Zusammenfassung.

Es wird gezeigt, daß der Bruchbeginn zylindrischer Glasstäbe durch das Auftreten von Spannungsspitzen ausgelöst wird, deren Ort an der Staboberfläche durch gleichzeitiges Zusammentreffen von Eigenspannungen des Glases und von Spannungserhöhung infolge Kerbwirkung bestimmt wird.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Bruchvorganges durch das Stabinnere ist stark veränderlich. Sie steigt, den Nullwert vermutlich asymptotisch verlassend, mehr oder minder steil an und erreicht einen konstanten hohen Endwert. Im Bereiche des ausgeprägten Anstieges und des Endwertes der Zerreißgeschwindigkeit verläuft der Bruchvorgang so rasch, daß bei den benutzten Versuchsgeschwindigkeiten keine wesentliche Laststeigerung mehr stattfindet und eine wohldefinierte Zerreißspannung erhalten wird. Die gleichzeitige Abhängigkeit der Zerreißspannung von der Versuchsgeschwindigkeit bedeutet dagegen, daß während der langsamen Beginnphase der Bruchfortpflanzung noch beträchtliche Lastzunahmen stattfinden. Die mit endlicher Versuchsgeschwindigkeit ermittelte Zerreißfestigkeit übertrifft daher die der Versuchsgeschwindigkeit Null entsprechende Dauerstandfestigkeit desto mehr, je höher die Versuchsgeschwindigkeit.

Die während der Beginnphase und während des Anstieges der Bruchgeschwindigkeit zurückgelegten Bruchwege sind ebenso wie der Endwert der Bruchgeschwindigkeit von der stofflichen Zusammensetzung des Glases abhängig. Die genannten Bruchwege und die Steilheit des Geschwindigkeitsanstieges zeigen im übrigen individuelle Schwankungen, die den am Ort des Bruchbeginnes vorhandenen anfänglichen Verschiedenheiten entsprechen und zur Streuung der Festigkeitswerte in Beziehung stehen.

Die an einer Stichprobe gefundene Beeinflussung des Bruchgeschwindigkeits-Verlaufes durch einen Wechsel des Umgebungsmediums (Wasser anstatt Luft) weist darauf hin, daß an jener Streuung auch die Wirksamkeit grenzflächenaktiver Stoffe mitbeteiligt sein kann.

Die für die Untersuchungen benutzten BK 7-Stäbe wurden aus zwei Blöcken dieses optischen Glases geschnitten, für deren Überlassung wir Herrn Dr. Edwin BERGER (†) und der Firma SCHOTT dankbar verbunden sind.

Schrifttum.

[1] SMEKAL, A.: Glastechn. Ber. **15** (1937) S. 259—270. Ergebn. d. exakt. Naturwiss. **15** (1936) S. 106—188.
[2] SMEKAL, A. und ULLMANN, E.: Unveröffentlichte Versuche 1944.
[3] SMEKAL, A.: Glastechn. Ber. **23** (1950) S. 57—67.
[4] WALLNER, H.: Z. Phys. **114** (1939) S. 368—378.
[5] APELT, G.: Unveröffentlichte Diplomarbeit Halle-Niederroden 1945.
[6] Siehe [3], Bild 16 auf Seite 66. (18837)

DK 539.42

Über das Bruchkriterium bei kurzzeitiger Beanspruchung.

Von Hubert SCHARDIN, Universität Freiburg (Brsg.).

(Eingegangen am 4. April 1950.)

Die wichtigste Eigenschaft technischer Baustoffe ist deren Festigkeit. Es ist eine merkwürdige Tatsache, daß von seiten der reinen Physik her das Wesen der mechanischen Festigkeit verhältnismäßig wenig erforscht ist. Man könnte behaupten, daß die Physik heute über die Eigenschaften der Atomkerne eine genauere Auskunft geben kann als über die mechanische Festigkeit. Man muß in diesem Zusammenhang konstatieren, daß Größen wie Zug-, Druck-, Biege- und Schubfestigkeit, zulässige Spannung, Streck- oder Fließgrenze u. dgl. rein technische Daten darstellen, die empirisch ermittelt sind und mit Physik nichts zu tun haben.

Was die theoretische Erfassung der Festigkeit angeht, so dürfte dem Werkstoff Glas vielleicht eine wichtige Rolle zukommen. Da er als spröder Körper weitgehend ideale Eigenschaften hat, ist es wahrscheinlich eher möglich, die Festigkeitseigenschaften von Glas auf eine physikalische Grundlage zu stellen als es bei anderen technischen Stoffen der Fall sein wird. In dieser Richtung liegt die Tendenz der bekannten Arbeiten von A. SMEKAL, und es ist ein besonderes Verdienst der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft und H. MAURACHs, die Notwendigkeit eines Kontaktes der Glasforschung mit der Physik erkannt zu haben und ihn weitgehend zu fördern.

Auf alle Fälle aber wird — auch wenn wir mehr als heute über die Festigkeit wissen — ein volles Verständnis der Festigkeitsgrenzen und der Brucherscheinungen nur vorhanden sein

1. bei einfachen Formen der Gegenstände (Stab, Platte, Rohr u. dgl.),

2. bei bekannten und einfachen Beanspruchungen und definierten Randbedingungen (Einspannungen).

Die komplizierten Vorgänge würden zur exakten Lösung auch mit Hilfe z. B. einer ENIAC soviel Rechenaufwand erfordern, daß sich dieser nicht lohnen würde.

In solchen Fällen sind dann Methoden der technischen Physik anzuwenden, über die im folgenden einiges ausgeführt werden soll.

Eine Glasschale falle zu Boden. Wenn man dafür sorgt, daß die Lage, in der die Schale fällt, immer die gleiche ist, kann man durch Versuche eine kritische Höhe ermitteln, oberhalb deren die Schale zu Bruch geht. Wenn eine genügende Anzahl von Versuchsobjekten zur Verfügung steht, kann auch die Streuung dieser kritischen Höhe angegeben werden.

Praktisch wird der Versuch in folgender Weise durchzuführen sein: Man nimmt das erste Versuchsstück und läßt es aus einer so geringen Höhe fallen, daß ein Bruch wenig wahrscheinlich ist. Nach dem Versuch wird geprüft, ob ein Defekt eingetreten ist.

Bei Geräten aus Glas ist man nun wegen dessen fast idealer Sprödigkeit in der Lage, in erster Näherung das gleiche Versuchsstück, wenn es keinen Schaden genommen hat, auch für die weiteren Versuche bis zum Eintreten des Bruches zu verwenden. Es handelt sich im vorliegenden Falle um eine sehr kurzzeitige Beanspruchung, wo Fließvorgänge, die die Kerbstellen verändern, noch keine wesentliche Rolle spielen. Der Glasgegenstand bleibt entweder heil und ist unverändert, oder er gilt als vollzerstört.

Versuchsstück Nr.	Fallhöhe in cm										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	0	0	0	0	0	×					
2	0	0	0	0	0	0	0	×			
3	0	0	0	0	×						
4	0	0	×								
5	0	0	0	0	0	0	0	×			
6	0	0	0	×							
7	0	0	0	0	0	×					
8	0	0	0	0	0	×					
9	0	0	0	0	0	0	0	0	×		
10	0	0	0	0	0	0	×				

Bild 1. Eintreten des Bruches für ein Gerät aus Glas, das aus immer größeren Höhen fallen gelassen wird.
0 Versuch, der nicht zum Bruch führt.
× Versuch, der Bruch gibt.

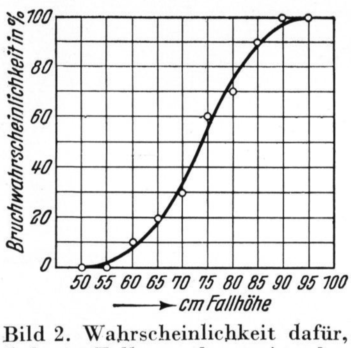

Bild 2. Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Fallversuch aus einer bestimmten Höhe zum Bruch führt. Graphischer Ausgleich der Versuchsergebnisse nach Bild 1.

Für eine längere Beanspruchungsdauer z. B. bei der Dauerstandsprüfung von Flaschen gilt das nicht mehr.

Wir verwenden also jedenfalls für die erste Versuchsreihe jedes Versuchsstück mehrere Male, um Material zu sparen. Anschließend kann — wenn erforderlich — das Resultat überprüft werden, indem nun für jeden Versuch ein nicht vorbelastetes Stück genommen wird. Auf Grund des ersten Resultates läßt sich jetzt aber die Anzahl der Versuche schon wesentlich einschränken.

Bild 1 gibt schematisch das Resultat einer Versuchsreihe wieder. Zehn Versuchsstücke standen zur Verfügung, die — bei 50 cm Höhe anfangend — fallen gelassen wurden. Die Höhe wurde von Versuch zu Versuch um 5 cm vergrößert. Je ein Körper zerbrach bei 60, 65 und 70 cm, drei bei 75 cm usw.

Aus dieser Tabelle läßt sich nun für jede Höhe ohne weiteres die Wahrscheinlichkeit entnehmen, mit der bei einer bestimmten Fallhöhe der Körper zu Bruch geht bzw. heil bleibt.

Tragen wir in Bild 2 diese Wahrscheinlichkeiten graphisch auf, so lassen sich die Werte mittels einer Kurve ausgleichen, und man kann mit erhöhter Genauigkeit die Fallhöhe für z. B. 50 % Bruchwahrscheinlichkeit entnehmen.

Eine derartige Wahrscheinlichkeitskurve dürfte in vielen Fällen von großem praktischen Interesse sein, einmal, wenn es sich darum handelt, gewisse Garantien gegen das Auftreten von Bruch zu übernehmen oder aber um Fabrikationsfehler zu erkennen. Schon die Form der Kurve kann manches aussagen. Ist sie sehr unsymmetrisch, so kann man schließen, daß verschiedene Ursachen für den Bruch vorliegen müssen, denen voneinander abweichende kritische Fallhöhen entsprechen. Das in Bild 1 und 2 dargestellte Resultat entspricht selbstverständlich nur einem bestimmten Objekt und einer bestimmten Beanspruchungsart.

Es läßt sich sinngemäß für andere Fälle wiederholen, z. B. für das Auftreffen des Objektes in anderer Lage auf dem Boden oder auf einen Boden anderer Härte, bzw. für eine ganz andere Beanspruchungsart.

Es ist jedoch Aufgabe der Wissenschaft, Wege anzugeben, um die Anzahl der erforderlichen Experimente möglichst einzuschränken. Wenn ein Vorgang vollkommen beherrscht wird, so brauchte man überhaupt keinen Versuch zu machen; der Vorgang ließe sich berechnen[1]). Je weniger jedoch die exakten Grundlagen geklärt sind, umso mehr durch Versuche zu ermittelnde Daten sind notwendig.

In unserem Falle kann man das gewonnene Resultat in zweierlei Weise versuchen zu verallgemeinern. Man kann sich fragen:

1. Was wird, wenn man das Versuchsobjekt modellmäßig vergrößert oder verkleinert?
2. Man habe den Kraftverlauf, der gerade Zerstörung hervorruft, gemessen. In welcher Weise kann man diesen variieren, um gleichfalls an der kritischen Grenze der Belastbarkeit zu bleiben?

Wenden wir uns der ersten Frage zu. Eine Modellgesetzmäßigkeit werden wir in unserem angenommenen Vorgang nur bei vollkommen geometrischer Ähnlichkeit und bei Verwendung der gleichen Materialien erwarten können.

Setzen wir für eine beliebige Längenabmessung im Originalobjekt (das entsprechend Bild 1 untersucht sei) die Größe l und für die entsprechende Länge im Modell l', so muß also gelten

$$l' = \nu l$$

für alle einander zugeordneten Längenabmessungen. ν ist der Übertragungsfaktor für die Länge.

Für die Dichten, Elastizitätsmodule und entsprechend für alle anderen physikalischen Materialgrößen gilt

$$\varrho' = \varrho \text{ (Dichte)}$$
$$E' = E \text{ (Elastizitätsmodul)}$$

[1]) Es wäre jedoch durchaus fraglich, ob es sich jeweils lohnen würde, die Rechnung anstatt des Versuchs auszuführen. Sie könnte länger als dieser dauern und teurer werden.

Ferner nehmen wir an, daß für die kritischen Beanspruchungen die mechanischen Spannungen bzw. die Drücke maßgebend sind und setzen daher

$$\sigma' = \sigma \text{ (Spannung)}$$
$$p' = p \text{ (Druck)}$$

Das Zubruchgehen unseres Objektes erfolgte durch Zusammenwirken von elastischen und Massenträgheitskräften.

Für eine Modellgesetzmäßigkeit müssen wir also verlangen, daß beide Arten von Kräften mit dem gleichen Übertragungsfaktor eingehen. Für die elastischen Spannungen haben wir ihn soeben mit 1 festgelegt, daher muß auch der Maßstabfaktor für die Massenträgheit dividiert durch Fläche (d. h. durch Massenträgheit hervorgerufene Spannungen) gleich 1 sein.

Es gilt

Maßstabsfaktor für Länge $= \nu$
„ „ Fläche $= \nu^2$
„ „ Masse $= \nu^3$
„ „ Zeit sei ν_t
„ „ Geschwindigkeit $= \dfrac{\nu}{\nu_t}$
„ „ Beschleunigung $= \dfrac{\nu}{\nu_t^2}$

also:

Maßstabsfaktor für

$$\left[\frac{\text{Masse} \times \text{Beschleunigung}}{\text{Fläche}}\right] = \frac{\nu^3 \cdot \dfrac{\nu}{\nu_t^2}}{\nu^2} = 1$$

Damit wird

$$\nu_t = \nu$$

d. h. der Übertragungsfaktor für die Zeiten ist der gleiche wie für die Längen, und der Übertragungsfaktor für die Geschwindigkeiten muß gleich 1 sein: Im Original und im Modell herrscht an gleichen Punkten und zu entsprechenden Zeiten die gleiche Geschwindigkeit. Wir wollen die so gefundenen Beziehungen als das CRANZsche Modellgesetz bezeichnen.

Wie sich leicht einsehen läßt, ist es auch beim Wirken hydrodynamischer Kräfte gültig, denn diese sind ja Trägheitskräfte (Drücke p und Staudrücke $\frac{\varrho \cdot \nu^2}{2}$ haben beide den Maßstabsfaktor 1, sind also für Original und Modell an gleichen Punkten zu entsprechenden Zeiten gleich). Mann kann also nach dem Modellgesetz z. B. auch die Beanspruchung einer Fensterscheibe durch Winddruck ohne weiteres von einer kleinen auf eine große Scheibe übertragen. Das CRANZsche Modellgesetz gilt exakt, wenn nur Trägheits- und elastische Kräfte eine Rolle spielen. Es gilt nicht, wenn die Erdschwere als solche wesentlich eingeht, da der Maßstabsfaktor für die Beschleunigung nach obigem Gesetz $\frac{1}{\nu}$ sein müßte, während ja die Erdbeschleunigung im Original und Modell zwangsweise gleich ist. Das heißt für unser obiges Beispiel:

Variiert man modellmäßig die Größe des Versuchsobjektes, so muß die kritische Zerstörung bei der gleichen Auftreffgeschwindigkeit auftreten. D. h. die kritische Fallhöhe muß, da die Erdbeschleunigung sich nicht variieren läßt, die gleiche für Original und Modell sein (sie wird also nicht modellmäßig mit verändert).

Das CRANZsche Modellgesetz ist vom Verfasser für den Fall der Zerstörung von Fensterscheiben durch Stoßwellen überprüft und im Rahmen der Streuung der Versuchsergebnisse bestätigt worden. Es wird auch in anderen Fällen weitgehend zutreffen, wenn wirklich alle modellgerechten Forderungen erfüllt sind, was oft nicht beachtet wird.

Bei der modellmäßigen Übertragung eines Biegeversuches muß man z. B. sowohl Schneidenabstand als auch Plattendicke und Plattenbreite und vielleicht sogar den Abrundungsradius der Schneiden im gleichen Maßstab verändern. Besonders geachtet werden muß dann noch auf die Art der Kanten, wenn von diesen der Bruch ausgeht (vgl. weiter unten).

Spielen wesentlich plastische Deformationen mit, so wird das CRANZsche Modellgesetz als erste Näherung aufzufassen sein. In diesem Zusammenhang ergeben sich folgende Problemstellungen:

Plastische Deformationen bei Glas treten unter Belastung an den Kerbstellen im Verlauf längerer Zeiten auf. Die Folge davon ist z. B., daß die Dauerstandfestigkeit bei Flaschen unter Innendruck nur etwa die Hälfte der Bruchfestigkeit bei kurzzeitiger Belastung beträgt.

Sollte nun dieses Verhalten mit durch das Modellgesetz erfaßt werden, so müßte z. B. eine Flasche mit der modellmäßigen linearen Vergrößerung um den Faktor 2, die einem gleichen Innendruck oberhalb der Dauerstandfestigkeit ausgesetzt ist wie die kleine Flasche, erst nach der doppelten Zeit zu Bruch gehen. Das wird wahrscheinlich nicht der Fall sein. Die plastischen Vorgänge gehorchen sicher einem anderen Zeitgesetz als das CRANZsche Modellgesetz es fordert. Wir beschränken uns hier daher nur auf Betrachtungen zum Bruchkriterium bei kurzzeitiger Beanspruchung.

In diesem Falle ist folgender Punkt zu erörtern: Da bei modellmäßiger Variation der Objektgröße die Spannungen gleich bleiben, die Zeiten aber mit den Längen zu verändern sind, ergeben sich für einander zugeordnete Punkte verschiedene Belastungsgeschwindigkeiten. Die Änderung der Objektgröße, wie daher auch der Belastungsgeschwindigkeit, kann maximal etwa den Faktor 100 erreichen. Nun hat z. B. K. H. BORCHARD[2]) für Flaschen bei einer Belastungszeit über 5 Sek. für eine Änderung der Belastungsgeschwindigkeit um den Faktor 100 eine Änderung der Bruchfestigkeit nur um 20% festgestellt. Es ist zu erwarten, daß bei kurzzeitigeren Belastungen der Einfluß noch geringer werden wird, so daß wir — zumindest in erster Näherung — von ihm absehen können. Gegebenenfalls

[2]) BORCHARD, K. H.: Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit und der Gestalt der Belastungskurve auf den Meßwert der Festigkeit von Glashohlgefäßen. Glastechn. Ber. **15** (1937) S. 99—105, hier S. 100.

wären aber einwandfrei auftretende Abweichungen gerade sehr interessant, da es auf den üblichen Wegen schwierig ist, Belastungsgeschwindigkeiten zu erreichen, wie sie bei der Eigenschwingung der Objekte auftreten.

Eine weitere Frage ist die des sonstigen Einflusses der statischen Verteilung der Kerbstellen. Man könnte sagen: Im Modellgesetz hängt die Bruchgrenze von einer kritischen Spannung ab. In einem spröden Körper jedoch kann der Bruch durch eine besonders ausgeprägte Kerbstelle verursacht sein. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer solchen Kerbstelle ist umso größer, je größer das Volumen ist, d. h. je größer das Modell ist, umso wahrscheinlicher ist ein Bruch bei kleineren Spannungen.

Darauf läßt sich folgendes antworten: Die natürlichen Kerbstellen des Glases werden innerhalb eines bestimmten Größenbereichs liegen[3]). Beliebig große Kerbstellen werden als natürliche nicht vorkommen (wohl aber z. B. als Fabrikationsfehler). Auch werden in einem kleinen Volumen im Vergleich zur Objektgröße schon alle Größen vorkommen, so daß bei modellmäßiger Vergrößerung des Objektes nicht neue natürliche Kerbstellengrößen erscheinen. In diesem Falle bestehen die Voraussetzungen für die Gültigkeit des Modellgesetzes zu Recht. Es liegt hier ähnlich wie z. B. in dem Fall der modellmäßigen Übertragungsmöglichkeit bei Objekten aus Beton. Wie zahlreiche Versuche u. a. von EHRENBERG beweisen, ist es nicht notwendig, die Korngröße des Kieses im Beton modellmäßig mit zu verändern.

Diese Überlegungen sagen jedoch, daß die Modellgesetzmäßigkeit nicht erfüllt ist, wenn außer den natürlichen Kerbstellen noch Störstellen mit geringer Häufigkeit vorhanden sind, die z. B. in groben Inhomogenitäten des Glases, in thermisch bedingten Spannungen, in Rissen an der Oberfläche oder sonstigen Fabrikationsfehlern bestehen können.

Wenn von einem derartigen Fehler bereits bei kleiner Spannung ein Bruch ausgehen kann, ist das modellmäßig größere Objekt weniger widerstandsfähig, da in diesem die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten grober Kerbstellen größer ist. So kann u. U. die Prüfung der Gültigkeit des CRANZschen Modellgesetzes eine Aussage darüber ermöglichen, ob die Güte der Fabrikation für die mechanische Haltbarkeit eines bestimmten Objektes aus Glas ausreichend ist oder nicht.

Aber auch in bezug auf die exakte Einhaltung der Modellforderungen lernen wir etwas. Ist z. B. ein Glasstreifen mit dem Diamanten geschnitten, so bedeutet der Rand bei Belastung eine kritische Stelle. Die groben Unregelmäßigkeiten des Randes müßten modellmäßig mit übertragen werden. Da das nicht der Fall ist, kann man ein modellgerechtes Verhalten in derartigen Fällen nicht erwarten.

Wir wollen uns jetzt mit der zweiten oben angedeuteten Möglichkeit zur Erweiterung des Ergebnisses unseres eingangs geschilderten Versuches beschäftigen. Wenn unsere Glasschale auf den Boden fällt, so wird in der Berührungsfläche Boden — Objekt eine zeitlich variable Kraft übertragen, die die kinetische Energie der Schale abbremst. Die gleiche Wirkung auf die Schale hätten wir natürlich, wenn wir auf eine ruhende Schale über die identische Berührungsfläche den gleichen Kraftverlauf übertragen. Man kann sich z. B. einen geeigneten Hammer denken, mit dem wir gegen die Schale klopfen. Wie hängt nun die Zerstörung mit dem Kraftverlauf zusammen?

Wir wollen uns die Sache zunächst vereinfachen und uns statt der Glasschale eine Masse vorstellen, die sich über einer Feder an einer starren Wand befindet. Auf die Masse werde eine Kraft ausgeübt, und dieses System soll als zerstört gelten, wenn es bei der hervorgerufenen Bewegung eine kritische Amplitude überschreitet. Das kann einmal geschehen, wenn man langsam gegen die Masse drückt und einen kritischen Wert der Kraft überschreitet. In diesem Falle ist also die Zerstörung von der Kraft K abhängig.

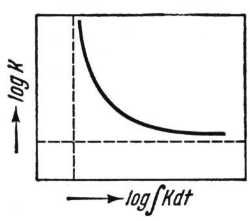

Bild 3. Zerstörungskennlinie eines Glasgegenstandes (schematisch). Ordinate: Kraft K, Abszisse: Impuls $\int K dt$, beides logarithmisch aufgetragen.

Man kann aber auch mit einem Hammer gegen die Masse schlagen. Die Masse erhält dabei einen Impuls, sie beginnt zu schwingen und wird, wenn der Impuls ausreichend war, nach einer durch die Eigenfrequenz des Systems bestimmten Zeit die kritische Amplitude überschreiten. Jetzt hängt also die Zerstörung vom Impuls, d. h. von $\int K dt$ ab. Je höher die momentane Kraft war, umso kürzere Zeit brauchte sie nur zu wirken.

Auch unsere Glasschale ist ein schwingungsfähiges Gebilde. Elastizität und Massenträgheit bestimmen auch hier den Vorgang bis zum Bruch. Allerdings sind die Schwingungsmöglichkeiten so kompliziert, daß sie nur schwerlich berechnet werden könnten.

Aber auch hier werden in erster Linie Kraft und Impuls maßgebend für die Zerstörung sein. Um einwandfreie Versuche machen zu können, denken wir uns die Glasschale in einen Fallbären eingebaut, der in regelbarer Weise abgefangen werden kann, wobei auf die Glasschale ein definierter Kraftverlauf übertragen wird (es ist das eine Stoßprüfanlage).

Nun nehmen wir die Zerstörungskennlinie der Glasschale auf, die natürlich jeweils nur für eine bestimmte Beanspruchungsart gilt, z. B. wenn die Kraft (als Masse der Schale $\times$ negative Beschleunigung des Abfangens) normal über den Fuß der Schale übertragen wird. Das heißt, wir variieren die Kraft und bestimmen für jede Größe der Kraft die notwendige Zeit, die zum Bruch führt. Bild 3 zeigt schematisch das Resultat. Die Kurve hat eine Asymptote bei konstantem Impuls und eine bei konstanter Kraft. Das heißt, bei kurzzeitiger Beanspruchung kommt es auf den Impuls an. Das System nimmt während der Stoßzeit nur kinetische Energie auf und geht erst später zu Bruch. Bei lang-

[3]) Vgl. die verschiedenen Arbeiten hierüber von A. SMEKAL.

dauernder Beanspruchung kommt es nicht auf den Impuls, sondern nur auf die Kraft an; also die Verhältnisse liegen ganz so wie beim einfachen Schwinger, nur daß eben diese Zerstörungskennlinie durch eine Versuchsreihe in der Stoßprüfanlage ermittelt werden mußte.

Eine praktische Bedeutung haben derartige Kurven z. B. bei der Prüfung der Stoßsicherheit von Glühlampen. Solche Objekte können mehrere Arten von Zerstörungen aufweisen. Zum Beispiel kann bei Glühlampen der Glaskolben brechen oder die Wendel zerreißen. Für jede Art von Zerstörung gibt es eine besondere Kennlinie. Kritisch ist jeweils diejenige, die zuerst zur Unbrauchbarkeit führt.

Der Punkt stärkster Krümmung der Zerstörungskennlinie entspricht etwa der kritischen Eigenfrequenz des Objektes.

Wenn man sich in der Dauer der Beanspruchung weit außerhalb dieses Punktes befindet, weiß man, daß kritisch für die Zerstörung entweder im wesentlichen der Druck (statischer Fall) oder der Impuls (dynamischer Fall) ist. Wir haben damit die oben aufgestellte Frage beantwortet und können das Ergebnis einer Versuchsreihe nunmehr auf andere Kraft-Zeit-Verläufe übertragen. Allerdings im Gebiet der kritischen Eigenfrequenz ist die genaue Kenntnis der Zerstörungskennlinie erforderlich.

Auch gelten unsere Betrachtungen nur für gleichartige Kraftverläufe. Bei starken Änderungen in der Kurvenform wäre als weitere Kenngröße die Änderung der Kraft (bzw. der Beschleunigung) heranzuziehen (der sog. Ruck); es wären dann also maßgebend

1. $\int K dt$ (Impuls)
2. K (Kraft oder Druck oder Beschleunigung)
3. $\frac{dK}{dt}$ (Ruck).

Ferner haben wir von periodischen Kraftverläufen abgesehen, von denen ja allgemein bekannt ist, daß sie im Falle der Resonanz sehr leicht einen Bruch herbeiführen können.

Die gemeinsame Anwendung des CRANZschen Modellgesetzes und der Zerstörungskennlinien sei am Beispiel der kurzzeitigen Beanspruchung einer Fensterscheibe, z. B. durch einen Druckstoß, erläutert.

Wenn die Zerstörungskennlinie für ein Format und eine Glasdicke (also die Abhängigkeit der Zerstörung bei dieser Platte von Druck und Impuls) vorliegt, so lassen sich die vollständigen Kennlinien für modellmäßige Variation der Abmessungen der Platte (also z. B. bei doppelten Seitenlängen und doppelter Dicke) auf Grund des Modellgesetzes berechnen.

Um die Kennlinien auch für verschiedene Verhältnisse von Format und Dicke zueinander zu haben, genügt es, wenn diese für ein Format bei mehreren Dicken ermittelt werden. Wenn eine einzige Kennlinie genau vorliegt, ist es sogar ausreichend, für die Kennlinien der übrigen Dicken des gleichen Formates nur einige Meßpunkte zu haben, denn alle Kennlinien haben einen gleichartigen Verlauf und sind leicht zu interpolieren. Damit ist dann die Bruchwahrscheinlichkeit für jedes Format (nur bei festgehaltenem Seitenverhältnis) bei jeder Dicke unter Einwirkung eines beliebigen Druckes und eines beliebigen Impulses angebbar.

Ich glaube, daß das Kriterium für kurzzeitige Beanspruchungen gerade bei Geräten aus Glas eine besondere Bedeutung hat und wollte im Vorstehenden zeigen, daß es Wege der wissenschaftlichen Behandlung auch für komplizierte Geräte und Beanspruchungen gibt, bei denen es sicher nicht möglich sein wird, die Vorgänge im einzelnen genauer zu verfolgen. Ich bin mir bewußt, daß die vorstehenden Ausführungen nur schematisch sein konnten, würde mich aber freuen, wenn sie trotzdem für den einen oder anderen Fall einige Anregungen geben würden.

(18788)

Die Änderung der Bruchgeschwindigkeit von Glas mit der Temperatur. *)

Von H. M. DIMMICK u. J. M. MCCORMICK

(Preston Laboratories, Butler, Pennsylvania, USA.)

(Eingegangen am 16. April 1950.)

Es wird eine Meßanordnung beschrieben, mit der Objektträger zerbrochen werden, in die in bestimmtem Abstand zwei feine Platinstreifen eingebrannt sind, die in je einem Stromkreis liegen. Aus dem zeitlichen Abstand, in dem diese Stromkreise unterbrochen werden, läßt sich die Geschwindigkeit des Bruchverlaufes zwischen den beiden Platinlinien bestimmen. Die Versuche werden bei verschiedenen Temperaturen ausgeführt, dabei ergibt sich eine geringe Abnahme der Bruchgeschwindigkeit bei steigender Temperatur.

Wenn Glas bricht, kann manchmal ein langsames Fortschreiten des Bruches auftreten, aber häufig schreitet der Bruch mit sehr hoher Geschwindigkeit fort. Diese Geschwindigkeit hat eine obere Grenze, die als die charakteristische oder Grenzbruchgeschwindigkeit bezeichnet werden kann. Ihr Zahlenwert wurde zuerst von SCHARDIN und STRUTH [1] und fast zur gleichen Zeit von EDGERTON und BARSTOW [2] bestimmt, die sehr ähnliche Werte erhielten. Für Flachglas beträgt der Wert bei Zimmertemperatur 1500 m/sec nach SCHARDIN und 1536 m/sec nach EDGERTON, für geschmolzene Kieselsäure fand SCHARDIN 2000 m/sec. Bei getempertem oder gehärtetem Glas weicht nach EDGERTON der Wert nicht merklich von dem für gekühltes Glas der gleichen chemischen Zusammensetzung ab.

Die Bruchgeschwindigkeit ist weder die Schallgeschwindigkeit im Glas, die etwa 5000 m/sec für Flachglas beträgt, noch ist sie die Geschwindigkeit von Transversalwellen, die zu etwa 3300 m/sec gemessen wurden. Tatsächlich beläuft sie sich auf etwa ein Drittel des ersten und die Hälfte der zweiten.

In dem Preston-Laboratorium wurde beschlossen, durch Versuche einige der Faktoren zu be-

*) Report No. 50—063.