 | 1,330 | 1,334 | 1,331 |
| " | 5,0 | 1,650 | 1,656 | 1,653 | 1,653 |
| " | 6,0 | 1,979 | 1,960 | 1,978 | 1,980 |
| 4,5 | 2,0 | 0,690 | 0,693 | 0,692 | 0,692 |
| " | 3,0 | 1,013 | 1,012 | 1,013 | 1,013 |
| " | 4,0 | 1,338 | 1,334 | 1,336 | 1,332 |
| " | 5,0 | 1,649 | 1,651 | 1,654 | 1,651 |
| " | 6,0 | 1,985 | 1,970 | 1,970 | 1,969 |
| 8,0 | 2,0 | 0,691 | 0,692 | 0,691 | 0,692 |
| " | 3,0 | 1,012 | 1,013 | 1,012 | 1,012 |
| " | 4,0 | 1,330 | 1,332 | 1,334 | 1,330 |
| " | 5,0 | 1,654 | 1,650 | 1,652 | 1,653 |
| " | 6,0 | 1,965 | 1,975 | 1,978 | 1,976 |

Diese Werte wurden in Kurve 10a eingetragen. Interpolatorisch ergibt sich für:

$$D_{11} \text{ cm} = 3,57$$

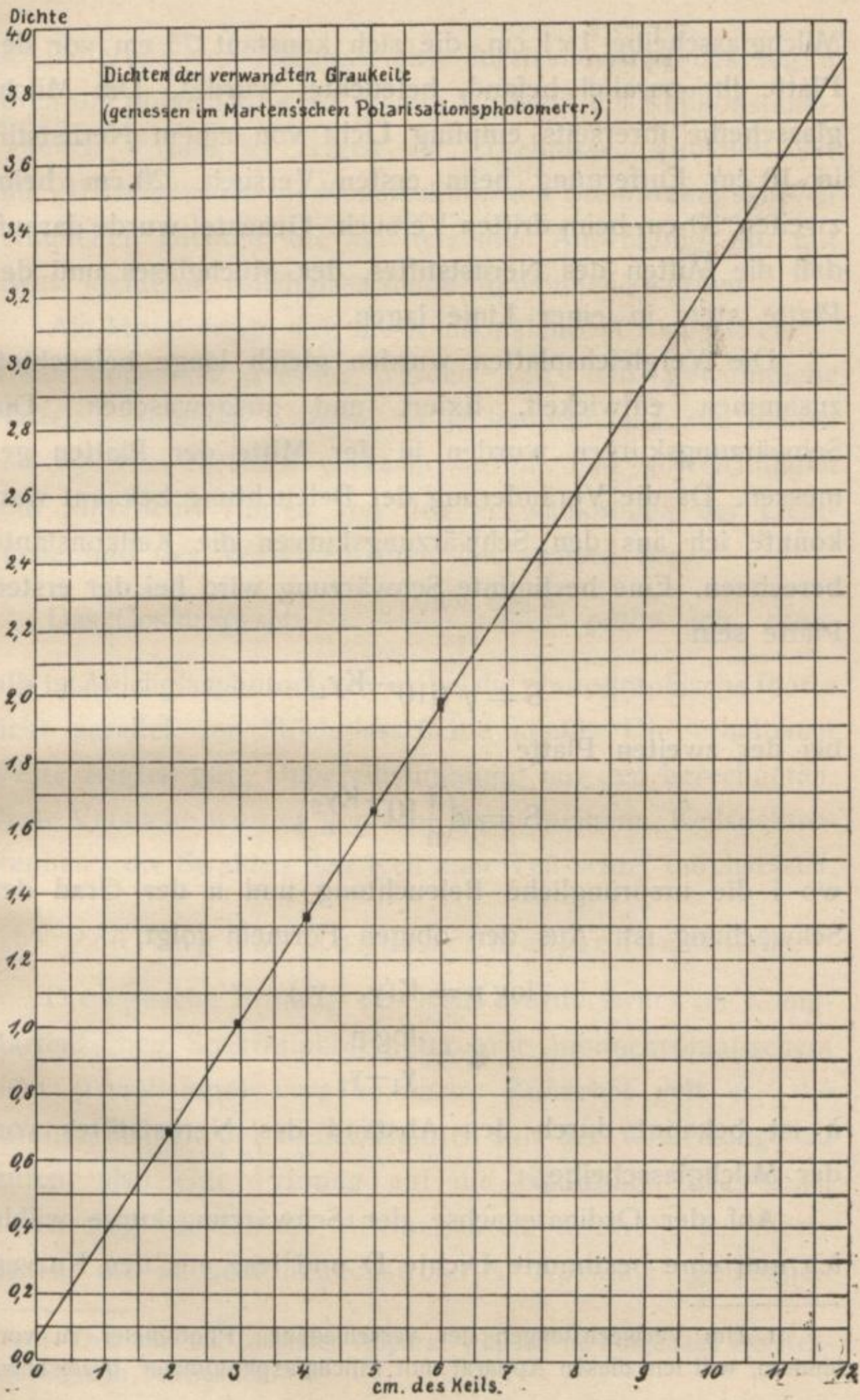
$$D_1 \text{ cm} = 0,37$$

$$\frac{D_{11} \text{ cm} - D_1 \text{ cm}}{11 - 1} = 0,320$$

der Keilkonstanten bei „weißem“ Licht.

Gleichzeitig soll noch bemerkt werden, daß die obige Keilkonstante nach verschiedenen Versuchen gewählt wurde, da sie einesteils hinreichend scharfe Schwellenwerte bei Benutzung des Gazeschleiers gibt, andererseits die Platte genügend auszunutzen gestattet, ohne die Dauer eines Versuches allzusehr zu verlängern.

Kurve 10 a.



Milchglasscheibe 1×1 cm, die sich konstant 75 cm vor der Platte ihr parallel befand, beleuchtet wurde¹. Die Milchglasscheibe ihrerseits empfing Licht von einem Nernststift in 10 cm Entfernung beim ersten Versuch, 20 cm beim zweiten, 30 cm beim dritten Versuch. Geachtet wurde darauf, daß die Mitten des Nernststiftes, des Milchglases und der Platte stets in einer Linie lagen.

Die Vergleichsplatten wurden gleich lange beleuchtet, zusammen entwickelt, fixiert und ausgewaschen. Die Schwärzungskurven wurden in der Mitte der Platten gemessen. Da die Veränderung der Beleuchtung bekannt war, konnte ich aus den Schwärzungskurven die Keilkonstante berechnen. Eine bestimmte Schwärzung wird bei der ersten Platte sein

$$S = \varphi (i 10^{-Ky_1})$$

bei der zweiten Platte

$$S = \varphi \left(\frac{i}{n} 10^{-Ky_2} \right)$$

wo i die ursprüngliche Beleuchtung und n der Grad der Schwächung ist. Aus den obigen Formeln folgt,

$$\log n = K(y_1 - y_2)$$

$$K = \frac{\log n}{y_1 - y_2}$$

n ist bekannt durch den Abstand des Nernststiftes von der Milchglasscheibe.

Auf der Ordinatenachse der Schwärzungskurve wähle ich nun eine bestimmte Dichte D und lese aus den Kurven

1. Um Verwechslungen der verschiedenen Photometer zu verhindern, will ich diesen Apparat mit Milchglasphotometer bezeichnen.

die Differenz der Abszisse ab; durch Division des $\log n$ durch die obige Differenz erhalte ich dann die Keilkonstante. Tabellen V und VI zeigen die Ergebnisse. Tabellen VII und VIII zeigen die zur Konstruktion der Schwärzungskurven gefundenen Dichten, die bei derselben Anordnung, nur mit etwas kleinerer Milchglasscheibe gewonnen werden.

Als Mittel ergibt sich die Keilkonstante $K = 0,345 \text{ cm}^{-1}$, wobei nochmals erwähnt werden soll, daß gewöhnliche Platten genommen wurden, da ja hauptsächlich die blauen und violetten Strahlen wirksam waren. Die Abweichungen vom Mittelwert rühren von den Schwankungen der Lichtquelle und der Verschiedenheit der Platten her.

Das Cosinusetz $i = \frac{i_0 \cos \nu_1 \cos \nu_2}{r^2}$ prüfte ich ebenfalls im Milchglasphotometer, wobei die photographische Platte nicht parallel der Milchglasscheibe stand. Die erhaltenen Werte zeigten gute Uebereinstimmung mit den berechneten. Diese Versuche wurden gemacht, da in meinem „Keilspektrographen“ die Strahlen den Keil zum Teil schief durchsetzen.

b) Prüfung im monochromatischen Licht.

Die optische Prüfung des Keils wurde ferner im König-Martensschen Spektralphotometer mit monochromatischem Licht (Uviollampe) vorgenommen. Zunächst galt es, die Veränderlichkeit der Keilkonstanten mit der Wellenlänge zu prüfen, also eine Prüfung auf die Neutralität des Keils. Gleichzeitig konnten die Messungen zur Kontrolle der Werte dienen, die in dem neukonstruierten Apparate¹ gewonnen

1. Den von mir gebauten Apparat will ich im Folgenden mit Keilspektrograph bezeichnen.

Tabelle V.

Dichten der im Milchglasphotometer belichteten Platten.

Bei Platte I Abstand: Nernststift—Milchglasscheibe 10 cm } Belichtungs-
 " " II " " " " 20 " } zeit
 " " III " " " " 30 " } t = 15 Min.

Dichten gemessen in der Mitte der Platten.

Y = senkrechter Abstand von Keilkante in cm.

| Y | Dichte der Platte | | |
|-----|-------------------|-------|-------|
| | I | II | III |
| 2,0 | | | 2,262 |
| 2,5 | | | 1,974 |
| 3,0 | | 2,286 | 1,590 |
| 3,5 | | 1,974 | 1,254 |
| 4,0 | 3,066 | 1,590 | 0,944 |
| 4,5 | 2,658 | 1,260 | 0,780 |
| 5,0 | 2,286 | 0,978 | 0,642 |
| 5,5 | 1,962 | 0,704 | 0,562 |
| 6,0 | 1,504 | 0,530 | |
| 6,5 | 1,104 | 0,424 | |
| 7,0 | 0,926 | | |
| 7,5 | 0,672 | | |
| 8,0 | 0,488 | | |

Tabelle VI.

Aus den mittels obigen Dichten gewonnenen Schwärzungskurven
 (Kurventafel 11) folgt:

| Dichte | Differenz der Platten | | |
|--------|-----------------------|------|--------|
| | I/II | I/II | II/III |
| 2,20 | 1,90 | 2,95 | 1,05 |
| 2,10 | 1,85 | 2,90 | 1,05 |
| 2,00 | 1,90 | 2,95 | 1,05 |
| 1,90 | 1,85 | 2,90 | 1,05 |
| 1,80 | 1,90 | 2,90 | 1,00 |
| 1,70 | 1,90 | 2,95 | 1,05 |
| 1,60 | 1,90 | 2,90 | 1,00 |
| 1,50 | 1,90 | 2,90 | 1,00 |
| 1,40 | 1,90 | 2,90 | 1,00 |
| 1,30 | 1,90 | 2,90 | 1,00 |
| 1,20 | 1,90 | 2,90 | 0,95 |
| 1,10 | 1,90 | 2,90 | 0,95 |
| 1,00 | 1,90 | 2,95 | 1,00 |
| Mittel | 1,90 | 2,90 | 1,01 |

Aus den Differenzen Platte I/II ($\Delta I/II$) und
 $n = 4$ folgt

$$K = \frac{\log 4}{\Delta I/II} = 0,317$$

aus $\Delta I/III$ und $n = 9$ folgt

$$K = \frac{\log 9}{\Delta I/III} = 0,328$$

aus $\Delta II/III$ folgt

$$K = \frac{\log 9/4}{\Delta II/III} = 0,348$$

Kurventafel 11.

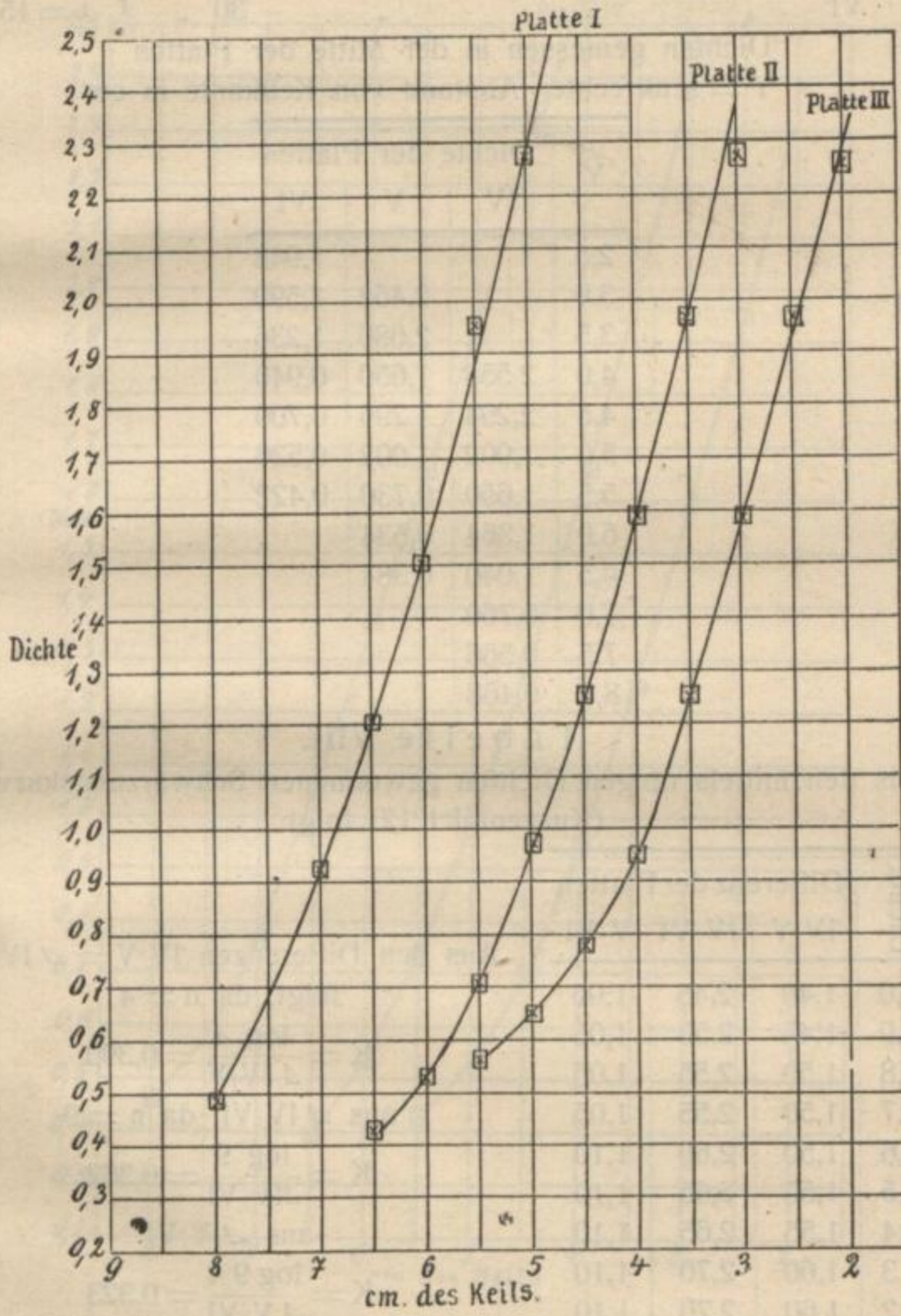


Tabelle VII.

Dichten der im Milchglasphotometer mit kleinerer Milchglasscheibe belichteten Platten.

Platte IV Abstand: Nernststift-Milchglasscheibe 10 cm } Belichtungs-
 " V " " " 20 " } zeit
 " VI " " " 30 " } t = 15 Min.

Dichten gemessen in der Mitte der Platten
 Y = senkrechter Abstand von Keilkante in cm

| Y | Dichte der Platten | | |
|-----|--------------------|-------|-------|
| | IV | V | VI |
| 2,5 | | | 1,948 |
| 3,0 | | 2,462 | 1,590 |
| 3,5 | | 2,080 | 1,236 |
| 4,0 | 2,558 | 1,650 | 0,940 |
| 4,5 | 2,294 | 1,296 | 0,700 |
| 5,0 | 1,902 | 1,002 | 0,520 |
| 5,5 | 1,650 | 0,730 | 0,422 |
| 6,0 | 1,364 | 0,534 | |
| 6,5 | 1,040 | 0,384 | |
| 7,0 | 0,760 | | |
| 7,5 | 0,566 | | |
| 8,0 | 0,468 | | |

Tabelle VIII.

Aus den mittels obigen Dichten gewonnenen Schwärzungskurven (Kurventafel 12) folgt

| Dichte | Differenz der Platten | | |
|--------|-----------------------|-------|------|
| | IV/V | IV/VI | V/VI |
| 2,0 | 1,40 | 2,45 | 1,05 |
| 1,9 | 1,45 | 2,50 | 1,05 |
| 1,8 | 1,50 | 2,55 | 1,05 |
| 1,7 | 1,50 | 2,55 | 1,05 |
| 1,6 | 1,50 | 2,60 | 1,10 |
| 1,5 | 1,55 | 2,65 | 1,10 |
| 1,4 | 1,55 | 2,65 | 1,10 |
| 1,3 | 1,60 | 2,70 | 1,10 |
| 1,2 | 1,60 | 2,70 | 1,10 |
| 1,1 | 1,60 | 2,70 | 1,10 |
| 1,0 | 1,60 | 2,70 | 1,10 |
| 0,9 | 1,60 | 2,70 | 1,10 |
| 0,8 | 1,60 | 2,70 | 1,10 |
| Mittel | 1,54 | 2,63 | 1,09 |

Aus den Differenzen IV/V = Δ IV/V folgt, da n = 4

$$K = \frac{\log 4}{\Delta IV/V} = 0,390$$

aus Δ IV/VI, da n = 9

$$K = \frac{\log 9}{\Delta IV/VI} = 0,362$$

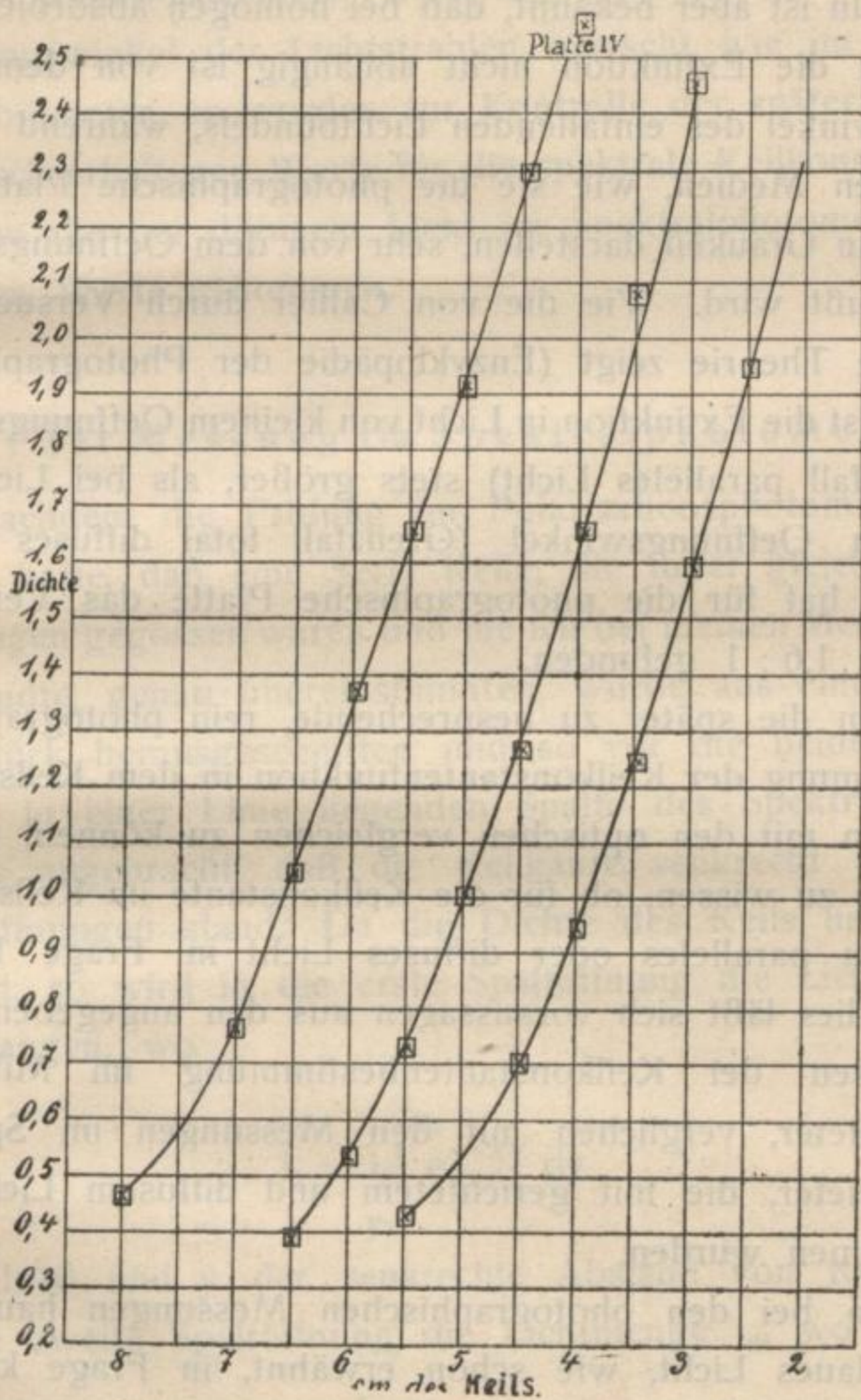
aus Δ V/VI

$$K = \frac{\log 9/4}{\Delta V/VI} = 0,323$$

als Gesamtmittel der Platten I bis VI

$$K = 0,345$$

Kurventafel 12.



wurden. Größere Abweichungen würden einen Rückschluß auf fremdes Licht gestatten.

Nun ist aber bekannt, daß bei homogen absorbierenden Medien die Extinktion nicht abhängig ist von dem Oeffnungswinkel des einfallenden Lichtbündels, während sie bei körnigen Medien, wie sie die photographische Platte und auch ein Graukeil darstellen, sehr von dem Oeffnungswinkel beeinflußt wird. Wie die von Callier durch Versuche bestätigte Theorie zeigt (Enzyklopädie der Photographie 72, 1910), ist die Extinktion in Licht von kleinem Oeffnungswinkel (Grenzfall paralleles Licht) stets größer, als bei Licht von großem Oeffnungswinkel (Grenzfall total diffuses Licht). Callier hat für die photographische Platte das Verhältnis 1,4 bis 1,6 : 1 gefunden.

Um die später zu besprechende, rein photographische Bestimmung der Keilkonstantenfunktion in dem Keilspektrographen mit den optischen vergleichen zu können, war es wichtig zu wissen, ob für die Keilkonstante im Keilspektrographen paralleles oder diffuses Licht in Frage kommt. Auch dies läßt sich voraussagen aus den angegebenen Ergebnissen der Keilkonstantenbestimmung im Milchglasphotometer, verglichen mit den Messungen im Spektralphotometer, die mit gerichtetem und diffusem Licht vorgenommen wurden.

Da bei den photographischen Messungen hauptsächlich blaues Licht, wie schon erwähnt, in Frage kam, so sind deren Ergebnisse mit den Bestimmungen für blaues Licht im Spektralphotometer zu vergleichen.

Die Messungen zeigten, daß die im Spektralphotometer gefundenen Werte für blaues diffuses Licht besser überein-

stimmten mit den im Milchglasphotometer erhaltenen als die Messungen in parallelem Licht im Spektralphotometer.

Da nun bei meinem Keilspektrographen ein ähnlicher Oeffnungswinkel der Lichtstrahlen herrscht wie im Milchglasphotometer, so wurden zur Kontrolle der später photographisch erhaltenen Werte für die spektrale Keilkonstantenfunktion die bei diffusem Licht im Spektralphotometer erhaltenen Werte genommen.

Art der Messung im Spektralphotometer.

Nachdem die Prüfung im Polarisationsphotometer ergeben hatte, daß eine Serie Keile, die unter gleichen Bedingungen gegossen waren und die ich bei meinen Messungen verwandte, genau übereinstimmten, wurde aus einem Keil ein Stück herausgeschnitten und so vor die beiden horizontal in einer Linie liegenden Spalte des Spektralphotometers angebracht, daß die Keilkante senkrecht zu den Spaltöffnungen stand. Da die Dichte des Keils linear anwächst, so wird in die erste Spaltöffnung die Lichtmenge i_1 gelangen, wo

$$i_1 = i_0 \int_{y_1}^{y_2} e^{-xy} dy$$

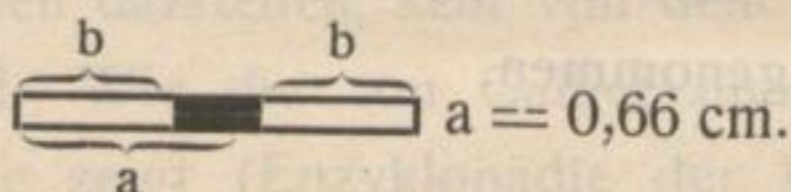
$x = K \ln 10$ und y der senkrechte Abstand von Keilkante; in die zweite Spaltöffnung die Lichtmenge i_2 , wo

$$i_2 = i_0 \int_{y_3}^{y_4} e^{-xy} dy.$$

Gemessen wird das Verhältnis der Lichtmengen, daraus folgt

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{\int_{y_1}^{y_2} e^{-xy} dy}{\int_{y_3}^{y_4} e^{-xy} dy} = \frac{\left[e^{-xy} \right]_{y_1}^{y_2}}{\left[e^{-xy} \right]_{y_3}^{y_4}}$$

Bezeichne ich die Breite des einzelnen Spaltes mit b , die Entfernung entsprechender Stellen mit a



so wird

$$y_2 = y_1 + b$$

$$y_3 = y_1 + a$$

$$y_4 = y_1 + a + b$$

Daraus folgt

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{e^{-xy_1}(e^{-xb} - 1)}{e^{-xy_1 - xa}(e^{-xb} - 1)} = e^{-xa}$$

Es kommt also nur der Abstand der Spaltöffnungen in Frage.

Es ergab sich für paralleles Licht, erhalten durch die übliche kleine Beleuchtungsvorrichtung,

$\lambda = 579$ (für α_1 u. α_2 je 6 Messungen in jedem Quadranten.)

$$a_1 = 60,0$$

$$a_2 = 41,7$$

$$\pm 0,1$$

$$\pm 0,1$$

$$Ka = 0,289 \pm 0,0008$$

$$K = 0,438 \pm 0,001$$

$\lambda = 436$ (je 10 Messungen in jedem Quadranten).

$$a_1 = 61,5$$

$$a_2 = 41,1$$

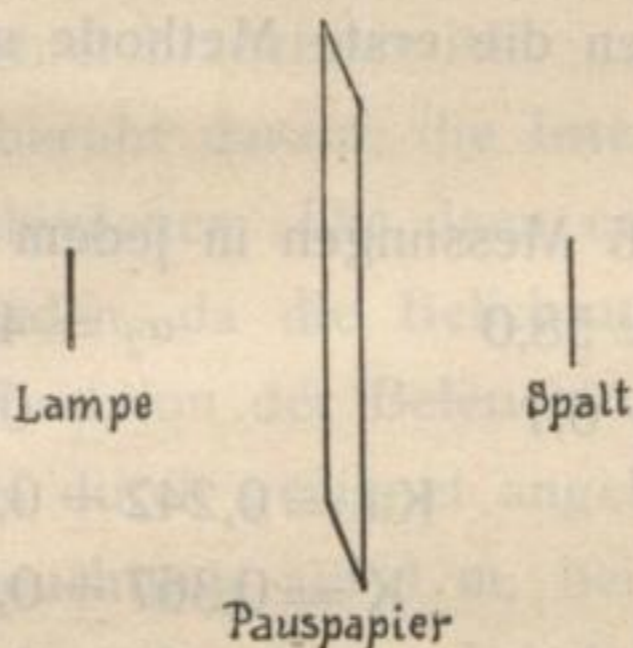
$$\pm 0,1$$

$$\pm 0,04$$

$$Ka = 0,325 \pm 0,0006$$

$$K = 0,492 \pm 0,001$$

Diffuses Licht suchte ich zu erhalten, indem ich die Beleuchtungsrichtung entfernte und Pauspapier zwischen Lampe und Spalt anbrachte. Den Grad der Zerstreuung des Lichtes beurteilte ich nach der Größe der Extinktion desselben Keilstückes. Es ergab sich bei der Anordnung (vgl. folgende Figur)



Lampe — 20 cm — Pauspapier — 5 cm — Spalt

$$\lambda = 579$$

$$K_a = 0,240$$

$$K = 0,364$$

Lampe — 10 cm — Pauspapier — 10 cm — Pauspapier —
5 cm — Spalt

$$\lambda = 579$$

$$K_a = 0,239$$

$$K = 0,362$$

Lampe — 5 cm — Pauspapier — 20 cm — Spalt

$$K = 579$$

$$K_a = 0,270$$

$$K = 0,409$$

Verglichen mit den optischen Messungen bei „weißem“ Licht zeigte es sich, daß durch keine der obigen Anordnungen total diffuses Licht erreicht wurde. Da bei den Okularmessungen hauptsächlich Lichtstrahlen kleinerer Brechung¹ wirksam sind, so wurde $K_{\lambda} = 600$, diffus. = 320

1. Und zwar orange und gelb.

als Kontrolle der späteren Messungen genommen und die Werte darauf umgerechnet.

Die beiden erst gewählten Anordnungen ergeben annähernd dieselben Resultate. Da bei zwei Lagen Pauspapier die bessere Zerstreung des Lichtes aufgehoben wird durch die größere Unsicherheit der Messungen, so wurde zu den folgenden Messungen die erste Methode gewählt. Es ergab sich für

$$\lambda = 579 \mu\mu \quad (6 \text{ Messungen in jedem Quadranten})$$

$$\alpha_1 = 58,0 \qquad \alpha_2 = 42,5$$

$$\pm 0,1 \qquad \pm 0,1$$

$$K_a = 0,242 \pm 0,0008$$

$$K = 0,367 \pm 0,001$$

$$\lambda = 546 \mu\mu \quad (6 \text{ Messungen in jedem Quadranten})$$

$$\alpha_1 = 58,0 \qquad \alpha_2 = 42,6$$

$$\pm 0,07 \qquad \pm 0,1$$

$$K_a = 0,241 \pm 0,0007 \quad K = 0,366 \pm 0,001$$

$$\lambda = 436 \mu\mu \quad (20 \text{ Messungen in jedem Quadranten})$$

$$\alpha_1 = 58,9 \qquad \alpha_2 = 41,9$$

$$\pm 0,15 \qquad \pm 0,15$$

$$K_a = 0,266 \pm 0,003$$

$$K = 0,404 \pm 0,004$$

Es verhält sich

$$\frac{K_{579}}{K_{436}} = \frac{1,0}{1,1}$$

c) Photographische Bestimmung der spektralen Keilkonstantenfunktion im Keilspektrographen.

Die nun zu besprechenden Bestimmungen sind inso-

fern von besonderer Wichtigkeit, als sie den einzigen Weg bieten, die Keilkonstantenfunktion zu berechnen, ohne optische Messungen und ohne Annahmen über den Strahlengang und Apparateigentümlichkeiten bis auf fremdes Licht machen zu müssen. Diese Art der Bestimmung ist auch die alleinige Methode, die für den Uebergang in das ultraviolette Spektralgebiet brauchbar ist.

Das Prinzip beruht darauf, die Intensität aller Strahlen gleichmäßig zu schwächen. Die dann erhaltenen Schwellenschwärzungen werden, da die Belichtungszeit konstant ist, wieder nur eine Funktion der Beleuchtungen sein. Bei dem ersten Versuch sei durch geeignet angebrachte Blenden die ursprüngliche Beleuchtung auf $1/m$, bei dem zweiten Versuch auf $1/n$ geschwächt, dann wird die gleiche Schwellenschwärzung

$$S = \varphi\left(\frac{i_0}{m} 10^{-Ky_2}\right) = \varphi\left(\frac{i}{n} 10^{-Ky_2}\right)$$

daraus folgt

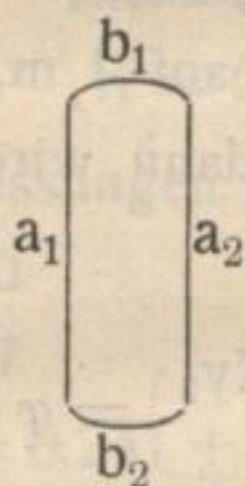
$$K(y_1 - y_2) = \log n - \log m, \quad K = \frac{\log n/m}{y_1 - y_2}$$

Dies gilt für jede Wellenlänge. Da der Quotient n/m bekannt ist, so habe ich dessen Logarithmus durch die Differenz der Ordinaten der entsprechenden Punkte der Grenzkurven zu dividieren, um die Keilkonstanten für die einzelnen Wellenlängen zu erhalten.

Um die gleichmäßige Schwächung der Lichtstrahlen erreichen zu können, wurde der Apparat so vorgerichtet, daß die Eintrittspupille gleichmäßig beleuchtet war. Verändert man nun die Fläche der Eintrittspupille oder der Austritts-

pupille durch meßbar veränderliche Aperturblenden, so kann man das Beleuchtungsverhältnis und dadurch die Beleuchtung sämtlicher Spektrallinien in gleicher und bekannter Weise verringern. Bei dem von mir verwandten Keilspektrographen konnte zwar nicht von einer einheitlichen Aperturblende in der Eintritts- oder Austrittspupille die Rede sein, da die Strahlenbegrenzung durch zwei in verschiedenen Ebenen liegende Aperturblenden hervorgerufen war, wie man mit dem Auge erkennen konnte, wenn man es an den Ort des Spektrums brachte.

Die Strahlenbegrenzung hatte folgende Gestalt:



Hierbei rühren die Begrenzungen a_1 und a_2 von dem Prisma her, das in bezug auf die anderen optischen Teile des Apparates zu klein war, für die Begrenzung b_1 und b_2 der Austrittspupille war der Rand der Okularblende Aperturblende.

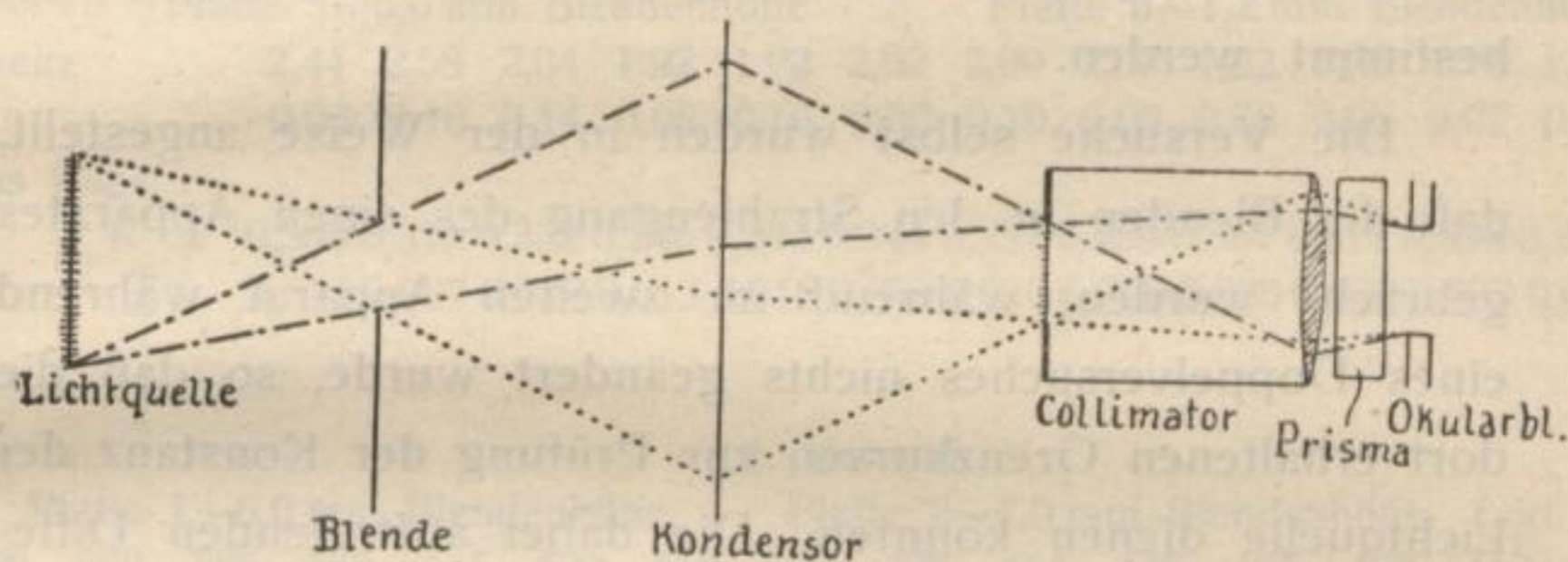
Eine allseitig umschlossene Aperturblende zur gleichmäßigen Schwächung der Intensität aller Strahlen darf bekanntlich nur dort angebracht werden, wo trotz der spektralen Zerlegung noch vollkommene Farbenmischung zu Weiß besteht. Dies ließ sich im Keilspektrographen konstruktiv nicht erreichen, wohl aber konnte ich bei konstanter vertikaler Begrenzung vollkommen gleichmäßige Ver-

ringerung der Intensität sämtlicher Spektralstrahlen erreichen.

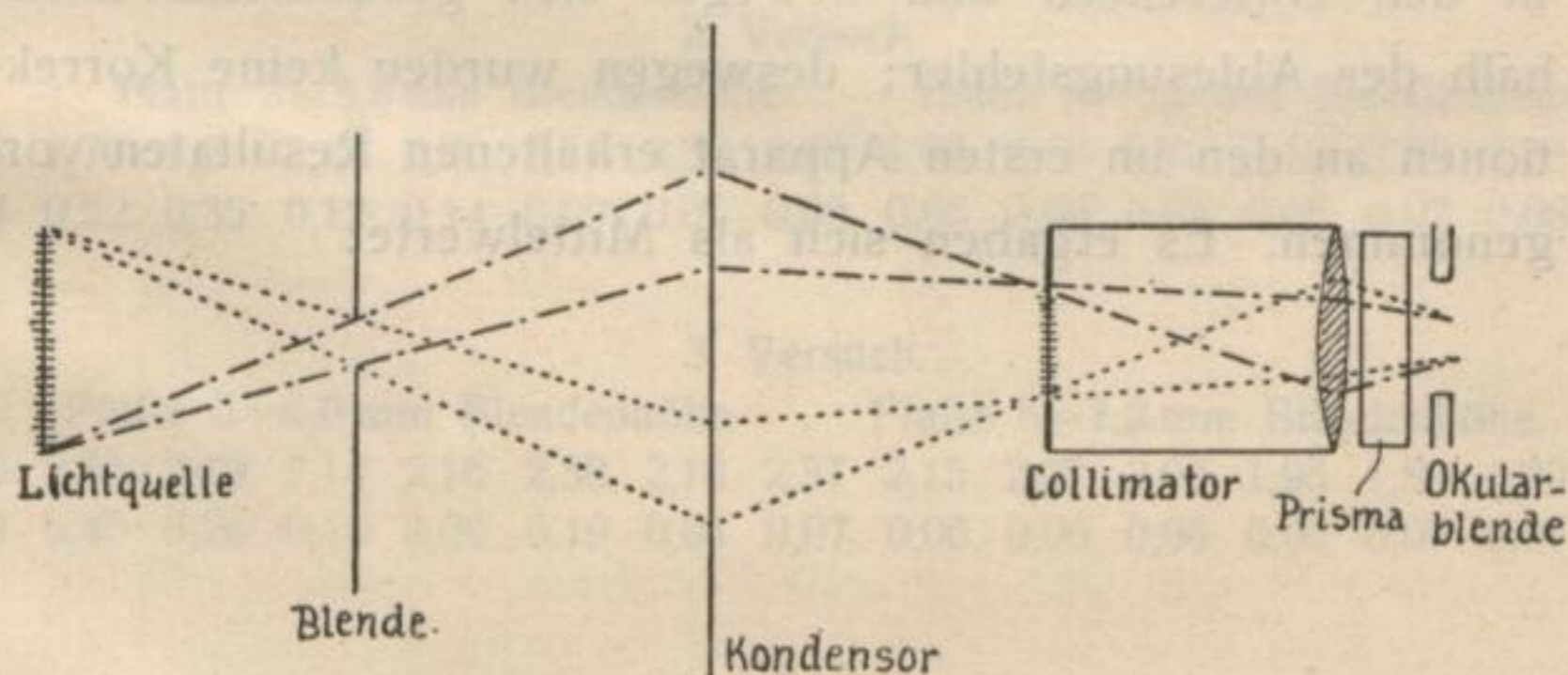
Am einfachsten wäre es gewesen, diese Blende am Ort der bisherigen Okularblende anzubringen, da jedoch eine Verschiebung des justierten Apparates vermieden werden sollte, so brachte ich die Blenden an den Ort der Eintrittspupille, die sich zwischen Lichtquelle und Kondensor befand (siehe Figur 11).

Figur 11.

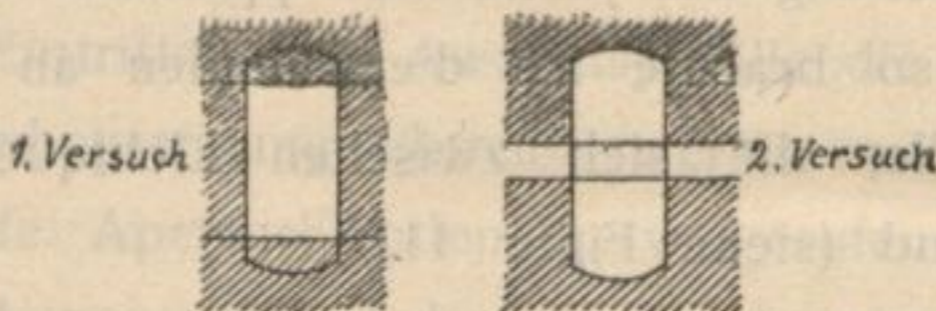
Aperturblende in Eintrittspupille so gewählt, daß Austrittspupille gleiche Höhe wie Okularblende.



Aperturblende in Eintrittspupille, halbe Höhe wie oben, Austrittspupille daher nur halb so hoch wie Okularblende.



Die Größen dieser Aperturblenden wurden so gewählt, daß die Austrittspupille, in die das Bild der Blenden projiziert war, ein rechteckiges Aussehen hatte von folgender Gestalt:



Dadurch konnte besonders einfach der Quotient n/m , welcher zur Berechnung der einzelnen Keilkonstanten dienen sollte, bestimmt werden.

Die Versuche selbst wurden in der Weise angestellt, daß die Blenden in den Strahlengang des einen Apparates gebracht wurden, während im zweiten Apparat während eines Doppelversuches nichts geändert wurde, so daß die dort erhaltenen Grenzkurven zur Prüfung der Konstanz der Lichtquelle dienen konnten. Die dabei auftretenden Differenzen zeigen, wie aus den am Schlusse dieses Abschnittes gegebenen Tabellen zu ersehen ist, keinen einsinnigen Gang in den Differenzen und bewegen sich größtenteils innerhalb der Ablesungsfehler; deswegen wurden keine Korrekturen an den im ersten Apparat erhaltenen Resultaten vorgenommen. Es ergaben sich als Mittelwerte:

Tabelle IX.

a. Bestimmung der spektralen Keilkonstantenfunktion

1. Versuch.

| Platte 1~6,0 mm Blendenhöhe. | Platte 2~1,0 mm Blendenhöhe (vgl. Tabell II). | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| $\lambda =$ | 620 | 585 | 545 | 502 | 487 | 466 | 449 | 435 | 423 | 412 | 403 | 396 $\mu\mu$ |
| Differenz | 2,34 | 2,22 | 2,40 | 2,22 | 2,12 | 2,18 | 2,08 | 2,10 | 2,04 | 1,98 | 2,00 | 2,02 cm |
| \pm | 0,06 | 0,11 | 0,18 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,07 |

2. Versuch.

| Platte 3~5,8 mm Blendenhöhe. | Platte 4~1,0 mm Blendenhöhe. | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Differenz | 2,48 | 2,40 | 2,36 | 2,40 | 1,82 | 2,36 | 2,24 | 2,18 | 2,18 | 2,22 | 2,22 | 2,14 cm |
| \pm | 0,07 | 0,18 | 0,23 | 0,05 | 0,19 | 0,08 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |

3. Versuch.

| Platte 5~6,0 mm Blendenhöhe | Platte 6~1,2 mm Blendenhöhe. | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Differenz | 2,44 | 2,58 | 2,04 | 1,92 | 1,92 | 2,02 | 2,00 | 2,00 | 1,92 | 1,90 | 1,74 | 1,76 cm |
| \pm | 0,06 | 0,16 | 0,14 | 0,08 | 0,16 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |

daraus folgt:

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| $K =$ | 0,309 | 0,315 | 0,332 | 0,346 | 0,345 | 0,344 | 0,357 | 0,359 | 0,367 | 0,371 | 0,378 | 0,381 cm |
| \pm | 0,014 | 0,027 | 0,049 | 0,013 | 0,016 | 0,008 | 0,010 | 0,006 | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,003 |

b.

1. Versuch.

| Platte 1~6,0 mm Blendenhöhe | Platte 2~1,0 mm Blendenhöhe (vgl. Tabelle III.) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| $\lambda =$ | 620 | 660 | 585 | 560 | 545 | 530 | 512 | 500 | 478 | 464 | 449 | 435 | 420 | 412 | 400 | 390 $\mu\mu$ |
| Diff. | 2,25 | 1,63 | 1,93 | 2,28 | 1,78 | 1,90 | 2,10 | 2,11 | 2,00 | 2,03 | 2,11 | 2,10 | 1,98 | 1,92 | 2,00 | 2,20 cm |
| \pm | 0,16 | 0,47 | 0,28 | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,14 |

2. Versuch.

| Platte 3~5,8 mm Blendenhöhe | Platte 4~1,0 mm Blendenhöhe. | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Diff. | 2,28 | 1,70 | 1,60 | 2,47 | 2,80 | 2,74 | 2,35 | 2,03 | 1,96 | 2,03 | 2,09 | 2,12 | 2,29 | 2,45 | 2,62 | 2,44 cm |
| \pm | 0,14 | 0,52 | 0,35 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,16 |

3. Versuch.

| Platte 5~6,0 mm Blendenhöhe | Platte 6~1,2 mm Blendenhöhe. | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Diff. | 2,10 | 2,85 | 2,40 | 2,14 | 2,16 | 2,38 | 2,18 | 2,37 | 2,15 | 2,07 | 2,06 | 1,95 | 1,89 | 1,89 | 2,00 | 2,01 cm |
| \pm | 0,12 | 0,40 | 0,26 | 0,10 | 0,09 | 0,19 | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,11 |

4. Versuch.

| | Platte 7~5,3 mm Blendenhöhe | | | | | | | | Platte 8~1,0 mm Blendenhöhe | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------|------|------|------|------|------|--------------|---------|
| $\lambda = 620$ | 660 | 585 | 560 | 545 | 530 | 512 | 500 | 478 | 464 | 449 | 435 | 420 | 412 | 400 | 390 $\mu\mu$ | |
| Diff. | 2,55 | 1,68 | 2,05 | 2,41 | 2,26 | 2,39 | 2,50 | 2,52 | 2,42 | 2,50 | 2,42 | 2,39 | 2,46 | 2,47 | 2,59 | 2,39 cm |
| \pm | 0,13 | 0,50 | 0,24 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,12 | 0,16 |

5. Versuch.

| | Platte 9~5,3 mm Blendenhöhe | | | | | | | | Platte 10~1,0 mm Blendenhöhe | | | | | | | |
|-------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Diff. | 2,97 | 2,63 | 2,53 | 2,48 | 2,73 | 2,58 | 2,51 | 2,47 | 2,26 | 2,28 | 2,27 | 2,39 | 2,53 | 2,53 | 2,51 | 2,60 cm |
| \pm | 0,15 | 0,40 | 0,21 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,15 cm |

daraus folgt:

$$K = 0,323 \ 0,414 \ 0,406 \ 0,331 \ 0,335 \ 0,330 \ 0,335 \ 0,337 \ 0,362 \ 0,352 \ 0,356 \ 0,356 \ 0,352 \ 0,350 \ 0,337 \ 0,330 \text{ cm}$$

$$\pm 0,010 \ 0,062 \ 0,035 \ 0,009 \ 0,008 \ 0,005 \ 0,007 \ 0,004 \ 0,006 \ 0,005 \ 0,006 \ 0,004 \ 0,004 \ 0,005 \ 0,007 \ 0,010$$

Kontrolle der Lichtquelle (Apparat II).

Ordinaten der Grenzkurve von Platte n – Ordinaten der Grenzkurve von Platte $n + 1$. ($n = 1, 3 \dots 9$)

| $\lambda = 620$ | 582 | 542 | 512 | 488 | 468 | 452 | 437 | 424 | 414 | 406 | 398 | 392 $\mu\mu$ | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|---------|
| Versuch 1 | +0,2 | -0,2 | -0,2 | +0,1 | +0,2 | +0,2 | -0,1 | -0,1 | -0,2 | -0,2 | -0,1 | -0,0 | -0,2 cm |
| Versuch 2 | +0,1 | +0,3 | +0,5 | +0,2 | +0,0 | +0,2 | +0,1 | 0,0 | +0,1 | 0,0 | +0,2 | +0,3 | +0,3 „ |
| Versuch 3 | 0,0 | +0,2 | -0,2 | +0,1 | 0,0 | +0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | +0,2 | +0,1 | +0,2 | +0,2 „ |
| Versuch 4 | +0,2 | +0,3 | -0,2 | -0,2 | -0,2 | -0,2 | 0,0 | +0,1 | +0,1 | 0,0 | 0,0 | -0,3 | -0,3 „ |
| Versuch 5 | +0,2 | +0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | +0,1 | +0,2 | +0,1 | 0,0 | -0,1 | +0,2 | +0,1 | +0,2 „ |

K ist berechnet nach der Formel

$$K = \frac{1}{n} \sum_{\nu} \left[\frac{\log n/m}{y_1 - y_2} \right]_{\nu}$$

die Fehler nach der Formel $\epsilon = \pm \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{\nu} \left[\Delta(y_1 - y_2) \frac{\log. n/m}{(y_1 - y_2)^2} \right]_{\nu}^2}$

Die Mittelwerte sind berechnet nach der Formel:

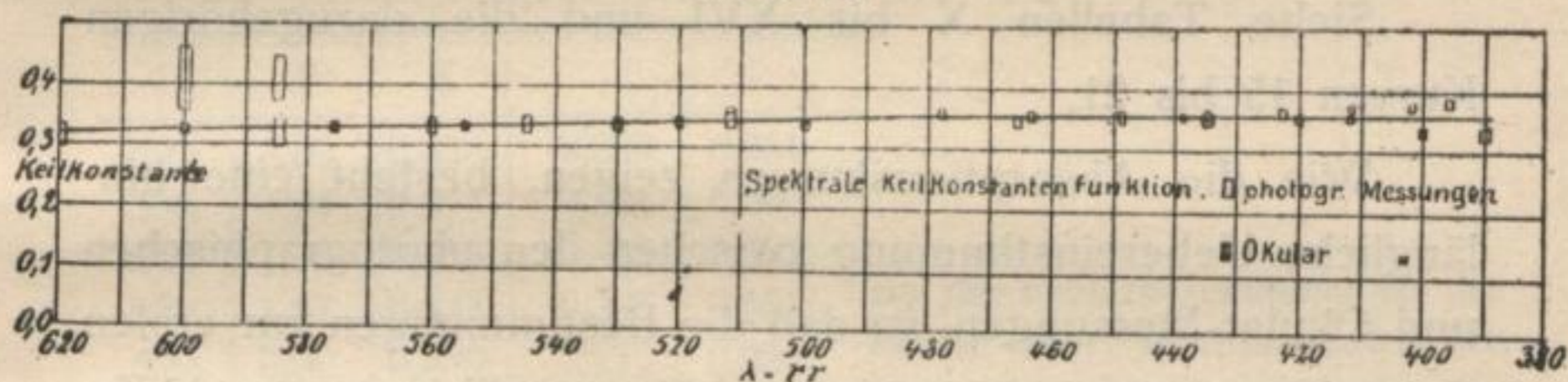
$$K = \frac{1}{n} \sum_{\nu} \frac{\log(n/m)_{\nu}}{(y_1 - y_2)_{\nu}}$$

Die Fehler nach der Formel:

$$\varepsilon = \pm \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{\nu} \left[\frac{d(y_1 - y_2)_{\nu} \log(n/m)_{\nu}}{(y_1 - y_2)_{\nu}^2} \right]^2}$$

Die so erhaltenen Mittelwerte wurden als Ordinaten aufgetragen, als Abszissen die Wellenlängen und ergeben mit den schon besprochenen Okularmessungen die Kurve 13, deren einzelne Werte bei den späteren Absorptionsmessungen benutzt wurden.

Kurve 13.



Einige Absorptionsmessungen und okulare Kontrollmessungen dazu.

Ein zweiter Weg, die Anwendbarkeit der Methode zu prüfen, war, wie schon erwähnt, die Aufnahme von Absorptionen und der Vergleich der dort erhaltenen Werte mit optischen Messungen im König-Martensschen Spektralphotometer¹.

1. Da in die Berechnung des Resultates die Werte der Keilkonstantenfunktion eingehen, so wird ein Fehler in deren Bestimmung einen prozentualen Fehler bei Extinktionen usw. ergeben. Da bei den

Die Schichtdicken der absorbierenden Media in dem Keilspektographen waren 1,1 cm, die Extinktionen sind in den Kurven auf 1,0 cm Schichtdicke umgerechnet, wie sie auch im König-Martensschen Spektralphotometer waren.

Der Gehalt der untersuchten Lösungen wurde durch bloßes Abwägen eingestellt, so daß die Zahlen keinen Vergleich mit fremden Messungen gestatten, wohl aber wurde stets die gleiche Lösung optisch und im Keilspektographen gemessen.

Gearbeitet wurde mit „Vertauschung“ (vgl. pag. 30). Die graphisch erhaltenen Differenzkurven sind aus den Mittelwerten gewonnen der in jedem Apparat erhaltenen Differenz der Ordinaten.

Siehe Tabellen X bis XVI und die dazugehörigen Kurven 15 bis 21.

Wie die Absorptionskurven zeigen, besteht eine hinlängliche Uebereinstimmung zwischen den photographischen und Okular-Messungen, so daß die Bestimmungen zur ersten Orientierung genügen, trotzdem mit unvollkommenen Hilfsmitteln gearbeitet werden mußte.

meisten andern Photometern das Verhältnis $\frac{i_1}{i_2}$ experimentell bestimmt wird, so bedingt ein Fehler in $\frac{i_1}{i_2}$ einen absoluten Fehler in der Extinktion.

Tabelle X.

An Diapositiven wurden die Grenzkurven zur Ermittlung der Absorption von indigosulfonsaurem Natron 1 = 20000 bestimmt.

Es ergab sich als Differenz der Ordinaten von den Grenzkurven der Spektrogramme mit vorgeschaltetem reinen Lösungsmittel und Lösung im

Apparat I

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| $\lambda = 561$ | 533 | 504 | 482 | 463 | 349 | 436 | 425 | 416 | 408 | 401 $\mu\mu$ |
| cm 3,2 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |

Apparat II.

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| $\lambda = 554$ | 521 | 495 | 474 | 457 | 443 | 432 | 421 | 413 | 405 | 398 $\mu\mu$ |
| cm 1,8 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |

Diese Werte wurden in Kurventafel 15a eingezeichnet und die mittlere Kurve gezogen, deren Werte mit der spektralen Keilkonstantenfunktion multipliziert und durch 1,1 dividiert, um den Extinktionskoeffizienten zu erhalten. Folgende Tabelle zeigt die Berechnung;

$\Delta =$ Ordinaten der mittleren Kurve, $K =$ Keilkonstanten

$$\frac{D \cdot K}{1,1} = \epsilon = \text{Extinktionskoeffizient}$$

| λ | Δ | K | ϵ |
|-----------|----------|-------|-------------------|
| 560 | 3,00 | 0,329 | 0,898 \pm 0,061 |
| 550 | 1,94 | 0,331 | 0,584 \pm 0,060 |
| 540 | 1,38 | 0,333 | 0,418 \pm 0,032 |
| 530 | 1,07 | 0,335 | 0,326 \pm 0,031 |
| 520 | 0,90 | 0,339 | 0,277 \pm 0,030 |
| 510 | 0,79 | 0,343 | 0,246 \pm 0,030 |
| 500 | 0,70 | 0,346 | 0,220 \pm 0,031 |
| 490 | 0,62 | 0,350 | 0,197 \pm 0,031 |
| 480 | 0,54 | 0,350 | 0,172 \pm 0,031 |
| 470 | 0,48 | 0,353 | 0,154 \pm 0,032 |
| 460 | 0,38 | 0,354 | 0,122 \pm 0,032 |
| 450 | 0,26 | 0,355 | 0,084 \pm 0,032 |
| 440 | 0,20 | 0,356 | 0,065 \pm 0,032 |
| 430 | 0,18 | 0,356 | 0,058 \pm 0,032 |
| 420 | 0,18 | 0,356 | 0,058 \pm 0,032 |
| 410 | 0,20 | 0,356 | 0,065 \pm 0,034 |
| 400 | 0,28 | 0,356 | 0,091 \pm 0,034 |

Bei der Fehlerberechnung ist der Fehler der Keilkonstanten zu 0,005, der der Grenzkurvenord.-Differenz von $\lambda = 620 \mu\mu$ bis $\lambda = 560 \mu\mu$ (steil ansteigender Ast der Kurve) zu 0,2, von $\lambda = 560 - 400 \mu\mu$ zu 0,1 angenommen.

Okularmessungen ergaben bei je 3 Messungen in jedem Quadranten

$$\begin{aligned} \lambda &= 555 \mu\mu \\ \alpha_1 &= 68,0 \pm 0,1 \quad \alpha_2 = 36,6 \pm 0,1 \\ \epsilon &= 0,523 \pm 0,006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 492 \mu\mu \\ \alpha_1 &= 55,5 \pm 0,2 \quad \alpha_2 = 51,4 \pm 0,2 \\ \epsilon &= 0,065 \pm 0,012 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 520 \mu\mu \\ \alpha_1 &= 58,5 \pm 0,1 \quad \alpha_2 = 47,6 \pm 0,1 \\ \epsilon &= 0,174 \pm 0,005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 435 \mu\mu \\ \alpha_1 &= 56,2 \pm 0,2 \quad \alpha_2 = 54,0 \pm 0,2 \\ \epsilon &= 0,036 \pm 0,012. \end{aligned}$$

Kurventafel 15.
Indigosulfonsaures Natron I = 20000.

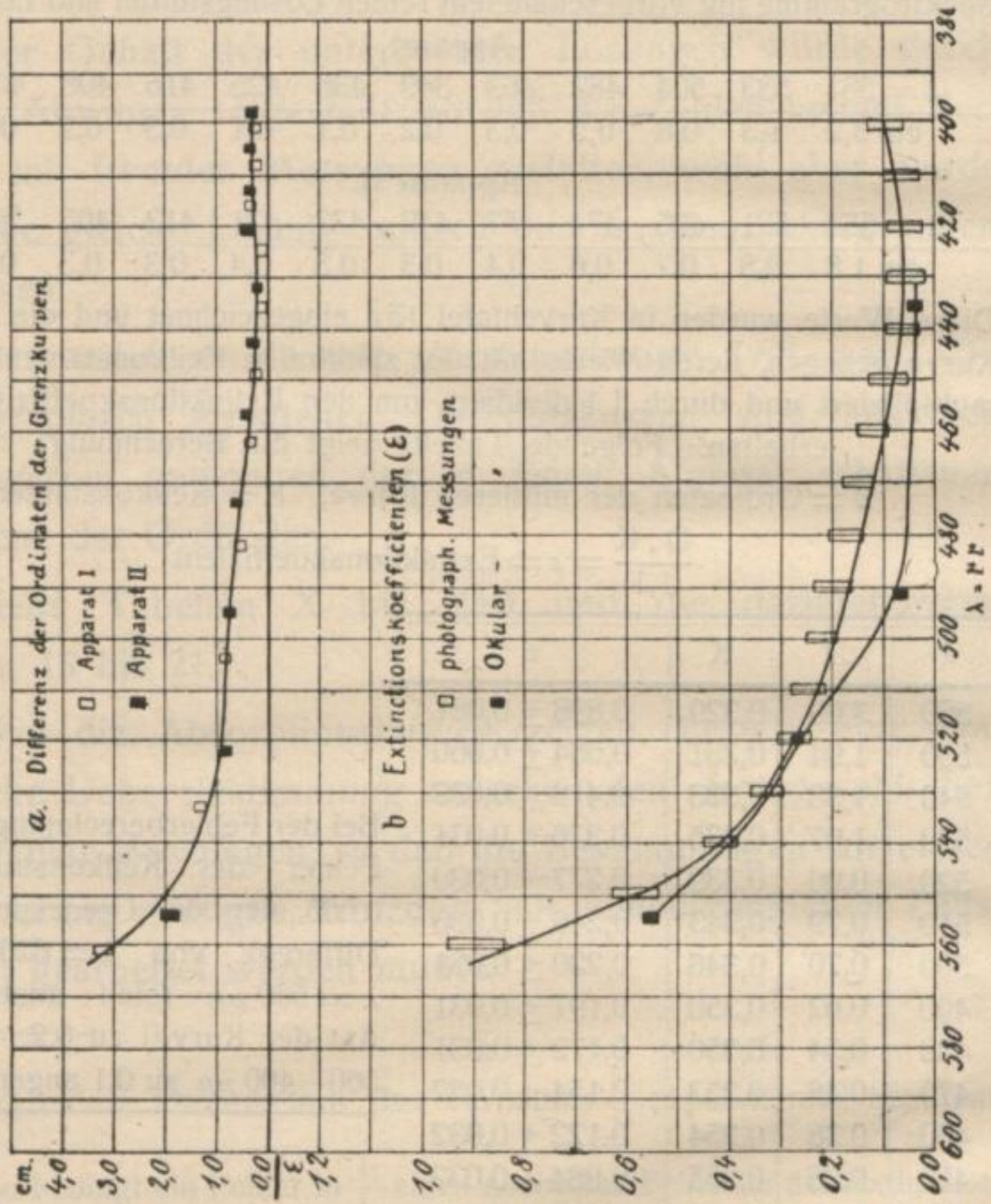


Tabelle XI.

Bei dieser und den folgenden Tabellen sind die den Berechnungen zu Grunde gelegten Grenzkurven im „Kreuztisch“ bestimmt.

Naphtholgrün 1 = 10000.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Differenz d. Ordin. im App. I | λ = 620 2,73 ± 0,15 | 605 2,50 0,20 | 581 2,06 0,24 | 566 0,62 0,16 | 542 0,18 0,10 | 529 1,30 0,08 | 511 1,75 0,06 | 500 2,01 0,05 | 485 2,43 0,05 | 476 3,14 0,06 | 464 4,68 0,05 | 457 4,70 0,05 | 446 4,55 0,05 | 440 4,37 0,05 | 430 4,65 0,05 | 426 4,70 0,05 | 409 4,55 0,05 | 415 4,37 0,05 | 410 3,75 0,05 | 406 3,60 0,05 | 402 3,36 0,05 | 399 3,60 0,05 | 395 3,36 0,05 | 393 3,15 0,05 | 390 2,80 0,12 |
| Differenz d. Ordin. im App. II | λ = 620 1,70 ± 0,16 | 605 1,31 0,30 | 581 0,08 0,10 | 566 -0,30 0,14 | 542 -0,44 0,10 | 529 0,29 0,08 | 511 0,37 0,05 | 501 0,71 0,07 | 488 1,22 0,07 | 479 2,08 0,07 | 468 2,61 0,07 | 461 3,35 0,07 | 452 3,50 0,07 | 446 3,41 0,07 | 437 3,50 0,07 | 431 2,98 0,07 | 424 2,69 0,07 | 420 2,60 0,07 | 415 2,34 0,07 | 411 2,30 0,07 | 406 2,30 0,07 | 402 2,30 0,07 | 398 2,30 0,07 | 396 2,30 0,07 | 392 2,08 0,10 |

Die mittlere Kurve dieser Differenzen ist in Kurventafel 16a verzeichnet. Die Extinktionskoeffizienten sind auf dieselbe Art berechnet, wie auf Tabelle 10. Diese photographisch ermittelten Extinktionskoeffizienten sind in Kurventafel 16b aufgetragen, ebenso die durch Okularmessungen gefundenen Werte. Bei letzteren ergab sich

| | | |
|---|---|---|
| λ = 600 μμ a ₁ = 70,0 ± 0,1 Je 3 Messungen in jedem Quadranten. ε = 0,573 ± 0,009 | λ = 555 μμ a ₁ = 62,3 ± 0,1 Je 3 Messungen in jedem Quadranten. ε = 0,251 ± 0,006 | λ = 520 μμ a ₁ = 63,0 ± 0,1 Je 3 Messungen in jedem Quadranten. ε = 0,265 ± 0,006 |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|--|
| λ = 493 μμ a ₁ = 68,3 ± 0,2 Je 3 Messungen in jedem Quadranten. ε = 0,473 ± 0,012 | λ = 435 μμ a ₂ = 14,0 ± 0,2 Je 3 Messungen in jedem Quadranten. ε = 1,553 ± 0,018 | λ = 83,6 ± 0,2 a ₁ = 83,6 ± 0,2 Je 3 Messungen in jedem Quadranten. |
|---|---|--|

Kurventafel 16.
Naphtholgrün 1 = 10000.

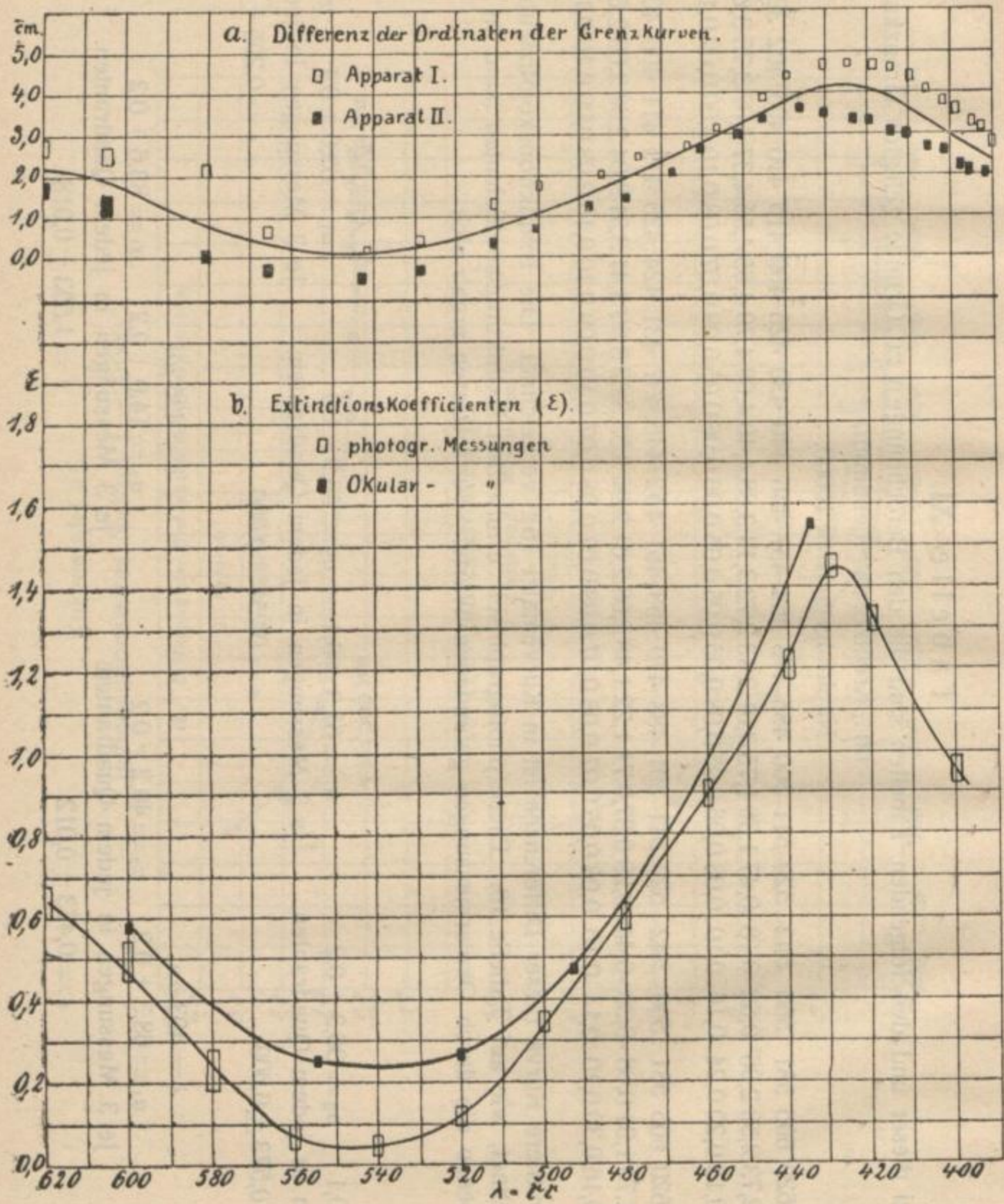


Tabelle XII.

Kupfersulfatlösung 20%ig.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Differenz d. Ordin. im App. I | $\lambda = 620$ | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 500 | 485 | 476 | 464 | 457 | 446 | 440 | 430 | 426 | 419 | 415 | 410 | 406 | 402 | 399 | 395 | 393 | 390 | |
| | $\mu\mu$ | 1,55 | 0,72 | 2,14 | 1,46 | 0,15 | 0,33 | 0,32 | 0,54 | 0,71 | 0,30 | 0,35 | 0,29 | 0,15 | 0,17 | 0,22 | 0,16 | 0,03 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 0,01 | 0,06 | 0,32 |
| | \pm | 0,14 | 0,18 | 0,21 | 0,13 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 |
| Differenz d. Ordin. im App. II | $\lambda = 620$ | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 501 | 488 | 479 | 468 | 461 | 452 | 446 | 437 | 431 | 424 | 420 | 415 | 411 | 406 | 402 | 398 | 396 | 392 |
| | $\mu\mu$ | 2,08 | 3,10 | 1,58 | 0,82 | 0,38 | 0,13 | 0,12 | 0,24 | 0,31 | 0,00 | 0,12 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,11 | 0,09 | 0,14 | 0,16 | 0,03 | 0,02 | 0,13 | 0,02 | 0,13 |
| | \pm | 0,15 | 0,20 | 0,19 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 |

Diese Differenzen und ihre mittlere Kurve sind in Kurventafel 17a eingezeichnet. Die Extinctionskoeffizienten nach photographischen und Okular-Messungen zeigt Kurventafel 17b. Die Okularmessungen ergaben bei je 3 Messungen in jedem Quadranten für

$$\lambda = 600 \mu\mu \quad \lambda = 555 \mu\mu \quad \lambda = 520 \mu\mu$$

$$a_1 = 73,0 \pm 0,1 \quad a_1 = 60,8 \pm 0,1 \quad a_1 = 56,6 \pm 0,1$$

$$a_2 = 55,2 \pm 0,2 \quad a_2 = 48,0 \pm 0,1 \quad a_2 = 53,0 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 0,008 \pm 0,011 \quad \epsilon = 0,211 \pm 0,006 \quad \epsilon = 0,058 \pm 0,005$$

$$\lambda = 493 \mu\mu \quad \lambda = 435 \mu\mu$$

$$a_1 = 55,1 \pm 0,1 \quad a_1 = 56,6 \pm 0,2 \quad a_2 = 55,2 \pm 0,2$$

$$a_2 = 54,0 \pm 0,1 \quad \epsilon = 0,008 \pm 0,011$$

$$\epsilon = 0,018 \pm 0,005$$

Kurventafel 17.
Kupfersulfatlösung 20%ig.

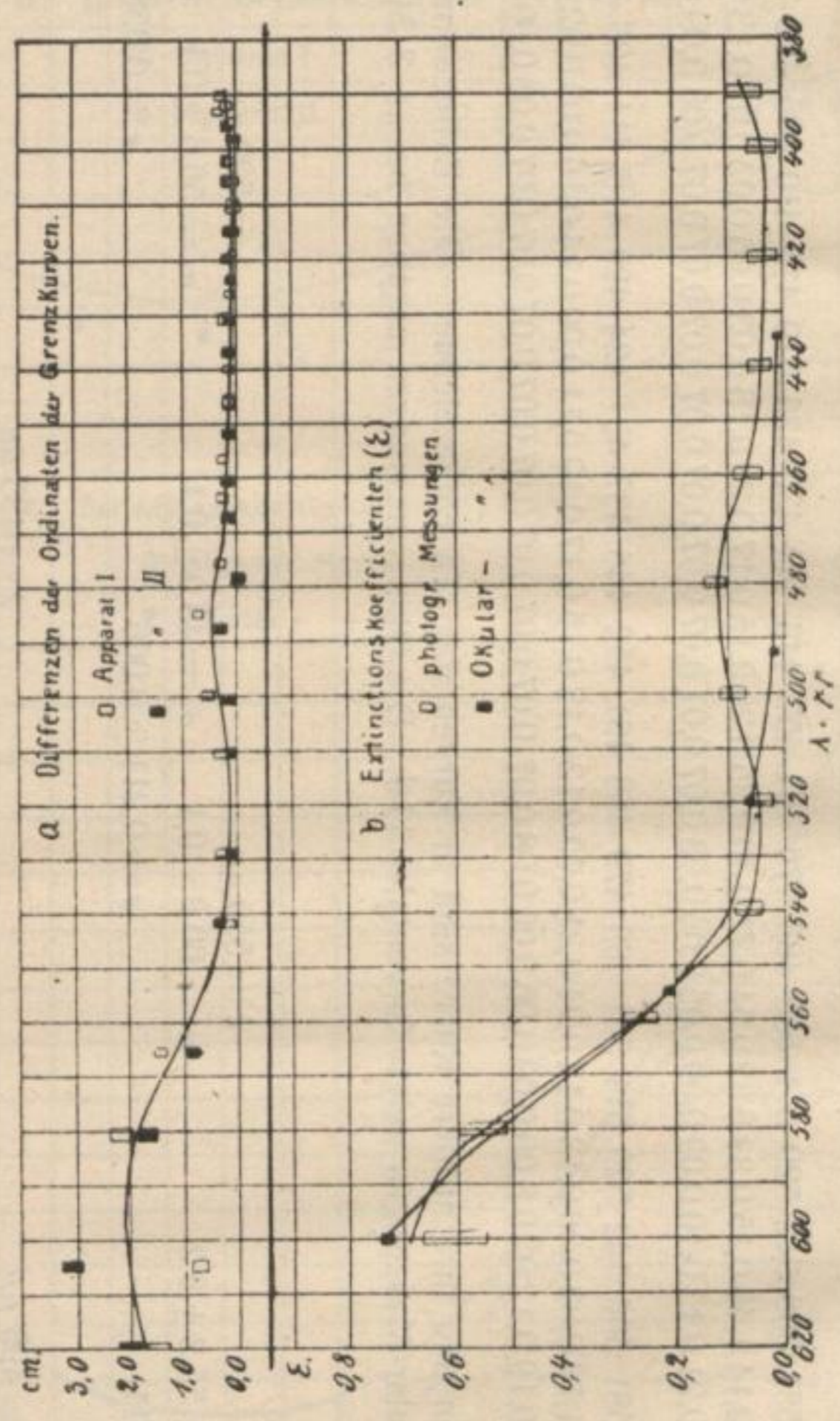


Tabelle XIII.

Cobaltsulfatlosung 10^o/ig.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| Differenz d. Ordin. im App. I } | $\lambda = 620$ | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 500 | 485 | 476 | 464 | 457 | 446 | 440 | 431 | 426 | 419 | 415 | 410 | 406 | 402 | 399 | 395 | 393 | 390 | $\mu\mu$ |
| | | 1,45 | 1,12 | 0,64 | 1,85 | 5,04 | 6,29 | 6,18 | 5,80 | 4,94 | 4,47 | 3,97 | 2,41 | 2,98 | 2,28 | 1,70 | 1,49 | 1,17 | 1,13 | 1,34 | 1,40 | 1,47 | 1,41 | 1,64 | 1,52 | 1,60 |
| Differenz d. Ordin. im App. II } | $\lambda = 620$ | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 501 | 488 | 479 | 468 | 461 | 452 | 446 | 437 | 431 | 424 | 420 | 415 | 401 | 406 | 402 | 398 | 396 | 392 | $\mu\mu$ |
| | | 1,05 | 0,78 | 1,58 | 1,55 | 3,84 | 5,03 | 5,67 | 5,03 | 4,70 | 4,55 | 4,12 | 4,88 | 2,84 | 2,34 | 1,75 | 1,55 | 1,32 | 1,41 | 1,54 | 1,43 | 1,46 | 1,49 | 1,89 | 1,96 | 2,15 |

Diese Differenzen und ihre mittlere Kurve sind in Kurvetafel 18a eingezeichnet. Die Extinctionskoeffizienten nach photographischen und Okular-Messungen zeigt Kurvetafel 18b. Die Okularmessungen ergaben bei je 3 Messungen in jedem Quadranten für

$$\lambda = 600 \mu\mu$$

$$a_1 = 61,0 \pm 0,1 \quad a_2 = 47,9 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 0,212 \pm 0,005$$

$$\lambda = 555 \mu\mu$$

$$a_1 = 71,6 \pm 0,2 \quad a_2 = 34,0 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 0,649 \pm 0,012$$

$$\lambda = 435 \mu\mu$$

$$a_1 = 70,5 \pm 0,2 \quad a_2 = 36,1 \pm 0,2$$

$$\epsilon = 0,588 \pm 0,013$$

$$\lambda = 520 \mu\mu$$

$$a_1 = 86,0 \pm 0,2 \quad a_2 = 8,6 \pm 0,2$$

$$\epsilon = 1,996 \pm 0,017$$

Kurventafel 18.
Cobaltsulfatlösung 10⁰/_{ig}.

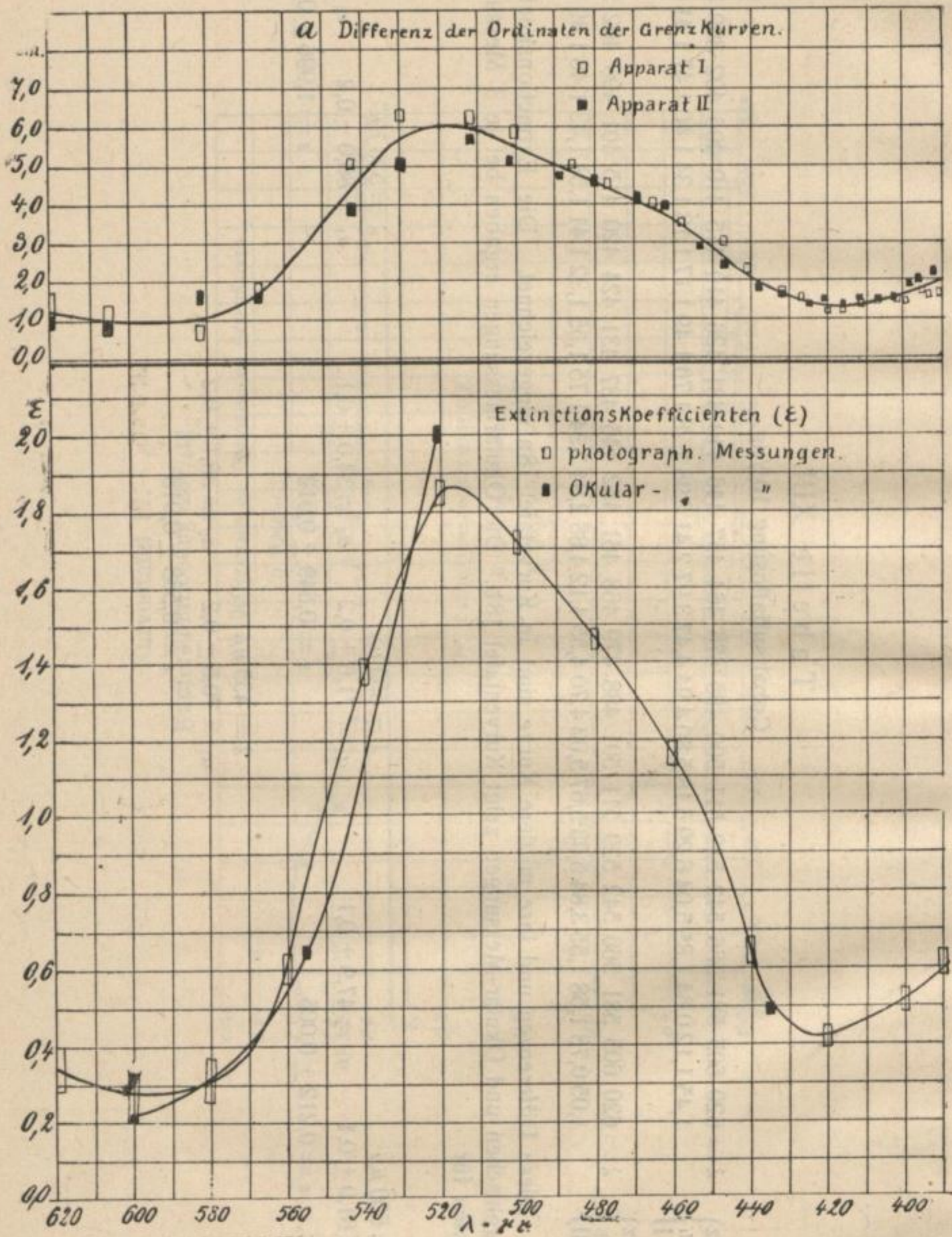


Tabelle XIV.

Nickelsulfatlösung 20^o/_oig.

| Differenz d. Ordin. im App. I} | Wellenlängen in $\mu\mu$ | | | | | | | | | | Bei den folgenden Wellenlängen zeigte die Vergleichsplatte keine Schwärzung mehr | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|-----|----------|
| | λ | 620 | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 500 | 485 | | 476 | 464 | 457 | 446 | 440 | 431 | 426 | 419 | $\mu\mu$ | | |
| | 0,46 | 1,18 | 0,10 | 0,18 | 0,64 | 0,85 | 0,27 | 0,24 | 0,22 | 0,02 | 0,48 | 0,92 | 1,29 | 1,68 | 2,58 | 4,40 | 5,62 | | | | | |
| Differenz d. Ordin. im App. II} | λ | 620 | 605 | 580 | 563 | 542 | 529 | 511 | 501 | 488 | 479 | 468 | 461 | 452 | 446 | 437 | 431 | 424 | 420 | 415 | 411 | $\mu\mu$ |
| | 1,80 | 1,26 | 0,65 | 1,14 | 0,51 | 0,21 | 0,28 | 0,27 | 0,34 | 0,74 | 1,07 | 1,31 | 1,60 | 2,02 | 2,80 | 3,74 | 5,24 | 5,80 | 6,18 | 6,20 | | |

Diese Differenzen und ihre mittlere Kurve sind in Kurvetafel 19a eingezeichnet. Die Extinctionskoeffizienten nach photographischen und Okular-Messungen zeigt Kurvetafel 19b. Die Okularmessungen ergaben bei je 3 Messungen in jedem Quadranten für

| | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| $\lambda = 600 \mu\mu$ | $\lambda = 555 \mu\mu$ | $\lambda = 520 \mu\mu$ |
| $a_1 = 67,7 \pm 0,1$ | $a_1 = 56,9 \pm 0,1$ | $a_1 = 55,1 \pm 0,1$ |
| $a_2 = 33,1 \pm 0,1$ | $a_2 = 45,9 \pm 0,1$ | $a_2 = 47,9 \pm 0,1$ |
| $\epsilon = 0,573 \pm 0,006$ | $\epsilon = 0,162 \pm 0,005$ | $\epsilon = 0,112 \pm 0,005$ |
| $\lambda = 506 \mu\mu$ | $\lambda = 493 \mu\mu$ | $\lambda = 480 \mu\mu$ |
| $a_1 = 53,9 \pm 0,1$ | $a_1 = 53,7 \pm 0,2$ | $a_1 = 54,9 \pm 0,2$ |
| $a_2 = 48,6 \pm 0,1$ | $a_2 = 48,7 \pm 0,2$ | $a_2 = 47,1 \pm 0,2$ |
| $\epsilon = 0,083 \pm 0,005$ | $\epsilon = 0,077 \pm 0,010$ | $\epsilon = 0,121 \pm 0,010$ |
| $\lambda = 470 \mu\mu$ | $\lambda = 435 \mu\mu$ | |
| $a_1 = 57,2 \pm 0,2$ | $a_1 = 73,1 \pm 0,2$ | $a_2 = 32,5 \pm 0,2$ |
| $\epsilon = 0,206 \pm 0,011$ | $\epsilon = 0,713 \pm 0,014$ | |

Kurventafel 19.
Nickelsulfatlösung 20%ig.

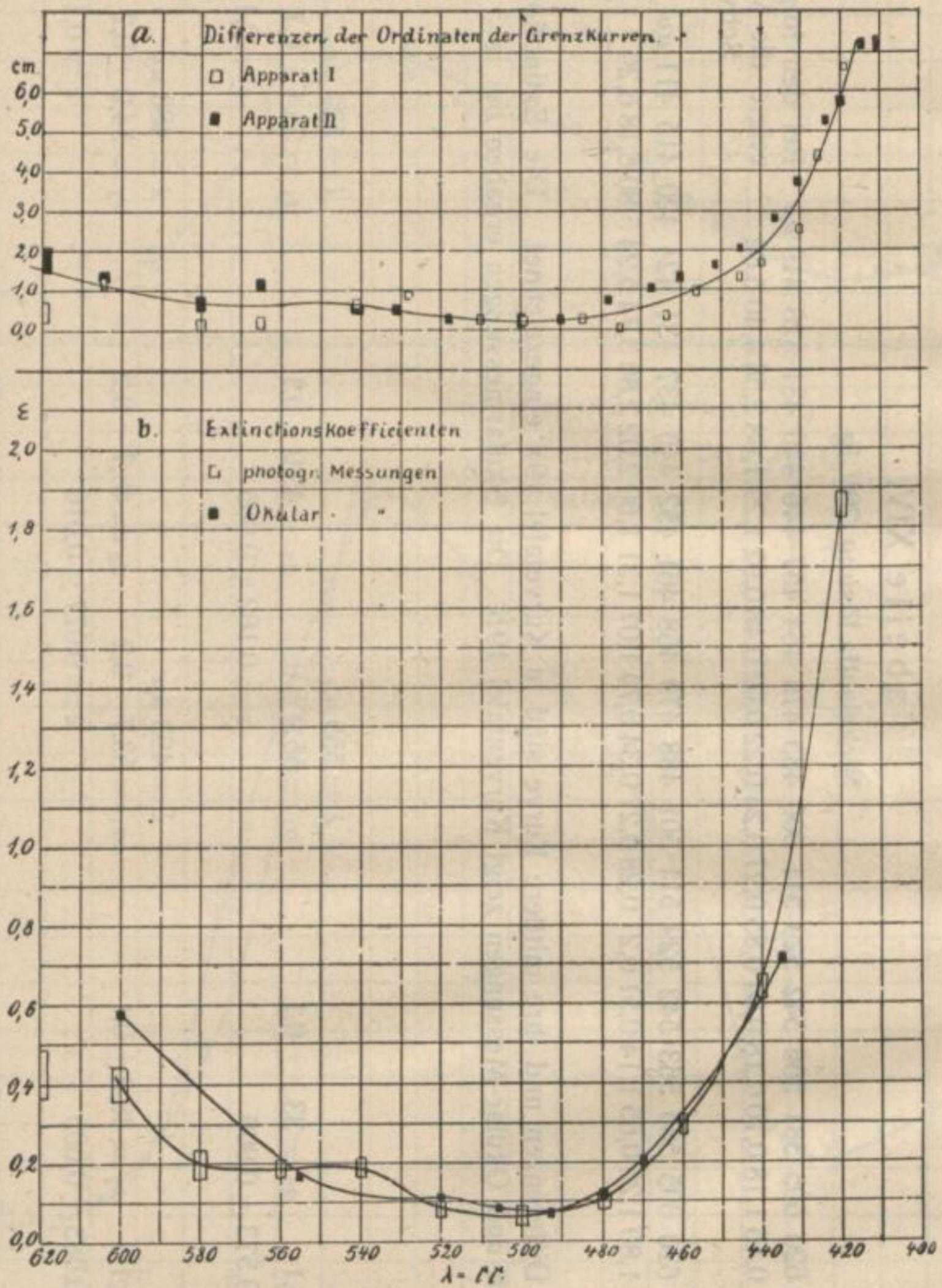


Tabelle XV.

Von einem Gemisch von 10%iger Cobaltsulfatlösung 3 Teile, 20%iger Nickelsulfatlösung 5 Teile und 20%iger Kupfersulfatlösung 5 Teile machte ich zwei Versuche, um die Reproduzierbarkeit eines Versuches mit meinem Apparat zu prüfen.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|
| Differenz d. Ordin. im App. I | λ | 620 | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 500 | 485 | 476 | 464 | 457 | 446 | 440 | 431 | 426 | 419 | 415 | 410 | 406 | 402 | 399 | $\mu\mu$ | |
| | Versuch 1 | 1,35 | 0,90 | 0,19 | 0,44 | 1,18 | 1,30 | 1,61 | 1,20 | 1,14 | 1,06 | 1,12 | 1,20 | 1,29 | 1,28 | 1,53 | 2,03 | 2,31 | 3,00 | 3,85 | 4,25 | 4,36 | — | — | |
| | " 2 | 2,02 | 2,60 | 0,97 | 1,23 | 1,16 | 1,73 | 1,78 | 1,37 | 1,56 | 1,62 | 1,54 | 1,55 | 1,52 | 1,56 | 1,65 | 1,92 | 2,58 | 3,10 | 4,34 | 4,01 | — | — | | |
| Differenz d. Ordin. im App. II | λ | 620 | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 501 | 488 | 479 | 468 | 461 | 452 | 446 | 437 | 431 | 424 | 420 | 415 | 411 | 406 | 402 | 398 | $\mu\mu$ |
| | Versuch 1 | 2,30 | 3,70 | 1,47 | 1,02 | 0,55 | 1,04 | 1,46 | 1,90 | 1,97 | 1,50 | 1,12 | 1,01 | 0,94 | 0,90 | 0,95 | 1,10 | 1,47 | 1,89 | 2,98 | 3,40 | 3,85 | 4,59 | 4,52 | 4,48 |
| | " 2 | 2,20 | 2,50 | 1,35 | 1,28 | 0,31 | 0,97 | 1,52 | 1,60 | 1,47 | 1,35 | 1,23 | 0,98 | 1,03 | 1,06 | 1,20 | 1,36 | 1,66 | 2,08 | 3,05 | 3,77 | 4,30 | 4,69 | 4,89 | 4,91 |

Diese Differenzen und ihre mittlere Kurve sind in Kurventafel 20a eingezeichnet.¹ Die Extinktionskoeffizienten nach photographischen und Okular-Messungen zeigt Kurventafel 20b. Die Okularmessungen ergaben bei je 3 Messungen in jedem Quadranten für

$$\lambda = 627 \mu\mu \quad \lambda = 614 \mu\mu \quad \lambda = 600 \mu\mu$$

$$a_1 = 77,6 \pm 0,1 \quad a_2 = 21,0 \pm 0,1 \quad a_1 = 73,0 \pm 0,1 \quad a_2 = 28,6 \pm 0,1 \quad a_1 = 68,9 \pm 0,1 \quad a_2 = 34,9 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 1,078 \pm 0,009 \quad \epsilon = 0,779 \pm 0,008 \quad \epsilon = 0,570 \pm 0,007$$

$$\lambda = 576 \mu\mu \quad \lambda = 555 \mu\mu$$

$$a_1 = 63,1 \pm 0,1 \quad a_2 = 42,1 \pm 0,1 \quad a_1 = 62,1 \pm 0,1 \quad a_2 = 43,2 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 0,340 \pm 0,006 \quad \epsilon = 0,286 \pm 0,006$$

$$\lambda = 537 \mu\mu \quad \lambda = 520 \mu\mu \quad \lambda = 506 \mu\mu$$

$$a_1 = 65,2 \pm 0,1 \quad a_2 = 40,0 \pm 0,1 \quad a_1 = 67,3 \pm 0,1 \quad a_2 = 36,9 \pm 0,1 \quad a_1 = 67,6 \pm 0,2 \quad a_2 = 36,2 \pm 0,2$$

$$\epsilon = 0,410 \pm 0,006 \quad \epsilon = 0,504 \pm 0,007 \quad \epsilon = 0,523 \pm 0,012$$

$$\lambda = 493 \mu\mu \quad \lambda = 435 \mu\mu$$

$$a_1 = 66,2 \pm 0,2 \quad a_2 = 37,5 \pm 0,2 \quad a_1 = 65,8 \pm 0,2 \quad a_2 = 41,2 \pm 0,2$$

$$\epsilon = 0,471 \pm 0,012 \quad \epsilon = 0,405 \pm 0,013$$

1. Vergl. auch Kurve 8.

Kurventafel 20.
CO-, Cu-, Ni-sulfatlösung.

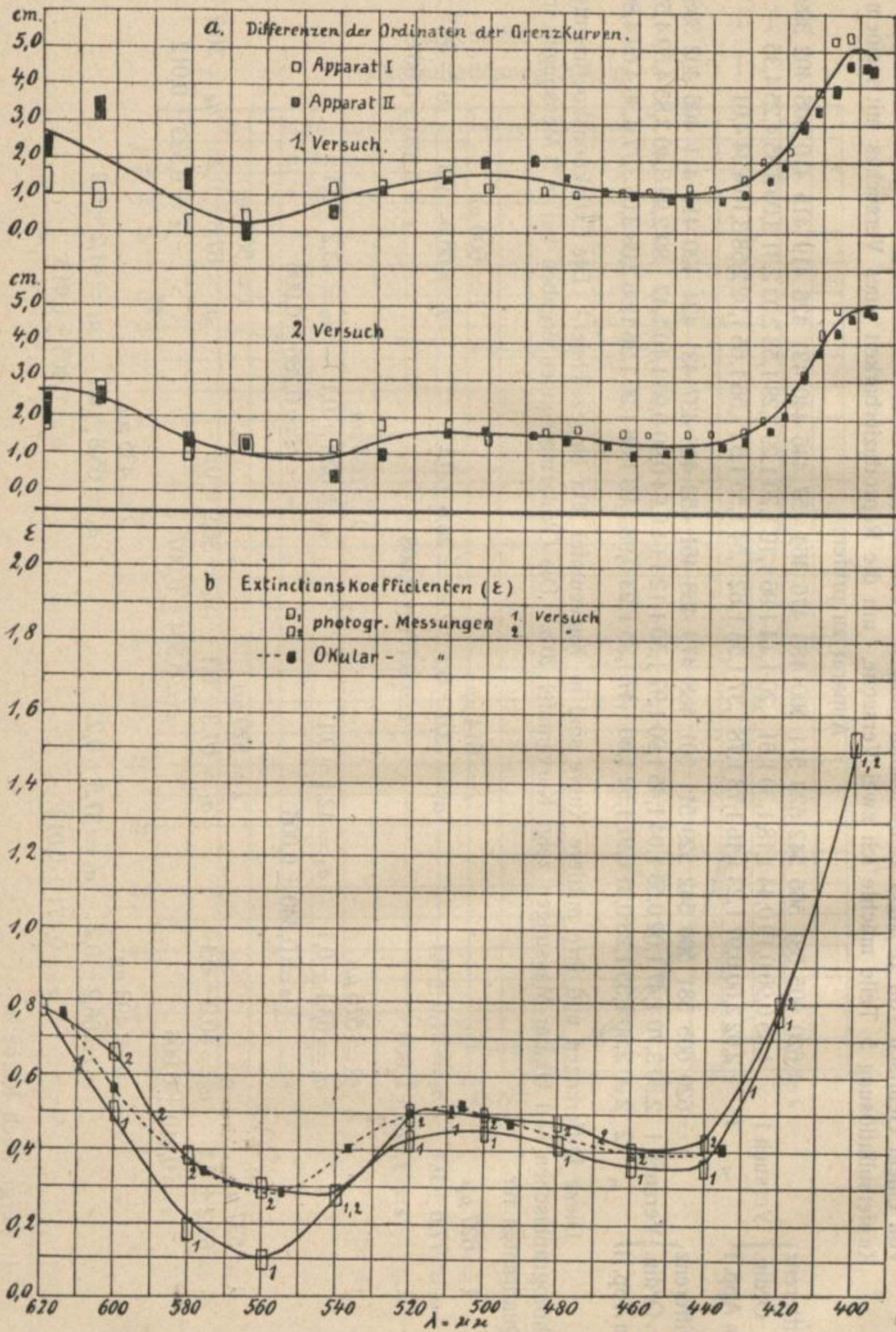


Tabelle XVI.

Kaliumbichromat $1/100$ n.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|---|
| Differenz d. Ordin. im App. I} | $\lambda = 620$ | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 500 | 485 | 476 | 464 | 475 | Bei den letzteren und folgenden Wellen- längen zeigten die Platten mit dem Spek- trogrammen der Lösung keine Schwärzung mehr |
| | 0,06 | 0,45 | 0,90 | 0,70 | 0,76 | 1,03 | 2,78 | 4,48 | 7,21 | 8,57 | — | — | |
| Differenz d. Ordin. im App. II} | $\lambda = 620$ | 605 | 581 | 566 | 542 | 529 | 511 | 501 | 488 | 479 | 468 | 468 | |
| | -0,90 | -0,40 | -0,39 | -0,27 | -0,46 | +0,28 | 2,38 | 3,69 | 6,18 | 7,98 | — | — | |

Diese Differenzen und ihre mittlere Kurve sind in Kurventafel 21a eingezeichnet. Die Extinktionskoeffizienten nach photographischen und Okularmessungen zeigt Kurventafel 21b. Die Okularmessungen ergaben bei je 3 Messungen in jedem Quadranten für

$$\lambda = 600 \mu\mu$$

$$a_1 = 54,8 \pm 0,1 \quad a_2 = 54,7 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 0,006 \pm 0,004$$

$$\lambda = 555 \mu\mu$$

$$a_1 = 55,1 \pm 0,1 \quad a_2 = 54,5 \pm 0,1$$

$$\epsilon = 0,010 \pm 0,005$$

$$\lambda = 521 \mu\mu$$

$$a_1 = 62,0 \pm 0,1 \quad a_2 = 46,8 \pm 0,1$$

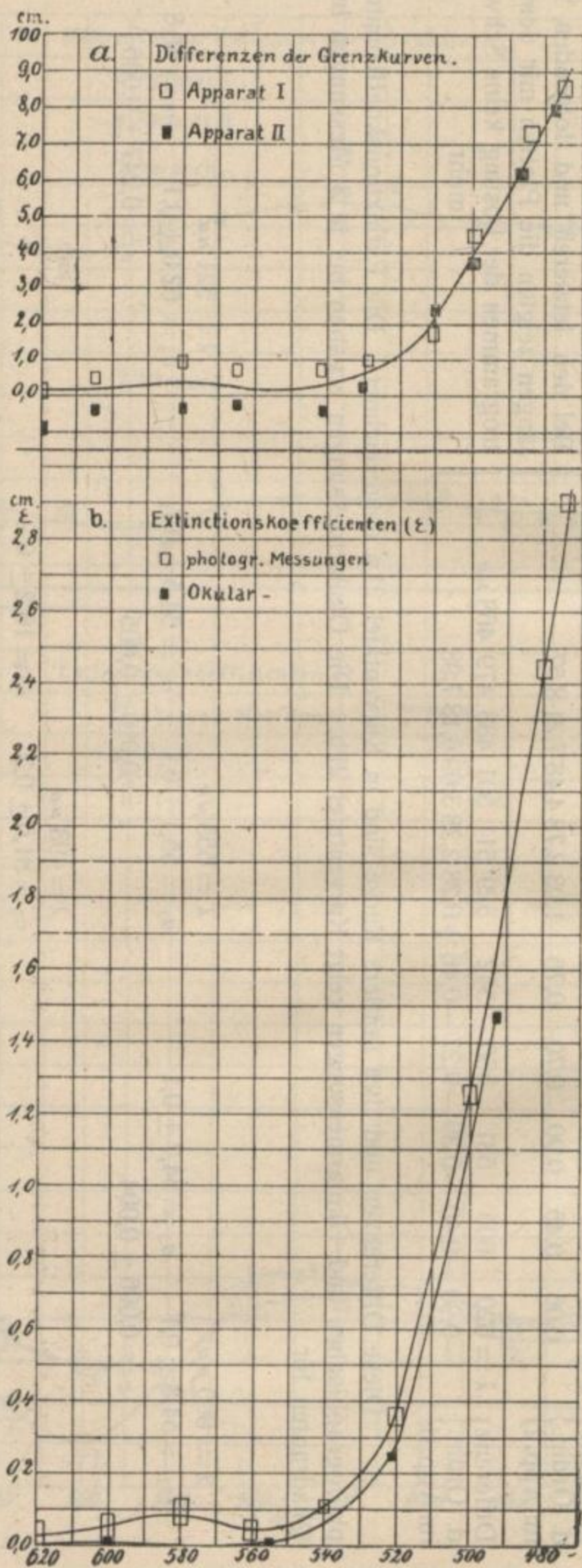
$$\epsilon = 0,247 \pm 0,006$$

$$\lambda = 493 \mu\mu$$

$$a_1 = 81,6 \pm 0,2 \quad a_2 = 16,2 \pm 0,2$$

$$\epsilon = 1,367 \pm 0,026$$

Kurventafel 21.
Kaliumbichromat $\frac{1}{100}$ n.



Vorschläge zum weiteren Ausbau der Methode.

Um zu genaueren Resultaten zu kommen, ist in erster Linie eine konstante Lichtquelle nötig. Präzisionsarbeiten in der Gleitvorrichtung und genaue Bestimmung der Lage der einzelnen Wellenlängen vorausgesetzt, würde die Ablesung der Schwellenwerte resp. gleicher Schwärzungen am besten in einem Mikrophotometer vorgenommen, in dem der Vergleichskeil auf eine bestimmte Dichte eingestellt wird, die Platte parallel zu den einzelnen Spektrallinien verschoben und in den einzelnen Längsstreifen die Lage der gleichen Dichte der Platte mit dem Vergleichskeil notiert würde. Durch Einstellen auf verschiedene Dichten des Vergleichskeils können kleine Schwankungen der Lichtquelle eliminiert werden.

Im Martensschen Polarisationsphotometer konnte ich meine Spektrogramme nicht auf diese Weise durchmessen, da auf meinen Spektrogrammen an benachbarten Stellen weder vertikal noch horizontal gleiche Schwärzungen herrschten und deshalb durch den relativ großen Lichtspalt im Apparat die gemessene Schwärzung nicht der der Mitte zu entsprechen brauchte.

Beim Ausmessen mit einem Mikrophotometer wären nicht zu große Keilkonstanten zu empfehlen, damit der gemessene Wert dem der Mitte des Spaltes gut entspricht. Bei einer kleinen Aenderung der Beleuchtung kann die charakteristische Kurve in dem im Mikrophotometer gemessenen kleinen Teil als geradlinig angenommen werden, von den maximalen Schwärzungen muß man natürlich absehen.

Bei Messungen im Ultraviolett müßte der Keil auf eine Quarzplatte gegossen sein oder auf ein anderes Material, das die Strahlen kleiner Wellenlänge gut hindurchläßt. Eventuell wäre zu versuchen, ob man mit einem abziehbaren Keil auskommen kann.

Die Kurve der Genauigkeit beim Bestimmung der Schwellenwerte zeigt, daß die Fehler in steil abfallenden Teilen der Grenzkurve größer sind als in mehr horizontalen Teilen. Mees hat die Maxima durch Vorschaltern von Filtern zu vermeiden gesucht. Bei meiner Methode wären solche Filter ebenfalls anwendbar, beim Uebergang ins Ultraviolett könnten jedoch bei der Wahl geeigneter Filter leicht Schwierigkeiten entstehen.

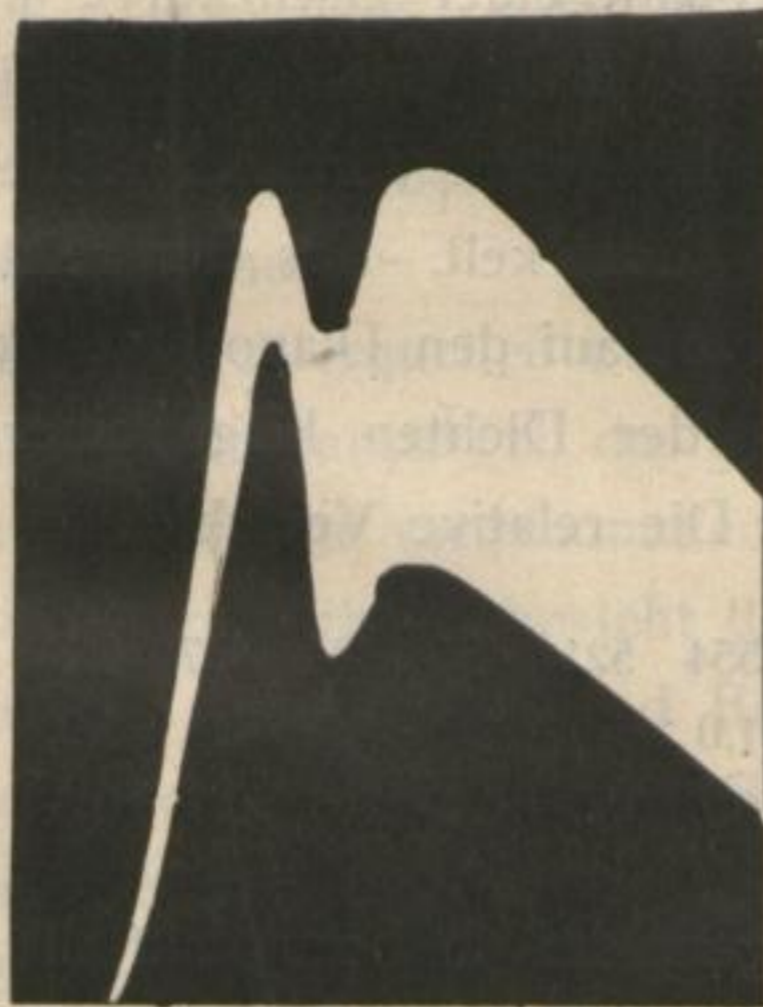
Da immer nur gleiche Stellen im Spektrum zur Bildung der Differenz herangezogen und die einzige Bedingung dabei die ist, daß die zu vergleichenden Stellen gleich lange belichtet wurden, so kann der Bildspalt eine durchaus verschiedene Höhe in den verschiedenen Teilen des Spektrums haben. Diesen Weg möchte ich vorschlagen, um ohne Filter einen möglichst geradlinigen Verlauf der Grenzkurve parallel zur Keilkante zu erlangen. Man muß natürlich dann Sorge tragen, daß keine Verschiebung des Spektrums zum Spalt in zwei zusammenhängenden Versuchen eintritt. Eine mit der Wellenlänge variable Höhe des Bildspaltes entspricht dann einer mit der Wellenlänge variablen Belichtungsdauer der einzelnen Plattenpunkte, und zwar müßten den Stellen größter Schwärzung im bisherigen Spektrogramm enge Bildspalthöhen entsprechen, breitere den Stellen geringerer Schwärzung. Wenn man von dem annähernd gültigen Bunsen-Roscoeschen Gesetz $S = \log. (i. t.)$

ausgeht und das Verhältnis der Spektralintensitäten in Abhängigkeit von den Keilordinaten berücksichtigt, so kann man leicht die Höhe des Bildspaltes an den einzelnen Stellen bestimmen.

Die von mir ausgearbeitete Methode kann auch dazu benutzt werden, zwar nicht quantitativ den Gang der Kurve bei Absorptionen aufzuzeichnen, aber doch qualitativ eine Einsicht zu gewähren.

Fertigt man von dem ohne absorbierendes Medium erhaltenen Spektrogramm ein Diapositiv an und legt das mit absorbierendem Medium erhaltene Spektrogramm auf das Diapositiv, so werden die geschwärzten Stellen einen mehr oder weniger breiten hellen Streifen frei lassen (siehe Figur 12). Läßt man das Plattenpaar vor einer anderen

Figur 12.



Platte vorbeigleiten, so wird diese je nach der Höhe der glasklaren Stellen eine mehr oder weniger starke Schwärzung

zeigen. Legt man auf diese Platte nach der Entwicklung usw. einen Keil, so wird man daran leicht den Gang der Absorptionskurve erkennen können, besonders wenn man die Platte zusammen mit dem Keil auf ein lichtempfindliches Material kopiert. Man kann auf diese Weise vollkommen automatisch eine Absorptionskurve erhalten, die die Lage der Maxima und Minima vollkommen richtig, ihre Intensität, wenigstens der Reihenfolge nach, richtig wiedergibt.

Anhang.

Die vorliegende Versuchsanordnung gestattet auch, die Faktoren im erweiterten Schwarzschild'schen Gesetz $S = \log(k \cdot i^m \cdot t^n)$ zu prüfen. Die Änderung des Faktors m habe ich auf folgende einfache Weise zu bestimmen versucht: Ein Negativ mit einer Grenzkurve wurde auf Diapositivplatten kopiert, durch gleich lange Belichtung in drei verschiedenen Abständen von der Lichtquelle und die Diapositive zusammen entwickelt. Aus der relativen Verschiebung der Grenzkurven auf den Diapositiven kann rückwärts auf die Verteilung der Dichten längs einer Ordinate geschlossen werden. Die relative Verschiebung betrug bei

| | $\lambda = 599$ | 554 | 521 | 495 | 474 | 457 | 443 | 432 | 421 | 413 $\mu\mu$ |
|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| Differenz $1/3$ | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 1,1 cm |
| „ $2/3$ | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 „ |

Daraus würde folgen, daß in bezug auf die Keillänge alle Kurven parallel gehen. Da eine bestimmte Stelle des Keils aber eine verschiedene Dichte für verschiedene Wellenlängen hat, und m umgekehrt proportional der Keilkonstanten ist, so

würde aus den obigen Ergebnissen folgen, daß die charakteristische Kurve für die Sigurdplatte nach Wellenlängen größerer Brechung weniger steil ansteigt. Dasselbe Ergebnis haben auch Schell und Stark für andere Platten gefunden. Es scheint für die meisten Plattensorten zu bestehen, da ich dasselbe Resultat auch bei Badeplatten gefunden habe, die ich mit verschiedenen Farbstoffen sensibilisiert hatte. Indessen möchte ich auf Einzelheiten nicht näher eingehen, da die Unterschiede innerhalb der Fehler der letzten Methode liegen.

Den Einfluß von n bei t^n habe ich nicht geprüft. In einem technisch vollkommeneren Keilspektographen könnte man auch diesen Faktor leicht bestimmen.

Zusammenfassung.

Es wurde eine neue Methode der quantitativen Spektralphotographie gegeben, die mit einfachen Hilfsmitteln Resultate zur ersten Orientierung gibt, welche aber leicht verfeinert werden kann.

Es wurden die Fehlerquellen der Methode systematisch untersucht und im sichtbaren Teil des Spektrums Vergleiche mit optischen Messungen vorgenommen.

Der Vorzug der Methode besteht darin, daß zwei Versuche und einfache Auswertung und Berechnung genügen, die Absorption eines Farbstoffes, Empfindlichkeitsverhältnis zweier Platten, Vergleich zweier Lichtquellen usw., für ein großes Gebiet des Spektrums zu bestimmen.

— — —

Lebenslauf.

Ich, H a n s M a r t i n E w e s t, evangelischer Konfession, wurde am 15. November 1886 zu Graupenmühle bei Königsberg N./M. als Sohn des damaligen Mühlenbesitzers Martin Ewest geboren.

Von Ostern 1896 bis Juli 1902 besuchte ich das Gymnasium zu Königsberg N./M., von August 1902 bis Oktober 1903 die Obersekunda des Leibniz-Gymnasiums zu Berlin.

Nachdem ich $\frac{1}{2}$ Jahr als Kaufmann und 4 Jahre als Apotheker praktisch tätig gewesen war, wurde ich Ostern 1908 auf 4 Semester an der hiesigen Universität immatrikuliert. Nach dem Bestehen der Reifeprüfung als Externeer an den Vereinigten Gymnasien zu Brandenburg a. H. wurde ich Oktober 1908 auf's neue immatrikuliert. Von Ostern 1911 bis Ostern 1912 studierte ich an der Technischen Hochschule in Dresden und ließ mich April 1912 wieder an der hiesigen Universität immatrikulieren.

Belegt habe ich in Berlin die Vorlesungen und Uebungen der Herren Professoren und Dozenten: H. A. Schwarz, Frobenius, Schottky, Knoblauch, Hettner, Helmholtz, Rubens, Planck, Wehnelt, Nernst, O. Diels, Weinstein, Henning, Houben, Riehl, Lasson, Kny, Ascherson †, P. Magnus, v. Wilamowitz-Moellendorff, Erich Schmidt †, Preuner, M. Schmidt, Stolze †, Delmer, Grunmach (Techn. Hochschule), Stavenhagen und Mehner (Bergakademie). In Dresden habe ich gehört die Herren Luther, Krause, Helm, Ludwig, Kalkowsky, Elsenhans, Walzel.

Allen diesen Herren gebührt mein Dank. Im besonderen aber sei mir gestattet, dem Direktor des Wissenschaftlich-photographischen Institutes der Technischen Hochschule zu Dresden, wo diese Arbeit angefertigt wurde, Herrn Prof. Dr. Luther auch an dieser Stelle nochmals meinen herzlichsten Dank auszusprechen für das Wohlwollen und Interesse, das er jederzeit mir und meiner Arbeit entgegengebracht hat.

Die Promotionsprüfung bestand ich am 8. Mai 1913.

Lebenslauf

Ich Hans Martin Ewert, evangelischer Konfession, wurde am
12. November 1886 zu Gumpenheim bei Königsee N.M. als Sohn
des damaligen Mühlbesizers Martin Ewert geboren.
Von Ostern 1896 bis Juli 1902 besuchte ich das Gymnasium zu
Königsee N.M. von August 1902 bis Oktober 1903 die Oberreife
des Leibniz-Gymnasiums zu Berlin.
Nachdem ich 1. Jahr als Kaufmann und 4 Jahre als Apotheker
praktisch tätig gewesen war, wurde ich Ostern 1908 auf 4 Semester an
der hiesigen Universität immatrikuliert. Nach dem Bestehen der Reife-
prüfung als Exzernent an den Vorlesungen Gymnasien zu Brandenburg a. H.
wurde ich Oktober 1909 aufs neue immatrikuliert. Von Ostern 1911
bis Ostern 1912 studierte ich an der Technischen Hochschule in Dresden
und ließ mich April 1913 wieder an der hiesigen Universität immatri-
kulieren.
Bisher habe ich in Berlin die Vorlesungen und Übungen der
Herren Professoren und Dozenten H. A. Schwarz, Frobenius, Schottky,
Kochanek, Hettner, Heintz, Kuback, Plank, Wernke, Nernst, O. Dibel,
Weinreich, Henning, Horber, Hohl, Larson, Kay, Aechter, P. Mayer,
v. Willmann, Moellendorf, Eichen Schmidt, Frenkel, M. Schmidt,
Stoix, J. Ullrich, Grunmach (Techn. Hochschule), Stavenhagen und
Meyer (Bergakademie). In Dresden habe ich gehört die Herren
Ludwig Krüger, Helm, Ludwig Kalkowsky, Eismann, Waisel.
Allen diesen Herren gilt mein Dank. Im besonderen aber sei
mir gestattet, dem Direktor des Wissenschaftlich-photographischen In-
stitutes der Technischen Hochschule zu Dresden, wo diese Arbeit an-
gestellt wurde, Herrn Prof. Dr. Lührer auch an dieser Stelle nochmals
meinen herzlichsten Dank auszusprechen für das Wohlwollen und
Interesse, das er jederzeit mir und meiner Arbeit entgegengebracht hat.
Die Promotionsprüfung bestand ich am 8. Mai 1913.

Arch. plast. 2597 ⁵

X

Oso. Köhler
Buchbinderei
Dresden-N. 71.
Gr. Meißenerstr.



SLUB DRESDEN

3 4757963

