

82. Über die Genauigkeit der Aufzeichnung von Elektrophorese-Diagrammen nach der Methode von *Philpot-Svensson* bei Anwendung des Kleinbildverfahrens

von E. Wiedemann.

(11. II. 47)

Bei der Elektrophorese-Untersuchung handelt es sich in der großen Mehrzahl der Fälle um eine möglichst genaue Bestimmung der relativen Mengen und apparenten Beweglichkeiten mehr oder weniger farbloser, meist hochmolekularer Stoffe, die, in passenden Puffergemischen gelöst, der Wanderung im elektrischen Felde unterworfen werden. Die zur Registrierung dieses Vorganges fast ausschliesslich benützte Grenzflächen-Methode beruht auf dem Umstand, dass die Grenzen wandernder Lösungsschichten gegen das reine Lösungsmittel durch eine Brechungsindex-Variation charakterisiert sind und dass es auf verschiedene Weise möglich ist, diese Brechungsindex-Änderung zur Erzeugung eines Bildes heranzuziehen. Von den drei Methoden der Bilderzeugung von Brechungsindex-Gradienten, nämlich der Skalenmethode von *O. Lamm*¹⁾, der Schlieren Scanning Method von *L. G. Longsworth*²⁾ und der direkten Diagrammaufzeichnung nach *Philpot-Svensson*³⁾⁴⁾⁵⁾ kommt den beiden letztgenannten infolge der wesentlich leichteren Auswertbarkeit der Aufnahmen eine erhebliche praktische Bedeutung zu, während man für Präzisionsmessungen der Skalenmethode den Vorzug zu geben pflegt, da diese Messpunkte aufzunehmen erlaubt.

Der praktische Vorteil der Schlieren Scanning Method und der direkten Diagrammaufzeichnung nach *Philpot-Svensson*, die beide zu direkt auswertbaren Kurvenzügen führen, ist indessen so erheblich, dass es nicht an Versuchen gefehlt hat, die Präzision der Bildwiedergabe bei diesen Methoden dahin zu bringen, dass sie auch hohen Ansprüchen zu genügen vermag.

Die in Amerika entwickelte und dort fast ausschliesslich in Anwendung stehende Schlieren Scanning Method von *L. G. Longsworth*⁶⁾, die den Verlauf von Brechungsindex-Gradienten als Hell-Dunkel-Grenze aufzuzeichnen gestattet, weist hinsichtlich der Wiedergabegenauigkeit insofern einen Vorzug auf, als ihre optische Anordnung

¹⁾ Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsaliensis **10**, Nr. 6 (1937).

²⁾ Ann. N. Y. Acad. Sci. **39**, 105 (1939).

³⁾ *J. St. L. Philpot*, Nature **141**, 283 (1938).

⁴⁾ *H. Svensson*, Koll. Z. **87**, 181 (1939).

⁵⁾ *H. Svensson*, Koll. Z. **90**, 141 (1940).

⁶⁾ *L. G. Longsworth and D. A. McInnes*, Chem. Rev. **24**, 271 (1939).

mit nur einer Schlierenlinse vor dem Thermostat zwischen dem Gradienten (der Zelle) und der photographischen Schicht (Platte) bloss ein dioptrisches Element, nämlich das abbildende Objektiv, besitzt. Seine hinreichende Korrektur allein verbürgt also eine genaue Wiedergabe des Verlaufs der Gradienten. In Kauf genommen wird dabei für die über bzw. unter der optischen Achse liegenden Gradienten eine mit wachsendem Abstand davon schräger werdende Durchstrahlung, die theoretisch ungünstig ist, praktisch aber der Kleinheit der Neigungswinkel wegen kaum zu einer Verminderung der Schärfe am Bildrand führen kann. Umstritten ist, ob sich die Auswertung der Schlieren-Scanning-Aufnahmen, bei der die Linie 50-proz. Schwärzung auszuziehen ist, mit gleicher Genauigkeit¹⁾ und vor allem ebenso einfach²⁾ wie bei Aufnahmen nach *Philpot-Svensson* durchführen lässt.

Die Methode der direkten Diagrammaufzeichnung nach *Philpot-Svensson*³⁾, bei welcher der Verlauf von Brechungsindex-Gradienten direkt als helle Linie auf dunklem Grunde wiedergegeben wird, weist zunächst als Vorteil gegenüber der Schlieren Scanning Method die ständige Sichtbarkeit des Bildes auf⁴⁾. Ferner kann die Mitte einer hellen Linie im allgemeinen viel einfacher und teilweise auch genauer als die Linie 50-proz. Schwärzung des Schlieren-Scanning-Bildes bestimmt werden; dieser Umstand ist einer höheren Messgenauigkeit günstig. Dem gegenüber standen zunächst verschiedene Nachteile, wie die recht unerwünschte Verbreiterung horizontal⁵⁾ verlaufender Kurventeile, die indessen für einzelne Gradienten gänzlich⁶⁾⁷⁾ und für den praktisch wichtigeren Fall mehrerer ungleich hoher Gradienten im gleichen Bilde teilweise³⁾⁸⁾ behoben werden kann; ferner die Anordnung mehrerer optisch wirksamer Systeme zwischen Gradient und photographischer Schicht, die diese Abbildungsmethode erfordert. Sowohl in der zuletzt von *H. Svensson* bevorzugten Anordnung⁸⁾, wie in derjenigen des Verfassers²⁾³⁾ befinden sich zwischen Gradient und photographischer Schicht drei Linsensysteme, nämlich eine Hälfte der Schlierenoptik, das abbildende Objektiv und eine Zylinderoptik. Wenn diese Anordnung (vgl. Fig. 1) auch eine achsenparallele, also günstigste Durchstrahlung von Gradienten beliebiger Höhenlage verbürgt, so garantiert sie noch keineswegs eine fehlerfreie Abbildung

¹⁾ *H. Svensson*, Koll. Z. **90**, 141 (1940).

²⁾ *E. Wiedemann*, Schweiz. med. Wschr. **75**, 229 (1945).

³⁾ Eine perspektivische Darstellung des Strahlenganges findet sich bei: *E. Wiedemann*, Schweiz. med. Wschr. **76**, 241 (1946).

⁴⁾ Bei der Schlieren Scanning Method muss zur visuellen Beobachtung des Bildes zusätzlich die Abbildungsmethode nach *Philpot-Svensson* benützt werden.

⁵⁾ Horizontal im üblicherweise um 90° gedrehten Bilde.

⁶⁾ *H. Svensson*, Koll. Z. **87**, 181 (1939).

⁷⁾ *J. W. Burns* and *L. K. Henke*, Rev. Sci. Instr. **12**, 401 (1941).

⁸⁾ *H. Svensson*, Ark. Kemi **22**, A, Nr. 10, 1 (1946).

derselben über das ganze nutzbare Bildfeld. Besonders das Zylinderlinsen-System kann, da es bisher noch nicht als korrigiertes System zur Verfügung steht, bei unzuweckmässiger Anordnung und Dimensionierung erhebliche Abbildungsfehler verursachen. Die Empfindlichkeit der optischen Anordnung nach *Philpot-Svensson* für Abbildungsfehler scheint bisher der Hauptgrund dafür gewesen zu sein, dass diese an sich eleganteste Methode zur Aufzeichnung von Brechungsindex-Gradienten in Form direkt und quantitativ auswertbarer Kurvenzüge in Amerika kaum und im übrigen nur zögernd zur Anwendung gebracht wurde.

Es erscheint daher angezeigt, kurz die wichtigsten Bedingungen für eine möglichst fehlerfreie Wiedergabe von Brechungsindex-Gradienten nach dieser Methode zu erörtern, wobei gezeigt werden wird, dass die vom Verfasser vorgeschlagene Anwendung des Kleinbildverfahrens¹⁾²⁾, obschon sie zunächst aus ganz anderen Gründen erfolgte, dem Bestreben nach einer guten optischen Lösung besonders entgegenkommt. Die damit bisher erreichte Messgenauigkeit wird an Hand von Testaufnahmen und ihren Auswertungen diskutiert werden.

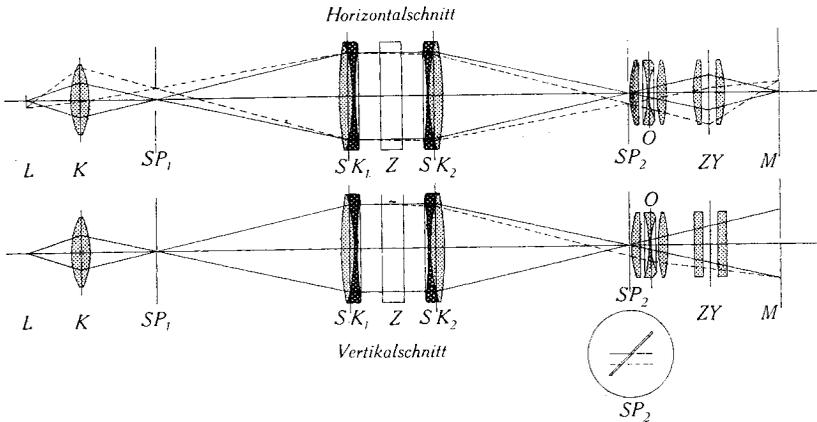


Fig. 1.

Optische Anordnung im Horizontal- und Vertikalschnitt zur direkten Diagrammaufzeichnung von Brechungsindex-Gradienten nach *Philpot-Svensson* (schematisch).

L = Lichtquelle; K = Kondensator; $SP_1 = 1.$, waagrecht liegender Spalt; SK_1 und SK_2 = Schlierenlinsen (zweiteilige Fernrohrobjektive hoher axialer Korrektur, dazwischen Z = Zelle (U-Rohr mit rechteckigem Querschnitt, in dem sich Brechungsindex-Gradienten ausbilden); $SP_2 = 2.$, drehbarer Spalt; O = abbildendes Objektiv (Anastigmat); ZY = Zylinderlinsen-System; M = Mattscheibe bzw. photographische Schicht.

Die Wirkungsweise dieser optischen Anordnung sei an Hand der beiden Schnitte der Fig. 1 wie folgt beschrieben:

¹⁾ *E. Wiedemann*, Schweiz. med. Wschr. **75**, 229 (1945).

²⁾ Eine perspektivische Darstellung des Strahlenganges findet sich bei: *E. Wiedemann*, Schweiz. med. Wschr. **76**, 241 (1946).

Das waagrechte Lichtband einer Wolframbandlampe oder einer Gasentladungslampe L wird vermittels eines (asphärischen) Kondensors geeigneter Brennweite auf die Öffnung eines horizontalen Spaltes SP_1 ein wenig vergrößert abgebildet, so dass dieser Spalt in einer Breite von ca. 25 mm ausgeleuchtet wird. Die Schlierenlinsen, deren freie Öffnung nicht kleiner als die nutzbare Fläche der Zelle sein darf, werden symmetrisch zu dieser so angeordnet, dass die Zelle von achsenparallelem Licht durchstrahlt und die ausgeleuchtete Fläche des 1. Spaltes in natürlicher Grösse auf dem 2. Spalt abgebildet wird. Unmittelbar hinter dem 2. Spalt befindet sich das Objektiv O, das die Mitte der Zelle scharf auf die Mattscheibe M bzw. die photographische Schicht abbildet. Zwischen diesem Objektiv und der Mattscheibe ist ferner ein Zylinderlinsensystem angeordnet, das den 2. Spalt zusätzlich auf die Mattscheibe scharf abbildet. Da die Achsen der Zylinderlinsen senkrecht stehen, wirken diese Linsen nur in der Horizontalebene als abbildendes System, während sie in der Vertikalebene die Eigenschaften planparalleler Platten besitzen.

Es sei zunächst angenommen, der 2. Spalt befinde sich wie der 1. Spalt in horizontaler Lage. Dann wird das den 2. Spalt durchtretende Lichtstrahlenbündel in seiner Horizontalebene durch das Zylinderlinsensystem, wie in Fig. 1 oben angegeben, gebrochen und die ausgeleuchtete Fläche des 2. Spaltes durch die Zylinderoptik auf die Mattscheibe abgebildet; die Breite der auf der Mattscheibe ausgeleuchteten Fläche ist also (bei gegebener Breite der Ausleuchtung des 2. Spaltes) von der Brennweite und Stellung des Zylinderlinsensystems abhängig, während ihre Höhe davon unabhängig und eine Funktion der Brennweite des Objektivs O bleibt.

Durch Schrägstellen des 2. Spaltes, wie dies unten in Fig. 1, in Richtung der Lichtbewegung gesehen, angegeben ist, wird die Breite der auf der Mattscheibe ausgeleuchteten Fläche auf die in horizontaler Richtung gemessene Spaltbreite mal dem Vergrößerungsfaktor des Zylinderlinsensystems reduziert, während ihre Höhe unverändert bleibt. Man erhält also auf der Mattscheibe ein schmales, vertikales Lichtband.

Bewirkt nun ein Gradient in der Zelle Z, wie dies im Vertikalschnitt der Fig. 1 angegeben ist, eine Ablenkung des durch ihn hindurchtretenden horizontalen Strahlenbündels nach unten (allgemeiner Fall), so folgt zunächst aus der Fokussierung des Objektivs O, dass eine Änderung des Bildorts in der Vertikalen nicht erfolgt. Da aber das durch diesen Gradienten abgelenkte Strahlenbündel, wie dies unten in Fig. 1 eingezeichnet ist, auf dem 2. Spalt ein zum ursprünglichen Bild des 1. Spaltes parallel nach unten verschobenes zusätzliches Bild dieses Spaltes erzeugt und die den 2. Spalt durchtretenden Strahlenbündel dieser Bilder infolge der Schrägstellung dieses Spaltes einen horizontalen Abstand aufweisen, ist der Bildort des Gradienten in der Horizontalen gegenüber dem des nicht abgelenkten Bündels versetzt, da in dieser Ebene das Zylinderlinsensystem als abbildende Optik wirksam ist.

Der Übergang zu einem Gradienten und von diesem zurück führt also vermittels dieser optischen Anordnung zur seitlichen Auslenkung eines schmalen Lichtbandes auf der Mattscheibe. Dies werde durch die Fig. 2 illustriert, die eine Aufnahme der Gradienten eines der Elektrophorese unterworfenen humanen Plasmas darstellt.

Bilder dieser Art werden üblicherweise mit der Basislinie unten wiedergegeben, also um 90° gegen ihre natürliche Lage gedreht. Für die Bestimmung der apparenten Beweglichkeiten u ist die Lage der senkrechten Flächenhalbierenden der einzelnen Kurven nach deren Extrapolation gegenüber ihrer Ausgangslage zu messen, während der relative Mengenanteil der Komponenten bei gleichen Brechungs-exponenten ihrer Einheitskonzentrationen den entsprechenden, mit der Basis eingeschlossenen Flächen direkt proportional ist.

Eine genaue Bestimmung dieser Werte setzt also eine streng orthoskopische (auch möglichst Zonenfehler-freie) Abbildung der

mittleren Zellen-Vertikalebene auf der Mattscheibe sowie eine ebensolche Abbildung der durchstrahlten Fläche des 2. Spaltes im Horizontalschnitt voraus. Die erstere orthoskopische Abbildung verbürgt richtige Beweglichkeitswerte, die letztere den richtigen Kurvenverlauf und damit richtige Flächenwerte. Bei Kleinbildaufnahmen kommt hinzu, dass durch die stets erforderliche Vergrößerung der nur 24×36 mm grossen Originale keine orthoskopischen Fehler eingeführt werden dürfen.

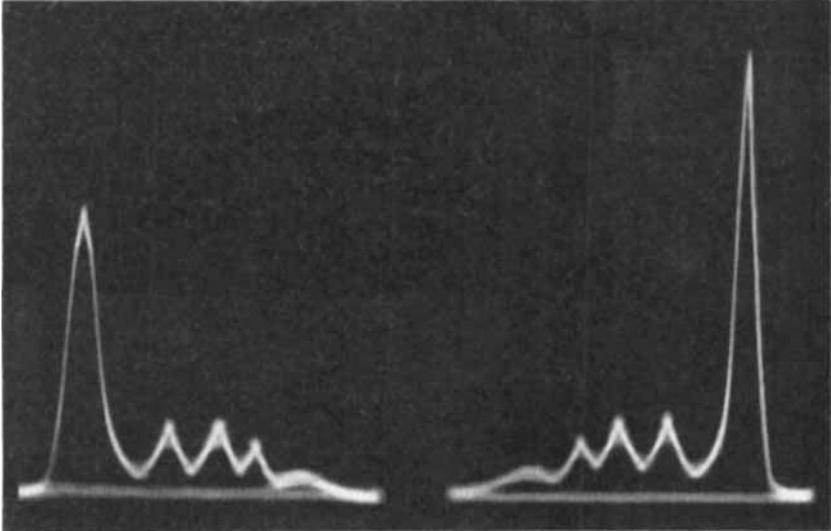


Fig. 2.

Philpot-Svensson-Bild der Gradienten eines humanen Plasmas mit zusätzlicher, in der Breite reduzierter Basislinie. Links: descending boundaries. Rechts: rising boundaries. Aufgenommen unter Eliminierung der Extragradienten¹⁾.

Die erwähnte Abbildung in der Vertikalen erfolgt durch das Objektiv O, in dessen Strahlengang sich als weitere brechende Elemente die Schlierenlinse SK₂ sowie die Zylinderlinsen ZY, hier in ihrer Eigenschaft als planparallele Platten, befinden. Die in dieser Anordnung als schwache Lupe wirksame Schlierenlinse SK₂ kann etwas (kissenförmige) Verzeichnung bewirken, wenn ihr Abstand von der Mitte der Zelle zu gross gewählt wird. Dieser Abstand ist deshalb nicht grösser als nötig zu halten. Der Einfluss der Zylinderlinsen als planparallele Platten auf die Orthoskopie der Anordnung ist dagegen als belanglos anzusehen.

Bei einer ungefähren Brennweite der Schlierenlinsen von je 1000 mm, wie sie für analytische Elektrophorese-Apparaturen zweckmässig ist, erfordert die Abbildung der 86 mm hohen Zelle auf das 36 mm hohe Kleinbildformat eine Brennweite des Objektivs O von etwa 250 mm. Die Abbildung der Zelle im ungefähren Massstab 1:2

¹⁾ Versuchsbedingungen vgl. E. Wiedemann, Helv. **30**, 168 (1947).

ermöglicht es bereits, mit guten, handelsüblichen, auf unendlichen Objektstand korrigierten Systemen auszukommen. Eine relative Öffnung von 1:4,5, sehr gute orthoskopische Korrektur und eine Hebung der axialen wie ausseraxialen Bildfehler ist zu verlangen, da das *Philpot-Svensson*-Bild, wie ein Blick auf den schräggestellten 2. Spalt lehrt, hauptsächlich durch zur Systemachse (wenn auch mit geringer Neigung) windschief einfallende Strahlen erzeugt wird, auch wenn man es üblicherweise so einrichtet, dass Gradienten mittlerer Stärke durch Strahlen abgebildet werden, die die Systemachse schneiden.

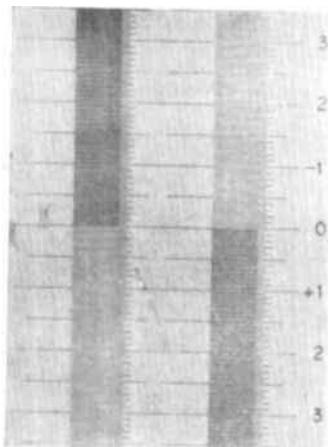


Fig. 3.

Verkleinerte Wiedergabe einer Vergrößerung 180×240 mm der Kleinbildaufnahme einer Präzisionsglasskala mit der abbildenden Optik der 1940 gebauten Elektrophorese-Apparatur¹⁾ des Verfassers in der beschriebenen Anordnung. Objektiv: Leitz Dimar 1:4,5, $f = 250$ mm. Kamera: Leica IIIa, Nr. 312964. Kleinbildfilm: Agfa Isopan F. Feinkornentwicklung. Lichtart: weiss. Expositionszeit: $\frac{1}{20}$ Sekunde.

Als Test für eine genügend genaue Wiedergabe von Objektlinien in der Vertikalen (wie sie bei ideal scharfen Gradienten vorliegen würden), dient im Laboratorium des Verfassers eine Präzisionsglasskala²⁾ mit zwei Strichreihen, deren Lage derjenigen der beiden Schenkel des U-Rohres (der Zelle) entspricht. Die kleinsten Strichabstände betragen 0,25 mm und 0,50 mm. Diese Glasskala wird an der Stelle der Zellenmitte eingesetzt und bei waagrecht gestelltem 2. Spalt mit dem zu prüfenden Objektiv photographiert. Die Zylinderlinsen können dabei entfernt werden. Vom 24×36 mm grossen Negativ wird dann, gleich wie von entsprechenden Versuchsaufnahmen, eine Vergrößerung im Format 180×240 mm angefertigt,

¹⁾ Über eine neue, 1946 gebaute Elektrophorese-Apparatur wird demnächst berichtet werden.

²⁾ Hersteller: *Verkaufs-A.G. H. Wilds Geodätische Instrumente*, Heerbrugg.

worauf eine Auswahl von Strichabständen dieses Bildes auf 0,01 mm genau ausgemessen wird. Die Fig. 3 ist von einer solchen Vergrößerung hergestellt; es ist ihr kaum anzusehen, dass sie über ein nur 24×36 mm grosses Zwischenbild erhalten wurde.

Die Ausmessung der auf der Skala selbst 5,00 mm betragenden Strichabstände am linken und rechten Bildrand von oben nach unten ergab die folgenden Zahlenwerte und Differenzen in Millimetern:

Links	Δ	Rechts	Δ
16,32		16,27	
16,32	0,00	16,35	0,08
16,36	0,04	16,29	0,06
16,36	0,00	16,33	0,04
16,33	0,03	16,32	0,01
16,33	0,01	16,32	0,00
16,34	0,01	16,32	0,00
16,33	0,02	16,32	0,03
16,35	0,03	16,35	0,03
16,32	0,01	16,32	0,06
16,33	0,05	16,35	0,05
16,37	0,02	16,33	0,03
16,35	0,02	16,30	0,02
16,37	0,06	16,28	0,02
16,31		16,23	0,05

Auf Grund dieser Zahlenwerte ergibt sich eine mittlere Unsicherheit von $\pm 0,035$ mm der Lage der Striche im Bilde. Da dieses rund 3mal vergrößert ist, beträgt die Unsicherheit bei Messungen in vertikaler Richtung im Mittel $\pm 0,012$ mm. Mit dieser Genauigkeit können bei Anwendung des Kleinbildverfahrens die für die Bestimmung der elektrophoretischen Beweglichkeitswerte u erforderlichen Wege s gemessen werden. Eine Weglänge von 30 mm wird somit auf $\pm 0,04\%$ genau bestimmt.

Vergleichsweise sei erwähnt, dass die zur Berechnung der elektrophoretischen Beweglichkeitswerte ebenfalls erforderliche Zeitmessung bei einer Versuchsdauer von 2 Stunden mit einer mittleren Abweichung von nur $\pm 2,88$ Sekunden vorzunehmen ist, wenn sie mit der gleichen Genauigkeit erfolgen soll.

Die Bildentstehung in der Horizontalebene, wie sie zur Erzeugung des Kurvenverlaufs durch Gradienten erforderlich ist, wird durch die Zylinderoptik ZY (vgl. Fig. 1) bewirkt, die den 2. Spalt auf die Mattscheibe abzubilden hat. Die Verhältnisse bei der Abbildung in der Horizontalen liegen aus verschiedenen Gründen ungünstiger als bei derjenigen in der Vertikalen: Die Zylinderoptik ist bisher nicht als korrigiertes System verfügbar, und zudem befindet sich im Strahlengang das Objektiv O mit relativ kurzer Brennweite,

das als Lupe wirkt und (kissenförmige) Verzeichnung verursachen kann. Um diese hintanzuhalten, muss das Objektiv O möglichst nahe am 2. Spalt stehen. Da bei der Verwendung unkorrigierter Zylinderoptik in keinem Falle mit einem gestochen scharfen Bilde gerechnet werden kann, gibt man ihr am besten die Form, bei welcher die Verzeichnung praktisch beseitigt ist und die übrigen Bildfehler innerhalb des nutzbaren Bildfeldes erträglich bleiben. Diese Form ist diejenige des periskopischen Doppelobjektives, das hier infolge der relativen Kleinheit des benützten Bildwinkels auch aus zwei gleichen, plankonvexen Linsen bestehen kann (vgl. Fig. 1). Für diese Linsen-anordnung bringt die Anwendung des Kleinbildverfahrens einen besonderen Vorteil, nämlich den, sie auf günstigste Weise bei einem Abbildungsmaßstab 1:1 benützen zu können, für den sie vollkommen verzeichnungsfrei ist. Beträgt die Breite des auf den 2. Spalt fallenden Lichtbandes, was leicht zu bewerkstelligen ist, etwa 25 mm, so wird bei einer Abbildung dieses Bandes im Maßstab 1:1 das Kleinbildformat bereits voll ausgeleuchtet und damit die erwünschte Kurvenhöhe ermöglicht.

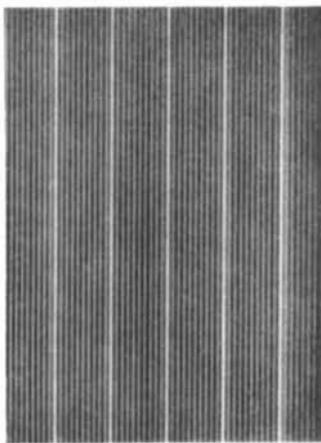


Fig. 4.

Verkleinerte Wiedergabe einer Vergrößerung 180×240 mm der Kleinbildaufnahme einer Skala mit 0,50 mm Strichabstand auf Film mit der Zylinderoptik der Elektrophorese-Apparatur von 1940 des Verfassers in der beschriebenen Anordnung. Zylinderoptik: 2 einfache, plankonvexe Linsen, Planflächen einander zugekehrt. Relative Öffnung: 1:4, Brennweite des Systems ca. 70 mm. Kamera: Leica IIIa, Nr. 312964. Kleinbildfilm: Agfa Isopan F. Feinkornentwicklung. Lichtart: weiss. Expositionszeit: $\frac{1}{20}$ Sekunde.

Zur Prüfung der Wiedergabe des 2. Spaltes durch die Zylinderoptik werden im Laboratorium des Verfassers Kleinbild-Testfilme benützt, die durch photographische Aufnahme entsprechend präzise ausgeführter Skalen hergestellt werden. Diese Testfilme weisen auf einer Länge von 25 mm 50 oder 100 Linien mit gleichen Abständen

auf. Für den Testversuch werden sie direkt an die Schneiden des waagrecht gestellten 2. Spaltes so angelegt, dass die Linien die Spaltöffnung genau senkrecht schneiden (und damit parallel zu den Zylinderachsen stehen). Das sich mittels dieser Anordnung ergebende Bild wird photographiert, worauf vom 24×36 mm grossen Negativ eine Vergrösserung im Format 180×240 mm hergestellt und am grossen Bilde eine Auswahl von Strichabständen auf 0,01 mm genau ausgemessen wird. Die Fig. 4 stellt ein solches, für die Reproduktion passend verkleinertes Bild dar, das also in prinzipiell gleicher Weise wie dasjenige der Fig. 3 entstanden ist.

Bei der Ausmessung wurden je 15 mm vom oberen und unteren Bildrand entfernt, von links nach rechts die Abstände von Mitte zu Mitte einer dünnen Linie zur jeweils nächstfolgenden 5. Linie bestimmt. Hierbei wurden die folgenden Zahlenwerte und Differenzen in Millimetern erhalten:

Oben	Δ	Unten	Δ
14,74	0,02	14,71	0,06
14,72	0,01	14,65	0,06
14,71	0,07	14,71	0,03
14,78	0,01	14,74	0,01
14,77	0,04	14,75	0,05
14,73	0,05	14,70	0,08
14,78	0,00	14,78	0,05
14,78	0,02	14,73	0,02
14,80	0,05	14,75	0,01
14,75		14,74	

Hieraus ergibt sich eine mittlere Unsicherheit von $\pm 0,035$ mm der Mittellage der Linien im Bilde. Reduziert man die Bildgrösse in gleicher Weise wie diejenige des Vertikaltests, also 3 mal, so beträgt die Unsicherheit bei Messungen in der Horizontalebene im Mittel $\pm 0,012$ mm. Dies ist die Genauigkeit, mit welcher bei Anwendung des Kleinbildverfahrens unter Verwendung von unkorrigierter, aber zweckmässig verwendeter Zylinderoptik die Höhenwerte der den Gradienten entsprechenden Kurvenzüge wiedergegeben werden. Bei einer Kurvenhöhe von 25 mm im Bilde natürlicher Grösse (also bei Wiedergabe der durchlaufenen Wege im Maßstab 1:1) entspricht diese bis auf $\pm 0,05\%$ dem theoretischen Wert. Es ist bemerkenswert, dass diese Genauigkeit diejenige der Wiedergabe in der Vertikalebene erreicht.

Da die Bestimmung von relativen Prozentwerten der Komponenten eines Gemisches vermittelt der Elektrophorese aus den Flächenwerten von Gradientenkurven, die diese unter Einbeziehung des entsprechenden Teiles der Basislinie ergeben, zunehmend an Be-

deutung gewinnt, sei noch angegeben, mit welcher Genauigkeit eine mittlere, von einem Kurvenzug mit der Basislinie eingeschlossene Fläche abgebildet wird.

Zur Vereinfachung sei die über einer Basis von approximativ 10 mm stehende, ideale Verteilungskurve nach *Gauss* durch ein gleichschenkliges Dreieck entsprechender Basis und Höhe substituiert. Da die Basis von 10 mm auf $\pm 0,12\%$ und die Höhe von 25 mm auf $\pm 0,05\%$ genau definiert ist, wird der gefundene Flächenwert $\frac{1}{2} gh$ zwischen 124,788 mm² und 125,213 mm² liegen. Der Fehler, mit dem diese Fläche wiedergegeben wird, beträgt somit $\pm 0,17\%$ oder $\pm 1,7/1000$ ihrer Grösse.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, dass die Genauigkeit der Aufzeichnung von Elektrophorese-Diagrammen nach *Philpot-Svensson* bei passend gewählter Dimensionierung und Anordnung der gegenwärtig verfügbaren dioptrischen Elemente bereits so hoch sein kann, dass sie keinen die allgemeine Messgenauigkeit limitierenden Faktor bildet¹⁾. In welchem Masse andere Einzelheiten der Apparatur oder des Verfahrens dafür verantwortlich zu machen sind, soll bei späterer Gelegenheit diskutiert werden.

Der Autor dankt Herrn Prof. *A. Stoll* herzlich für die grosszügige Unterstützung bei seinen Elektrophorese-Arbeiten.

Chemisch-pharmazeutisches Laboratorium
(Prof. Dr. *A. Stoll*) „Sandoz“, Basel.

83. Ein neuer Spalt für die Aufnahme von Elektrophorese-Diagrammen nach *Philpot-Svensson*

von **E. Wiedemann.**

(11. II. 47.)

Bei der Aufnahme von Elektrophorese-Diagrammen nach der Methode von *Philpot-Svensson* wird ein schräg gestellter (zweiter) Spalt²⁾ benützt, der durch eine sammelnde Zylinderlinse mit vertikaler Achse auf die Mattscheibe bzw. photographische Schicht abgebildet wird. Durch einen Brechungsindexgradienten abgelenkte Lichtstrahlenbündel werden auf diese Weise entsprechend der Grösse ihrer Ablenkung seitlich versetzt zur Abbildung herangezogen, so dass die Brechungsindexänderung über einen Gradienten hinweg direkt als helle Linie auf dunklem Grunde sichtbar gemacht und aufgezeichnet werden kann.

¹⁾ Vgl. hierzu: *L. G. Longsworth*, Ind. Eng. Chem. Anal. **18**, 219 (1946).

²⁾ *H. Svensson*, Koll. Z. **87**, 181 (1939).