Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Mathématique et physique = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Mathematik und Physik

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 6 (1948)

Artikel: Studie über die dynamische Linse

Autor: Briner, Hermann

Kapitel: X: Korrektur mit mehreren Flächen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306974

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.07.2025

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

X. Korrektur mit mehreren Flächen

§ 1. Sphärische Linsen

Will man die Linsenfehler nach den gewöhnlichen Methoden der Optik starrer Linsen korrigieren, kann man nach Kap. IX § 3 dynamische Linsen mit sphärischen Flächen konstruieren. Verschiedene solche Linsen können dann nach den bewährten Regeln der Objektivoptik zu korrigierten Sätzen kombiniert werden.

Dieses Vorgehen bedeutet aber für die dynamische Linse einen Umweg. Die Möglichkeit, Cartesianische Flächen anzunähern und die weiter unten dargestellten Arten der Korrektur sind auszunützen, sie entsprechen besser dem Wesen der dynamischen Linse.

§ 2. Meniskus

Die Angaben dieses Paragraphen entnehme ich der schon erwähnten, noch nicht veröffentlichten Arbeit von F. Dessauer.

Kombiniert man zwei elastische Schalen einer dynamischen Linse als Meniskus, so kompensieren sich eine Reihe Fehler und Unregelmäßigkeiten, da die eine Fläche negativ, die andere positiv wirkt. Es verringern sich die Randstörungen durch Über- oder Unterkrümmung der Randzonen ganz oder teilweise, bei gleicher Fassungs- und Dichtungsanordnung. Eine sphärische Abweichung durch die zweite Fläche würde dadurch beseitigt werden, daß eine gleiche durch die erste Fläche sich negativ auswirkt. Bei der hier diskutierten Meniskuslinse ist das Flüssigkeitsvolumen abgeschlossen. Der Druck gelangt von außen auf die konkave Fläche und die Durchbiegung dieser bewirkt über das konstante Volumen der praktisch inkompressiblen Flüssigkeit auch eine Durchbiegung der zweiten Linsenschale. Der regulierbare Druck wirkt auf eine nur mit Luft gefüllte, also optisch nicht wirksame Kammer vor dem Meniskus (Abb. 40).

Die Arbeit befaßt sich vor allem mit der theoretischen Unter-

suchung der Frage : Wie groß ist die Durchbiegung der zweiten Linsenschale, oder mit anderen Worten : Wie ändert sich die gesamte Brechkraft des Meniskus in Funktion des Druckes auf eine Schale, bei Annahme sphärischer Krümmung ?

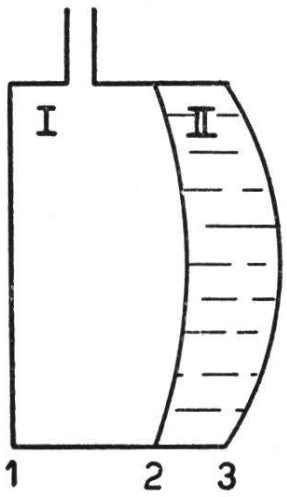

Abb. 40.

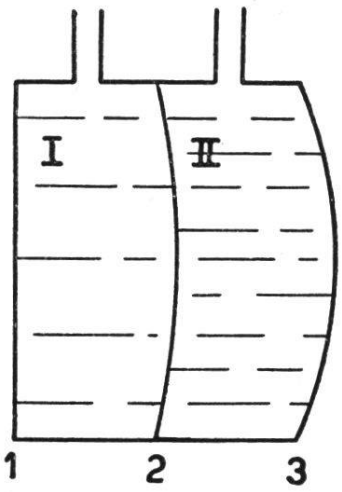

Abb. 41.

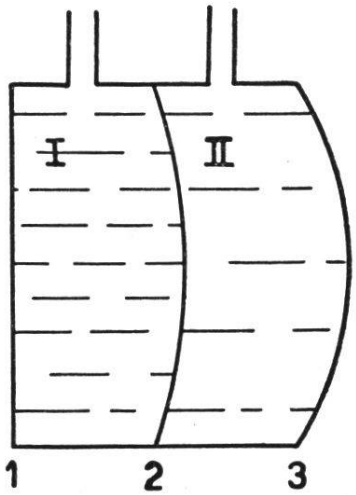

Abb. 42.

Dynamischer Meniskus.

Das rechnerische Verfahren ergibt unbequeme Formeln, die aber zu einer eleganten graphischen Darstellung führen, die direktes Ablesen der Brennweite (und der Brennweitenvariation) gestattet.

§ 3. Verschiedene Füllflüssigkeiten

Bei einer Linse mit drei Membranen (Zweikammerlinse) sind alle drei optisch wirksam, wenn man zwei verschiedene Flüssigkeiten in die Kammer einfüllt. Man erhält so die Kombination zweier Linsen verschiedener Brechkraft. Diese Kombination zweier Linsen wurde schon in der Arbeit II [1] diskutiert, hauptsächlich in Hinblick auf die chromatische Aberration. Auf jene Arbeit sei für weitere Einzelheiten hingewiesen.

Für die verschiedenen Möglichkeiten zur Korrektur der Zonenabweichung ergibt sich folgende Zusammenstellung :

1. $n_1 < n_2$:

   a) $p_1 > p_2$, p_1 regulierbar, p_2 konstant. Die Steigerung von p_1 macht die Wölbung der zweiten Schale stärker, d. h. die negative Wir-

[1] II. S. 580.

kung wird größer, die Linse schwächer. Hier läßt sich eine chromatische Korrektur nicht erreichen, da der Teil II mit größerem n und größerer Dispersion vorwiegt (Abb. 41).

b) Wird statt p_2 = konst., v_2 (Volumen) = konst. so ist die schwächende Wirkung geringer, eine Korrektur bleibt aber unmöglich.

2. $n_1 > n_2$. Es ergeben sich folgende Fälle:

a) Die Scheibe 1 ist so dick, daß sie praktisch plan bleibt. Es sind die beiden Fälle der Abb. 42 und 43. Die Linse von Abb. 42 kann nicht als Meniskus wirken, da beide optisch wirksame Flächen positiv sind, sich also nicht korrigieren. Der Fall von Abb. 43 ist eine Kombination einer Bikonvex- und einer Plankonkavlinse und gibt eine Korrekturmöglichkeit.

b) Auch die Scheibe 1 ist optisch wirksam (Abb. 44). Hier wirkt der Teil 1 als Meniskus zur Korrektur.

Diese drei Methoden wurden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt, denn es liegt nahe, zuerst eine Korrektur der sphärischen Aberration schon mit zwei Flächen zu suchen, um noch möglichst viele Parameter für die Behebung der anderen Linsenfehler frei zu halten.

In die in diesem Paragraphen gestreiften Korrekturmöglichkeiten fällt auch die, mit einer starren Glaslinse eine dynamische Linse zu korrigieren.

§ 4. Verschiedene Dicke der Linsenschalen

Aus den Betrachtungen des § 3 in Kap. VIII folgt vielleicht die aussichtsreichste Möglichkeit einer Korrektur:

Sind die beiden Schalen einer einfachen (Einkammer-) Linse von verschiedener Dicke, so kann man einen Gang mit sphärischen und einen mit antisphärischen Eigenschaften derart kombinieren, daß sich die Fehler aufheben. Anders gesagt:

Die sphärische Aberration der dünneren Schale (bzw. derjenigen mit größerem Radius, siehe Kap. VIII § 5) kompensiert die antisphärische Aberration der dickeren (oder derjenigen mit kleinerem Radius).

Zum Beispiel ergibt sich dies in der Umgebung der Dicke von 0,4 mm bei Silikatglas (mit Kautschukdichtungen). Etwa mit einer Schale von 0,35 mm und einer zweiten von 0,45 mm könnte die Korrektur möglich sein. Aus den Gründen der Kriegshindernisse waren

aber diese Dicken nie mit der gewünschten Genauigkeit vorhanden und man mußte sich mit Annäherungsversuchen mit dem zur Verfügung stehenden Material begnügen.

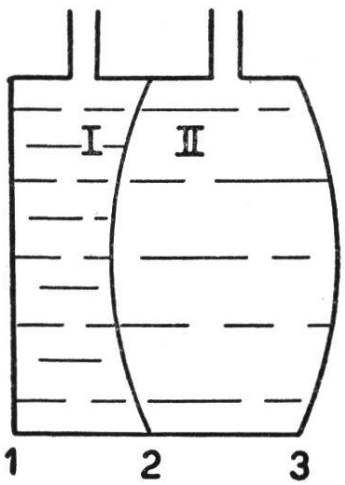

Abb. 43.

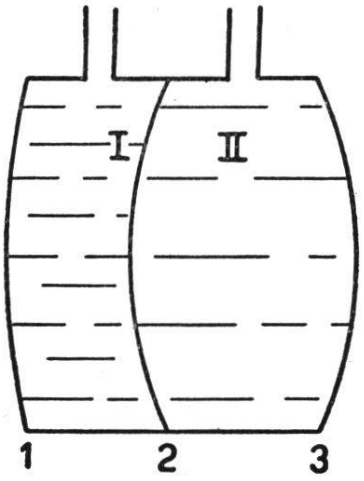

Abb. 44.

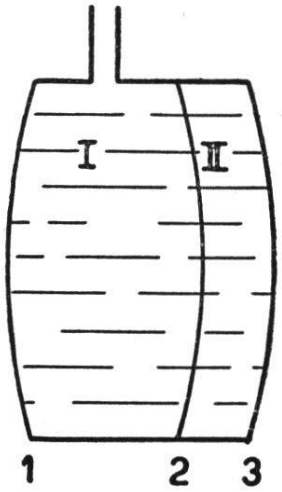

Abb. 45.

Es ergaben sich folgende Schwierigkeiten:

1. Das dünne Glas biegt sich sehr stark durch, oder bricht sogar, bevor sich das dickere überhaupt zu einer optisch wirksamen Fläche ausbiegt.

2. Unter den gegenwärtigen Bedingungen war es lange unmöglich, genügend dünnes Glas (also sich genügend sphärisch verhaltendes) zu erhalten, um eine vollständige Korrektur durchzuführen. Ohne dieses Glas bleibt die Linse antisphärisch, da die sphärische Aberration des ungenügend dünnen Glases zu gering ist, um die antisphärische Aberration der dickeren Scheibe zu kompensieren.

Immerhin zeigten die Versuche, die durchgeführt werden konnten, die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges: die Aberration konnte, wenn nicht beseitigt, so doch verrringert werden. Als dann endlich einige wenige Scheiben dünnen Glases in geringen Mengen aus Königgrätz eintreffen konnten, gelang es, eine ziemlich gut korrigierte Linse zu erhalten.

Bevor wir diese Linse beschreiben, werden wir in den nächsten Paragraphen noch die Umgehung der oben erwähnten Schwierigkeit 1 behandeln.

§ 5. Linse mit Teilung der Füllkammer

Um zu verhindern, daß sich die dünne Schale im Verhältnis der dicken zu stark durchbiegt, kann man eine dritte Glasschale in die Linsenkammer einführen (Abb. 45). Diese dritte Schale bleibt optisch inaktiv, denn sie grenzt nicht Medien mit verschiedenen Brechungsindizes ab. Der Teil der Linse mit der dünneren Außenschale ist abgeschlossen. Auf den anderen Teil (also mit der dickeren äußeren Schale) wird der variable Druck gegeben. Auf die dünnere Scheibe gelangt über das abgeschlossene Flüssigkeitsvolumen nur ein reduzierter Druck, denn ihre elastische Gegenkraft wird durch die Zwischenscheibe erhöht. In Bezug auf die dünne (sphärische) Scheibe ist dann die Durchbiegung der dicken (antisphärischen) Scheibe erhöht, so daß eine Kompensation der Aberration eintritt.

§ 6. Linse mit Gegendruck

Die im vorigen Paragraphen beschriebene Anordnung ist mit unserer Dreikammerlinse bereits realisierbar, aber das Auswechseln der verschiedenen Dicken der Zwischenscheiben zur Ermittlung der richtigen elastischen Gegenkraft ist mit dieser Anordnung umständlich, da jedesmal die ganze Linse zerlegt, gereinigt, wieder zusammengesetzt und frisch gefüllt werden muß. Für Experimentierzwecke erreicht man auf einfachere Weise dasselbe Ziel:

Bei unserer Linse mit zwei Schalen wird auf die dünne Scheibe von außen mittels eines Luftpolsters ein Gegendruck angebracht. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß der Gegendruck, also die elastische Gegenwirkung der dünnen Scheibe, leicht veränderlich ist. Es ergibt sich allerdings die für das Laboratorium, nicht aber für die praktischen Anwendungen, belanglose Komplikation, daß prinzipiell zwei Druckeinrichtungen vorhanden sein müssen.

Um trotzdem mit einer einzigen Vorrichtung zur Druckerzeugung auszukommen, war der Gang der Messungen bei Linsen mit Gegendruck folgender:

Als Gegendruckkammer auf der Seite des dünnen Glases diente in der Zweikammerlinse (siehe Kap. II § 2, 3) eine nur mit Luft gefüllte Linsenkammer, die nach außen mit einer 3 mm starken Silikatglasscheibe abgeschlossen war. Die Drucke im Linseninneren und in der Gegendruckkammer wur den solange gesteigert und am Manometer ab-

gelesen, bis man zum gewünschten Ausgangsbetrag der Durchbiegung der dicken Scheibe kam. Dann schloß man die Gegendruckkammer ab und erhöhte den Druck im Linseninnern weiter. Erst jetzt wurde auf diese Art die dünne Scheibe belastet. Dieses Vorgehen hat gegenüber einem Experimentieren mit zwei Druckeinrichtungen und zwei Manometern den Vorteil der leichteren Handhabung und der geringeren

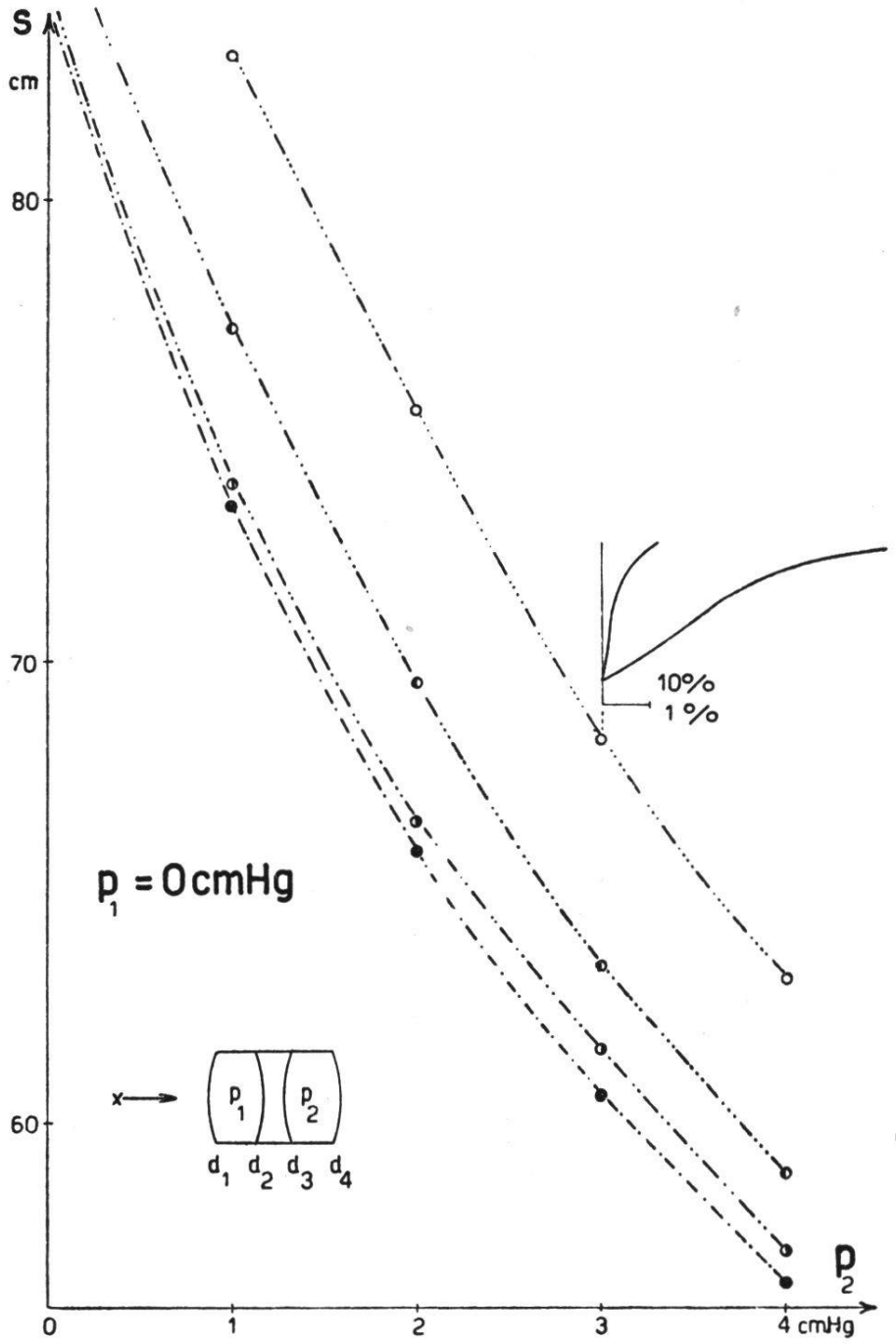

Abb. 46. Überzogenes Silikatglas,
$d_1 = 0{,}2$ mm, $d_2 = 0{,}2$ mm,
$d_3 = 0{,}3$ mm $d_4 = 0{,}29$ mm, $\varnothing_s = 85$ mm.

Gefährdung der dünnen Scheiben, die unter Umständen nur eine Druckdifferenz von 2 cm Hg ohne Bruch aushalten.

Zur Erreichung der Ruhestellung ist natürlich der Vorgang umzukehren: Druckverminderung bis zu jenem Druck, bei dem man die Luftkammer abgeschlossen hatte, Verbinden derselben mit der Druckvorrichtung, Herabgehen auf Druck 0.

Mit der beschriebenen Anordnung wurde eine größere Reihe verschiedener Versuche unternommen. Dabei wurden alle zur Verfügung stehenden Glasdicken von 0,7 bis 0,2 mm in den beiden Durchmessern

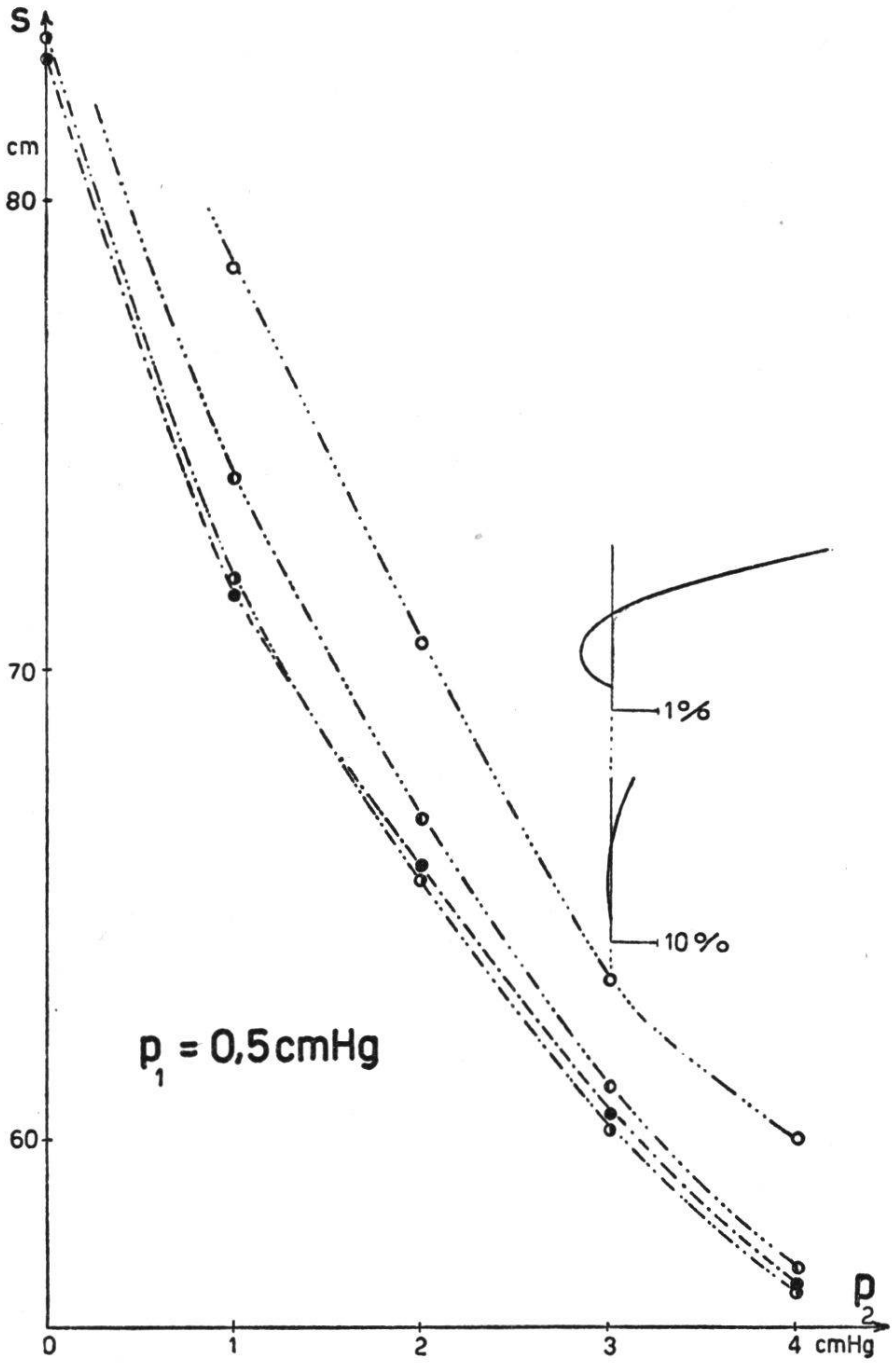

Abb. 47.

von 10 und 8,5 cm (Schwingringe 9,2 und 7,3 cm) kombiniert und mit verschiedenen Gegendrucken gemessen. Im Verlauf dieser Messungen zeichneten sich die verschiedenen Schwierigkeiten aus, die früher beschrieben wurden, wie diejenigen der Dichtungsringe, der Schwingringe, der zu langen Brennweiten usw., usw.

Bei allen Versuchen ist immer zu berücksichtigen, daß alle Gläser erst bei größeren Durchbiegungen den eigenen Aberrations-Charakter zeigen. Man muß sie also für eine Korrektur stärker, eventuell bis zur Höchstgrenze belasten.

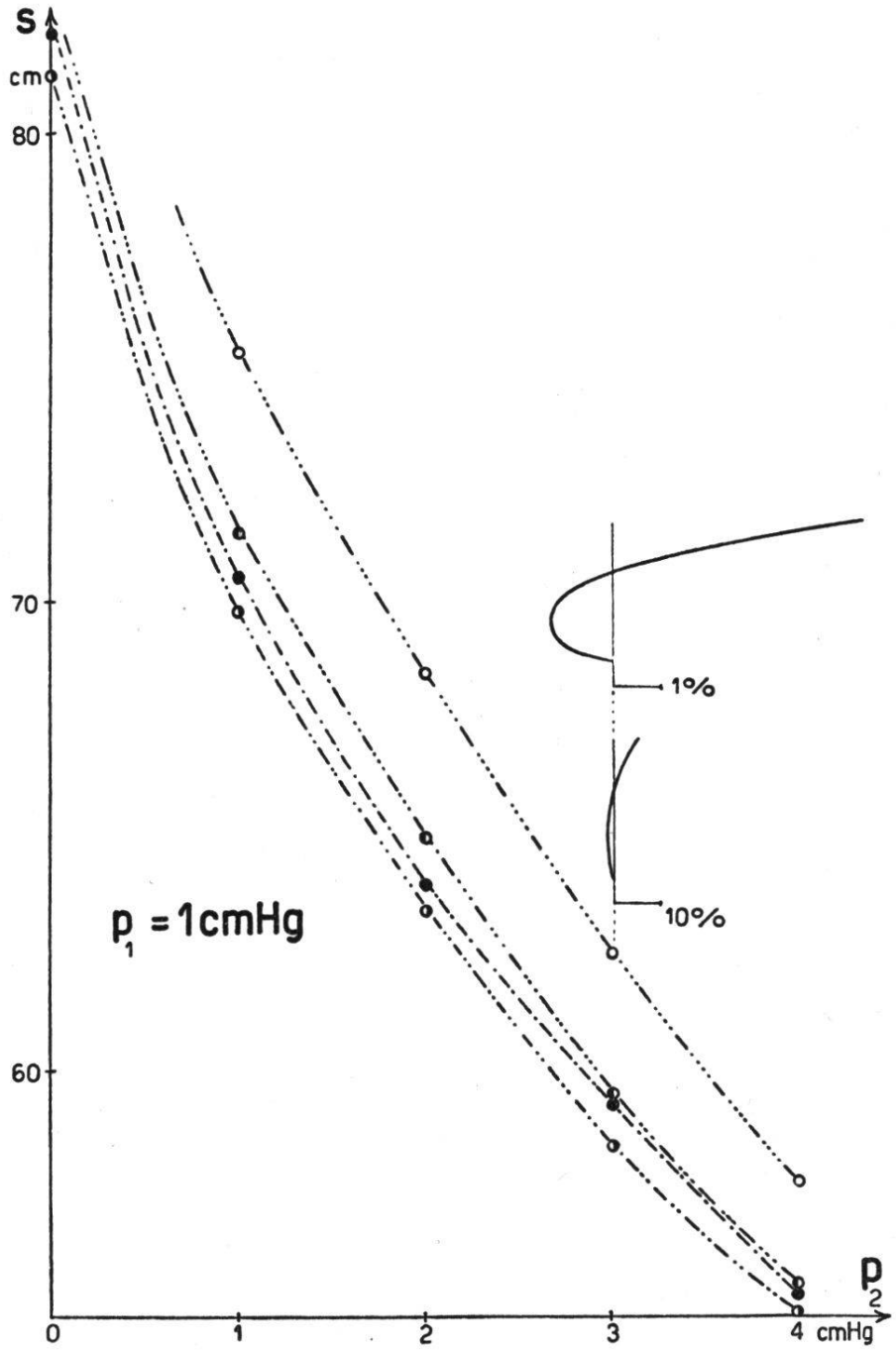

Abb. 48.

Bei der Verwendung der Doppellinse zur Brennweitenverkürzung wurden die beiden Flüssigkeitslinsen so gegen einander gekehrt, daß die dickeren Schalen die äußersten waren und die dünnen gegen den als Luftpolster benützten Zwischenraum zu liegen kamen.

Nach der langen Reihe von Vorversuchen konnte erst ein Resultat erzielt werden, nachdem die wenigen dünnen Scheiben eingetroffen waren. Wie schon oben bemerkt, konnte ohne diese lange Zeit erwarteten Streifen die antisphärische Aberration der dicken Linsenschalen nie genügend kompensiert werden.

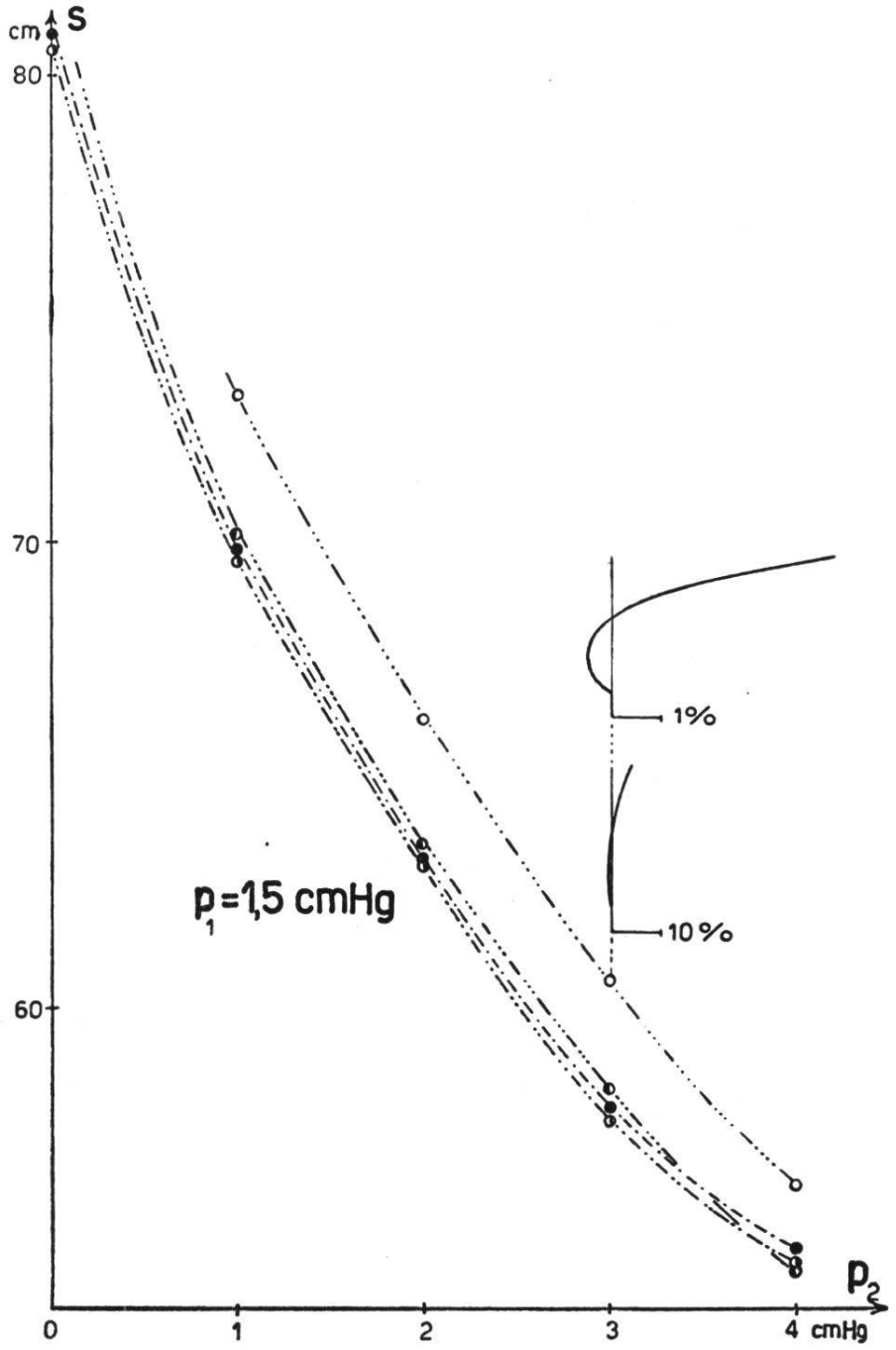

Abb. 49.

§ 7. Doppellinse

Die geringe Anzahl der erhaltenen sehr dünnen Scheiben zwang uns, die Verteilung der Linsenschalen etwas zu ändern, indem in der Doppellinse die eine Linse mit den dünnen Schalen, die andere mit dickeren ausgestattet wurde. Auf diese Weise war es möglich, die Belastung der durch ihre Seltenheit kostbaren, z. Zt. unersetzlichen dünnen Scheiben noch vorsichtiger zu übersehen. Die dickeren Scheiben waren 0,301 und 0,290 mm (die dünnsten der früher vorhandenen) stark. Alle Scheiben wurden ohne Dichtungen auf die Schwingringe geklebt.

In den Kurven dieser Doppellinse bedeutet p_1 den Druck in der Linse mit dünneren Gläsern, p_2 dagegen den Druck in der anderen.

Für die verschiedenen Werte von p_1 lesen wir aus den Kurven:

$p_1 = 0$ cm Hg (Abb. 46): Die Linse ist stark antisphärisch, denn es wirkt nur die Hälfte mit diesem Charakter.

$p_1 = 0{,}5$ cm Hg (Abb. 47): Es läßt sich eine Korrektur bemerken, indem die erste Zone näher an die zweite rückt und diese sogar schneidet.

$p_1 = 1$ cm Hg (Abb. 48): Die Brennweite der zweiten Zone ist schon unterhalb derjenigen der ersten, die Brennweite der dritten Zone bleibt länger als beide anderen. (Die Kurve der ersten Zone liegt zwischen denen der zweiten und der dritten Zone.)

$p_1 = 1{,}5$ cm Hg (Abb. 49): Bei demselben Charakter rücken die Zonenbrennweiten näher zusammen.

$p_1 = 2{,}5$ cm Hg (Abb. 50): Bedeutendes Näherrücken aller Kurven. Bei dieser Linse ist die sphärische Aberration des einen Teils weitgehend durch die entgegengesetzte Aberration des anderen Teils kompensiert.

NB. Die prozentuale Angabe der Aberration mit der Einheitsstrecke für 10 % dient zum Vergleich mit den Linsen der vorhergehenden Abschnitte. Dieser Vergleich zeigt, daß die Aberration beträchtlich herabgedrückt wurde. Die graphische Darstellung mit der Einheit von 1 % dient zum Vergleich der Kurven 46-50 untereinander.

Durch die Anordnung mit der Kammer für den Gegendruck ließe sich dasselbe erreichen, denn prinzipiell leistet jene dasselbe wie die in diesem Paragraphen beschriebene unsymmetrische Doppellinse.

§ 8. Berücksichtigung der Schalenkombination

Beim Überlegen von Korrekturmöglichkeiten kann man auch noch berücksichtigen, daß die Elastizität, also auch die Durchbiegung bei gleichem Druck, verschieden ist bei Silikatglas allein, bei überzogenem Glas oder bei auf Plexiglas aufgeklebtem. Die Form der elastischen Linie ändert sich bei diesen Kombinationen nicht (Kap. V § 7), d. h. daß der sphärische oder antisphärische Charakter erhalten bleibt. Dadurch läßt sich unter Umständen die Kammer für den Gegendruck oder die Zwischenscheibe einsparen.

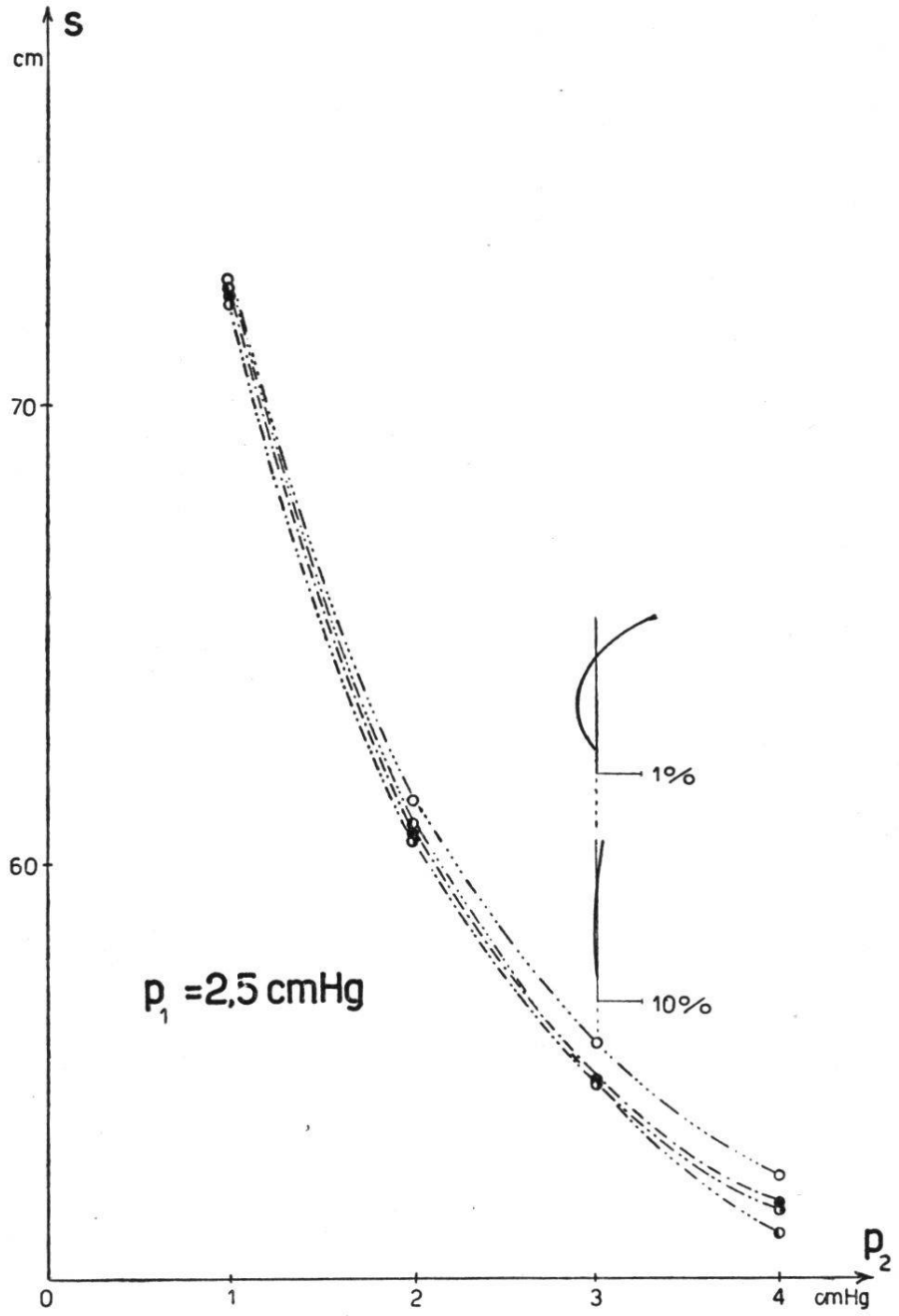

Abb. 50.