

Über die Beobachtung von Schlieren bei chemischen Arbeiten

(I. Mitteilung)

Von

Friedrich Emich

(Mit 11 Textfiguren)

Aus dem Laboratorium für Allgemeine Chemie an der Technischen Hochschule
Graz

(Vorgelegt in der Sitzung am 12. Juli 1928)

I. Einleitung.

1. Als ich vor Dezennien die berühmten Abhandlungen A. Toeplers¹ über seine Schlierenmethode las, gewann ich die Überzeugung, daß auch der Chemiker einmal Nutzen ziehen werde aus diesen eleganten und verblüffend empfindlichen Verfahren, die dem Physiker so ausgezeichnete Dienste geleistet haben². Nun hat man ja seither zu chemischen Zwecken Schlierenbeobachtungen mehrfach herangezogen³; daß sie aber nicht öfter verwendet werden, hat anscheinend eine Reihe von Gründen.

Erstens sind die bisher benützten Behelfe, zumal der große Toepler-Apparat, ziemlich kostspielig, in der Handhabung wenig bequem und vor allem von einer für unsere Zwecke viel zu großen Empfindlichkeit. Zweitens erfordert er verhältnismäßig große Substanzmengen, die dem Chemiker z. B. bei der Forschungsarbeit nur selten zur Verfügung stehen, und drittens waren die Schlieren bisher eine rein qualitative Erscheinung, d. h. es fehlte an Methoden zu ihrer Messung, bzw. Abschätzung. In diesen Richtungen mußte Abhilfe geschaffen werden. Nachdem dies nun, wie ich glaube, geschehen ist, steht der allgemeinen Einführung der Methoden kein Hindernis im Wege⁴.

Bei der Bearbeitung des umfangreichen experimentellen Materials habe ich mich der hingebungsvollen Mithilfe einer

¹ Ostwalds Klassiker, 157 und 158. Band.

² Vgl. z. B. M. Toeplers Artikel im Handwörterbuch der Naturwissenschaften VIII, 924. (Jena 1913.)

³ Vgl.: hierüber z. B. W. Hittorf, Z. physik. Ch. 39 (1902), 624; Weigert und Kellermann, daselbst 107 (1923), 14; Cranz und Bames, Z. angew. Ch. 36 (1923), 76; W. König, C. 1926, II, 2326; W. Kraemer, Z. wiss. Mikr. 43 (1926), 390 und 44 (1927), 476, 477. Humphry und Jane, Koll. Z. 41 (1927), 293; L. E. Dodd, C. 1928, I, 785. Im Anschluß daran noch einige Literatur über Schlierenbeobachtung: Dvořák (s. u.) 1879; S. Exner, Arch. f. mikr. Anatomie 25 (1835), 97; F. Becke, Wiener Akad. Ber., math.-nat. Kl. 102, I (1893), 358; L. Mach, daselbst 106 (1897), 1028; R. Emden, Ann. d. Phys. 69 (1899), 264, 426; F. E. Wright, Tschermaks Mitt. 20 (1901), 238; M. Toepler, Ann. d. Phys. 332 (1903), 1043, 1051; Spangenberg, Fortschr. d. Min., Krist. u. Petrogr. 7 (1922), 3. Vgl. auch die optischen Werke und Crantz' Ballistik.

⁴ Vgl. meine vorl. Mitt. im Anz. d. Akad. d. Wiss. Wien 1927, math.-nat. Kl. Nr. 6 (24. II. 1927).

Reihe junger Fachgenossen erfreuen können, denen ich zu wärmstem Dank verpflichtet bin. Es sind dies die Herren Herbert Alber, Herbert Häusler, Robert Rašín, Edgar Schally und Fräulein Maria Renzenberg⁵. Mit der Schlierenmessung haben sich zuerst unabhängig voneinander und etwa gleichzeitig die Herren Alber und Rašín beschäftigt, letzterer hat die Methode in mühsamen und sorgfältigen Versuchen ausgearbeitet und ihr wesentlich selbständig die jetzige Gestalt gegeben. Bei allen diesen Untersuchungen wurden die von dem einen Mitarbeiter erzielten Fortschritte von den anderen sofort verwertet und oft in kleinen Belangen abgeändert, so daß der Anteil jedes einzelnen nachträglich nicht immer genau festzustellen ist. Natürlich werde ich mich bemühen, diesen Anteilen nach Möglichkeit gerecht zu werden.

Da die folgenden Ausführungen in erster Linie für den Chemiker bestimmt sind, der mit dem Gebiete im allgemeinen kaum vertraut ist, glaube ich auf eine etwas größere Ausführlichkeit nicht verzichten zu können.

„Nach dem Vorgange von A. Toepler werden heute ganz allgemein unter Schlieren diejenigen Stellen in einer sonst homogenen Grundsubstanz irgendwelcher Art (fest, flüssig oder gasförmig) verstanden, deren Brechungsexponent von dem der Grundsubstanz abweicht“⁶. Es liegt darnach in der Natur der Sache, daß eine Schliere bei einer starren Substanz ein unveränderliches, bei einer unstarren Substanz aber ein veränderliches Gebilde darstellt, und daß man im letzterem Fall die Bedingungen des Entstehens der Schliere festlegen muß, wenn reproduzierbare Resultate erhalten werden sollen. Hier ist dem Experiment noch ein weiter Spielraum gelassen. In der vorliegenden Reihe von Arbeiten ist vor allem jene Art von Schlieren berücksichtigt, die entstehen, wenn ein annähernd zylindrischer Strahl einer Flüssigkeit (der „Fließprobe“) in eine zweite, mit der ersten mischbare Flüssigkeit („Standprobe“) einströmt, die sich in einer Planküvette befindet. (Gelegentlich werden auch Schlieren erwähnt werden, wie sie entstehen, wenn ein auf dem Objektträger befindlicher Tropfen der ersten Flüssigkeit gegen eine größere Menge der zweiten Flüssigkeit diffundiert, die sich z. B. zwischen Objektträger und Deckglas befindet. Doch hat dieser Fall bisher nur selten Anwendung gefunden; er kommt auch wohl nur in Betracht, wenn die eine Flüssigkeit sehr viskos ist.)

Von der Anwendung von Schlieren in starren und in gasförmigen Systemen wird vielleicht später einmal die Rede sein.

2. Die Beobachtung von Schlieren ist bekanntlich nach verschiedenen Methoden möglich.

⁵ Die ersten orientierenden Versuche mit Schlieren hat im hiesigen Institute Hr. Erich Reichel i. J. 1925 ausgeführt.

⁶ M. Toepler, l. c.

a) Die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge ist jedem Chemiker geläufig; man braucht ja z. B. nur eine Salzlösung langsam zu Wasser fließen zu lassen; als Hintergrund wird am besten ein schwarz-weißes Feld benutzt, wie es z. B. durch eine Dach- oder Fensterkante vermittelt wird. Wenn auch Gefäße mit planparallelen Wänden (Küvetten) weit geeigneter sind, so kann man bei einigermaßen erheblichem Unterschied im Brechungsindex doch auch in der Proberöhre beobachten. Ob die Schliere „positiv“ oder „negativ“ (s. u.) ist, wird wohl nur bei einiger Übung festzustellen sein.

b) Der große Toeplersche Apparat, der in der vorliegenden Arbeit verhältnismäßig selten benützt worden ist, soll hier nicht beschrieben werden; man vergleiche die oben erwähnte Literatur.

c) Die Schlierenbeobachtung im Mikroskop ist nach A. Toepler gleichfalls leicht möglich, und da sie den Zwecken des Chemikers am besten entspricht, soll sie kurz beschrieben werden; wir entnehmen die Darstellung nebst Figur dem oben zitierten Handwörterbuch.

„Auch auf Beobachtungen mit dem Mikroskop läßt sich die Schlierenmethode anwenden. In Fig. 1 sei eine Originalfigur aus der hier grundlegenden Arbeit Toeplers vom Jahre 1866 abgedruckt. Es bedeutet: cf die Objektivlinse des Mikroskops; C das Kollektiv-, O das Okularglas eines Campanischen Okularsystems; AA den Beleuchtungsspiegel; BB eine Blende mit der kleinen Öffnung cd . Es hat dann die letztgenannte Blendenöffnung zwei reelle Bilder $d'c'$ und $c'd''$. In der Bildebene HH sei eine Schliere im Gebiete zwischen a und b vorhanden. Ihr Bild liegt zwischen b' und a' . Um die Schliere sichtbar zu machen, genügt es, daß man entweder das erste Blendenbild $d'c'$ oder das zweite Blendenbild $c'd''$ durch einen undurchsichtigen seitlichen Schieber (den Pfeil in der Figur) abblendet. Die erstere Schieberanordnung ist aus einer Reihe in der genannten Arbeit ausführlich diskutierten Gründen vorzuziehen.“ Die zweite Anordnung ist z. B. von S. Exner (l. c.) verwendet worden.

Bemerket sei noch, daß Einrichtungen zur mikroskopischen Schlierenbeobachtung von den optischen Firmen bezogen werden können; am einfachsten wohl verwendet man — wie das bei unseren ersten Versuchen geschehen ist — den Abbeschen Diffraktionsapparat⁷, dessen Spaltblenden in der unten näher beschriebenen Art zu benutzen sind. Kürzlich hat W. Kraemer (l. c.) ein Schlierenmikroskop beschrieben.

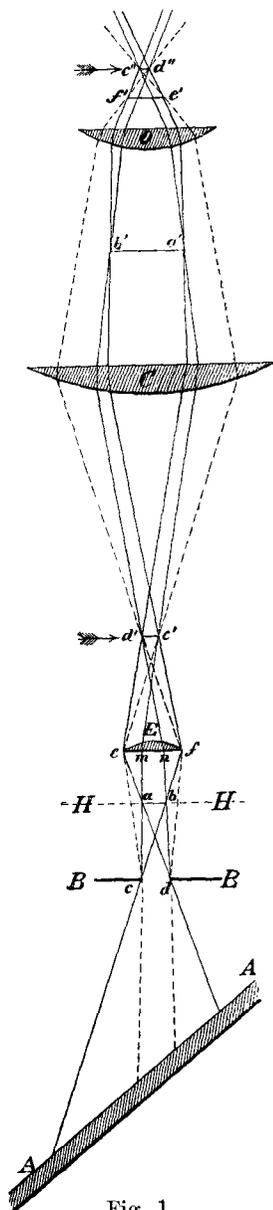


Fig. 1.

⁷ Vgl. z. B. Scheffer, Mikroskop (Berlin und Leipzig 1911), S. 76.

Die mikroskopische Methode ist von weit geringerer Empfindlichkeit wie die unter 2 erwähnte, und gerade diese geringere Empfindlichkeit macht das Verfahren, bei dem man außerdem mit ziemlich kleinen Flüssigkeitsmengen das Auslangen findet, für die praktischen Zwecke des Chemikers geeignet. Die geringere Empfindlichkeit bietet noch den besonderen Vorteil, daß man auf die Temperaturgleichheit von „Fließ-“ und „Standprobe“ nicht so ängstlich Rücksicht zu nehmen braucht. Von einer Abänderung, die an dem ursprünglichen Toeplerschen Verfahren angebracht worden ist, wird später die Rede sein.

d) Das Dvořáksche Verfahren⁸ nimmt in bezug auf Empfindlichkeit eine Mittelstellung ein; das Objekt, das auf Schlieren geprüft werden soll, wird zwischen eine möglichst helle, möglichst punktförmige Lichtquelle und einen von ihr beleuchteten weißen Schirm gebracht. Das Verfahren ist wegen seiner Einfachheit und wegen der Möglichkeit, die Erscheinungen einem größeren Zuhörerkreis zeigen zu können, mitunter recht brauchbar.

e) Über Schlierenbeobachtungen unter Zuhilfenahme von Hohlspiegeln vgl. die Literatur⁹.

3. Es braucht wohl nicht nochmals darauf aufmerksam gemacht zu werden, daß es sich bei Schlierenbeobachtungen um — eventuell ziemlich kleine — Unterschiede im Brechungsvermögen handelt. Daß man aber gerade durch Verwertung derartiger Unterschiede wichtige Schlüsse auf die Zusammensetzung des Untersuchungsmaterials ziehen kann, ist schon mehrfach, z. B. von F. Becke¹⁰, betont worden. Allerdings hat man sich in diesem Zusammenhange bisher fast nur für die festen Stoffe interessiert.

Natürlich kann dabei unter Umständen ein kleiner Gehalt an einer bestimmten Verunreinigung denselben Einfluß ausüben wie ein großer an einer anderen Verunreinigung. Derlei gilt indes auch für die meisten (oder alle) anderen physikalischen Konstanten, wie Siedepunkt, Dichte usw.

Man könnte glauben, daß sich die Schlierenbeobachtung durch eine Ermittlung des Brechungsexponenten ersetzen ließe, für die es ja auch eine Reihe einfacher Methoden gibt, von denen manche mit kleinen Substanzmengen ausführbar sind. Hiezu soll etwa folgendes bemerkt werden: Erstens erfordert die Bestimmung des Brechungsexponenten einen kostspieligeren Apparat und unter Umständen mehr Zeit als eine Schlierenbeobachtung. Zweitens kann die Schlierenmethode, wie wir später zeigen werden, in solchen Fällen Entscheidungen herbeiführen, in denen die refraktometrischen Methoden versagen; das dürfte damit zusammenhängen, daß sich in der Schliere Vorgänge abspielen können, während der Brechungsindex einem stationären Zustand

⁸ Z. f. physik. u. chem. Unterr. 21 (1908), 17.

⁹ Weinhold, Z. f. physik. u. chem. Unterr. 21 (1908), 17. Der Firma Carl Zeiß, Jena (Abt. Mess.), bin ich für die Überlassung hiehergehöriger Behelfe zu großem Dank verpflichtet.

¹⁰ F. Becke, l. c.

entspricht. Endlich glaube ich, daß das Schlierenphänomen schon wegen seiner *Eigenart* vom Chemiker studiert zu werden verdient, ohne daß er dabei von vornherein den Nutzen in einer ganz bestimmten Richtung erwartet.

II. Die vier Arten der Schlieren.

Die folgenden einfachen Bezeichnungsweisen werden aus Zweckmäßigkeitsgründen eingeführt.

Wir nennen eine Schliere *positiv*, wenn eine optisch dichtere Flüssigkeit in eine optisch dünnere einfließt. Wir nennen die Schliere *negativ*, wenn das Umgekehrte der Fall ist. An der Verteilung von Licht und Schatten ist die Unterscheidung im allgemeinen leicht möglich; näheres folgt später. Wir unterscheiden ferner, ob die Schliere *steigend* oder *fallend* ist, d. h. ob die Fließprobe — also die einströmende Flüssigkeit — spezifisch *leichter* oder *schwerer* ist als die Standprobe, d. i. die Flüssigkeit, in die sich der Strom ergießt. Ein Blick in den Schlierenapparat sagt uns also, ob die Fließprobe leichter oder schwerer und ob sie optisch dünner oder optisch dichter ist als die Standprobe. Diese vier Möglichkeiten können durch die Bezeichnungen

↑ + ↓ + ↑ — ↓ —

ausgedrückt werden.

Ist z. B. wässriger Alkohol die Standprobe, Wasser die Fließprobe, so sind die Schlieren fallend und negativ (↓—) usw. (Daß die fallende Schliere im mikroskopischen Bild steigend erscheint, braucht nicht bemerkt zu werden.)

Wir haben die Bezeichnungsweisen „positiv“ und „negativ“ (Vorzeichen der Schliere) gewählt, weil sie bequem sind, und weil unter den hier in Betracht kommenden Bedingungen Verwechslungen wohl nicht möglich sind.

III. Die Gefäße und ihre Anwendung.

1. Die *Küvetten*, die die Standprobe aufnehmen, konnten für Versuche, welche mit dem großen Toepler-Apparat ausgeführt wurden, im Handel bezogen werden. Für nicht allzu strenge Anforderungen entsprachen die vom Glaswerk Schott & Gen., Jena, angefertigten Küvetten „73 S“ von etwa 40 cm³ Inhalt, bei denen die Planplatten mit dem Mittelstück verschmolzen sind. Für Beobachtungen mit kleinen Flüssigkeitsmengen wurden die Küvetten anfänglich aus Objektträgern von 1—2 mm Dicke durch Zuschleifen und Verkitten (in z. T. recht mühsamer Weise) hergestellt. Da es für manchen Experimentator erwünscht sein könnte, hiezu eine Anleitung zu haben, soll eine solche bei späterer Gelegenheit gegeben werden. Als Kittmaterial diente für „Wasserküvetten“ (d. h. Küvetten für wässrige

Lösungen) vor allem Guttapercha; für „Ölküvetten“ (d. h. solche, welche für Kohlenwasserstoffe u. dgl. zu dienen hatten) wurden Leimmischungen benutzt. Gelegentlich kam auch Chlorsilber¹¹ als Kitt zur Verwendung. Neuestens haben wir sehr schöne verschmolzene Küvetten von Carl Zeiss, Jena, erhalten¹², die in zwei Typen hergestellt werden, als „Rundküvetten“ und als „Herzküvetten“. Die Abbildungen machen eine weitere Beschreibung unnötig. Der Inhalt beträgt etwa 0.15 cm^3 ; man kann aber bei der Herzküvette wegen der zugespitzten Form auch z. B. mit Hundertstelkubikzentimetern und weniger arbeiten.

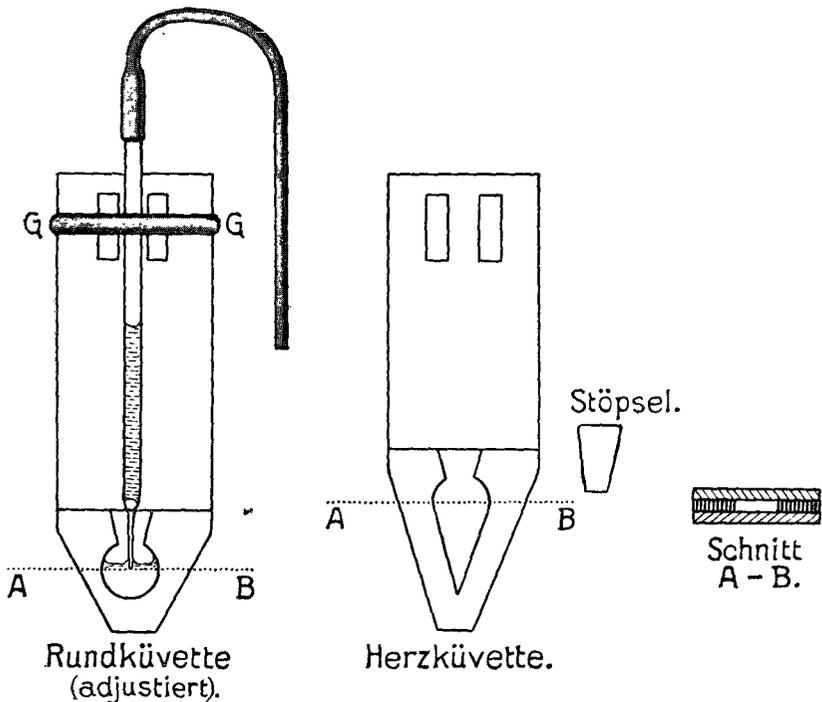


Fig. 2.

Die im oberen Teil der Küvette gezeichneten Rechtecke bedeuten kleine Glasstreifen, die zur besseren Fixierung der Kapillaren an die Grundplatte angekittet werden können.

Eine andere, wie ich glaube, ebenfalls einwandfreie Lösung der Küvettenfrage stellen die kittlosen Küvetten dar. Bei ihnen sind die drei Teile — Grundplatte, Mittelstück und Deckplatte — derart eben geschliffen, daß sie bei mäßigem Druck dicht aufeinanderpassen. Beim Gebrauch werden sie mittels einer

¹¹ Ostwald-Luther, Handbuch zur Ausführung physikochemischer Messungen (Leipzig 1925), S. 158.

¹² Preis ca. Mk. 20.

Metallfassung zusammengehalten¹³. Gegenüber den verschmolzenen bieten die kittlosen Küvetten den Vorteil leichtester Reinigung; auch kann man durch Auswechseln des Mittelstücks bequem verschiedene Schichtdicken erzielen. Wichtig ist die sorgfältige Reinigung der aufeinandergeschliffenen Flächen.

2. Zur Aufnahme der „Fließprobe“ dient ein Pipettchen, hergestellt aus einem Glasrohr von 10—12 *cm* Länge, 1·2—2·3 *mm* Lumen und 1·6—3 *mm* Außendurchmesser. Das eine, untere Ende wird zu einer etwa 2 *cm* langen Kapillare von rund einem Zehntelmillimeter Lumen ausgezogen¹⁴, das andere ist mit einem engen Schlauchstückchen versehen.

Die Fließprobe wird durch Ansaugen in das Pipettchen gebracht; damit das Austreten nicht zu früh erfolgt, saugt man auch noch ein Luftbläschen unterhalb der Fließprobe in die Pipette ein. Hierauf wird diese an der Küvette fixiert, wie Figur 2 zeigt. An Stelle des Gummiringes G kann auch etwas Klebwachs oder Guttapercha Verwendung finden, ein Verfahren, das man zumal bei Schlierenmessungen bevorzugen wird. Die Küvette wird gleichfalls unter Anwendung einer kleinen Pipette mit der Standprobe gefüllt, u. zw. natürlich so, daß für das Hinzutreten der Fließprobe genügend Raum bleibt.

Man bringt die Apparatur auf den Objektisch, stellt das Mikroskop auf die Pipettenspitze ein und bringt das Fließen in Gang, indem man einen entsprechenden Druck auf den Schlauch ausübt. Sobald die oben erwähnte absperrende Luftblase ausgetreten ist, läßt man die Fließprobe nur infolge ihres eigenen Druckes in die Standprobe treten.

3. Nun kann die Schliere beobachtet werden. Es ist, wie schon angedeutet, wichtig, daß man hierbei ein zu rasches Einfließen vermeidet, da sonst auch bei ganz identischen Flüssigkeiten Schlieren auftreten können. Wir wollen derartige Schlieren (die bekanntlich schon Toepler beobachtet hat) „falsche Schlieren“ nennen. Einen speziellen Fall der falschen Schlieren bilden die „Druckschlieren“, die u. a. daran kenntlich sind, daß man sie durch mehr oder weniger kräftiges Ausströmenlassen beliebig verstärken kann.

Hat man den Verdacht, eine falsche Schliere beobachtet zu haben, so vertauscht man die Fließprobe mit der Standprobe; tritt jetzt kein Wechsel im Vorzeichen ein, so war die Schliere eine falsche. Näheres später.

IV. Das abgeänderte Schlierenmikroskop.

Bei dem Toepler'schen Schlierenmikroskop ist die optische Achse eine Vertikale. Da wir jedoch die Schlierenbildung durch

¹³ Auch diese Küvetten sind uns von der Mess.-Abt. der Zeißwerke geliefert worden, deren Leiter Herrn Dr. Fritz Löwe für das uns bei diesen Anlässen bewiesene Entgegenkommen auch an dieser Stelle bestens gedankt sei.

¹⁴ Die genauen Dimensionen, besonders die der Ausströmungsöffnung, werden bei den einzelnen Versuchsreihen angegeben werden.

vertikales Einströmen der Fließprobe hervorrufen, mußte bei unserer Anordnung die optische Achse eine Horizontale sein. Das von uns verwendete Mikroskop ist z. B. ein für die Zwecke der Schlierenbeobachtung adaptiertes Horizontal- (Ablese-) Mikroskop nach Engelmann¹⁵. Der Tubus liegt also horizontal und kann durch einen Zahntrieb (Abb. 3) in der Richtung der optischen Achse bewegt werden. Ein zweiter Trieb gestattet ein Verstellen in der Vertikalen. Der Tubus ist ferner um die Achse A in einer horizontalen Ebene drehbar. S ist die dazugehörige Fixierschraube. In der Haupteinstellebene HH befindet sich der Objektstisch mit den Klemmfedern zum Einspannen der

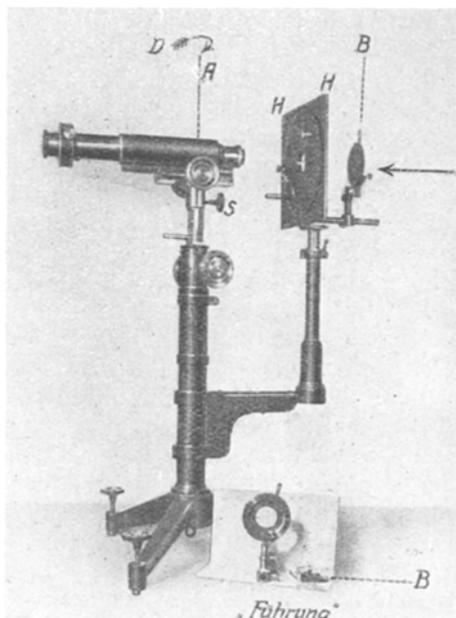


Fig. 3.

Küvette. Das Licht fällt von einem hier nicht gezeichneten Spiegel in der Richtung des Pfeiles auf den Beleuchtungsspalt B. Man arbeitet bei diffusem, z. B. Himmelslicht. Bei künstlicher Beleuchtung bringt man eine mattierte 100kerzige Glühlampe an die Stelle des Spiegels.

Der Beleuchtungsspalt B, Fig. 3, 4 und 5, besitzt eine Weite von z. B. 0.7 mm und ist in ein Metallplättchen eingeschnitten, das mittels einer „Führung“ (Fig. 3 und 5, rechts unten) in einer zu der optischen Achse normalen Ebene drehbar ist. Die Entfernung Beleuchtungsspalt—Haupteinstellebene beträgt bei dem Apparat 6.5 cm .

¹⁵ Beschreibung z. B. bei Emich. Gebrauch der Mikrowagen, Abderhalden. Biochemische Arbeitsmethoden, Abt. I, T. 3 (1921), S. 263.

Als Objektiv wurde das Apertometerobjektiv von Zeiß mit 50 mm Brennweite eingebaut. Die Fassung des Objektivs trägt eine Metallhülse, welche in das Innere des Tubus hineinragt. In diese Hülse paßt eine zweite kleinere, welche in einer Entfernung von 8,75 cm von der Frontlinse des Objektivs den „Tubusspalt“ D trägt. (Vergleiche Fig. 4, die den Horizontalschnitt durch den

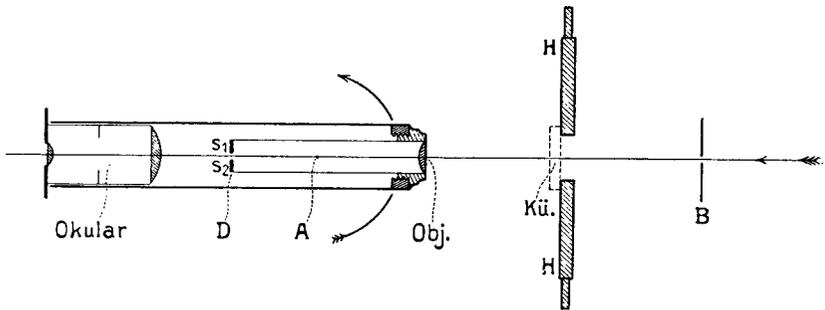


Fig. 4.

optischen Teil darstellt.) Der Spalt D besitzt eine Kantenentfernung von 2,3 mm, kann aber eventuell durch Verschiebung der Backen vergrößert oder verkleinert werden (Fig. 5 unten). Wichtig ist, daß Tubusspalt und Beleuchtungsspalt parallel gerichtet sind. Man kontrolliert dies z. B. bei herausgenommenem Okular.

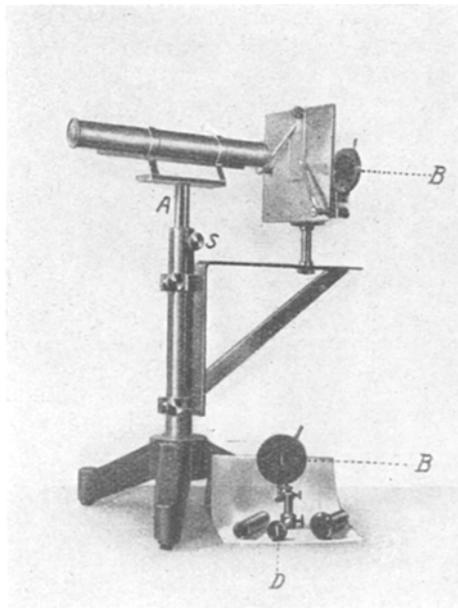


Fig. 5.

Zu den Versuchen wurde vorwiegend das Kompensationsokular (Meßokular) 6 von Zeiß mit verschiebbarem Mikrometerplättchen verwendet. Es zeigte sich aber, daß auch ein Huygens-Mikrometer-Okular 3 oder 4 (eventuell auch 2) bei diesen Versuchen völlig ausreicht. Die Vergrößerungszahl des Apparates (mit Kompensationsokular 6) beträgt 23 bei 202 *mm* Tubuslänge.

Fig. 5 zeigt ein vereinfachtes Schlierenmikroskop.

Die Zahntriebe sind hier weggelassen. Die Abbildung zeigt eine Kuvette in Versuchsstellung.

Die Drehung des Tubus erfolgt bei diesem Modell um die durch die Schraube S fixierbare Achse A. Diese hat entweder eine in der Figur nicht sichtbare, horizontal verlaufende Nut, durch die mittels der Schraube S die Achse mit dem Tubus in der gewünschten Höhe gehalten wird: bei nicht fest angezogener Schraube ist das Mikroskop noch immer in einer Horizontalebene drehbar; oder die Achse trägt einen nicht gezeichneten Stellring, der ebenfalls mit einer Schraube auf derselben zu befestigen ist, und der auf der vertikalen Führung dieser Drehachse aufliegt. Der Mikroskoptubus darf sich in seiner Schiebhülse natürlich nicht drehen lassen, da sonst der Parallelismus der Blendenöffnungen verlorenginge. Zu dem Zwecke ist an der tiefsten Stelle des Tubus eine (in der Abbildung sichtbare) Führungsschiene angebracht.

Gegenüber dem Toepferschen weist unser Schlierenmikroskop die folgenden Änderungen auf:

1. Ist es ein Horizontalmikroskop, ein Unterschied, der, wie schon erwähnt, in der Notwendigkeit, lotrechte Flüssigkeitsschlieren zu beobachten, begründet ist.

2. Ist der im Tubus befindliche Spalt D (entsprechend dem Pfeil neben c' d' in der Figur 1) fest angeordnet; dagegen ist der Tubus um eine vertikale Achse (A) drehbar. Das ist bei kleinen Drehungswinkeln grundsätzlich natürlich dasselbe, in technischer Hinsicht aber eine Bequemlichkeit.

3. Wird der „Beleuchtungsspalt“ (B) nicht genau im Tubusspalt abgebildet, sondern (vom Objektiv aus betrachtet) vor dem Spalte, d. h. die Toepfersche „empfindliche Einstellung“ wird bei unserer Einrichtung verlassen. Diese Abänderung ermöglicht eine leichte Unterscheidung von positiven und negativen Schlieren, und außerdem kann nun eine Schlierenmessung durchgeführt werden.

Der Strahlengang ist in Fig. 6 skizziert.

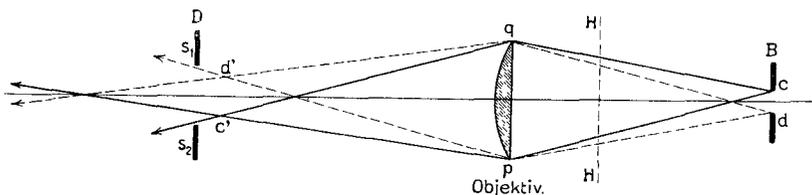
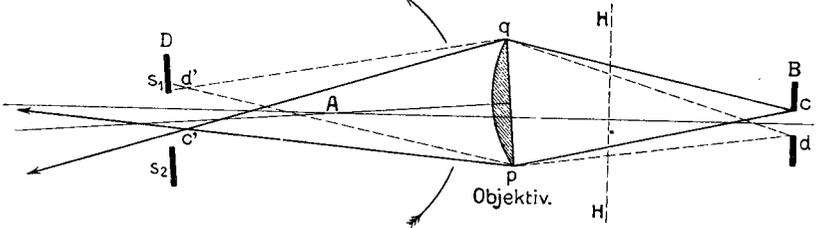


Fig. 6.

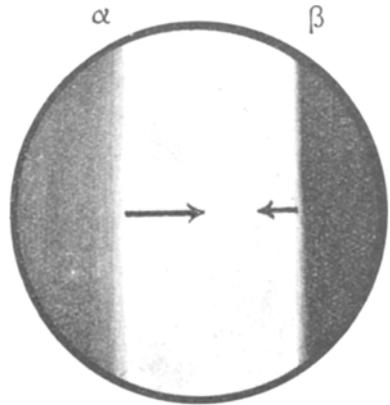
Dreht man den Tubus, z. B. von oben gesehen, entgegen-
gesetzt dem Sinne des Uhrzeigers, vergleiche Fig. 7, so erscheinen,

Fig. 7.



wie Fig. 8 zeigt, zwei Schatten im Gesichtsfelde: ein verschwommen begrenzter, etwas hellerer, α , und ein schärfer begrenzter, dunkler, β . Wir nennen einfachheitshalber α den ersten und β den zweiten Schatten. Über weitere Einzelheiten soll an anderer Stelle berichtet werden.

Fig. 8.

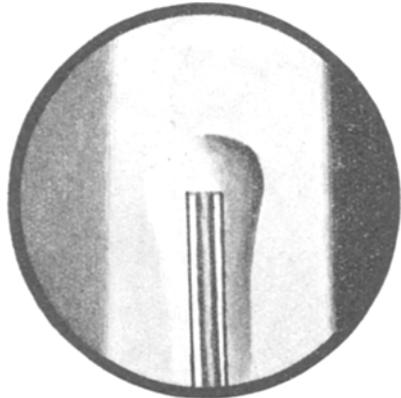
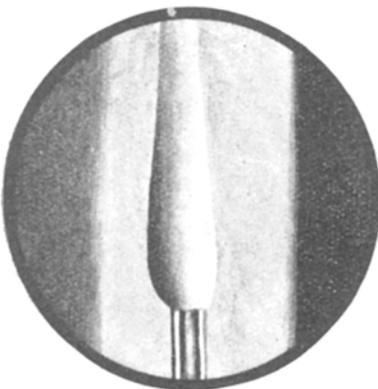


Um ein gutes Bild der Schliere zu erhalten, muß sie im verschwommenen Teil des ersten Schattens oder wenigstens in dessen Nähe erscheinen; die Figuren 9 und 10 zeigen zwei ausgewählte Fälle, und man erkennt, daß die Verteilung von Licht und Schatten eine

erster Schatten. zweiter Schatten.

Fig. 9.

Fig. 10.



Fallende positive Schliere.

Steigende negative Schliere.

verschiedene ist: Fig. 9 zeigt das Bild einer positiven, Fig. 10 das einer negativen Schliere. Im ersteren Fall ist der Schatten der Schliere dem „ersten“ Schatten zugewendet, im letzteren ist der Schlierenschatten vom „ersten“ Schatten abgewendet.

Die Schlieren sind so abgebildet, wie sie im Mikroskop erscheinen¹⁶. Die Schliere ist also in Fig. 9 eine fallende, in Fig. 10 eine steigende.

Die Versuche können z. B. auch mit Wasser und 1%igem Alkohol ausgeführt werden, deren Dichten und Brechungsindices die folgenden sind:

	d	n_D^{20}
Wasser	1·000	1·3331
1%iger Alkohol	0·998	1·3334

Setzt man die Versuche mit verdünnterem Alkohol fort, so findet man, daß 0·3%iger Alkohol eben noch eine Schliere gibt; wir wollen diese Schliere die „Grenzschliere“ nennen. Sie entspricht einem Unterschied im Brechungsindex von rund 10^{-4} .

Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei der Anwendung der Dvořák'schen Methode und bei Anwendung der „visuellen“ Methode (d. h., Beobachtung mit freiem Auge) gemacht; das Dvořák-Verfahren hatte bei der von uns benutzten Anordnung eine ähnliche Empfindlichkeit wie das Schlierenmikroskop, die visuelle Methode eine etwas geringere.

V. Die Messung der Schlierenstärke nach Robert Rašín.

1. Prinzip. Da die Abbildung der Schliere durch eine Blendenwirkung zustande kommt, so ist einleuchtend, daß eine schwache Schliere eine empfindlichere Einstellung der abblendenden Kante erfordert als eine stärkere Schliere. Die größere oder geringere Annäherung der abblendenden Kante wird bei unserer Anordnung bekanntlich durch eine größere oder geringere Drehung des Tubus besorgt; bei dieser Drehung des Tubus bewegt sich auch das mikroskopische Bild der Schliere. Bringt man nun im Okular eine Skala (Okularmikrometer) an, so ist einzusehen, daß die Strecke, innerhalb welcher man noch bei einer derartigen Bewegung ein deutliches Schlierenbild erzielen kann, größer sein muß bei einer stärkeren, kleiner bei einer schwächeren Schliere. Dieses Prinzip kann in verschiedener Weise zur Schlierenmessung verwertet werden. (Von vornherein könnte man noch an andere Möglichkeiten denken, die Einstellung zu verschlechtern und damit eine Schlierenmessung zu erzielen; die

¹⁶ Die Schlieren, deren Zeichnung ich Hrn. Alber verdanke, der auch die meisten anderen Abbildungen angefertigt hat, entsprechen 1%igem Natriumnitrat gegen Wasser, bzw. umgekehrt. Es wäre angebracht gewesen, mit der Schliere etwas näher an den „ersten“ Schatten heranzurücken, da (s. u.) die empfindlichste Stelle im beginnenden Schatten liegt. Photographische Aufnahmen sind geplant.

einschlägigen Versuche haben aber bisher keine günstigen Resultate ergeben.)

Eine stillschweigend gemachte Voraussetzung ist noch, daß die Standprobe derart im Überschuß angewandt wird, daß die während der „Messung“ eintretende Menge der Fließprobe keine praktisch in Betracht kommende Veränderung der Standprobe herbeiführt.

2. Ausführung. Um die Schlierenmessung zu beschreiben, müssen gewisse Veränderungen angegeben werden, die im mikroskopischen Bilde erscheinen, während der Tubus um die Vertikalachse A (Fig. 3, 4, 5) gedreht wird.

a) Wir haben oben gesehen, daß das Bild der Schliere am schärfsten in dem „ersten Schatten“ (Stelle α in Figur 8) erscheint. In Figur 11 (I) ist dies noch einmal ersichtlich gemacht (doch sind die Buchstaben in diesen Figuren andere, nämlich s anstatt α , und a anstatt β).

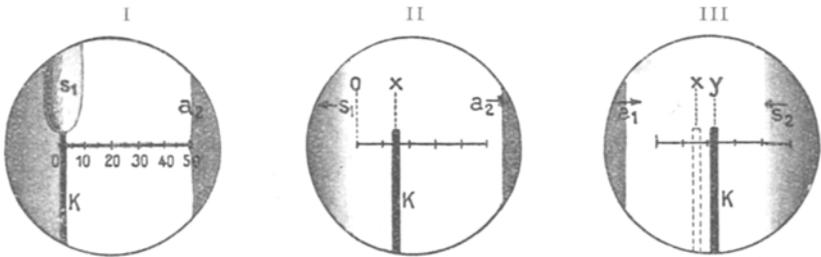


Fig. 11.

Dreht man nun den Tubus, so verblaßt die Schliere mehr und mehr und bei einer bestimmten Tubusstellung verschwindet sie ganz¹⁷. Bei dieser Bewegung ist der Schatten α , bzw. s_1 nach links, der Schatten β , bzw. a_2 nach rechts gewandert, das helle Feld hat sich vergrößert, wie dies aus Figur 11 (II) ersichtlich ist. Je stärker die Schliere, desto größer der Weg ox , der im Okularmikrometer abgelesen wird. Wir nennen diese Schlierenmessung die „einfache Messung“.

b) Dreht man den Tubus weiter, so erscheint jetzt ein blaßer Schatten (vom Charakter des Schattens α in Figur 8) auf der rechten Seite des Gesichtsfeldes; bei einer bestimmten Tubusstellung wird auch die Schliere wieder sichtbar, u. zw. mit entgegengesetzter Schattierung. Diese Stellung sei in Figur 11 (III) festgehalten. Dreht man noch weiter, so rückt der erwähnte Schatten mehr gegen die Mitte des Gesichtsfeldes, zugleich wird die Schliere immer kräftiger, bis sie dann am stärksten hervortritt, wenn die Kapillare etwa in den Schattenrand s_2 eingetreten ist.

¹⁷ Bei stärkeren Schlieren verschwindet bloß die normale Schattierung des Schlierenbildes.

Wir haben also z w e i Stellungen des Tubus, in denen die Schliere am stärksten erscheint; umgekehrt kann in diesen Stellungen die schwächste Schliere wahrgenommen werden (*).

Aus dem Gesagten ist ersichtlich, daß jeder Schliere ein „leeres Intervall“ xy entspricht, d. h. ein Intervall, in dem sie nicht gesehen wird¹⁸. Dieses leere Intervall ist bei den starken Schlieren klein, bei den schwachen Schlieren groß. Damit nun aber den stärkeren Schlieren auch die größeren Zahlen zugeordnet werden, subtrahieren wir von dem Intervall der Schliere Null, d. h. von dem unter * erwähnten Intervall, jeweils das leere Intervall der betreffenden Schliere. Wir nennen diese Art der Beobachtung die „doppelte Messung“. Sie bietet in der Praxis gewisse Vorteile, auf die in einer der nächsten Mitteilungen zurückkommen sein wird.

Das leere Intervall der Schliere Null ist eine Apparatkonstante, die unter anderem z. B. von der Weite des Tubuspalttes abhängt.

c) Über eine dritte Methode der Schlierenmessung wird später berichtet werden.

Daß bei der Schlierenmessung die einmal gewählten Versuchsbedingungen, wie namentlich die Weite der Ausströmungsöffnung der Kapillare und die Höhe der Flüssigkeitssäule in der Pipette festgehalten werden müssen, versteht sich.

Man könnte vielleicht einen Einwand dagegen erheben, daß das hier skizzierte Verfahren als „Meßverfahren“ bezeichnet wird. Jedenfalls möchten wir, um Mißverständnisse zu verhüten, bemerken, daß zwar die Resultate jeder der drei Meßmethoden reproduzierbar sind, daß aber die Resultate der einen Methode sich *quantitativ* nicht decken mit denen einer anderen. Es handelt sich eben mit einem Wort um Vergleichswerte, die gestatten, daß man das an sich flüchtige Schlierenbild besser beschreibt als dies bisher möglich gewesen ist.

VI. Schluß.

Am Schlusse dieser ersten Mitteilung sei noch kurz ausgeführt, in welchen Richtungen sich die weiteren Abhandlungen bewegen werden. Ein großer Teil des experimentellen Materials ist abgeschlossen, liegt in Tabellen und Kurven vor, und muß nur noch gesichtet werden; einige Untersuchungen sind noch im Gange.

Beim Durcharbeiten der verschiedenen Systeme (Mischungen) sind einerseits die reinen Substanzen gegen die künstlich verunreinigten geprüft worden, andererseits haben wir festgestellt, wie man unter Benutzung der Schlierenmethode den Gang der Reinigung, namentlich beim Kristallisations- und Destillationsprozeß verfolgen kann. Dabei ist besonders auf das Arbeiten mit geringen Substanzmengen Rücksicht genommen worden.

¹⁸ Siehe die vorige Fußnote.

In diesem Sinne sind untersucht worden die Systeme:

Glyzerin-Wasser (A l b e r);

Ameisensäure-Wasser (R a š i n);

Chloroform-Tetrachlorkohlenstoff, Äthylenchlorid-Äthylenbromid, Äthylenchlorid-Äthylidenchlorid, Bromoform-Chloroform (H ä u s l e r);

Benzol-Toluol, Benzol-Xylol, Benzol-Tiophen, Benzol-Alkohol (R a š i n), Azeton-Methylalkohol (S c h a l l y);

Oxalsäure-Bernsteinsäure (R e n z e n b e r g), verschiedene Salzlösungen (H ä u s l e r, S c h a l l y, R e n z e n b e r g).

Gute Dienste leistet die Schlierenmethode endlich bei der Feststellung von Konzentrationsunterschieden, die durch Fermentwirkungen zustande kommen (A l b e r).

Nachschrift: Vor Erledigung der letzten Korrektur kommt mir die Abhandlung von G. J a e g e r, B. 61, 1654 (1928), zu Gesicht, auf die noch kurz verwiesen sei.
