

Auch die Borsäure findet gelegentlich Verwendung, jedoch selten und dann in ziemlich geringen Mengen.

Schließlich ist auch noch der Baryt zu erwähnen, der besonders bei Preßglas gelegentlich eingeführt wird, um dem Glase mit dem höheren Brechungsindex des Baryts größere Brillanz zu verleihen.

#### Zusammenfassung.

Die Eigenschaften, die beim Wirtschaftsglas am stärksten die Wahl der Zusammensetzung beeinflussen, stehen zur Formgebung in Beziehung. Man benützt durchweg bei niedriger Temperatur erweichende und langsam erstarrende Gläser. Verglichen mit anderen Industriegläsern, ist das Wirtschaftsglas durch hohen Alkaligehalt (14,7 bis 15,8%), niedrigen Kalkge-

halt (5,2 bis 8,5%) und hohen Kieselsäuregehalt (74,6 bis 78%) ausgezeichnet. I. a. ist das Alkali nur Natron; das Kali wird nur dort gegeben, wo häufigeres Erhitzen bei der Veredlung notwendig ist. Das Verhältnis Kali: Natron gibt eine Grundlage zur Abgrenzung von Halbkristall und böhmischem Kalkkristall.

Nach statistischen Daten scheint sich die leichte Schmelzbarkeit der Wirtschaftsgläser auch günstig im Kohlenverbrauch auszuwirken.

Die besondere Form, die vergütenden Einwirkungen bei der Herstellung und die Ansprüche im Gebrauch gestatten, eine Glasmasse von mäßiger chemischer Widerstandsfähigkeit zu verwenden. Im allgemeinen genügt die hydrolytische Klasse IV (nach der Gießmethode). Konservengläser müssen wegen der höheren Ansprüche der Klasse III angehören (Tonerde-Zusatz!).

Auch andere Oxyde finden Verwendung, in Amerika vor allem Magnesia. (6846)

DK 666.15/.16 : 620.174

## Festigkeitsversuche mit Spiegel- und Maschinenglas.

Von Dipl.-Ing. E. Albrecht.

(Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt Dahlem.)

(11. Vortrag der 15. Glastechnischen Tagung, Berlin 1931.)

Formänderungen bei Biegeversuchen. — Verfahren zur Ermittlung der Biegefestigkeit spröder Körper; Fehlerquellen. — Versuchseinrichtung für gleichmäßig verteilte Belastung. — Meßergebnisse, Bruchbilder und ihre Deutung. — Anwendung auf Probleme der Statik. — Aussprache.

Die Auswahl an Verfahren, die für Festigkeitsversuche an Flachglas in Betracht kommen, ist nicht sehr groß. Die Druckfestigkeit des Glases läßt sich meist nicht ermitteln, weil die Platten zu dünn sind, und die Bestimmung der Zugfestigkeit scheidet im allgemeinen auch aus, weil dafür Prüfkörper hergestellt werden müßten, die wegen ihrer besonderen Form nicht aus der Platte gewonnen werden können. Daher wird bei plattenförmigen Körpern meistens die Biegefestigkeit gewählt, wenn es sich darum handelt, Vergleichswerte zwischen verschiedenen Sorten und dergl. zu erhalten. Beim Biegeversuch und auch bei den anderen Festigkeitsversuchen wird meist nur die Festigkeitsgrenze festgestellt, d. h. die Last oder Beanspruchung, bei der der Körper zerstört wird.

Wenn aber über das Verhalten des Körpers etwas genaueres ausgesagt werden soll, dann müssen die Formänderungen verfolgt werden, die er unter der Einwirkung einer Last oder Kraft erleidet. Im allgemeinen ist natürlich die Formänderung um so größer, je größer die Kraft

ist; im einzelnen sind die Verhältnisse jedoch etwas verwickelter. Bild 1 soll schematisch den Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Formänderung am Beispiel eines Metallstabes, der auf Zug beansprucht wird, zeigen. In der Ordinate sind die Kräfte (Spannungen) aufgetragen (in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), und auf der Abszisse die spezifischen Formänderungen. Wie ersichtlich, sind zunächst die Formänderungen den Spannungen direkt proportional. Alle Formänderungen sind federnd und werden durch die Gerade vom Koordinatenanfangspunkt 0 bis zur Proportionalitätsgrenze P dargestellt. Dann wird die Beziehung verwickelter; es treten auch bleibende Formänderungen auf, die Streckgrenze wird bei S erreicht, und, wenn die Spannung weiter vergrößert wird, verformt der Körper sich plastisch, das Material fließt. Die größte getragene Last heißt Bruchlast, bzw. die größte Spannung Bruchspannung  $B_1$ .

Wir nennen einen Werkstoff hart, wenn er einen großen Formänderungswiderstand mit einem kleinen Formänderungsvermögen verbindet; wir nennen ihn spröde, wenn ihm außerdem die Fähigkeit mangelt, sich plastisch zu verformen. Bei einem spröden Werkstoff fallen P und  $B_1$  ganz oder doch fast ganz zusammen.

Dieses Verhalten der spröden Werkstoffe — Glas ist bei Zimmertemperatur einer der sprödesten Werkstoffe — macht sich prüftechnisch in doppelter Weise unangenehm bemerkbar. Einmal dadurch, daß der Prüfkörper bricht, ohne das geringste Warnungszeichen zu geben, zum andren dadurch, daß jede örtliche Ueberbeanspruchung, d. h. Ueberschreitung des Proportionalitätspunktes P, zum Bruch führt. Solche Ueberanstrengungen können bei Festigkeitsversuchen besonders leicht an der Einspannung oder

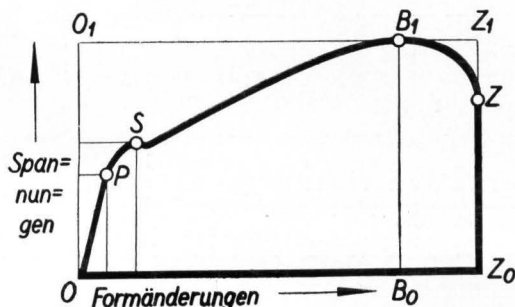


Bild 1. Die Formänderungen in Abhängigkeit von den Spannungen beim Zugversuch (schematisch).

[Vgl. DIN 1350.]

am Auflager auftreten. Man bemüht sich bei der Materialprüfung ja ohnehin, den Uebergang der Kraft von der Prüfmaschine auf den Prüfkörper so gut wie irgend möglich zu gestalten, und sucht das durch entsprechende Formgebung der Einspannteile und der eingespannten Teile, durch sattes Anliegen des Auflagers, durch Kugellager und genaues Zentrieren zu erreichen. Kleine Ungenauigkeiten oder Unachtsamkeiten in diesen Dingen, die bei anderen Werkstoffen u. U. nur kleine Schönheitsfehler der Versuchsausführung bedeuten würden, führen bei Festigkeitsprüfungen an glasartigen, spröden Stoffen zu vorzeitigem Bruch, d. h. zu unzuverlässigen und zu niedrigen Ergebnissen. Hierfür ein Beispiel: Die Druckfestigkeit feinkeramischer Massen, wie etwa Porzellan oder Steinzeug, wird an kleinen Zylindern von 16 mm Durchmesser und 16 mm Höhe ermittelt. Die Endflächen müssen genau eben und genau parallel zu einander sein, sowie genau winklig zur Achse stehen. Die Proben müssen also sehr sorgfältig geschliffen und recht sorgsam in die Prüfmaschine eingebaut werden. Wird all das peinlich beachtet, dann geht die mittlere Abweichung vom Mittel, die bei Anwendung durchschnittlicher Sorgfalt 20% beträgt, auf 5% herunter. Entsprechend wird die Druckfestigkeit derselben Sorte Steinzeug statt zu 1600 zu 2200 kg/cm<sup>2</sup> gefunden, also um etwa 30% höher. Das nur als Beispiel dafür, wie stark bei einem spröden Material die Ergebnisse der Festigkeitsprüfung von der Versuchsausführung abhängen können.

Zur Bestimmung der Biegefestigkeit wird gewöhnlich die Platte oder ein herausgeschnittener Streifen auf 2 parallele Stahlschneiden gelegt und in der Mitte mit einer dritten belastet. Zwei von den Schneiden müssen beweglich gelagert sein, damit sie sich einer etwaigen Windschiefe der Platte anpassen können. Ferner ist zu beachten, daß Glasplatten im prüftechnischen Sinne oft nicht ganz eben sind. Die genau gerade Stahlschneide liegt daher nicht an allen Punkten satt an der Probe an. Also muß entweder die Probe der Schneide angepaßt werden oder umgekehrt. Die Probe kann durch Abschleifen oder durch Aufbringen von Leisten aus Zementmörtel abgeglichen werden. Beide Verfahren befriedigen gerade bei Glas nicht sehr. Um das Auflager der Probe anzupassen, sind z. B. für die Prüfung von Dachziegeln verstellbare Schneiden vorgeschlagen worden, die eine Reihe von Spitzen tragen, die mehr oder weniger hoch aus dem Körper des Auflagers herausgeschraubt werden können. Dadurch tritt an die Stelle der durchgehenden Schneide eine Reihe von Auflagerpunkten.

Eben das ist auch bei dem Auflager der Fall, das Bild 2 in schematischer Darstellung zeigt und das mit Stahlkugeln arbeitet. In einer Stahlplatte, in der sich eine ziemlich tiefe Nut befindet, liegt eine Reihe von großen Stahlkugeln auf einem Bett von kleineren Stahlkugeln. Die Nut ist so breit, daß die großen Kugeln mit

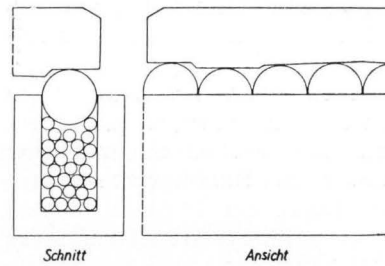


Bild 2.  
Unebene Platte auf Kugellagerung (schematisch).

geringem Spiel gehen. Wenn nun die unebene Platte (z. B. eine Wandplatte aus Glas, die auf der Rückseite irgendwie gerippt ist, damit der Mörtel besser haftet) auf das Auflager gelegt und etwas belastet wird, dann drückt sie sich in das Kugelbett ein. Die großen Kugeln schmiegen sich den Unebenheiten der Platte an, und die kleinen, die vor der Belastung ein unregelmäßiges Haufwerk bildeten, werden so lange zusammengedrängt, bis sie die dichteste Packung erreicht haben, die sie einnehmen können. Dann können sie sich nicht mehr gegeneinander verschieben, und bei weiterer Steigerung der Last ist das Auflager starr.

Da dieses Auflager bei verschiedenen Anwendungen zufriedenstellende Ergebnisse geliefert hatte, wurde es auch bei der Versuchseinrichtung angewendet, die Bild 3 in An-

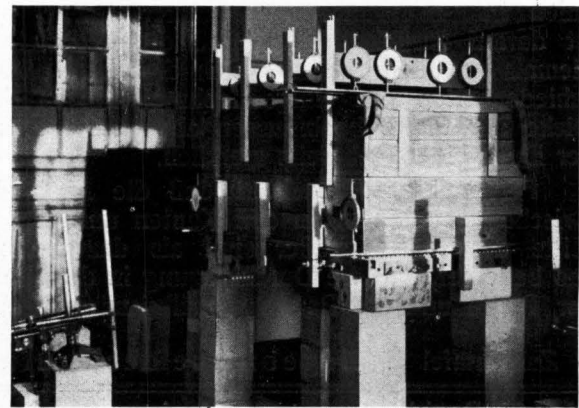


Bild 3. Ansicht der Versuchseinrichtung.

sicht darstellt. Sie diente dazu, Glasplatten von etwa 1 m<sup>2</sup> Fläche mit gleichmäßig verteilter Last zu beanspruchen. Die Platte liegt ringsum am Rande auf einem derartigen Stahlkugel-Auflager auf, welches mit dem unteren Teil eines oben und unten offenen, viereckigen Holzkastens starr verbunden ist; sie bildet also den Boden dieses Kastens, der mit einem Gummituch ausgelegt ist. Der Kasten kann mit Wasser gefüllt, die Wasserhöhe (maximal etwa 60 cm) kann bequem auf 1 mm genau festgestellt werden. Daraus ergibt sich die Last, die auf der Platte ruht. Der Kasten trägt oben Querhüupter, an denen Uhren befestigt sind, mit denen die Durchbiegungen der Platte bis auf 0,01 mm genau abgelesen werden können. Fernrohre, von denen man links unten zwei sieht, dienen zum Ablesen von Martensschen Spiegelapparaten,

mit denen die Dehnung der Platte auf der Unterseite gemessen wurde.

Bild 4 zeigt, wie sich die Platte durchbiegt, wenn sie belastet wird. Werden die Punkte gleicher Durchbiegung miteinander verbunden, so ergibt sich eine Art Höhenschichtenkarte, deren Linienzüge um so regelmäßiger ausfallen, je gleichmäßiger die Dicke der Platte war, und je besser der Einbau geglückt ist. Der etwas plättisenförmige Verlauf der Durchbiegungs-

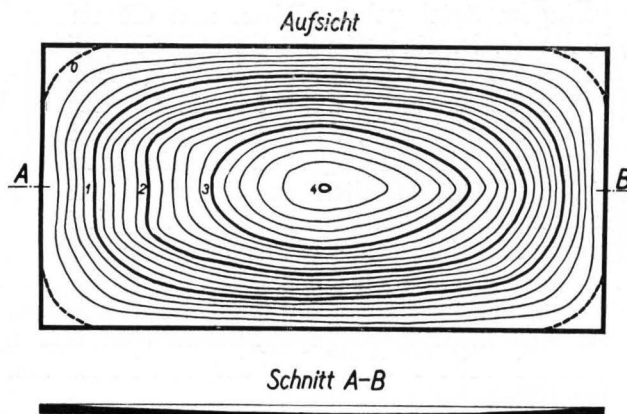


Bild 4. Formänderung einer Glasplatte unter gleichmäßig verteilter Last von  $150 \text{ kg/m}^2$ . (Die eingeschriebenen Ziffern bedeuten ganze Millimeter Durchbiegung.)

linien tritt manchmal noch stärker hervor. Er ist darauf zurückzuführen, daß die Glasplatten niemals an allen Stellen gleich dick sind. Verschiedenheiten von einigen zehntel mm in der Dicke der Platte beeinflussen aber den Verlauf der Durchbiegung bereits merklich.

Ferner ist zu beachten, daß die Abstände zwischen den Linien an den Kanten und in der Mitte der Platte größer sind als dazwischen; das bedeutet, daß die Durchbiegung in der Mitte der Platte und am Rande verhältnismäßig flach

verläuft, während der steilste Durchhang zwischen diesen beiden Zonen sich ausbildet. Wäre die Wölbung der Platte nach oben gekehrt, so würde sie eine Art Tafelberg darstellen mit einer verhältnismäßig flachen Kuppe und steil in die Ebene abfallenden Flanken. Diese Erscheinung tritt um so deutlicher hervor, je höher die Laststufe ist, bei der gemessen wird. Bei der unteren Darstellung ist keine große Ueberhöhung gewählt worden. Der Schnitt A . . . B soll zeigen, wie groß die Durchbiegung der Platte im Vergleich zu ihrer Dicke ist. Bei der dargestellten Laststufe von  $150 \text{ kg/cm}^2$  sind beide schon etwa gleich groß, und dabei ist die Bruchlast bei weitem noch nicht erreicht. Geht man mit der Messung der Durchbiegungen bis nahe an die Bruchlast heran, so zeigt sich, daß die Durchbiegung vor dem Bruch das zwei- bis dreifache der Plattendicke erreicht.

Der Zusammenstellung der Meßergebnisse in der Zahlentafel 1 ist zu entnehmen, daß die untersuchten Glasplatten nach ihrer Tragfähigkeit in die fallende Reihe Spiegelglas, Maschinenglas, Rohglas geordnet werden können. Dies ist gleichzeitig die Reihenfolge, in der die Ebenheit der Platten abnimmt. Da der Bruch einer gebogenen Glasplatte durch Ueberschreiten der Zugfestigkeit des Materials auf der Zugseite, hier also auf der Unterseite der Platten, eingeleitet wird, dürfte geschlossen werden, daß die Zerstörung von den Kuppen der Buckel und Wellen der Unterseite ausgegangen ist.

Die Bilder 5 bis 9 zeigen das Aussehen der zerstörten Platten. Sie lassen erkennen, daß der Sprungverlauf eine gewisse Regelmäßigkeit aufweist. Bei den Platten in Bild 5 und 6 (rechts und links oben) haben sich deutlich zwei Zentren ausgebildet, von denen die Sprünge ausgehen; dort sind offenbar Spannungsknotenpunkte gewesen. Manchmal bildet sich nur ein derartiges

Zahlentafel 1. Ergebnisse der Prüfung von Glasplatten auf Tragfähigkeit.

Art der Materialien	Bezeichnung	Mittlere Abmessungen			Gewicht kg	Bruchlast		Größte Durchbiegung		
		Länge mm	Breite mm	Dicke mm		Einzelwerte kg	Mittel kg	bei Last kg	$\Sigma_B$ mm	
Spiegelglas	A	1	1410	730	4,24	11,15	535	500	300	8,99
		2	1406	730	4,02	10,40	465		450	13,72
	B	1	1405	730	4,03	10,15	411	402	300	10,34
		2	1405	730	3,98	9,65	408		150	6,80
		3	1405	730	4,09	10,35	401		350	11,43
		4	1405	730	4,15	10,35	389		350	11,00
Rohglas	C	1	1408	729	6,07	15,60	315	284	250	4,30
		2	1409	727	5,85	14,55	248		200	3,92
		3	1410	730	5,57	14,65	290		250	4,88
Maschinenglas	M	1	1409	730	4,85	13,50	250	377	—	—
		2	1412	730	4,98	12,77	367		350	7,17
		3	1416	731	4,54	11,87	386		350	8,62

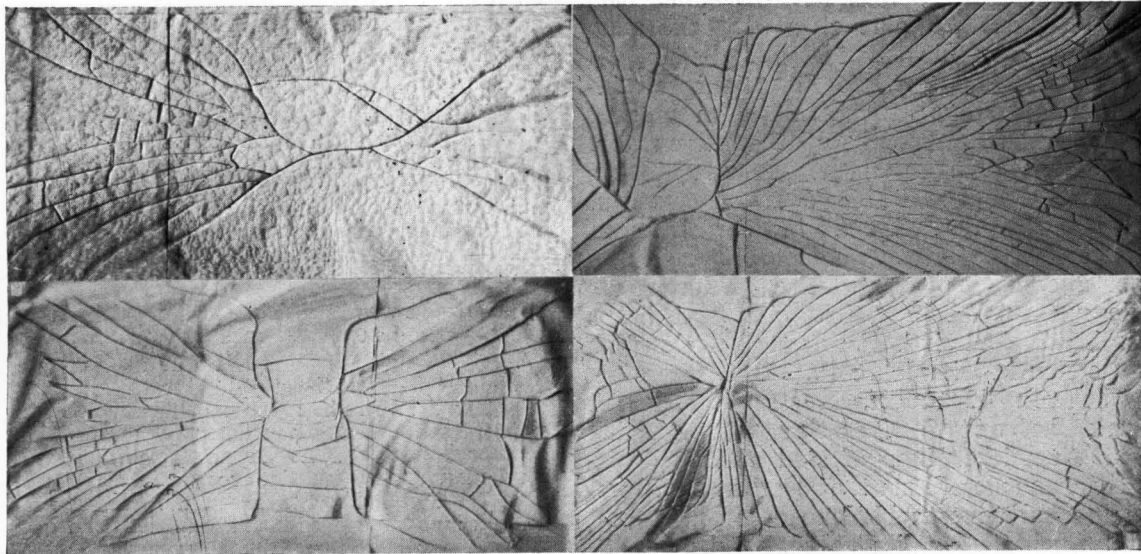


Bild 5 bis 8. Bruchbilder von Glasplatten.

Bruchzentrum aus, wie bei der rechts unten abgebildeten Probe (Bild 8). Dann strahlen lange fächerartige Bruchliniensysteme nach der gegenüberliegenden Plattenseite aus. Diese langen, schmalen Splitter sind dann nachträglich an einigen Stellen quer zur Längsrichtung durchgebrochen; im allgemeinen sind derartige sekundäre Brüche aber selten, denn die Platten hatten beim Bruch nur einen sehr kurzen Fallweg und wurden von einer weichen Unterlage abgefangen. Nur verhältnismäßig selten liegt das Bruchzentrum in der Mitte der Platte, dann aber ist der Verlauf der Bruchlinien sehr regelmäßig, wie bei der in Bild 9 dargestellten Platte, die

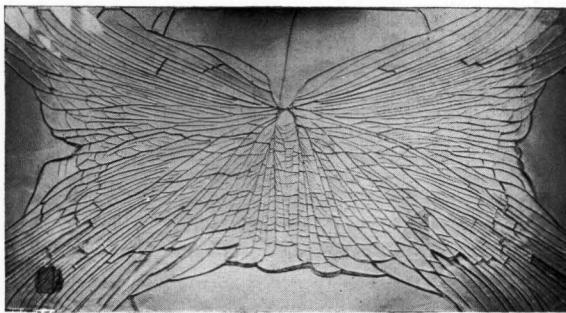


Bild 9.

Sehr regelmäßiger Bruchverlauf bei einer Glasplatte.

wie ein Schmetterling aussieht. Beim Schmetterlingsflügel sind gerade die Verstärkungsleisten, wo hier Bruchlinien zu sehen sind. So etwas wie die Statik des Schmetterlingsflügels gibt es wohl noch nicht; aber die Ähnlichkeit beider Erscheinungen ist wohl mehr als ein Zufall. Der Schmetterling wird ja auch, wenn er die Flügel abwärts schlägt, sein Gewicht möglichst gleichmäßig auf die Flügelfläche verteilen. Dabei können anscheinend gewisse Flächenteile, die nur geringe Spannungen aufnehmen würden, eingespart werden, und trotzdem wäre die Fläche, die ihn trägt, nahezu gleich dem Viereck, das

die Flügelspitzen umschreibt. Die Natur ist ja eine so geschickte Baumeisterin, daß das nicht außerhalb jeder Möglichkeit zu sein braucht.

Eine genaue Erklärung dafür, warum die Bruchbilder bei Platten gerade so aussehen, soll hier nicht gegeben werden. Vielleicht wird ein Statiker später darüber berichten. Warum die Versuche auch für den Statiker nicht ohne Interesse sind, möge jedoch angedeutet werden. Die frei aufliegende, am Rande rings gestützte Platte ist der einfachste Fall der trägerlosen Decke. Diese ist im guten Sinne modern; die neuzeitlichen Bauweisen verwenden sie mit Vorliebe. Ihre Theorie ist in den letzten Jahrzehnten sehr weit entwickelt worden. Zunächst hat man diese Decken so berechnet, als ob sie ein breiter Balken wären, ein Plattenbalken, der auf zwei Seiten (den Schmalseiten) gestützt ist. Das ist natürlich nur eine Annäherung. Dann ist man von der Vorstellung ausgegangen, daß eine große Platte im Prinzip so durchhängt wie das Tuch, das die Hausfrau über die vier Stuhlbeine bindet, wenn sie Saft klären will. Danach kann die Decke aufgefaßt werden als ein Gewebe aus vielen, schmalen Streifen, die mit einander in der Längs- und Querrichtung verflochten sind. Für jeden einzelnen Streifen und für ihr Zusammenwirken lassen sich die Bedingungen aufstellen. Das kommt der Wirklichkeit schon näher. Die weitere Entwicklung auf diesem Gebiete ist durch die sogenannte „Schalentheorie“ gekennzeichnet; wie diese mit der Plattentheorie zusammenhängt, sei kurz skizziert. Es ist nämlich der Zusammenhang zwischen Formänderung und Spannung bei der Platte nicht so, wie oben am Beispiel des Zugstabes geschildert. Zwar zeigt ein Streifen aus Glas, auf zwei Stützen gelagert und belastet, Formänderungen, die den Beanspruchungen proportional sind. In graphischer Darstellung würde eine gerade Linie die Abhängigkeit beider voneinander ausdrücken. Wenn aber in derselben Weise die Durchbiegung einer

Platte in Abhängigkeit von der Belastung dargestellt wird, entsteht eine etwa parabelförmige Kurve. Das kann nichts anderes bedeuten, als daß die Platte eine gewisse Formsteifigkeit infolge ihrer Verformung bekommt. Nun braucht die Platte nur herumgedreht gedacht zu werden, so daß die Durchbiegung nach oben gerichtet ist, und es ist ein Gewölbe daraus geworden. Derartige Gewölbe werden in der neueren Bautechnik vielfach verwendet. Sie zeichnen sich vor älteren Gewölbebauweisen dadurch aus, daß sie nahezu überall gleich dünn und daher überraschend leicht sind. Ein derartiges Gewölbe ist zum ersten Mal im Jahre 1925 bei der großen Rundhalle von 40 m Durchmesser im Jenaer Gläserwerk Schott & Genossen ausgeführt worden. Aehnliche Kuppeln sind auch bei verschiedenen von der Firma Zeiß erbauten Planetarien und bei neueren Hallenbauten angewandt worden. Auch die Rotalithdecken, bei denen Glas als tragender Baustoff verwandt wird, gehören zu dieser Art Konstruktionen. Aus diesen Andeutungen dürfte ersichtlich geworden sein, daß ein Weg von der durchgebogenen Platte zu den modernen Bauwerken führt, und daß die Formänderung einer einfachen Glasplatte auch für den Statiker interessant sein kann.

Den Werken und Syndikaten, die das Probenmaterial für die Versuche zur Verfügung gestellt haben, sei verbindlichst gedankt.

#### Zusammenfassung.

Einige Fehlerquellen werden aufgezeigt, die insbesondere bei Festigkeitsuntersuchungen an spröden Stoffen zu beachten sind.

Beschrieben werden ein Auflager, durch das diese Fehlerquellen möglichst ausgeschaltet werden, und eine Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Tragfähigkeit allseitig am Rande frei aufliegender Glasplatten bei gleichmäßig verteilter Last.

Die Versuche ergaben, daß die Tragfähigkeit 4 bis 6 mm dicker Glasplatten von 1 m<sup>2</sup> Fläche (Seitenverhältnis 1:2) mit zunehmender Ebenheit der Platten ansteigt, und zwar in der Reihenfolge Rohglas (rd. 280 kg/m<sup>2</sup>), Maschinenglas (rd. 380 kg/m<sup>2</sup>), Spiegelglas (rd. 400 und 500 kg/m<sup>2</sup>). Die Durchbiegung der Platten erreicht das zwei- bis dreifache der Plattendicke. Bei der Mehrzahl der Platten ist der Bruchverlauf regelmäßig, ebenso die Formänderung. Aus dieser ergeben sich Ausblicke auf statische Probleme.

Die Versuche werden fortgesetzt.

#### Aussprache.

Herr Jaeckel: Ich wollte auf einen Punkt hinweisen, den man leicht bei der Messung der Druckfestigkeit übersehen kann. Im Fachausschuß haben wir schon kurz darüber gesprochen. Man hat häufig bei Tafelglas den Fall, daß das Glas noch einen Spannungsrest aufweist, der von der Kühlung herrührt. Das wird weniger der Fall sein bei maschinengezogenen Tafelgläsern, als vielmehr bei solchen Gläsern, die z. B. mundgeblasen und gestreckt oder gewalzt und

durch einen Stracou gekühlt worden sind. Diese Gläser haben oft einen Rest von Spannung, der infolge ungleicher Abkühlung gegen Luft und Auflage völlig einseitig ist. Man bekommt also bei Festigkeitsmessungen verschiedene Ergebnisse, je nachdem das Glas mit der einen oder mit der anderen Seite nach oben liegt. Auf der einen Seite mißt man zu hohe Werte der Druckfestigkeit, auf der anderen Seite zu kleine Werte. Um derartige Meßfehler zu vermeiden, müßte man eine Spannungsprobe machen, indem man das Glas in langer Schicht — also seitlicher Durchsicht — mit polarisiertem Licht auf das Vorhandensein eines Spannungsrestes prüft.

Herr Severin: Ich möchte mich in gewisser Weise Herrn Jaeckel anschließen; ich habe dieselben Bedenken schon vor dem Vortrage Herrn Albrecht gegenüber geltend gemacht.

Herr Albrecht: Ich möchte zunächst zu dem ersten Punkte Stellung nehmen, den Herr Jaeckel hervorgehoben hat. Es ist mir nicht unbekannt, und ich bedaure, daß ich das vorhin in meinem Vortrage nicht erwähnt habe: wir haben die Platten nach Möglichkeit immer so ausgesucht, daß die Seite nach unten kam, die sich leichter durchbiegen ließ. Die Unterschiede der Bruchlasten in der Zahlentafel 1 waren nicht groß; die Werte schwankten bei einer Glassorte um gar nicht sehr große Beträge um den Mittelwert von etwa 400 kg/m<sup>2</sup> herum. Ich glaube, daß es uns gelungen ist, dabei immer gleichartige Verhältnisse zu schaffen.

Die Größe der Bruchlasten wird vielleicht etwas anschaulicher, wenn ich dazu sage, daß 400 kg/m<sup>2</sup> nicht nur gleich rd. 40 cm Wasserhöhe sind, sondern auch etwa 3 m Schneehöhe entsprechen, aber nur  $\frac{1}{25}$  at (d. h. 30 mm Quecksilbersäule) Ueber- oder Unterdruck.

Herr Jaeckel: Wir haben seinerzeit die Druckfestigkeitsprüfung nach einem etwas anderen Verfahren ausgeführt, das zu physikalisch leicht faßbaren Größen führen kann. Wir haben die Glasplatten nicht allseitig am Rande unterstützt, sondern die eine Seite der Glasplatte an beiden gegenüberliegenden Kanten eines Holzrahmens aufliegen lassen und die anderen Seiten des Holzrahmens gegen das Glas mit dickem Plüsch abgedichtet, so daß man die Glasplatte an den Seiten leicht bewegen und durchbiegen konnte. Es genügt für diesen Zweck ein Streifen Glas. Die Belastungsprüfung erfolgte, indem ich innerhalb eines Kastens, dessen Deckel der Glasstreifen bildete, mit einer Luftpumpe einen Unterdruck erzeugte und durch den Ueberdruck der Außenluft, den ich so stark, wie es erforderlich erschien, wählen konnte, eine schwächere oder stärkere Belastung bis zum Platzen ausführte. Dies Verfahren ist sehr leicht und ohne viele Apparate durchführbar, da der Unterdruck im Holzkasten (in cm Wassersäule gemessen) die gleichmäßige Belastung der Glasscheibe in gr/cm<sup>2</sup> angibt.

Herr Severin: Sicher ist der Vorschlag des Herrn Jaeckel außerordentlich interessant, und man kann sicher mit der Streifenuntersuchung auf einfache Weise schöne Ergebnisse erzielen. Aber eleganter scheint mir das Verfahren des Herrn Albrecht zu sein: denn wenn eine Platte allseitig aufliegt, ist das Ergebnis immerhin ganz anders, als wenn nur ein Streifen untersucht wird.

Herr Jaeckel: Der Streifen, den ich an den Seiten mit Sammet abdecke, wirkt ja wie eine unendlich lange Fläche; die Platte, die an beiden Kanten aufliegt, ist nur ein Ausschnitt aus einer unendlich langen Fläche.

Herr Albrecht: Die Versuchseinrichtung, die Herr Jaeckel geschildert hat, ist im Aufbau außerordentlich interessant. Ich möchte sie sehr gern einmal nachahmen, fürchte aber dabei nur, ob nicht durch Ansagen von Sammet an den seitlichen Rändern unter Umständen kleine Störungen hineinkommen, die das Ergebnis beeinflussen. Im übrigen ist es eine außerordentlich elegante Lösung der Frage, Streifen in

dieser Weise zu belasten; wenn man sich vorstellt, wie das sonst gemacht wird, ist es von einer außerordentlichen Schönheit, die Festigkeitsprüfung von Gläsern nach einem solchen Verfahren durchführen zu können. Ich werde es einmal versuchen.

Herr Arbenz sen.: Herr Prof. Graf in Stuttgart hat, wenn ich nicht irre, auf die Anregung aus der Industrie hin, über die von Herrn Albrecht vorgetragene Frage schon außerordentlich viel gearbeitet und seine Ergebnisse in den „Glastechnischen Berichten“ und anderen Zeitschriften niedergelegt<sup>1)</sup>. Wir in der Praxis, wenigstens in der der Walzglasindustrie, waren der Ansicht, daß das Thema durch Grafs Arbeiten ziemlich erschöpft worden sei, wenigstens soweit die Bedürfnisse der Praxis in Frage kamen. Ich gestatte mir deshalb, die Anfrage an den Vortragenden zu richten, ob er seine Arbeiten noch

<sup>1)</sup> Originalabhandlungen von O. Graf in den Glastechn. Ber.: 3 (1925/26, S. 153—194; 6 (1928/29), S. 183—186, 582—584; 7 (1929/30), S. 143—146.

Vgl. ferner Referate über Grafs Arbeiten: Glastechn. Ber., 4 (1926/27), S. 308; 5 (1927/28), S. 183; 6 (1928/29), S. 158, S. 603; 7 (1929/30), S. 264; 10 (1932), S. 441.

über die von Graf ausdehnen will, in welcher Art und Weise, und mit welchem Ziele.

Herr Albrecht: Ich habe vorhin vermieden, Namen zu nennen. Es hat mir auch fern gelegen, die Arbeiten des Herrn Professor Graf etwa überbieten zu wollen. Nur die Gesichtspunkte, von denen wir jetzt ausgehen, sind andere. Wenn ich mich recht erinnere, sind Grafs Arbeiten in engem Anschluß an praktische Verhältnisse vorgenommen worden. Bei unseren Versuchen haben wir uns im Gegenteil bemüht, die Sache von der prüftechnischen Seite her möglichst einwandfrei zu gestalten. Das ist aber nicht möglich, wenn man sich an praktische Verhältnisse anschließt. — Zu den anderen Ausführungen kann ich sagen, daß geplant ist, den Einfluß der Dicke und des Formats der Platten auf ihre Bruchfestigkeit zu untersuchen. Die Platten sind ziemlich groß; man kann leicht kleinere Abschnitte daraus herstellen und prüfen. Das Auflager ist beliebig nach der Größe zu verstellen. Es ist vorauszusehen, das mit dem kleineren Format die Bruchlast schnell anwächst.

(6859)

DK 666.11 : 536.421.2.082

## Die Bestimmung einer den Uebergang vom spröden Glas in eine hochviskose Masse charakterisierenden Temperatur.

Von Gustav Tammann.

(Eingegangen 15. Juni 1932.)

Die Temperatur  $t_w$  des Wendepunktes auf der Kurve der spezifischen Wärmen und anderer physikalischer Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur darf als Grenztemperatur zwischen den flüssigen und spröden Zuständen angesprochen werden. Da die Bestimmung der Temperatur  $t_w$  auf Grund der Aenderung physikalischer Eigenschaften sehr zeitraubend ist, werden andere Verfahren zu dieser Bestimmung angegeben.

Um einen kristallisierten Stoff in den glasartigen Zustand überzuführen, muß man ihn schmelzen und die Schmelze möglichst rasch abkühlen. Wenn die Zahl der bei der Abkühlung unter den Schmelzpunkt in der Schmelze entstehenden Kristallisationszentren klein ist, und dasselbe für die lineare Kristallisationsgeschwindigkeit gilt, so werden leicht schmelzende Stoffe bei 100 bis 150° unterhalb ihrer Schmelzpunkte harte, spröde Gläser. Steigert man die Temperatur eines solchen amorphen glasartigen Körpers, so erweicht er, verliert seine Sprödigkeit und wird eine teigartige Masse, aus der sich Fäden ziehen lassen. Bei weiterer Temperatursteigerung wird die Masse flüssiger, aus ihr lassen sich nicht mehr Fäden ziehen, und bei noch weiterer Temperaturerhöhung wird sie ganz dünnflüssig.

Die Silikatgläser stellt der Glas-schmelzer allerdings anders her. Er geht nicht von einem kristallisierten Stoff der Zusammensetzung des Glases aus, sondern von einem Gemenge, bestehend aus Quarz, Calciumcarbonat, Soda (oder Natriumsulfat und Kohle). Beim Erhitzen dieser Gemenge bildet sich, nachdem sich eine Reihe von Reaktionen vollzogen hat, schließlich eine dünnflüssige Schmelze. Kühlt man diese auf etwa 700° ab und hält sie bei dieser Temperatur, so bilden sich in ihr Kristallisationszentren, von denen aus die Kristallisation sich langsam vorschiebt, bis die ganze Masse entglast ist, sich in das Réaumsche Porzellan verwandelt hat. Erhöht man die Temperatur, so

schmilzt die Masse, und bei der Abkühlung der Schmelze kann ein tadelloses Glas gewonnen werden.

Auf welchem Wege die Schmelze hergestellt wird, ist also für ihre Ueberführung in den Glaszustand nicht wesentlich.

Die Gläser hat man als „unterkühlte Flüssigkeiten“ bezeichnet, um damit auf ihre Herstellung durch Unterkühlung von Schmelzen hinzuweisen. Damit sollte natürlich nicht gesagt sein, daß die Gläser Flüssigkeiten sind — der Ton liegt auf „unterkühlte“ —, sondern es soll auf ihre Beziehung zu den Kristallen, deren Schmelzen unterkühlt wurden, hingewiesen werden. Als unterkühlte Phasen sind die Gläser instabiler als die Kristallarten, die sich aus ihnen bilden können; aber der zu erwartende Uebergang, die Entglasung, tritt bei tieferen Temperaturen nicht ein, weil sich Kristallisationszentren nicht bilden, und weil sie, wenn sie vorhanden sein sollten, so langsam wachsen, daß sie auch in einem Jahrhundert nicht sichtbar werden.

Beim Schmelzen einer kristallisierten Masse teilt sie sich in einen festen und einen flüssigen Teil. Das spezifische Volumen der Schmelze und des aus ihr entstehenden Kristalls sind verschieden, ebenso der Wärmeinhalt und die anderen physikalischen Eigenschaften. Beim Schmelzpunkt müssen sich daher die Eigenschaften diskontinuierlich, sprungweise, ändern.