DK 539.42 : 539.431 : 620.174.24 : 666.17(045)

Zur Erkennbarkeit des Dauerbruches.

Von K. H. Borchard.

(Mitteilung aus dem Laboratorium des Technisch-wirtschaftlichen Beratungsdienstes Dr. Borchard, Porta Westfalica.)

(Eingegangen 30. März 1935.)

Es wird ein Verfahren angegeben, das es unter gewissen Umständen erlaubt, aus dem spiegelnden Teil der Bruchfläche von Glasgefäßen Schlüsse auf die Dauer der vorausgegangenen Belastung zu ziehen. Dieser Gesichtspunkt kann u. U. bei der Prüfung von Beanstandungen und dgl. von Nutzen sein.

1. Zweck der Untersuchung.

In der kürzlich in den „Glastechnischen Berichten" erschienenen Arbeit des Verfassers „Zur Ursache der Festigkeitsabnahme des Glases mit zunehmender Belastungsdauer" (1) wurden bereits neue Versuche angedeutet, deren Ergebnisse eine Beziehung zwischen dem Aussehen der Bruchfläche von Glashohlgefäßen und der Dauer der Belastung vermuten ließen. Die Klärung dieser Frage ist auch für die Praxis von Wichtigkeit. Bei der Erledigung einer Beanstandung oder einer anderen Streitfrage über die Güte der Hohlgefäße liegen vielfach außer den mit Vorsicht zu behandelnden Berichten der Beteiligten nur die Scherben der gebrochenen Hohlgefäße vor. Es würde dabei wertvoll sein, wenn sich nachträglich an Hand der Scherben die Dauer und die Art der Belastung feststellen ließe, die den beanstandeten Bruch herbeigeführt hat.

Ueber verschiedene Brucharten und ihre Beziehungen zur Bruchursache wurde bereits einiges in einer früheren Arbeit zusammengetragen (2). Nachstehend soll nun auch die Belastungsdauer in den Kreis der Betrachtungen gezogen werden.

2. Dauerbruch von Glasstäben.

Für Glasstäbe ist die Frage nach dem Einfluß der Belastungsdauer durch die Arbeiten von A. Smekal, G. Apelt (3) und K. H. H. Müller (4) bereits weitgehend geklärt. Die Brüche gehen meist von einer mikroskopisch nachweisbaren Fehlstelle F an der Oberfläche aus (vgl. Bild 2). In der Nähe dieser Ausgangsstellen ist die Bruchfläche s spiegelnd eben („Spiegel"), und der übrige Querschnitt f ist (abgesehen von der matten Fläche m) von strahlenförmig sich verteilenden, mehr oder weniger tiefen Furchen durchsetzt. Wichtig ist nun, daß der Spiegel s um so größer ist, je größer die Dauer der Belastung ist, die den Bruch herbeigeführt hat. Es hat sich gezeigt, daß die Zerreißlast (L), bezogen auf den nicht spiegelnden Restquerschnitt (q — s), innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von der Belastungsgeschwindigkeit ist. Dies spricht sich in folgender Formel aus:

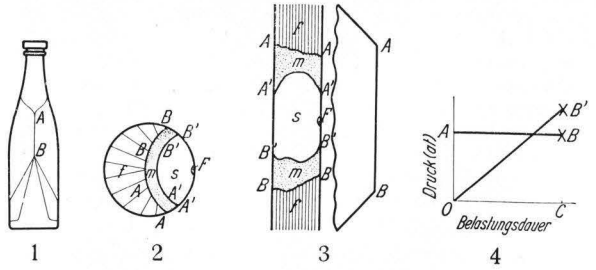
$$Z = \frac{L}{q - s} = \text{const.}, \qquad [1]$$

worin q den gesamten Querschnitt des Stabes, s die Spiegelfläche und Z die sogenannte wahre Zerreißfestigkeit bedeuten. Ist also Z und q als konstant anzusehen, so wird die Zerreißlast L um so kleiner sein, je größer die Spiegelfläche s ist. Die Spiegelfläche aber ist um so größer, je länger die Belastungsdauer war, d. h. je mehr Zeit zur Weiterentwicklung der Fehlstelle zur Verfügung stand. Daß diese Entwicklung der Fehlstelle zunächst sehr langsam erfolgt, beweist die spiegelnde Glätte des Dauerbruch-Querschnittes. Der Verfasser zeigte ja bereits bei anderer Gelegenheit, daß die Bruchquerschnitte um so mehr einer Ebene entsprechen und um so senkrechter auf der Oberfläche stehen, je langsamer der Zerreißvorgang verläuft, während Unregelmäßigkeiten auf schneller verlaufende Bruchvorgänge deuten [(1) und (2)]. So erklärt sich auch die Furchenstruktur des nicht spiegelnden Restquerschnittes, der meist nicht senkrecht zur Stabachse steht: Er entspricht dem schnellen Zerreißvorgang im Augenblick des Bruches.

3. Dauerbruch von Glashohlgefäßen.

Die Frage ist nunmehr, inwieweit diese Vorgänge beim Stabe den Vorgängen an der Flasche entsprechen. Bild 1 zeigt das Schema eines Strahlenbruches; typisch ist das parallel der Flaschenachse verlaufende Mittelstück A B und die Gabelung des Bruches in den Punkten A und B. Hierüber wurde in den angezogenen Arbeiten (1) und (2) bereits Näheres ausgeführt. In der ersteren wurde auch bereits die Vermutung ausgesprochen, daß ein Teil des Querschnittes zwischen A und B dem Spiegel entspreche. Diese Annahme hat durch neuere Untersuchungen des Verfassers ihre Bestätigung gefunden.

Bild 2 und 3 zeigen das Bild eines normalen Dauerbruches beim Stabe und bei der Flasche. In beiden Abbildungen ist



1 2 3 4

Bild 1. Schema des Strahlenbruches einer Glasflasche.
Bild 2. Schema des Dauerbruches eines Glasstabes.
Bild 3. Schema des Dauerbruches einer Glasflasche.
Bild 4. Belastungsdiagramm (schematisch).

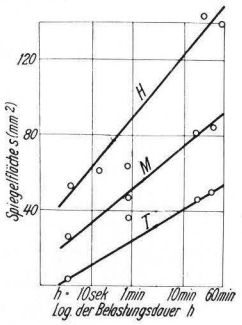


Bild 5.

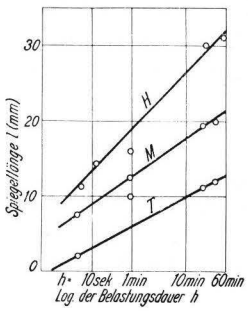


Bild 6.

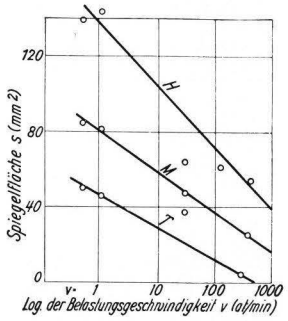


Bild 7.

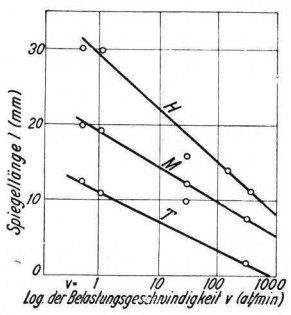


Bild 8.

Bild 5 und 6. Spiegelfläche (Bild 5) bzw. Spiegellänge (Bild 6) in Abhängigkeit vom Logarithmus der Belastungsdauer.
H = Höchstwerte, M = Mittelwerte, T = Tiefstwerte.

Bild 7 und 8. Spiegelfläche (Bild 7) bzw. Spiegellänge (Bild 8) in Abhängigkeit vom Logarithmus der Belastungsgeschwindigkeit.
(Bedeutung von H, M, T wie bei Bild 5 und 6.)

bei F die Fehlstelle angedeutet, von der der Bruch ausgeht. Sie findet sich an der Oberfläche des Glasstabes und an der äußeren Oberfläche der Glasflasche; bei den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Flaschen konnte kein Bruch festgestellt werden, bei dem dies nicht zutraf. Um die Fehlstelle herum legt sich die Spiegelfläche s, die bei den Flaschen in der Nähe der Fehlstelle meist leicht gewellt, aber im übrigen spiegelnd eben war, während die Spiegel der Glasstäbe diese Welle selten zeigten. Als nächste Zone legt sich um die Spiegelfläche eine matte Fläche m, die in der gleichen Ebene wie der Spiegel liegt. An dem fehlenden Glanz dieses Querschnittes erkennt man, daß in ihm die Geschwindigkeit des langsamen Zerreißvorganges bereits zugenommen hat. Bei A B beginnt nun der eigentliche schnell verlaufende Bruch. Deshalb ist die dritte Zone f von z. T. tiefen Furchen in der Richtung des Bruchverlaufes durchschnitten, sie steht meist nicht senkrecht auf der Oberfläche. Bei der Flasche gabelt sich bei A und B der Bruch und weicht aus der achsialen Richtung ab, um in kürzester Zeit den Flaschenkörper völlig zu zerstören. Vergleicht man Bild 2 und 3, so fällt die Aehnlichkeit des Bruchaussehens beim Stab und bei der Flasche sofort ins Auge.

4. Versuchsausführung.

Um nun die Abhängigkeit zwischen der Spiegelgröße und der Belastungsdauer an Flaschen zu ermitteln, stellte ich folgende Versuche an. Verwandt wurden hellgrüne schlanke Vichyflaschen (3/8 Liter) mit Ringmündung, die von Hand hergestellt waren. Das Gewicht betrug 475 g, der größte äußere (kritische) Durchmessser 68 mm, die entsprechende kleinste (kritische) Wandstärke 3,5 mm. Die Zusammensetzung des Glases war

SiO_2	Alk.	CaO	MgO	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$
64,2	10,03	15,55	0,36	9,86

Die Versuchstemperatur betrug 15 bis 20° C. Die Versuche wurden mit dem Flaschendruckprüfer des Verfassers (DRP) durchgeführt, der in den Arbeiten (1) und (5) abgebildet ist; die Flaschen wurden also nach dem Halsring-Verfahren eingespannt. Zur Bildung eines Mittelwertes wurden jeweils 10 Versuche gemacht. Belastet wurde nach der Linie O B' in Bild 4, also mit gleichbleibender Belastungsgeschwindigkeit bis zum Bruch bei B'.

Die hierbei sich ergebenden Festigkeitswerte sind natürlich höher, als wenn die Belastung nach schnellem Druckanstieg OA bis zum Bruch bei B konstant gehalten wurde, gleiche Bruchzeiten AB für beide Versuche vorausgesetzt. Neue Versuche lassen den Schluß zu, daß der Bruchdruck eines Hohlgefäßes in at bei gleichbleibender Bruchzeit um so höher liegt, je kleiner der Flächeninhalt zwischen Belastungskurve und Abszissenachse ist. In Bild 4 z. B. ist die Bruchzeit für B und B' die gleiche; beide Punkte besitzen die gleiche Abszisse OC, der Inhalt des Belastungsdiagrammes OB'C ist jedoch kleiner als der unter dem Diagramm OABC, infolgedessen muß der Bruchdruck im letzteren Falle kleiner sein.

Im vorliegenden Falle wurde nun die Belastungsgeschwindigkeit von Versuchsreihe zu Versuchsreihe geändert. Hierbei wurde die Belastungsgeschwindigkeit als Quotient des Bruchdruckes C B' durch die Bruchzeit OC (Bild 4) errechnet. An den gebrochenen Flaschen wurde sodann die Bruchstrecke (AB in Bild 1 und 3) aufgesucht und die Größe der Spiegelfläche s in mm² bestimmt.

5. Versuchsergebnisse.

In Bild 7 ist die Spiegelfläche in Abhängigkeit vom Logarithmus der Belastungsgeschwindigkeit in at/min aufgetragen. Die mittlere Gerade gibt die Mittelwerte aus je 10 Versuchen bei gleicher Belastungsgeschwindigkeit wieder. Darunter und darüber wurden auch die Tiefst- und die Höchtwerte einer jeden Versuchsreihe eingetragen. Dadurch wurde es möglich, auch die obere und untere Grenze des Streufeldes einzuzeichnen. Man erkennt insbesondere bei Betrachtung der Mittelwertsgeraden deutlich, daß die Spiegelfläche s mit zunehmender Belastungsgeschwindigkeit v nach einem logarithmischen Gesetz der Form

$$s = S_E \cdot (a - b \cdot \log v) \qquad [2]$$

abnimmt, worin S_E den „Einheitsspiegel" dar-

stellt. Wählt man den Spiegel bei 15 at/sec = 900 at/min als Einheitsspiegel, so ist im vorliegenden Falle die Spiegelfläche (in mm²)

$$s = 18 . (439 - 117 . \log v) , \qquad [3]$$

wo v in at/min einzusetzen ist und die Zahl 18 den erwähnten Einheitsspiegel für 900 at/min angibt:

$$S_{E900} = 18 \text{ mm}^2 . \qquad [4]$$

Bild 8 zeigt Versuche, bei denen die mittlere Spiegellänge (vgl. Bild 3) in mm in Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit dargestellt wurde. Die Breite des Spiegels betrug durchschnittlich 3,5 mm. Würde man diese Ergebnisse ebenfalls als Formel darstellen, so ergäbe sich auch hier qualitativ die Form der Gleichung [2].

Bild 5 und 6 zeigen Versuche, bei denen Spiegelfläche und Spiegellänge in Abhängigkeit vom Logarithmus der Belastungsdauer bei dreieckiger Belastungskurve dargestellt ist. Hierbei ist unter Belastungsdauer h die Strecke OC des Belastungsdreiecks O B'C in Bild 4 zu verstehen. Hier ergeben sich logarithmische Funktionen der Form

$$s = s_E' . (c + d . \log h), \qquad [5]$$

$$l = s_E'' . (e + f . \log h), \qquad [6]$$

wo h die Belastungsdauer in Minuten im obigen Sinne, c, d, e, f Koeffizienten, s_E' und s_E'' Einheitsspiegel sind.

Man ersieht hieraus, daß in jedem der untersuchten Fälle ein logarithmisches Gesetz sich ergibt. Am besten wird man jedoch nach Bild 7 und nach den Gleichungen [2] bis [4] vorgehen.

6. Verwertung.

Nehmen wir nun einmal an, es lägen Brüche einer Flaschensorte vor, bei der aus irgendwelchen Gründen (wegen einer Beanstandung oder dgl.) festgestellt werden soll, ob ein kurzzeitiger oder ein Dauerbruch vorliegt, so wird man den Mittelwert der Spiegelfläche ermitteln und durch Prüfung einiger unbeschädigter Flaschen der beanstandeten Sorte eine der obigen Kurven aufnehmen. Geht man dann mit der mittleren Größe der Spiegelfläche der strittigen Flaschen in das Diagramm ein, so erkennt man bald, ob ein Dauerbruch oder ein kurzzeitiger Bruch vorliegt. Dies ermöglicht u. U. weitere Schlüsse, die der Aufklärung des Falles dienlich sein können.

7. Zusammenfassung.

1. Die Ergebnisse von A. Smekal, G. Apelt und K. H. H. Müller bezüglich der einschlägigen Versuche an Glasstäben werden dargelegt.
2. Der Dauerbruch einer Glasflasche wird dem eines Glasstabes gegenübergestellt; es ergibt sich eine entsprechende Struktur. (Bild 2 u. 3.)
3. Die Größe der Spiegelfläche des Bruchquerschnittes wächst mit zunehmender Belastungsdauer und sinkt mit zunehmender Belastungsgeschwindigkeit nach logarithmischen Gesetzen. (Gleichungen [2] bis [6]).
4. Hiernach ist es möglich, durch Untersuchung der Spiegelgröße gebrochener Flaschen unter gewissen Voraussetzungen einen Hinweis darauf zu erhalten, ob ein kurzzeitiger oder ein Dauerbruch vorliegt.

8. Schrifttum.

(1) K. H. Borchard: „Zur Ursache der Festigkeitsverminderung des Glases mit zunehmender Belastungsdauer". Glastechn. Ber., **13** (1935), H. 2, S. 52—57.

(2) K. H. Borchard: „Die Bruchuntersuchung". Glashütte, **64** (1934), Nr. 8, S. 115—118; Berichtigung Nr. 9, S. 152 [vertausche hierin die Worte: „Brucherscheinung" gegen „Bruchursache"!]. (Ref. Glastechn. Ber., **12** (1934), S. 348 und 440.)

(3) Gerhard Apelt: „Einfluß von Belastungsgeschwindigkeit und Verdrehungsverformung auf die Zerreißfestigkeit von Glasstäben". Z. f. Physik, **91** (1934), H. 5 und 6, S. 336—343. (Ref. Glastechn. Ber., **13** (1935), H. 2, S. 63.)

(4) K. H. H. Müller: „Temperaturabhängigkeit der Zerreißfestigkeit von Glasstäben". Z. f. Physik, **69** (1931), H. 7/8, S. 431—455. (Ref. Glastechn. Ber., **9** (1931), S. 609.)

(5) K. H. Borchard: „Zur Frage der Flaschenprüfung". Sprechsaal Keramik usw., **67** (1934), Nr. 38, S. 576—577. (Ref. Glastechn. Ber., **13** (1935), H. 2, S. 63.)

(9550)

DK 666.1.031.29 : 666.76.022.846(045)

Ueber Hochleistungswannensteine (Corhart-Steine).

Von Dr. H. Knuth, Bonn.

(Vortrag bei der 13. ordentlichen Mitgliederversammlung der WBG, Wiesbaden, 15. Mai 1934.)

Nach einem Ueberblick über Herstellungsgang und Eigenschaften der Corhart-Erzeugnisse werden ausführlich die Erfahrungen besprochen, die (namentlich im Ausland) betreffs der Verwendung und Bewährung der Corhart-Steine im Glashüttenbetrieb gesammelt wurden. Ferner werden statistische Unterlagen über den Umfang der bisher getätigten Lieferungen gebracht. — Auszug aus dem Schrifttum.

1. Einleitung.

Die nachstehenden Ausführungen betreffen von den Hochleistungswannensteinen dasjenige Erzeugnis, welches augenblicklich das besondere Interesse der deutschen Glashütten verdient, nämlich den aus dem Schmelzfluß gegossenen hochtonerdehaltigen Corhart-Stein, der sich durch seine Herstellung von allen bisher bekannten keramischen Erzeugnissen unterscheidet. Daneben gibt es noch andere auf keramischem Wege hergestellte Hochleistungswannensteine, wie beispielsweise Sillimanit-, Mullitsteine usw., die nicht Gegenstand meiner Ausführungen sind.

Als die Corharterzeugnisse zum ersten Mal vor etwa 6 bis 7 Jahren in Deutschland bekannt wurden, glaubten manche Glasfachleute, daß mit