

Man beachte, daß die Scheinversetzung natürlich keine Polarisationsabhängigkeit zeigt. Es soll hier jedoch nicht unterstellt werden, daß der Befund von G. u. H., nach dem keine Polarisationsabhängigkeit bestehen soll, auf dieser Fehlerquelle beruht; die hohe Subtilität des Effektes kann bei seiner ersten Entdeckung solche Feinheiten auch aus vielen anderen Gründen leicht übersehen lassen.

Messen wir visuell oder in den Aufnahmen Abb. 9a und 9b das Verhältnis zwischen der Versetzung der rechten Kanten bei verschiedener Polarisation — der Leser kann das wegen der insgesamt 800-fachen Vergrößerung in den Aufnahmen leicht mit einem gewöhnlichen Maßstab kontrollieren —, so erhalten wir ein Polarisationsverhältnis

$$D_p/D_s = 2 \pm 0,5.$$

Die linken Kanten sind durch Beschneidung am Grenzwinkel gefährdet, mindestens bei 9b und 9c.

Die Maximummethode liefert also etwa die gleiche Polarisationsabhängigkeit wie die Minimummethode. Eine quantitative Untersuchung der Winkelabhängigkeit schien aus den genannten Gründen nicht mehr lohnend.

### Zusammenfassung

1. Werden in einer Welle Ebenen als Nullebenen der Intensität gekennzeichnet, so läßt sich die Minimumversetzung, d. h. die seitliche Versetzung jener Ebenen, bei Reflexion theoretisch streng berechnen und experimentell genauer als bei einem Energiestrahle messen.

2. Eine Minimumversetzung tritt nicht nur bei Totalreflexion auf, sondern auch bei Reflexion an lei-

tenden Medien; stets ist sie polarisationsabhängig. Dagegen findet bei gewöhnlicher Reflexion an der Grenze nicht absorbierender Medien keine Versetzung statt.

3. In allen Fällen, außer bei Totalreflexion, tritt eine Verschmierung der Minima ein.

4. Experiment und Theorie geben übereinstimmend für die Totalreflexion an einer Glas—Luft-Grenze eine Abhängigkeit der Strahlversetzung vom Einfallswinkel nach Art der Abb. 4. Eine unendlich große Strahlversetzung am Grenzwinkel, wie eine vereinfachte Theorie sie vorhergesagt hatte, ist wegen der notwendig endlichen Apertur eines Strahles nicht reell.

5. Die Versetzung der Minimebenen ergibt sich aus dem Experiment und aus der Theorie übereinstimmend für parallele Polarisation ( $\xi ||$  Einfallsebene) bis zu 2,3-mal so groß wie für senkrechte Polarisation.

6. Die Strahlversetzung kann bei Ausblendung des Strahles mit zwei Spalten wegen der großen Subtilität des Effektes und wegen der prinzipiell auf diese Weise nicht beliebig herabzusetzenden Strahlbreite nicht genau gemessen werden; doch konnte auch hier noch eine Polarisationsabhängigkeit von etwa derselben Art und Größe wie bei der Minimumstrahlkennzeichnung experimentell nachgewiesen werden.

Hrn. Prof. Dr. Lichte-Holtgreven dankt der Verf. für die Unterstützung seiner Arbeit.

## Über eine Beobachtungskammer für ultramikroskopische Untersuchungen an Aerosolen

Von OTTO-ERICH SCHWECKENDIEK \*

(Z. Naturforschg. 5a, 153—156 [1950]; eingegangen am 26. Oktober 1949)

Es wird eine Kammer für ultramikroskopische Untersuchungen an Aerosolen beschrieben. Die Radien der Schwebestoffteilchen werden aus den photographierten Fallstrecken der Teilchen im Erdschwerefeld ermittelt. Einige auf diese Weise gewonnenen Teilchengrößen-Verteilungskurven werden wiedergegeben.

Die Kenntnis der Teilchengröße und ihrer Verteilung in einem Aerosol zu verschiedenen Zeiten nach dessen Herstellung ist für die Beurteilung des Aerosols (Alterung, Stabilität, Schwebefähigkeit) von ausschlaggebender Bedeutung. Für die Aufstellung einer Verteilungskurve für die Teilchengröße sind mehrere hundert Einzelbestimmungen notwendig.

Der Radius eines kugelförmigen Aerosolteilchens läßt sich durch die Bestimmung seiner Fallgeschwindigkeit nach der Stokesschen Formel<sup>1</sup> ermitteln. Es

gilt für ein kugelförmiges Teilchen mit dem Radius  $r$  und der Dichte  $\rho$ , welches mit der konstanten Geschwindigkeit  $v$  in einem Medium mit der Dichte  $\rho'$  und der inneren Reibung  $\eta$  fällt, das Stokesche Gesetz: Gewicht — Auftrieb = Reibungskraft  $\frac{1}{3} r^3 \pi g (\rho - \rho')$  =  $6 \pi r \eta v$ , woraus sich der Radius  $r = 3 \sqrt{\frac{\eta v}{2 g (\rho - \rho' )}}$  ergibt.

\* Eystrup a. d. Weser, Bahnhofstr. 161.

<sup>1</sup> G. Stokes, Trans. Cambridge Philos. Soc. 9, 5—8 [1856].



Für Teilchen mit einem Radius unterhalb von  $8 \cdot 10^{-3}$  cm liefert die Stokessche Formel keine befriedigenden Werte. Cunningham<sup>2</sup> erweiterte den Gültigkeitsbereich durch Hinzufügung eines Korrekturgliedes, so daß man bis zu Radien von  $1 \cdot 10^{-3}$  cm diese Formel verwenden kann.

Die Messung der Fallgeschwindigkeit  $v$  von Aerosolteilchen läßt sich mit dem Ultramikroskop durchführen. Die in der Literatur hierfür beschriebenen Küvetten weisen aber für diese Bestimmung recht große Mängel auf, so daß eine geeignete Beobachtungskammer entwickelt wurde.

Jander und Winkel<sup>3</sup> beschreiben Kammern, die aus einem geschwärtzten Rohr aus Metall oder Kautschuk von geringem Durchmesser bestehen und mit kleinen Beobachtungsfenstern versehen sind. Whytlaw-Grey<sup>4</sup> begrenzt den Meßraum mit planparallelen Glasplatten, die einen Abstand von 0,1 mm voneinander haben. Es sind auch schon Beobachtungsküvetten bis zu einem Volumen  $5 \times 5 \times 5$  mm verwandt worden. Jedoch sind bei diesen Beobachtungsräumen wegen der kleinen Abmessungen die Zu- und Ableitungsrohre bereits so fein, daß in ihnen beim Einsaugen des zu untersuchenden Aerosols ein nicht geringer Prozentsatz der Aerosolteilchen an den Rohrwandungen niedergeschlagen wird und der Untersuchung verlorenggeht. — Weiterhin ist die Temperaturkonstanz dieser kleinen Küvetten nicht ausreichend, um laufend Bestimmungen der Fallgeschwindigkeit durchzuführen, obwohl die Wärmestrahlung der benutzten intensiven Lichtquellen weitgehendst durch geeignete Lichtfilter von dem Beobachtungsraum ferngehalten werden. Es bilden sich undefinierbare Strömungen des Trägergases in der Küvette aus, welche die eigentliche Fallgeschwindigkeit der Teilchen stören können.

Es wurde deshalb eine Küvette entwickelt, die diese Mängel nicht mehr zeigt und ein gleichmäßiges und flottes Arbeiten ermöglicht.

### Beschreibung der Küvette

Wie aus der schematischen Skizze (Abb. 1) zu sehen ist, besteht die Küvette aus einem dreiteiligen Kupferblock 1, 2, 3. Jede Kupferplatte hat die Größe von  $15 \times 15 \times 5$  cm. In der Kupferplatte 2 ist der eigentliche Beobachtungsraum 4 ausgespart, er hat ein Volumen von  $5 \times 5 \times 5$  cm = 125 cm<sup>3</sup>. Dieser

Raum wird durch die Platten 1 und 3 nach unten und oben hin begrenzt. Von außen führen an diesen Raum 3 konisch verlaufende Öffnungen 5, 6 und 7 heran. Ihre Größe richtet sich nach den vorhandenen Objektiven.

Die Öffnungen 5 und 6 sind gegen den Beobachtungsraum und nach außen mit Glasscheibchen abgedichtet, der Raum zwischen denselben ist mit verdünnter CuSO<sub>4</sub>-Lösung gefüllt und dient als Wärmefilter; eine feine, nicht eingezeichnete Bohrung er-

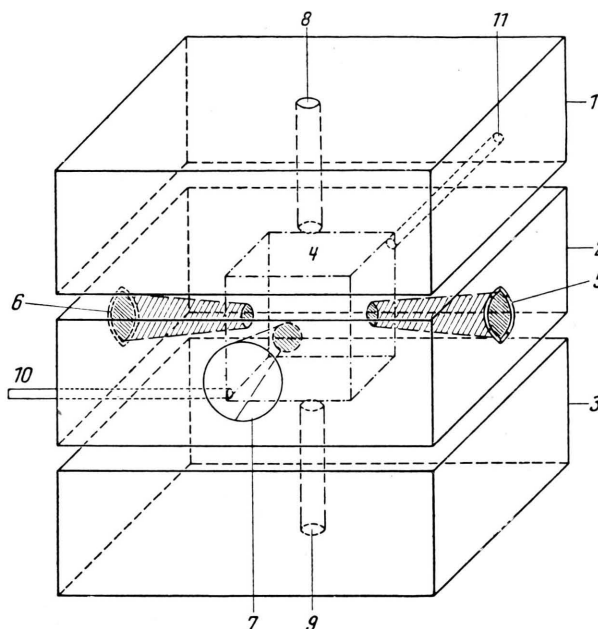


Abb. 1. Die Beobachtungskammer in Schrägprojektion.

möglicht den Ausgleich von eventuell auftretenden Volumänderungen innerhalb der Flüssigkeitsfilter.

Durch die Öffnung 5 wird der beleuchtete Spalt des Ultramikroskops in der Mitte des Beobachtungsraumes durch ein geeignetes Objektiv abgebildet. Das Licht tritt aus der Öffnung 6 wieder aus, so daß lediglich die an den Teilchen gestreute Lichtenergie im Beobachtungsraum verbleibt. Nach jeder Aufnahme wird eine neue Probe des Aerosols durch die diagonal angeordneten Bohrungen 10 und 11 von 4—5 mm Ø, mit entsprechendem Rohransatz, ein- bzw. abgesaugt. Kurz nach dem Einsaugen ist das Aerosol bereits in vollkommener Ruhe. Eine störende Aerosolbewegung wurde nie beobachtet. Damit auch über lange Meßreihen hinweg von außen her durch die Strahlung des Lampengehäuses und der Vor-

<sup>2</sup> E. Cunningham, Proc. Roy. Soc. [London], Ser. A 83, 357 [1910].

<sup>3</sup> A. Winkler u. G. Jander, Schwebstoffe in Gasen, Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart 1934.

<sup>4</sup> B. Whytlaw-Gray u. H. S. Patterson, Smoke, a study of aerial disperse system, Eduard Arnold & Co., London 1932.

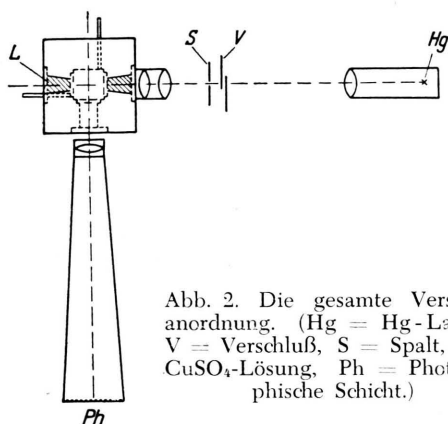


Abb. 2. Die gesamte Versuchsanordnung. (Hg = Hg-Lampe, V = Verschluss, S = Spalt, L = CuSO<sub>4</sub>-Lösung, Ph = Photographische Schicht.)

halb des Blockes kann in dem Beobachtungsraum wegen des kleinen Reibungswiderstandes des Trägergases zu störenden Strömungen Anlaß geben.

Die Öffnung 7 ist lediglich durch ein dünnes Deckgläschen abgeschlossen, welches leicht auf die angefettete Kammerwand gedrückt wird. Durch diese Öffnung wird das Aerosol beobachtet und photographisch aufgenommen.

Durch die Bohrungen 8 und 9 der Cu-Platten 1 und 3 können isoliert Elektroden beliebiger Form eingeführt werden. Sie bedingen zugleich eine weitere Bremsung des Aerosols unmittelbar nach dem Einsaugen, so daß praktisch das Aerosol sofort nach Schließung der Absaugleitung zur Ruhe kommt. —

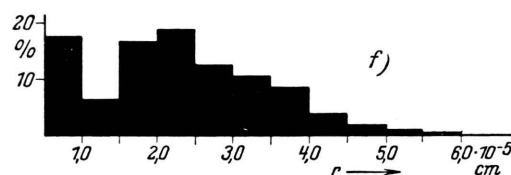
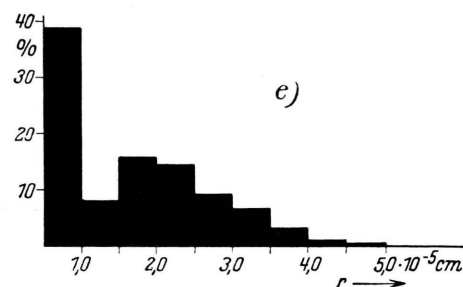
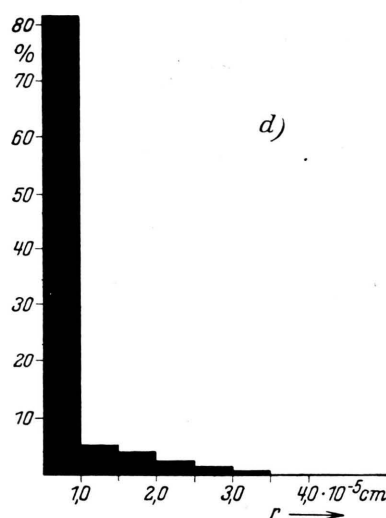
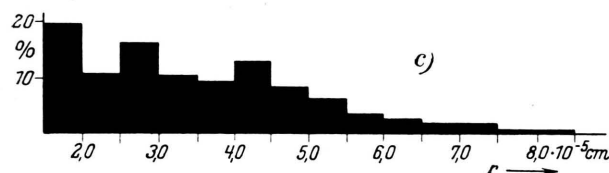
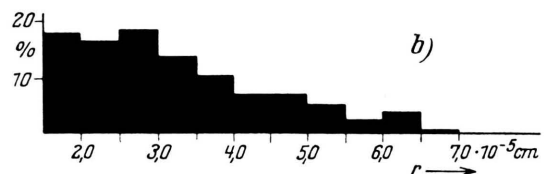
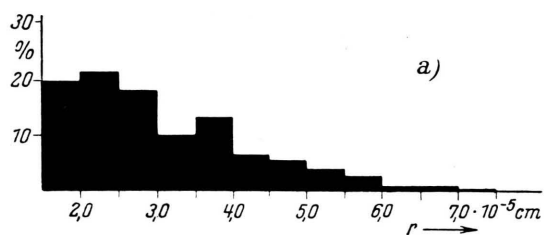


Abb. 4. Verteilungskurven der Teilchengrößen (a—c) von Zinkchlorid- und (d—f) von Chlorsulfonsäurenebeln zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Herstellung. (Abszisse: Radius  $r$  der Teilchen, Ordinate: Prozentzahl der Teilchen.) Zinkchlorid. a: 1. Zählung, Alter des Nebels 10. bis 30. Min.; b: 2. Zählung, Alter 80. bis 100. Min.; c: 3. Zählung, Alter des Nebels 150. bis 170. Min. Chlorsulfonsäure. d: 1. Zählung, Alter des Nebels 15. bis 35. Min.; e: 2. Zählung, Alter 100. bis 120. Min.; f: 3. Zählung, Alter 160. bis 180. Min.

schaltwiderstände keine Temperaturdifferenz in dem Cu-Block hervorgerufen wird, ist dieser durch eine dicke, lockere Watteschicht gut isoliert, denn eine Temperaturdifferenz von weniger als  $1/1000^\circ$  inner-

Die elektrische Feldstärke läßt sich durch Verschieben der Platten variieren.

In Abb. 2 ist die Gesamtanordnung wiedergegeben. Als Lichtquelle wurde eine Osram-Hg-Höchstdruck-

lampe nach Rompe und Thouret<sup>5</sup> mit einer Flächenhelligkeit von 200.000 Stilb verwandt. Abb. 3\* gibt eine Aufnahme von Aerosolteilchen wieder, wie sie mit diesem Gerät erhalten wurde. Die Gesamtvergrößerung der Aufnahmen ist etwa 125-fach. Als Aufnahmematerial diente der Agfa-Ultra-Isopan-Film mit einer Empfindlichkeit von 23/10 Din°, Kleinbildformat. Die Belichtungszeiten richteten sich nach den jeweiligen Aerosolen. Bei feinsten Nebeln, z. B. Chlorsulfonsäure-Nebel, kurz nach der Herstellung, ist eine Belichtungszeit von 10–15 sec notwendig. Die Teilchen zeigen in dieser Zeit fast keine Fallbewegung.

<sup>5</sup> R. Rompe u. W. Thouret, Z. techn. Physik 17, 377 [1936].

\* s. Tafel S. 144 b.

In Abb. 4 sind einige Verteilungskurven der Teilchengrößen wiedergegeben, welche an ein und demselben Nebel zu verschiedenen Zeiten erhalten wurden. Sie zeigen deutlich die zeitliche Verschiebung der Teilchenradien zu größeren Werten mit zunehmendem Alter des Aerosols, besonders schön beim Chlorsulfonsäure-Nebel, dagegen zeigt sich der Zinkchlorid-Nebel als recht gleichmäßig auch über längere Zeiten hinweg.

Die Ermittlung der Radien erfolgt durch Projektion des Negatives bei bekannter Gesamtvergrößerung auf Millimeterpapier. Da die Fallzeit bekannt ist, kann auf die Fallzeit 1 sec umgerechnet werden; die Radien sind aus einmal ausgerechneten Tabellen sofort zu entnehmen.

## Über ein Modell der für Ausleuchtung sensibilisierten Phosphore

VON PETER BRAUER

Aus der Osram G.m.b.H., Zweigstelle Mosbach (Baden)

(Z. Naturforschg. 5 a, 156–158 [1950]; eingegangen am 19. Dezember 1949)

Zum Verständnis der zwei Aktivatoren enthaltenden, für Ausleuchtung sensibilisierten Phosphore wird ein Modell bzw. Termschema vorgeschlagen und mit der Erfahrung verglichen. Wesentlich ist dabei, daß der eine Aktivator die Bildung besetzter, der andere die Bildung unbesetzter Aktivatorterme veranlaßt.

Die vom Verf.<sup>1</sup> beschriebenen, von R. Tomaschek, dem Verf. und O. Deutschbein<sup>3,4,5,6</sup> im Jahre 1941 aufgefundenen Erdalkalisulfidphosphore mit zwei Aktivatoren<sup>7</sup> haben außer ihrer stark erhöhten Empfindlichkeit für ausleuchtendes, meist ultrarotes, Licht noch eine Anzahl früher unbekannter, nicht minder bemerkenswerter Eigenschaften. Diese brachten es mit sich, daß die Phosphore selbst qualitativ nicht mit Hilfe der bekannten Modelle verstanden werden konnten. Das war um so merkwürdiger, als bei Weglassung eines der beiden Aktivatoren sich ein Phosphor mit normalem Verhalten ergab<sup>1</sup>. Da es sich bei den Mischphosphoren um eine Art Zweibandephosphore handelt, wurde versucht<sup>2</sup>, die bei der Gruppe der Zink-Cadmiumsulfide so erfolgreiche Theorie der Zweibandephosphore von M. Schön<sup>8</sup>, erweitert durch einen Gedanken von

W. Schottky<sup>9</sup>, anzuwenden. Es gelang so zwar, die Verschiedenheit der Emissionsspektren beim Ausheizen und Ausleuchten zu verstehen, an anderen Stellen jedoch versagte sie. Insbesondere gelang es nicht, die aus dem Modell folgende Kinetik mit der Erfahrung in Übereinstimmung zu bringen.

Verf. möchte im folgenden ein Modell vorschlagen, welches, soweit bis jetzt erkennbar, die bestehenden Schwierigkeiten beseitigt. Einen für das Modell wesentlichen Gedanken, nämlich besetzte mit unbesetzten Aktivatortermen zu kombinieren, um so

<sup>6</sup> P. Brauer, ebenda 1695/4.

<sup>7</sup> Die in Frage kommende Gruppe von Phosphoren wurde — offenbar unabhängig von uns — in der Firma Siemens u. Halske aufgefunden. Sie wurde außerdem später beschrieben von F. Urbach, D. Pearlman u. W. Hemmendinger, J. opt. Soc. America 36, 374 [1946]; R. T. Ellickson, ebenda 36, 264 [1946]; W. W. Antonow-Romanowski, Ber. Akad. Wiss. UdSSR 54, 791 [1946] (nach Chem. Zbl. 1947, 971) u. a.

<sup>8</sup> M. Schön, Z. Physik 119, 463 [1939], Forsch. u. Fortschr. 19, Nr. 23/24 [1943], Ann. Physik (6) 3, 333 [1948].

<sup>9</sup> den der Verf. einer freundlichen, mündlichen Mitteilung Hrn. Prof. Dr. W. Schottkys verdankt (siehe hierzu die unter 2 angegebene Arbeit).

<sup>1</sup> P. Brauer, Z. Naturforschg. 1, 70 [1946].

<sup>2</sup> P. Brauer, Z. Naturforschg. 2a, 238 [1947].

<sup>3</sup> R. Tomaschek u. P. Brauer, Forsch.-Ber. Zentrale wiss. Berichtswes. (ZWB) 1695/1.

<sup>4</sup> R. Tomaschek, P. Brauer u. J. Häckel, ebenda 1695/2.

<sup>5</sup> P. Brauer, ebenda 1695/3.