Kristall sein kann. Sie wird aber schon in einem kleinen Gebiet, das noch kristallähnliche, quasikristalline Struktur aufweist, so stark von der im Kristall selbst abweichen, daß sie eine charakteristische Veränderung des Spektrums hervorrufen kann. Das von Herrn Tomaschek zitierte Bild 11 bezieht sich nicht auf Fluoreszenz im Glas, sondern in Kristallen mit sehr wenig verschiedener, röntgenographisch nicht unterscheidbarer Struktur, in der aber doch wohl glasähnliche Deformationen nicht auftreten. Hinzu kommt, daß in den im Vortrag genannten Uebergangszonen ja ohne weiteres die Tomaschekschen Ueberlegungen Platz greifen. Die Uebergangszonen können dabei verhältnismäßig groß gegenüber den quasikristallinen Bezirken sein, wie man aus der geringen Intensität der 12,5 μ-Bande schließen darf, wenn auch eine genauere Abschätzung noch nicht möglich ist. Daß aber sicher kein reines statistisches Netzwerk von SiO_4-Tetraedern im untersuchten Quarzglas vorhanden ist, scheint mir eine unzweifelhafte Folgerung aus dem ultraroten Spektrum und geht ebenso aus den zitierten röntgenographischen Untersuchungen hervor. Eine extreme Kristallitauffassung, die die Uebergangszonen zwischen den quasikristallinen Gebieten vernachlässigt, und von merklichen Deformationen innerhalb der Kristallite absieht, ist ebenso abzulehnen, sowohl nach den Lumineszenzuntersuchungen als auch aus den im Vortrag angedeuteten allgemeinen Erwägungen heraus. Das Lumineszenzverfahren scheint mir aber nicht in der Lage zu sein, eine quasikristalline Struktur kleiner Raumteile mit Uebergangszonen von einer völlig zufälligen Gruppierung der SiO_4-Tetraeder zu unterscheiden, da es für diese Unterscheidung nicht nur auf die nächste Umgebung ankommt. Daß sich Ultrarot- und Lumineszenzverfahren auf verschiedene Fragen beziehen, folgt auch aus dem experimentellen Befund, daß die Fluoreszenzspektren von Gläsern mit variablem Gehalt an basischem Oxyd einander gleich sind, die Ultrarotspektren aber eine deutliche Verschiebung mit wachsendem Basengehalt zeigen.

3. Wollte man die Annahme einer rein statistischen Verteilung von quarzähnlichen Ringen aufrecht erhalten, so müßte auch dann infolge ihrer starken Abweichung von der Kugelsymmetrie eine merkliche quarzähnliche Ordnung in ihrer Umgebung statthaben*), und der Sachverhalt würde sich auch unter dieser Voraussetzung praktisch mit der Vorstellung einer quasikristallinen Struktur decken.

Ich bin daher gezwungen, an meiner Ansicht festzuhalten, daß auch die Fluoreszenzspektren mit einer Kristallitauffassung in dem von mir gemeinten nicht extremen Sinn verträglich seien, daß sie jedenfalls den von mir auf die Struktur des Quarzglases gezogenen Schluß nicht widerlegen.

*) Vgl. analoge Modellversuche von Stuart über quasikristalline Struktur von Flüssigkeiten, Phys. Z., **38** (1937), S. 1027.

(12 172)

DK 620.152.2 : 539.412.1 : 666.11 (045)

Apparate zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit.

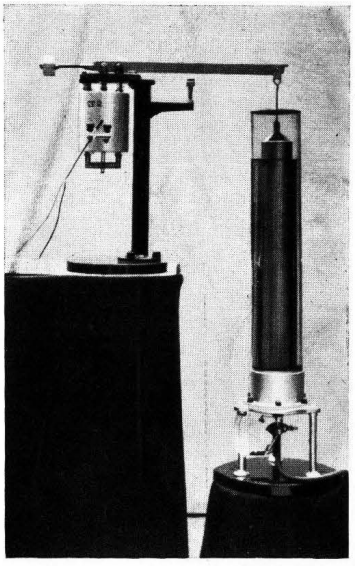
Von Ernst Rexer, Halle (Saale).
(Aus dem Institut für theoretische Physik der Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg.)

1. Einleitung.

Die Festigkeitsbefunde an Werkstoffen (Festigkeitswerte sowie Beschaffenheit der Bruchflächen) sind neben ihrer außerordentlichen Bedeutung für die Technik auch von großer Wichtigkeit für Fragen des Stoffaufbaues. Von den verschiedenen mechanischen Beanspruchungen auf Zug, Druck, Biegung, Torsion usw. ist besonders die auf Zug für eine weitgehende, wenn auch nicht erschöpfende Materialbeurteilung geeignet. Die Gründe hierfür liegen in der einfachen Versuchshandhabung, in der insbesondere beim verwendeten Rundstab gleichmäßigen Beanspruchung des Prüfkörpers, in einer zwangsläufig bedingten Kennzeichnung der schwächsten Materialstellen und in der Tatsache, daß die Zugbeanspruchung den gewissermaßen allen anderen Beanspruchungsarten charakteristischen Grundvorgang darstellt. Dementsprechend ist die Zug- oder Zerreißfestigkeit eine der meist untersuchten, bekannten Kennziffern fast aller Stoffe geworden[1]).

2. Zerreißapparatur für „normale" Stäbchen.

Im folgenden ist die in unserem Institut entwickelte Apparatur zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit von Gläsern beschrieben. Die dabei verwendeten „normalen" Versuchsstäbchen haben Kreisquerschnitt bei einem Durchmesser von etwa 1,4 mm. Diese Querschnittsform bedingt zufolge des meist von der Oberfläche ausgehenden Bruches, daß alle Oberflächenstellen gleichwertig sind im Gegensatz etwa zu Stäbchen mit quadratischem Querschnitt. Bild 1 und 2 zeigen die betriebsfertige Apparatur, deren konstruktive Einzelteile Bild 4 verdeutlicht.



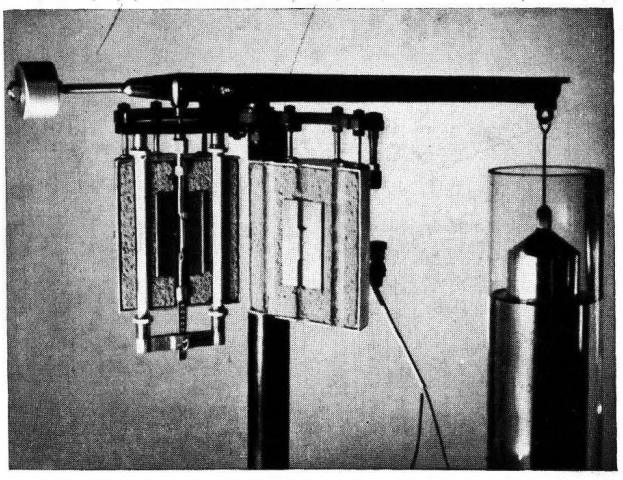


Bild 1 und 2. Apparatur zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit von „normalen" Glasstäbchen.

[1]) Vgl. A. Smekal, Ergeb. d. ex. Naturw., **15** (1936), S. 106—188.

Auf einer Grundplatte (1) ist an einer Säule (2) eine kräftige Querplatte (3) befestigt. Diese dient einmal in dem Halter (4) als Träger für den in Spitzen (5) gelagerten Belastungshebel (6), dessen eine Seite zur Uebertragung der Zugbeanspruchung durch einen Schwimmer (Bild 1) benutzt wird und an dessen anderer Seite diese Zugbeanspruchung, meist bei einem Uebertragungsverhältnis von 1 : 10, auf das Versuchsstäbchen ausgeübt wird. (3) dient weiter mittels der beiden Glas- bzw. Porzellanstäbe (7) und des Querriegels (8) als Festpunkt für die Zugbeanspruchung des Versuchsstäbchens. Zwischen diesem Festpunkt und dem Belastungshebel ist das Versuchsstäbchen (V) besonders befestigt. (V), das an den Enden angeschmolzene Knöpfe (Bild 5a) hat, wird in mit Schlitzen versehene bzw. in mit Gummi gefütterte Fassungen (9) eingehängt oder dort wegen allseitiger Kraftübertragung mit Siegellack eingekittet. Die untere Fassung (9) ist beweglich durch das Drehgelenk mit einem Halter (11) verbunden, der mittels Stift 12 ebenfalls drehbar mit (8) verbunden wird und so als Festpunkt für die Zugbeanspruchung dient. Die obere Fassung (9) ist über ein frei drehbares Kugelgelenk (13) beweglich an dem Belastungshebel angebracht. Auf diese Weise ist eine absolut knickfreie Beanspruchung des Versuchsstäbchens gewährleistet.

Die Zugbeanspruchung wird durch einen Schwimmer (Bild 1) übertragen, dessen Last an einer Teilung (Bild 1) je nach dem Wasserablaß abgelesen werden kann. Die Ausflußgeschwindigkeit des Wassers und damit die Geschwindigkeit der Lastzunahme kann an einer Teilung (Bild 1) eingestellt werden und läßt so die Bestimmung der Zerreißfestigkeit unter verschiedener Belastungsgeschwindigkeit ebenso wie unter konstanter Last zu. Hierdurch wird eine möglichst stoß- und erschütterungsfreie sowie stetige Beanspruchung ermöglicht.

Der aufklappbare Ofen (14) (Bild 2), über die drehbaren Hebel (15) ebenfalls an (3) befestigt, vermöglicht die Bestimmung der Zerreißfestigkeit bei verschieden hohen Temperaturen, wobei das Thermoelement (16) die Temperatur anzeigt. (14) besteht aus 2 mit Heizdrähten versehenen Metallstücken (17), die wärmeisoliert befestigt sind. Das Versuchsstäbchen kann auf diese Weise einer weitgehend homogenen, höheren Temperatur ausgesetzt werden. Zwecks Bestimmung der Zerreißfestigkeit in Tieftemperatur wird nach Aufklappen des Ofens z. B. ein Dewargefäß mit flüssiger Luft über die Haltevorrichtung mit dem Versuchsstäbchen geschoben.

Schließlich kann so das Versuchsstäbchen durch Unterschieben eines Glases in eine beliebige Flüssigkeit gebracht und die Zerreißfestigkeit untersucht werden.

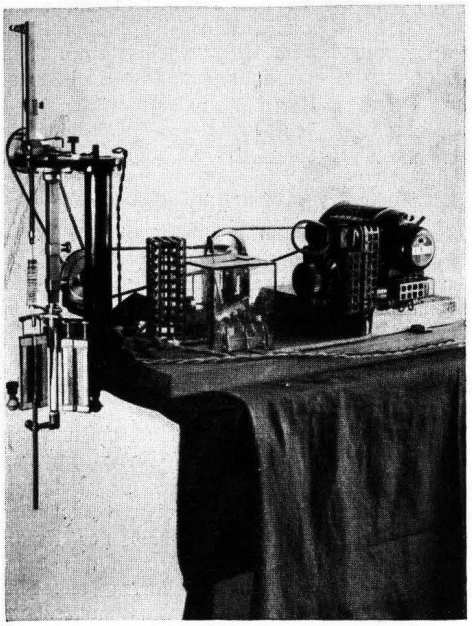


Bild 3. Apparatur zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit von Glasfäden.

3. Meßgenauigkeit.

Die Meßgenauigkeit des Einzelwertes ist lediglich durch die Ablesegenauigkeit bedingt und läßt sich bequem unter $\pm 1\%$ bis $\pm 1‰$ halten. Die normale Streuung von Zerreißfestigkeitswerten entspannter Stäbchen bei konstanter mittlerer Belastung beträgt etwa $\pm 10\%$[2]) und wird damit durch die Apparaturmeßgenauigkeit praktisch nicht beeinflußt. Für möglichst geringe Streuung ist außer den bestens eingehaltenen Bedingungen von Temperatur, Versuchsgeschwindigkeit und umgeben-

[2]) Siehe A. Smekal, Glastechn. Ber., **16** (1938), H. 4, S. 146.

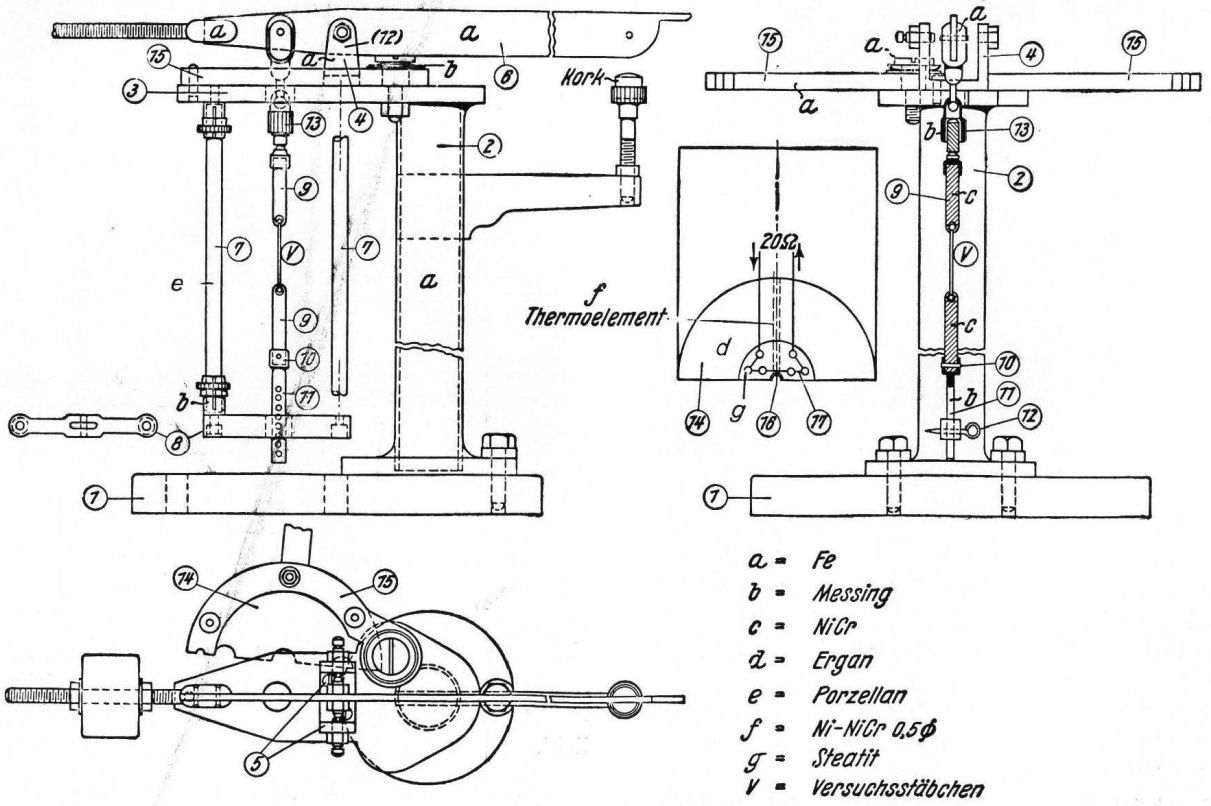


Bild 4. Apparatur zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit von „normalen" Glasstäbchen.

dem Medium die Beachtung weiterer Faktoren von Bedeutung, von denen einige wichtige hier genannt seien:

a) Die Stäbchendicke muß wegen der bekannten Abhängigkeit der Zerreißfestigkeit vom Stäbchendurchmesser[3]) möglichst konstant gehalten werden;

b) das Stäbchenmaterial muß gleichartig sein, also entweder gleichmäßig gespannt oder besser gleichartig entspannt;

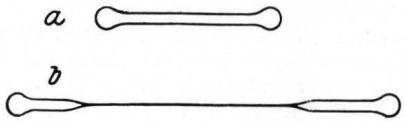


Bild 5. Schematisches Bild der „normalen" Versuchsstäbchen und -Fäden.

c) die Halteknöpfe am Stäbchen müssen symmetrisch zur Stäbchenachse angeschmolzen sein (Bild 5a), da sonst leicht Biegebeanspruchung hinzukommt. Um dies stets sicher zu erreichen, werden die Knöpfe an dem lose eingespannten, gleichmäßig gedrehten Stäbchen mit einer kleinen Gasflamme oder einer Heizspirale angeschmolzen;

d) weiter muß darauf geachtet werden, daß Zerreißfestigkeitswerte, bei denen die Reißstelle in unmittelbarer Nähe des Knopfes liegt, von der Mittelung ausgeschlossen werden; denn einerseits ist die Spannungsbeanspruchung durch die Zerreißlast in unmittelbarer Nähe des Knopfes inhomogen, andererseits ist der Spannungsgehalt, falls gespanntes oder entspanntes Material mit gespannten Knöpfen verwendet wird, in Knopfnähe ebenfalls inhomogen;

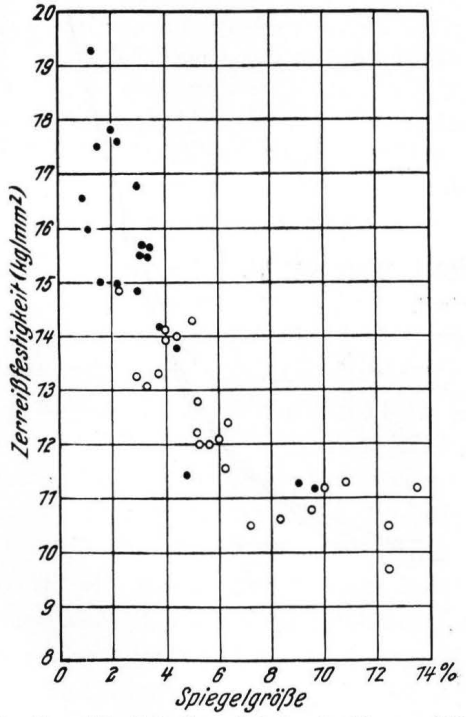


Bild 6. Zerreißfestigkeit und Spiegelgröße an Stäbchen verschiedener Länge.

			Freie Stäbchenlänge 13 mm	35 mm
Einzelwerte	der techn.	Zerreißfestigkeit	(×)	(○)
Mittelwert	„ „	„	15,4 kg/mm²	13 kg/mm²
„	„ reduz.	„	12,3 kg/mm²	12,5 kg/mm²

e) die freie Länge der Stäbchen zwischen den Halteknöpfen muß möglichst gleich groß gehalten werden[4]) [5]).

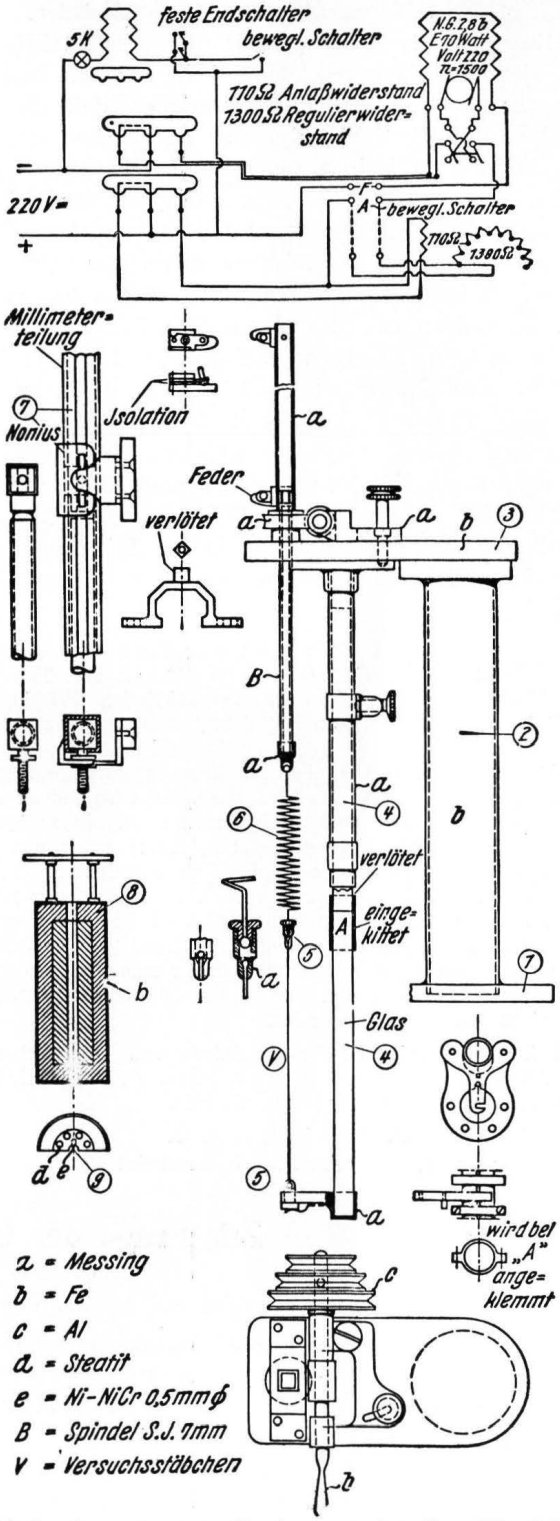


Bild 7. Apparatur zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit von Glasfäden.

[3]) Siehe z. B. K. H. H. Müller, Z. Phys., **69** (1931), S. 431 (Ref. Glastechn. Ber., **9** (1931), S. 609); O. Reinkober, Z. Phys., **38** (1937), S. 112 (Ref. Glastechn. Ber., **15** (1937), S. 292); A. Smekal, Nova Acta Leopoldina N. F., **5** (1938), S. 512—514 (Ref. Glastechn. Ber., **16** (1938), H. 7, S. 240).

[4]) Einige systematische Versuche an einem natürlich gespannten Glasmaterial, aus dem Stäbchen verschiedener Länge (13 u. 35 mm freie Länge) durch Anritzen und Abbrechen aus längeren Stäben hergestellt wurden, ergeben für kurze Stäbchen höhere technische Zerreißfestigkeitswerte als für längere. Die Mittelwerte der technischen Zerreißfestigkeiten betrugen, wobei alle Versuchsdaten verwendet wurden, 15,4 kg/mm² für kurze und 13 kg/mm² für lange Stäbchen. Bild 6 enthält die Einzelwerte der technischen Zerreißfestigkeiten beider Stäbchenlängen in Abhängigkeit von der Spiegelgröße. Die aus den Einzelwerten mit 5 bis 40% Spiegel ermittelbaren mittleren reduzierten Zerreißfestigkeiten (s. dazu

4. Zerreißapparatur für dünne Glasfäden.

Die bekannte Abhängigkeit der Festigkeitsbefunde von der Belastungsgeschwindigkeit[6]), d. h. Last pro Querschnitts- und Zeiteinheit, verlangt, daß die Lastzunahme für Festigkeitsversuche an dünnen Glasfäden mit ihrem sehr kleinen Querschnitt sehr langsam von statten geht, wenn die Belastungsgeschwindigkeit für „normale" Stäbchen und dünne Glasfäden gleich, und damit die Ergebnisse vergleichbar sein sollen. Um dieser Bedingung bei dünnen Fäden besser entsprechen zu können, außerdem, um das unter Umständen für dünne, längere Fäden schädliche Schwingen des Belastungszylinders im Wasser zu vermeiden, wurde hierfür eine besondere Apparatur entwickelt, die im Bild 3 betriebsfertig und in Bild 7 mit konstruktiven Einzelheiten wiedergegeben ist. Die Versuchsfäden wurden dabei so hergestellt, daß „normale" Glasstäbchen mit Knöpfen versehen und dann unter Erhitzen in der Mitte auf die gewünschte Dicke ausgezogen wurden[7]). (Schematisches Bild 5b.)

Nach Bild 7 trägt die auf einer größeren Grundplatte (1) befestigte Säule (2) eine Querplatte (3), an der über einen verschiebbaren Halter (4) der Versuchsfaden (V) in einer Schlitzfassung (5) als Festpunkt hängt. Die Zugbeanspruchung wird bei dieser Apparatur durch Federspannung unmittelbar übertragen, wobei die auswechselbare Stahlfeder (6) aus zwei entgegengesetzt gewickelten Teilen besteht, so daß Torsion ausgeschlossen ist. An der Millimeterskala mit Nonius (7) kann nach vorheriger Eichung die Zuglast abgelesen werden. Die Federspannung erfolgt durch Motorantrieb, Schneckengetriebe und verschiedene Uebersetzungen (Bild 3) und ermöglicht die Untersuchung der Zerreißfestigkeit in Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit. Die weiteren Einzelteile der Apparatur dienen dem automatischen Anhalten der Belastungssteigerung im Augenblick des Zerreißens und der Entlastung der Feder.

Ein am Halter (4) zu befestigender Ofen (8) mit Thermoelement (9) erlaubt auch hier die Ermittlung der Zerreißfestigkeit bei höherer und durch Unterschieben eines Gefäßes u. a. mit flüssiger Luft bei Tieftemperatur. Ebenso kann natürlich die Zerreißfestigkeit in einem beliebigen Medium untersucht werden.

Bezüglich der Meßgenauigkeit des Einzelwertes gilt das gleiche wie für „normale" Stäbchen. Die Streuung der Festigkeitswerte an dünnen Glasfäden ist wesentlich größer als für „normale" Stäbchen und beträgt bis $\pm 50\%$ und mehr. Für möglichst geringe Streuung ist im übrigen die Innehaltung der für „normale" Stäbchen angegebenen Bedingungen notwendig.

5. Zusammenfassung.

Es werden zwei Vorrichtungen zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit von „normalen" Glasstäben und von Glasfäden beschrieben. Die Vorrichtungen ermöglichen eine knick-, stoß- und erschütterungsfreie, sowie stetige Beanspruchung des Versuchskörpers. Die Meßgenauigkeit des Einzelwertes läßt sich leicht unter $\pm 1\%$ halten und beeinflußt damit die Genauigkeit des Mittelwertes einer Reihe von Einzelwerten praktisch nicht, deren Streuung bei den „normalen" Glasstäbchen etwa $\pm 10\%$ und bei Glasfäden $\pm 50\%$ und mehr beträgt. (12 307)

Besonderer Dank für Entwicklung und Bau der Apparaturen gebührt Herrn Institutsmechaniker Hermann Strauß.

A. Smekal, a. a. O.) sind für kurze und lange Stäbchen nahezu gleich. Der Wert dieses Befundes wird jedoch eingeschränkt durch die damit verbundene unvollständige Erfassung der gesamten Versuchsdaten, indem unter den gegebenen Versuchsbedingungen durch Zerreißfestigkeitswerte mit Spiegeln $< 5\%$ bei langen Stäbchen zwar nur wenige Prozente, bei kurzen Stäbchen jedoch 50 bis 90% aller Werte für die Ermittlung einer reduzierten Zerreißfestigkeit ausscheiden und so ihre wirkliche Feststellung damit zumindest wesentlich erschwert wird. Auf Einzelheiten zu diesen Befunden soll hier nicht eingegangen werden.

[5]) Zur Abhängigkeit der Festigkeit von Quarzfäden von der Länge siehe O. Reinkober, Phys. Z., **32** (1931), S. 243 (Ref. Glastechn. Ber., **15** (1937), S. 292).

[6]) Siehe z. B. A. Smekal, a. a. O.

[7]) E. Rexer, Z. techn. Physik, erscheint 1938.

DK 539.4.013 : 539.4.014.11 : 539.41 : 666.11 (042)

Zur Frage der Gestaltfestigkeit von Glas.

Von A. Thum, Darmstadt.

(Vortrag, gehalten auf der 21. Glastechnischen Tagung, Berlin, 16. Februar 1938.)

Zuvor seien einige allgemeine Gedanken bezügl. der neueren Anschauungen über die Festigkeit und insbesondere die Gestaltfestigkeit vorausgeschickt. In den letzten Jahren hat sich ein tiefgreifender Wandel in unseren Anschauungen über die Festigkeit der Konstruktionen, insbesondere der metallischen Konstruktionen, vollzogen. Während man früher glaubte, daß die Festigkeit, die man an einfachen zylindrischen Metallstäben gefunden hat, maßgebend für die Festigkeit der Konstruktionen, insbesondere der zu der Ueberzeugung gelangt, daß man diese Festigkeitswerte nicht ohne weiteres auf eine Konstruktion beliebiger Gestalt übertragen darf. Man hat gefunden, daß die Festigkeit nicht nur stoffbedingt, sondern in hervorragendem Maße auch form- und gestaltbedingt ist. Diese neue Erkenntnis hat man besonders durch Beobachtung des Festigkeitsverhaltens bei veränderlichen Beanspruchungen und namentlich bei stoßartigen Beanspruchungen gewonnen.

Der Werkstoff hat also keine in allen Anwendungsfällen unveränderlichen Festigkeitseigenschaften, wie man bis vor kurzem meistens voraussetzte. Sein Verhalten wird nicht nur durch seinen inneren Aufbau, die Art seines Atomgitters, die Größe und Art der Kristallverbände bedingt, sondern auch durch seine äußere geometrische Form, in der man ihn anwendet. Mit veränderter Form ändert sich die Größe und Verteilung der Spannungen, durch die äußere Form kann das Auftreten zusätzlicher Spannungen auch in Raumrichtungen, in denen kein Kraftangriff erfolgt, bedingt sein. Die bisher meist untersuchte Form war die des zylindrischen Stabes. Sie ist aber nur eine von den unzähligen durchaus gleichberechtigten Formen und zeichnet sich durch nichts vor den anderen aus, als daß hier ein sehr einfacher Sonderfall vorliegt, der jedoch in der Praxis fast nie vorkommt. Trotzdem werden die Prüfungen an einfachen zylindrischen Probestäben auch weiterhin wichtig bleiben, da sie eine Aussage über den Gesundheitszustand und die Gleichmäßigkeit eines Werkstoffes machen; aber sie sind nicht ausreichend, denn der