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: V: Kombinierte Linsenschalen : Elastizität und Bruchfestigkeit

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: 02.07.2025

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

V. Kombinierte Linsenschalen. Elastizität und Bruchfestigkeit

§ 1. Überzogene Scheiben

Silikatglasscheiben besitzen gegenüber den Scheiben aus Plexiglas den Vorteil, einen Bereich der Hookschen Elastizität aufzuweisen. Dies gestattet bei Silikatglas das bequemere Arbeiten mit konstantem Druck statt dem bei Plexiglas notwendigen konstanten Volumen [1]. Um den Vorteil der Hookschen Elastizität zu erhöhen und bei einem Bruch die Splitter bis zu einem gewissen Grade zusammenzuhalten, was auch die Flüssigkeit weniger leicht ausfließen läßt, wurden die Scheiben mit einem Überzug versehen. Dazu wurde Celluloselack (Cellulose-Lösung in Amyl-Acetat) über die Gläser gegossen und vorsichtig getrocknet. Beim Trocknen traten leicht Trübungen auf. Solche vermied man durch Verlangsamung des Prozesses, indem die Gläser in einer Amyl-Acetat-Atmosphäre aufgehängt wurden.

Auch andere Überzüge wurden versucht, wie Plexigum in verschiedenen Lösungsmitteln. Die Wirkungen der verschiedenen Überzüge unterscheiden sich kaum.

§ 2. Geklebte Scheiben

Jedes Material, Silikatglas und Plexiglas weist Vorteile auf. Silikatglas ist angenähert reversibel elastisch, dafür aber nur schwach belastbar. Plexiglas verträgt große Durchbiegungen, aber es besitzt ungewünschte Fließeigenschaften.

Um die Nachteile des einen mit den Vorteilen des anderen zu kompensieren, um die Elastizität von Silikatglas mit der hohen Bruchgrenze von Plexiglas zu kombinieren, wurde Silikatglas auf Plexiglas

[1] II. S. 277.

geklebt. Die Versuche wurden durchgeführt mit Silikatglasscheiben verschiedener Dicke auf Plexiglas von 0,5 mm Stärke.

Die Einflüsse der beiden Behandlungen: Überziehen und Aufkleben wurden experimentell und theoretisch untersucht. Darüber berichten wir in den folgenden Paragraphen.

§ 3. Elastizitätsmessung

Zur Untersuchung des Problems kombinierter Scheiben war es nötig, die Elastizität von Silikatglas, von überzogenem Silikatglas und von auf Plexiglas geklebtem Glas zu messen. Für Silikatglas konnte man den Elastizitätsmodul nicht aus der Literatur entnehmen, da die Zusammensetzung des zur Verfügung stehenden Glases nicht bekannt war.

Um die Messungen an kleinen Probestreifen von $l = 10$ cm Länge und $b = 1$ cm Breite auszuführen, wurde die abgebildete (Abb. 11) einfache Apparatur gebaut.

Die freundlicherweise von der Firma Omag in Neuallschwil gelieferten Platten kamen auf zwei Schneiden im Abstand von 8,3 cm zu

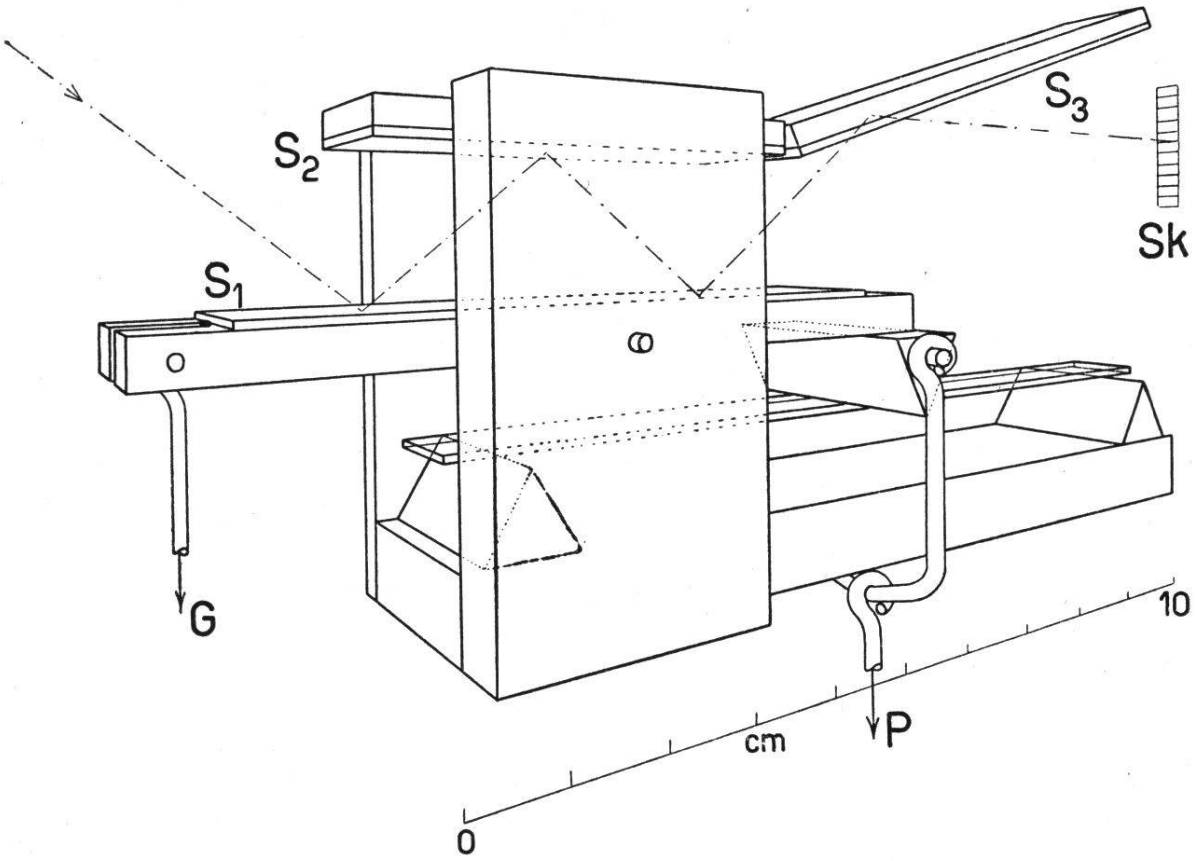

Abb. 11. Schematische Perspektive des Apparates zur Messung des Elastizitätsmoduls von Gläsern.

liegen. Die Belastung erfolgte senkrecht in der Mitte über eine dritte Schneide. Zwischen die Schneiden und das Glas wurden jeweils kleine Papierstreifen gelegt, um einen zu hohen spezifischen Druck auf die Glasoberfläche zu vermeiden. Die Belastungsschneide ist an der unteren Seite eines gleicharmigen Hebels befestigt. An der Schneide selber hing die Belastungseinrichtung, bestehend aus einem Becherglas. Schneide und Becher mit seiner Aufhängevorrichtung wurden mit Gewichten auf der anderen Hebelseite abgeglichen. Zur Belastung diente Wasser, das aus einer Meßburette in das Becherglas längs eines an der Burette befestigten Fadens (zur Vermeidung von Impulsen durch fallende Tropfen) fließen konnte. Der gleicharmige Hebel trug auf der Oberseite einen Spiegel. Zwischen diesem und einem festen Spiegel wurde ein Lichtstrahl 3 mal reflektiert um schließlich über einen weiteren festen Spiegel auf eine Skala zu gelangen. Die Eichung der Apparatur erfolgte durch Messung verschiedener Höhen der beweglichen Schneide mit Hilfe eines Kathetometers. Es ergab sich eine Verschiebung des Lichtzeigers um 42,42 Skalenteile (cm) für eine Durchbiegung von 0,1 cm. Die Eichkurve ist linear.

Die Berechnung des Elastizitätsmoduls geschah mit der Methode der kleinsten Quadrate.

§ 4. Elastizität der kombinierten Gläser

Mit der oben beschriebenen Apparatur wurden die Elastizitätsmoduln für Silikatglas, Silikatglas mit Überzug und auf Plexiglas geklebtes Silikatglas ermittelt. Dabei wurde in der Rechnung als Dicke immer diejenige von Glas allein (also ohne Überzug und ohne das 0,5 mm starke Plexiglas) eingesetzt. Eine andere Art der Rechnung würde weniger durchsichtige Resultate liefern.

Aus der graphischen Zusammenstellung der Meßresultate (Abb. 12) ist ersichtlich (die berechnete Genauigkeit beträgt 4-5 %), daß der Gesamtelastizitätsmodul (was nicht dasselbe ist wie die Größe des Hookschen Bereichs) beim überzogenen Silikatglas etwas größer ist als bei Glas allein. Viel beträchtlicher ist der Unterschied, wie zu erwarten war, bei den geklebten Gläsern. Die Wirkungen des Überzuges und des aufgekitteten Plexiglases sind natürlich umso größer, je dünner das Silikatglas ist.

Auf die theoretische Behandlung des Einflusses der Kombination von Schalen auf die Durchbiegung wird weiter unten eingegangen.

Die Streuung der Werte für die Elastizitätskonstante ist größer als die Meßgenauigkeit von 5 %. Dies rührt daher, daß die Homogenität der Meßstreifen nicht sehr groß war. Die Dickenschwankungen in der

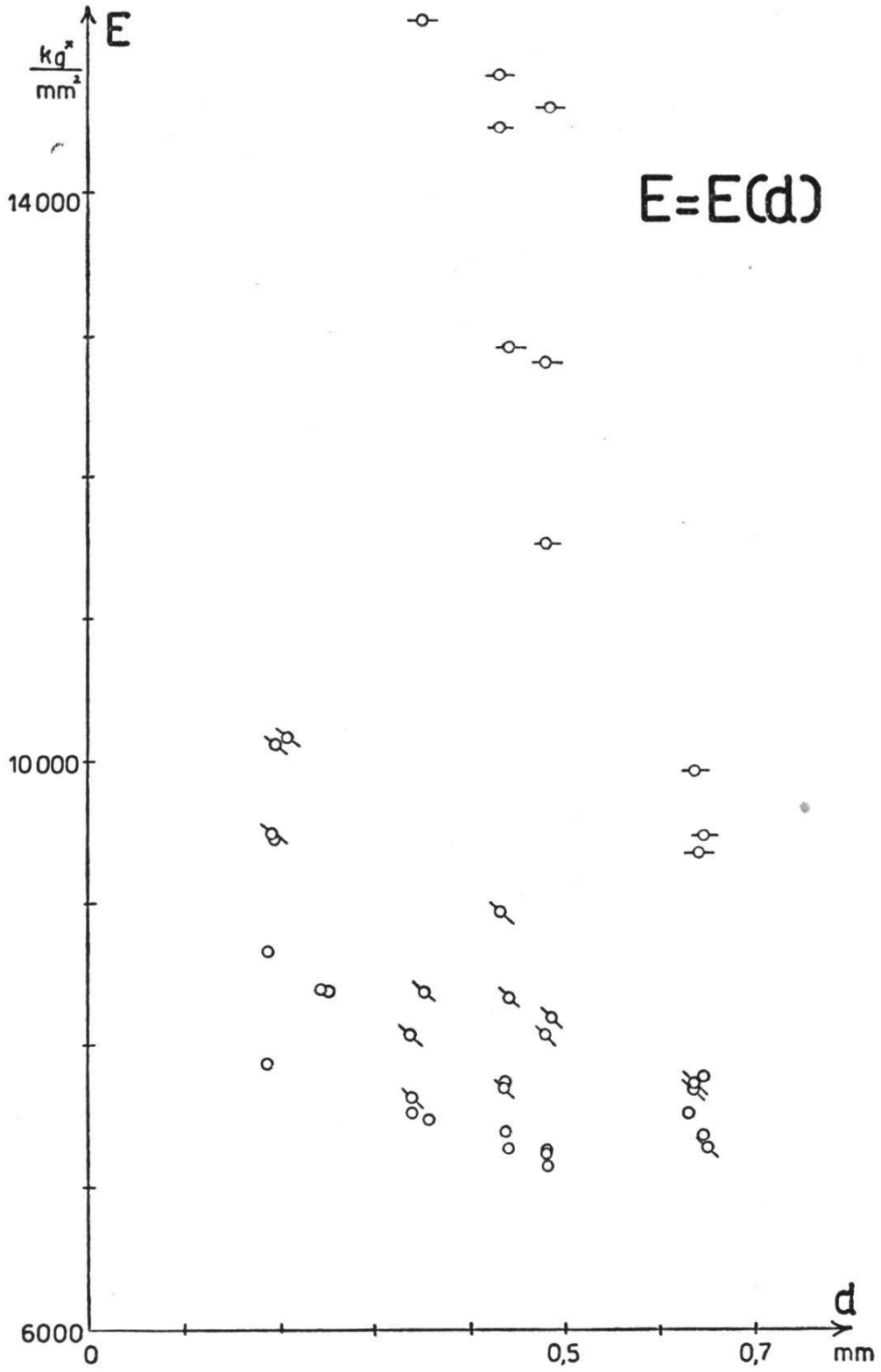

Abb. 12. Elastizitätsmodul kombinierter Gläser.
O = gemessene Werte für Silikatglas, ∅ = Silikatglas mit Celluloselack-Überzug, -O- = Silikatglas auf Plexiglas geklebt.

Längsrichtung betrugen etwa 10 μ. Bei dickeren Gläsern von 650 μ Stärke macht dies 1,5 % aus, bei dünnen von 200 μ schon 5 %. So erklärt sich auch, warum die Streuung bei den dünneren Gläsern stärker ist.

§ 5. Bruchfestigkeit

Die Kombination der Linsenschalen hat keinen großen Einfluß auf die Bruchfestigkeit, diese wird nur in geringem Maße erhöht.

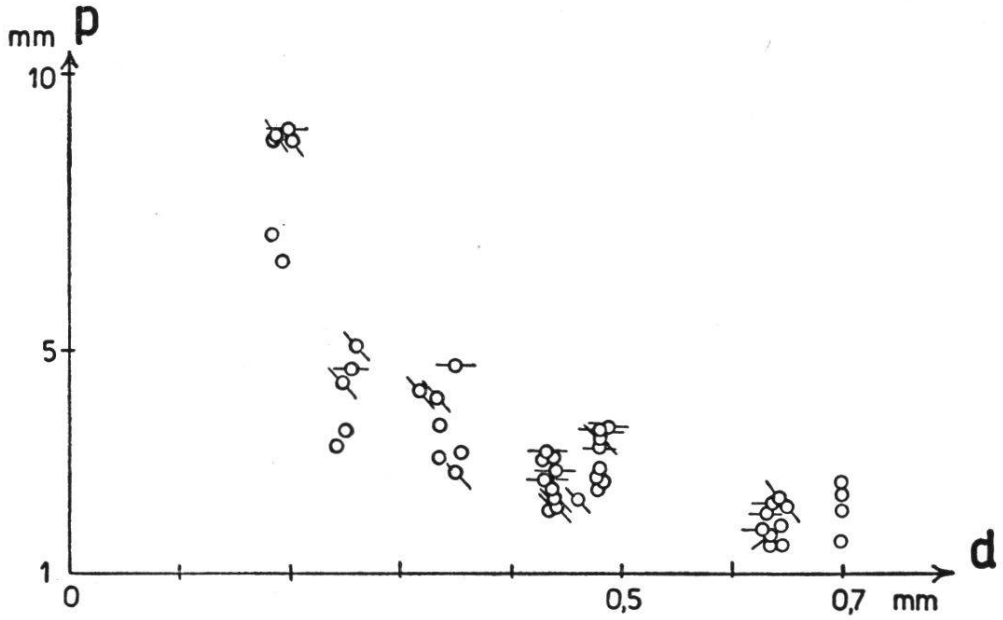

Abb. 13. Bruchfestigkeit (Durchbiegung bei Bruch).
Für die Erklärung der Zeichen siehe Abb. 12.

Trägt man die Durchbiegung bei Bruch graphisch auf, so sieht man, daß diese bei den verschiedenen Gläsern nicht stark abweicht (Abb. 13). Es läßt sich immerhin eine Tendenz zu größerer Bruchfestigkeit feststellen bei Überzug und bei Kleben. Natürlich gilt das Gesagte nur, wenn man sich auf die Durchbiegung bezieht; die zum Bruch erforderliche Belastung ist in den drei Fällen stark verschieden:

Als Beispiel diene die mittlere Dicke von 350 μ.

Silikatglas	Bruch bei P = 70 gr*
Silikatglas mit Überzug	Bruch bei P = 87 gr*
Silikatglas auf Plexiglas geklebt	Bruch bei P = 230 gr*

An dicken Silikatglasscheiben (0,7 mm) wurde beobachtet, daß man gegenüber Glas allein eine Steigerung der Bruchfestigkeit erhielt bei folgenden Kombinationen (aufgezählt in der Reihenfolge größerer Bruchfestigkeit):

Kleben auf Plexiglas, Kleben auf Plexiglas unter Druck, Kleben auf Plexiglas auch ohne Druck, aber unter vorangehender Reinigung nach einem besonderen Verfahren. In Abb. 14 sind die drei Meßpunkte über demjenigen für Silikatglas allein bei d = 0,7 mm eingetragen.

§ 6. Vorteilhafte Dicke und Kombination der Scheiben

Um praktisch brauchbare, d. h. genügend kurze Brennweiten zu erhalten, müssen die dünneren Scheiben (300-200 μ) verwendet werden. Bei diesen ist das Kleben auf Plexiglas für die Mittel des Laboratoriums sehr schwierig und läßt sich ohne spezielle technische Methoden kaum mit dem für ein gutes Haften notwendigen Druck durchführen. Die dünnen Scheiben brechen bei einem solchen Versuch des Aufklebens schon in ihrer Form von Versuchsstreifen. Ganze Linsenschalen von so geringen Dicken aufzukleben gelang uns nie einwandfrei. Aus diesem Grund wurde der Überzug vorgezogen.

Beim Überzug sind zur Erreichung der gleichen Durchbiegung kleinere Drucke notwendig als bei geklebten Gläsern, ein weiterer Umstand der für die Verwendung überzogener Gläser in den Fällen spricht, wo Linsen ohne Kautschukdichtungen zusammengesetzt werden und dementsprechend für zu hohen Flüssigkeitsdruck nicht mehr dicht halten.

§ 7. Einfluß der Kombination auf die Durchbiegung

Die Berechnung des Einflusses eines Cellulose-Überzuges auf Silikatglas, oder des Aufklebens von Silikatglas auf Plexiglas wurde hier nur für Glasstreifen, nicht für Scheiben durchgeführt. Experimentell zeigte sich eine gute Übereinstimmung der elastischen Linie von Streifen und Scheiben, so daß sich die Art der Beeinflussung durch den Überzug oder die Kombination schon an den Streifen übersehen läßt.

Es handelt sich hier um folgende Fragen:

1. Welches ist die Gestalt der elastischen Linie eines Balkens, der beidseitig mit einer Schicht überzogen ist, die keine Biegungssteifigkeit besitzt (Abb. 14a).

2. Welches ist die elastische Linie und die Durchbiegung eines einfachen Balkens, dessen Elastizitätsmodul in einer zur neutralen Schicht parallelen Ebene einen Sprung erleidet? Der Balken ist zusammengesetzt aus zwei Balken mit verschiedenen Materialkonstanten (Abb. 14b).

Zur Berechnung des Einflusses des Überzuges berücksichtigen wir nur die untere Schicht. Die obere kann vernachlässigt werden, da sie wegen ihrer geringen Dicke (in Bezug auf den Balken im Mittel 3 %) nicht als fester Körper mit Biegungssteifigkeit behandelt werden muß.

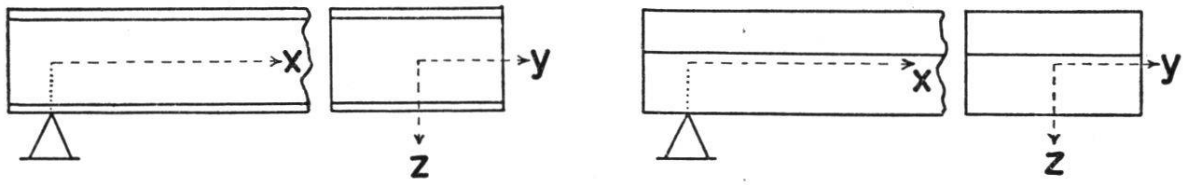

Abb. 14. Die beiden uns interessierenden Fälle

Die Überzüge sind vielleicht mit Kautschukmembranen zu vergleichen, die nur bei Zug eine tangentielle Kraft erzeugen. Um diese Kraft zu berechnen, brauchen wir die Verlängerung der Oberfläche des Balkens bei der Durchbiegung.

Ist ρ der Krümmungsradius der neutralen Faserschicht und ds die Länge eines Balkenelementes, so ist die Verlängerung einer in der Entfernung λ von der neutralen Schicht liegenden Faser der ursprünglichen Länge ds, gegeben durch

$$\Delta\, d\,s = \frac{\lambda}{\rho}\, d\,s$$

Die Dicke des Balkens ist $d = 2e$, also folgt für die Oberfläche

$$\Delta\, d\,s = \frac{e}{\rho}\sqrt{1 + z'^2}\, d\,x$$

Es ist aber
$$\frac{1}{\rho} = \frac{z''}{\sqrt{(1 + z'^2)^3}}$$

Dadurch wird die Verlängerung der Oberfläche, mit der zur Ableitung der elastischen Linie eines einfachen Balkens bei kleiner Durchbiegung üblichen Vernachlässigung $z'^2 = o$:

$$\Delta\, d\,s = e z''\, d\,x$$

was das Gleichsetzen von ds und dx bedeutet.

Wegen der in der Festigkeitslehre bekannten Beziehung

$$z'' = -\frac{M}{E\,J}$$

wo J (= J_y) das Flächenträgheitsmoment des Querschnittes und M das Moment der äußeren Kräfte (einschließlich der Auflagereaktionen) im Querschnitt x ist. In unserem Fall der Einzellast Q in der Mitte:

$$M = \frac{Q}{2} x$$

Die gesuchte Verlängerung wird dadurch:

$$\left| \Delta s \right| = e \int_0^l \frac{Q x}{2 E J} d x = \frac{Q}{4 E J} e l^2$$

Ist E_0 der Elastizitätsmodul des Überzuges und i dessen Dicke, so bewirkt die Dehnung um Δs eine tangentielle Kraft, die sich nach Hook berechnen läßt zu

$$K = \frac{E_0}{E} \frac{Q}{4 J} e b i l$$

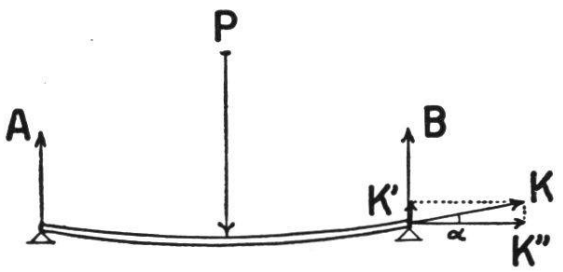

Abb. 15.

Diese tangentielle Zusatzkraft bewirkt, daß für die gleiche Durchbiegung wie bei demselben Balken ohne Überzug eine Kraft $P > Q$ erforderlich ist. Ohne Überzug sind die Auflagekräfte: $A = B = Q/2$. Durch den Überzug kommt noch die Kraft K' hinzu (Abb. 15):

$$K' = K \sin \alpha \approx K z' \Big|_{x=0} = K \frac{Q}{4 E J} \frac{l^2}{4}$$

Also ist P (= 2A + 2K' = Q + 2K'), durch Einsetzen des Wertes von J:

$$\boxed{P = Q + Q^2 \frac{9}{128} \frac{E_0}{E^2} \frac{l^3 i}{e^5 b}}$$

In Abb. 16 ist der quadratische Gang der Differenz P — Q dargestellt. Es wurde dazu graphisch die Belastung für die gleiche Durchbiegung in den beiden Fällen von Silikatglas mit und ohne Überzug ermittelt.

Für die *verteilte Belastung* von q gr*/cm ist die Verlängerung der Oberflächenschicht

$$\Delta s = \frac{e q l^3}{12 E J}$$

wie sich aus der dem vorhergehenden Fall analogen Berechnung ergibt.

Die durch den Überzug erzeugte tangentielle Zusatzkraft K folgt wieder aus dem Hook'schen Gesetz.

$$K = \frac{E_0}{E} \frac{e\, i\, b\, l^2\, q}{12\, J}$$

Wie oben, ist auch hier mit dieser Zusatzkraft eine größere Flächenbelastung p notwendig, um dieselbe Durchbiegung zu erhalten.

$$\boxed{p = q + \frac{E_0}{64} \left(\frac{q}{E}\right)^2 \frac{l^4}{e^5} \frac{i}{b}}$$

Auch hier ergibt sich die quadratische Abhängigkeit der Differenz p — q als Funktion von q.

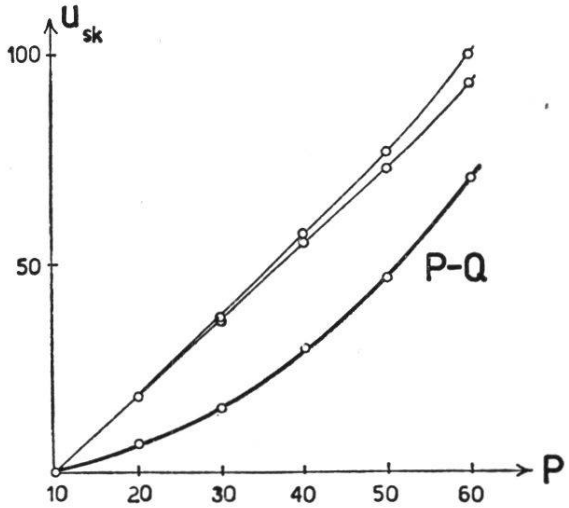

Abb. 16. Maximale Durchbiegung in Skalenteilen als Funktion der Belastung.

Von den dünneren Kurven gilt die obere für Silikatglas allein, die untere für überzogenes Silikatglas. Die dicke Kurve gibt die Differenz an, bei gleicher Durchbiegung.

Wegen der in beiden Fällen vorausgesetzten vernachlässigbaren Biegungssteifigkeit des Überzuges wird die Form der elastischen Linie durch ihn nicht beeinflußt.

In dieser und in der folgenden Berechnung wurde zuerst übersichtshalber der Fall der Einzellast in der Mitte behandelt. Dieser Fall ist der bei der Elastizitätsmessung nach Abschn. V § 3 vorliegende. Die verteilte Belastung nähert sich dem Belastungszustand der Scheiben in der Linse, auf die ein Flüssigkeitsdruck wirkt.

Klebt man zwei Platten aus verschiedenem Material aufeinander, geht bei der Durchbiegung die neutrale Faser nicht mehr durch den Querschnittsschwerpunkt, sondern sie wird von diesem in einem gewissen Abstand ζ verlaufen. Dieser Abstand soll nun bestimmt werden.

E_1 und E_2 seien die Elastizitätskonstanten der beiden Platten, d_1 und d_2 die entsprechenden Dicken. Ist ε_x die spezifische Dehnung und σ_x die spezifische Spannung in der x-Richtung, so ist das Hook'sche Gesetz :

$$\sigma_x = E\, \varepsilon_x$$

Für die Rechnung seien zwei Annahmen getroffen :

1. Die Kittung sei so fest, daß an der Kittfläche kein Gleiten eintritt.

2. Bei der Durchbiegung bleibe der Querschnitt eben (Übliche Hypothese der Festigkeitslehre).

Nach diesen Voraussetzungen ist (siehe Abb. 17):

$$\varepsilon = c\,z$$

wenn man die neutrale Faserschicht als xy-Ebene wählt.

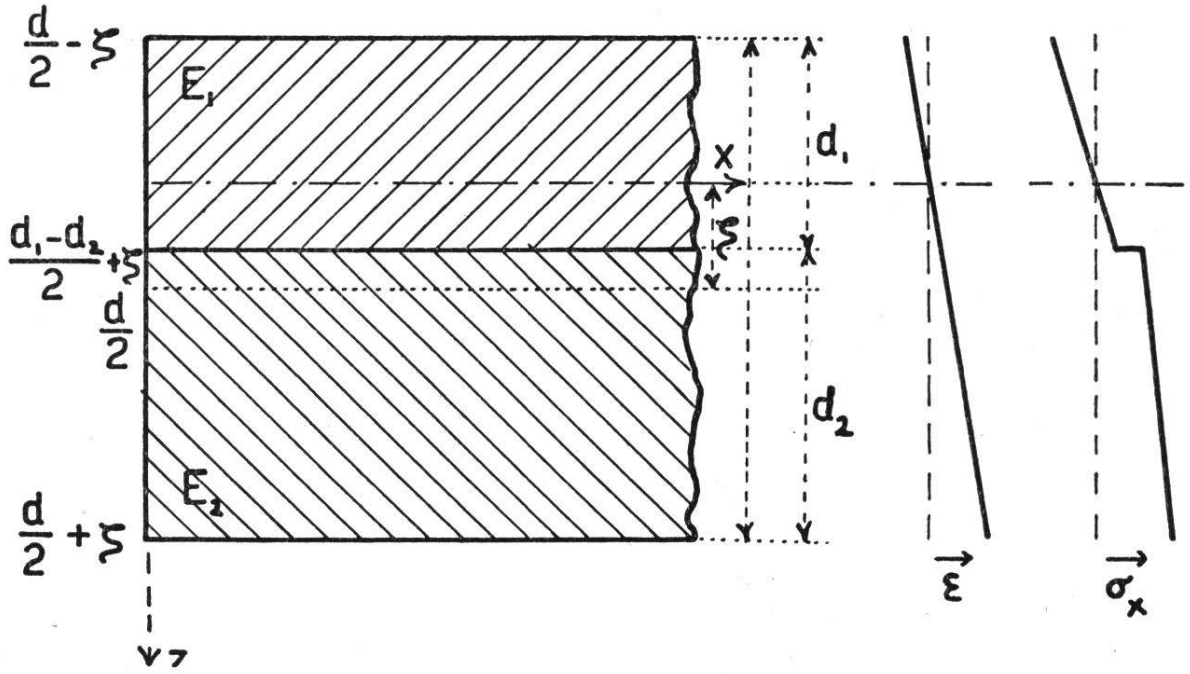

Abb. 17.

Das Moment der oberen σ-Kräfte in Bezug auf die neutrale Faser ist (Abb. 17):

$$M_o = \int_0^{d/2 - \zeta} \sigma_x\, z\, dz = \frac{c}{3} E_1 \left(\frac{d}{2} - \zeta\right)^3$$

Moment der unteren σ-Kräfte:

$$M_u = c\,E_1 \int_0^{\frac{d_1 - d_2}{2} + \zeta} z^2\, dz + c\,E_2 \int_{\frac{d_1 - d_2}{2} + \zeta}^{d/2 + \zeta} z^2\, dz =$$

$$= \frac{c}{3} E_1 \left(\frac{d_1 - d_2}{2} + \zeta\right)^3 + \frac{c}{3} E_2 \left[\left(\frac{d}{2} + \zeta\right)^3 - \left(\frac{d_1 - d_2}{2} + \zeta\right)^3\right]$$

Die Gleichgewichtsbedingung $M_o = M_u$ liefert die Gleichung:

$$2\,E_1\,\zeta^3 - \frac{3}{2}\,d_2\,(E_1 - E_2)\,\zeta^2 + 3\left(\frac{d_1^2 + d_2^2}{2}\,E_1 + d_1\,d_2\,E_2\right)\zeta -$$

$$- \frac{d_2}{4}\,(3\,d_1^2 + d_2^2)\,(E_1 - E_2) = o$$

Diese Gleichung ist zu kompliziert für eine allgemeine Auflösung. In interessierenden Fällen werden vor der Auflösung nach ζ die Zahlenwerte der Materialkonstanten und der Dicken eingesetzt.

Die Lösung obiger Gleichung gibt an, in welchem der beiden Medien sich die neutrale Schicht befindet. Aus der Definition der elastischen Linie folgt, daß sich der Balken so durchbiegt, wie wenn er ganz aus dem Material bestände, in dem die neutrale Schicht verläuft. Die Durchbiegung ist die eines Ersatzbalkens, dessen Dicke zweimal diejenige jenes Materials zwischen der freien Oberfläche und der neutralen Faser (Abb. 18) beträgt.

Der linke Teil der Abbildung 18 zeigt den Ersatzbalken im Falle der neutralen Schicht im oberen Material, der rechte Teil den Ersatzbalken, wenn die neutrale Schicht im unteren Material liegt. Die Dicke des Ersatzbalkens wollen wir *reduzierte Dicke* nennen.

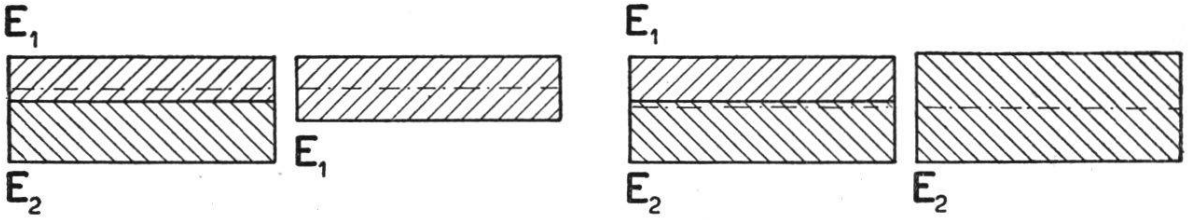

Abb. 18.

Beispiel. Glas in der Dicke von 4.10^{-2} cm wurde auf Plexiglas von 5.10^{-2} cm geklebt. Es ist

$d_1 = 4.10^{-2}$ cm $\qquad d_2 = 5.10^{-2}$ cm

$E_1 = 7{,}5.10^8$ gr*/cm² $\qquad E_2 = 0{,}28.10^8$ gr*/cm²

Führt man diese Werte in die Gleichung für ζ ein, erhält man

$$\zeta = 1{,}5311.10^{-2}\ \text{cm}$$

Die reduzierte Dicke ist dann (effektive Dicke 0,9 mm)

$$d = 5{,}94.10^{-2}\ \text{cm}$$

Ein Balken der Länge 8,5 cm und Breite 1 cm biegt sich bei dieser Dicke (mit dem Elastizitätsmodul von Silikatglas, denn darin verläuft die neutrale Schicht) in der Mitte um:

$$z_{max} = 0{,}49 \text{ mm}$$

bei Belastung von 50 gr* in der Mitte. Dieser Wert ist im Vergleich zum experimentellen Ergebnis

$$z_{max} = 0{,}6 \text{ mm}$$

befriedigend, denn die Abweichung nach zu großer Durchbiegung im Experiment läßt sich durch die unvollkommene Kittung erklären. Bei der Durchbiegung mit ideal vorausgesetzter Kittung würde bei eben bleibendem Querschnitt ein Sprung der Spannung an der Kittfläche auftreten. Die Kittung gleitet aber und versucht diesen Sprung auszugleichen auf Kosten der Hypothese des eben bleibenden Querschnittes.

Ist zwischen den beiden Materialien vollkommenes Gleiten möglich, so berechnet sich die Durchbiegung wie folgt: Der Träger mit Elastizitätsmodul E_1 sei der obere. Er biegt sich unter der Last P_1 nach der Gleichung

$$z_1 = \frac{P_1 x}{4 E_1 J_1} \left[\frac{l^2}{4} - \frac{x^2}{3}\right]$$

Der untere Träger wird dadurch so gebogen, daß seine elastische Linie dieselbe Form erhält. Dies entspricht für ihn einer Belastung durch die Kraft P_2

$$z_2 = \frac{P_2 x}{4 E_2 J_2} \left[\frac{l^2}{4} - \frac{x^2}{3}\right]$$

Aus der Identität der elastischen Linien und

$$P = P_1 + P_2$$

da die äußere Kraft, die die Durchbiegung beider Träger verursacht gleich der Summe der beiden anderen sein muß,
folgt für die Balkenmitte ($x = l/2$):

$$z_{max} = \frac{P}{1 + \frac{E_2 d_2^3}{E_1 d_1^3}} \left(\frac{l}{d_1}\right)^3 \frac{l}{4 E_1 b}$$

In unserem Beispiel gibt dies

$$z_{max} = 1{,}49 \text{ mm}$$

Das experimentelle Resultat liegt also weit näher dem theoretischen für vollkommene Kittung als für vollständiges Gleiten.

§ 8. Folgen für die Korrektur der Aberration

Die Verwendung kombinierter Schalen erlaubt es, innerhalb gewisser Grenzen in gegebenen Druckintervallen die gewünschte Größe der Durchbiegung zu erzielen. Dies ist wichtig bei Linsen deren Schalen zur Korrektur der sphärischen Aberration verschieden dick sind (Kap. X § 4).

§ 9. Weiteres Mittel zur Erhöhung des Elastizitätsbereichs

Es wurden Versuche unternommen, die Linse mit Gelatine zu füllen. Durch diese Füllung werden die Grenzen des nutzbaren Elastizitätsbereiches erweitert, die Dichtungsschwierigkeiten verringern sich, und die Bedingung, das Füllvolumen konstant zu halten wird leichter erfüllt.

Das Einfüllen der Gelatine geschah nach Verflüssigung derselben durch Wärmen. Die gefüllte Linse wurde in einem Ofen etwa eine Stunde lang bei mäßiger Temperatur (um 40° C) gelassen, um die beim Füllen entstandenen Schlieren zu beseitigen. Nachher ließ man die Temperatur des Ofens langsam sinken. Bei dieser Art der Füllung, die sich gut bewährte, mußte beachtet werden, daß bei Plexiglaslinsen die Einfülltemperatur und die Ofentemperatur nicht zu hoch waren, was eine Deformation der dann leicht fließenden Scheiben zur Folge gehabt hätte. Bei 80° C läßt sich das für uns verfügbare Plexiglas leicht plastisch verformen.

Die zahlreichen an den Linsen durchgeführten Versuche, die oft auszuwechselnden Gläser und Schwingringe, erforderten die Möglichkeit die Linsenfassungen leicht auseinandernehmen und zusammensetzen zu können. Zur Vereinfachung dieser Arbeit und um nicht wiederholt Zeit zu verlieren durch das etwas umständliche Einfüllen von Gelatine, wurde diese Füllung nur selten benützt, denn das optische Verhalten der Gelatine-Linsen ist identisch mit demjenigen der Glycerin-Linsen. Obwohl also die Gelatine-Füllung mechanisch die geeignetere ist, wurde für die Versuche die experimentell einfachere Glycerin-Füllung vorgezogen.