Technischer Bericht

Zerstörungskennlinien für Verbundsicherheitsglasscheiben

Christoph Mayrhofer, Caroline Kranzer

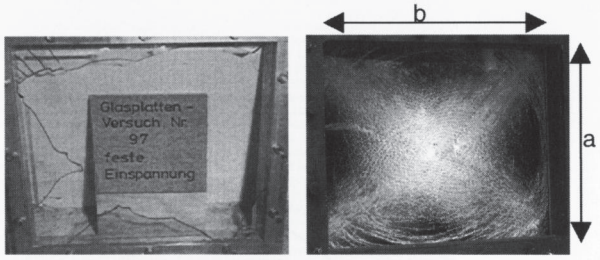
Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, Institutsteil Efringen-Kirchen

Für die Bewertung des Tragverhaltens von Bauteilen bei Explosionsereignissen sind sogenannte „Druck-Impuls-Diagramme" erforderlich. Diese geben in Abhängigkeit vom Druck und dem Impuls der Belastung an, für welche Wertepaare Zerstörung eintritt und welchen Belastungswerten das betrachtete Bauteil standhält. Derartige Zerstörungskennlinien sind am Fraunhofer EMI für eine Vielzahl von Werkstoffen entwickelt worden. Den Zerstörungskennlinien liegt das Rechenmodell des Ein-Massen-Schwingers zugrunde. Voraussetzungen für seine Anwendbarkeit sind Biegetragmechanismen, Bruch- bzw. Zerstörungskriterien (z.B. Grenzdurchbiegung) und die Kenntnis des statischen Last-Verformungsverhaltens.

Untersuchungen ergaben, daß Verbundsicherheitsglasscheiben die Voraussetzungen für die Erstellung von Zerstörungskennlinien erfüllen. Es wird eine Näherungsmethode zur Erfassung des statischen Tragverformungsverhaltens unter Berücksichtigung von Membranspannungszuständen dargestellt. Am Beispiel anderer Werkstoffe wird die prinzipielle Vorgehensweise erläutert, da für Verbundsicherheitsscheiben bisher noch keine Bruchkriterien zur Verfügung stehen.

1. Einleitung

Bei Unglücksereignissen wie Gasexplosionen oder Detonationen sind Fassadenelemente wie z.B. Glasscheiben oder Türen extremen Belastungen ausgesetzt. Umherfliegende Splitter können ein Vielfaches an Schädigung bewirken im Vergleich zur reinen Druckstoßbelastung. Das Fraunhofer EMI prüft Sicherheitssonderverglasungen auf Widerstand gegen Sprengwirkung nach DIN EN 13541 [1], sowie Fenster, Türen und Abschlüsse auf Sprengwirkungshemmung nach DIN prEN 13123-1 [2] und DIN prEN 13124-1 [3].



a) b)

Bilder 1a und b. Schadensvergleich von einfachem Fensterglas und Verbundsicherheitsglas a) ohne Folienverstärkung ergibt sich ein tödlicher Splitterflug, b) mit Folienverstärkung zeigt sich der Einfluß der Verbundwirkung.

2. Bewertung von Verbundsicherheitsglas mit Hilfe von Zerstörungskennlinien am Beispiel von Mauerwerk

In den Bildern 1a und b wird der Unterschied zwischen einem einfachen Fensterglas und einem Verbundsicherheitsglas im Schadensfall gezeigt. Eine Bewertung der Verbundsicherheitsgläser, die von den Normabmessungen $a \times b = (900 \times 1100)\,\mathrm{mm}^2$ abweichen, ist derzeit nicht möglich. Um eine Beurteilung über die aufnehmbaren Druckstöße vornehmen zu können, sind sogenannte Zerstörungskennlinien erforderlich. Diese geben in Abhängigkeit von Druck und dem Impuls der Belastung an, für welche Wertepaare Zerstörung eintritt. Um diese Aussagen für Scheiben beliebiger Abmessungen durchführen zu können, sind dimensionslose Zerstörungskennlinien erforderlich. Derartige Zerstörungskennlinien sind am Fraunhofer EMI für nichtlineare Tragsysteme entwickelt worden.

Bild 2 zeigt ein solches Druck-Impulsdiagramm ($\bar{p}$, $\bar{I}$). In diesem Diagramm sind Werte aus Untersuchungen an Mauerwerkswänden eingetragen. In Abhängigkeit vom eingesetzten Steinmaterial sind die experimentellen Ergebnisse bestimmten Zerstörungskriterien

Eingegangen am 1. März 2001.

Vorgetragen auf der 74. Jahrestagung der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft (DGG) in Ulm am 30. Mai 2000.

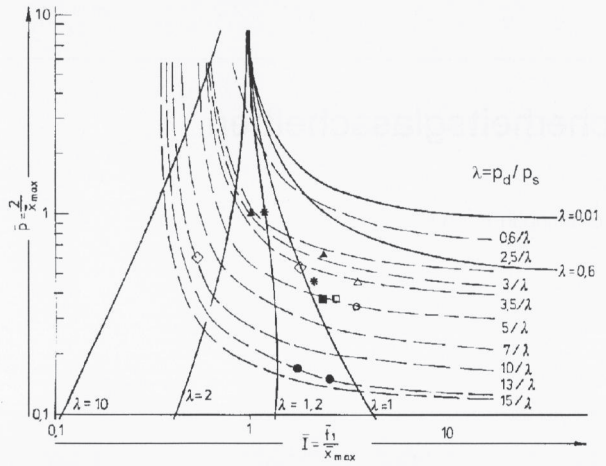


Bild 2. Normiertes $\bar{p}-\bar{I}$-Diagramm mit Versagenskriterium für Mauerwerkswände.

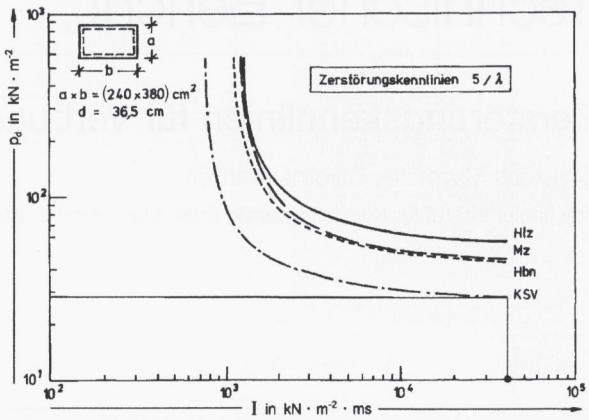
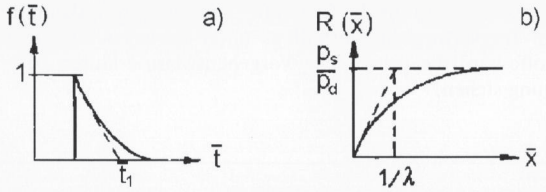


Bild 5. Zerstörungskennlinien vierseitig gelagerter Wände für verschiedene Steinsorten (Hochlochziegel (Hlz), Vollziegel (Mz), Betonhohlblocksteine (Hbn) und Kalksandvollsteine (KSV)).



Bilder 3a und b. Grundlagen für die Erstellung von Zerstörungskennlinien a) Belastungsfunktion und b) Rückstellfunktion.

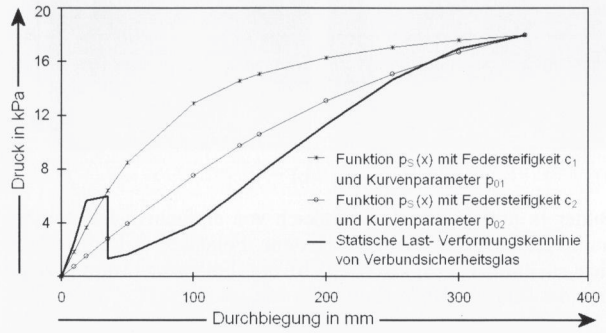


Bild 4. Statisches Last-Verformungsverhalten einer Verbundsicherheitsglasscheibe.

(α/λ) zuordenbar. Beispielsweise liegen die beim Bruch erreichten Druck-, Impuls- und Durchbiegungswerte einer Wand aus Hochlochziegeln (Hlz) auf der Kennlinie $5/\lambda$. In der normierten Schreibweise entspricht $1/\lambda$ einer normierten elastischen Durchbiegung. Das Kriterium $5/\lambda$ besagt, daß beim 5fachen der elastischen Durchbiegung die Zerstörung des Bauteils eintritt. Damit ist für Wände aus diesem Steinmaterial ein Zerstörungskriterium gefunden. Analog dazu könnten durch experimentelle Untersuchungen Zerstörungskennlinien für Verbundsicherheitsscheiben gefunden werden. Voraussetzung ist, daß bei einer Belastungsfunktion $f(\bar{t})$ aus Bild 3a das Widerstandsverhalten der Scheiben (Rückstellfunktion $R(\bar{x})$) mit dem in Bild 3b zugrunde gelegten nichtlinearen Verhalten übereinstimmt.

Die Anwendbarkeit dieser Methode auf Glasscheiben muß aus prinzipiellen Gründen auf Verbundsicherheitsscheiben begrenzt werden, da nur dort ein schwingungsfähiges Gebilde vorhanden ist, die Voraussetzung für die hier zugrunde gelegte Berechnungsmethode.

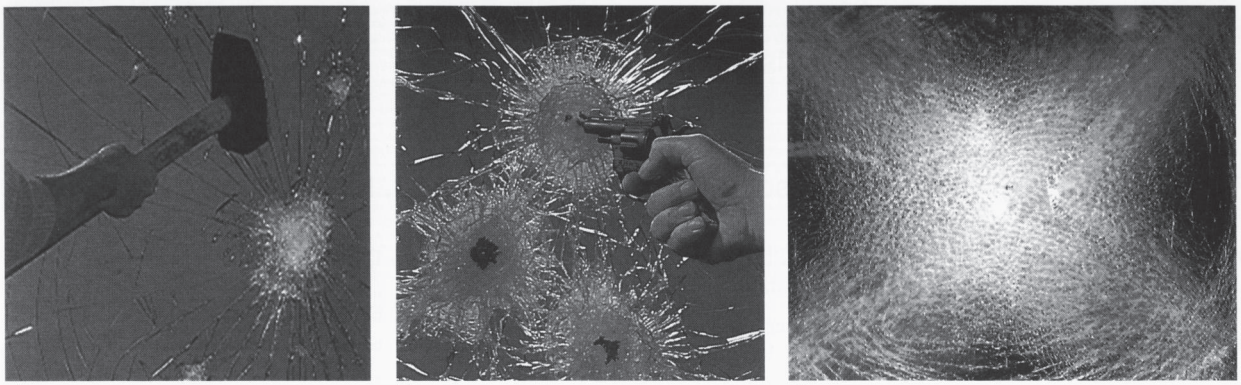
Untersuchungen an Verbundsicherheitsgläsern ergaben, daß mit dem in Bild 3b gewählten Ansatz, das statische Last-Verformungsverhalten näherungsweise beschrieben werden kann. Aus dem Verlauf der statischen Last-Verformungskennlinie (Bild 4) lassen sich bereits gewisse Schlüsse auf das dynamische Verhalten ziehen. Eine gute Annäherung an das statische Widerstandsverhalten (Druck-Durchbiegungsbeziehung) ist prinzipiell mit folgendem Ansatz möglich.

$$p_s(x) = \frac{2 \cdot p_0}{\pi} \cdot \arctan\left(\frac{\pi \cdot x \cdot c}{2 \cdot p_0}\right)$$

Handlungsbedarf besteht derzeit bei der Ermittlung der relevanten Federsteifigkeit c, die für das gewählte Widerstandsverhalten p_s als Funktion der Durchbiegung x in Plattenmitte den Anstieg der Funktion im Koordinatennullpunkt wiedergibt. p_0 ist ein Kurvenparameter.

Liegen experimentell bestimmte Bruchdurchbiegungswerte x_{Br} vor, kann in Verbindung mit Bild 2 das Zerstörungskriterium (α/λ) für Verbundsicherheitsglasscheiben definiert werden. Über die elastische Durchbiegung $x_E = p_s/c$ und $x_{Br} = \alpha \cdot x_E$ sowie der Eigenfrequenz ω der Scheibe können über die Beziehungen

$$p_d = \frac{\bar{p} \cdot c \cdot x_{Br}}{2} \quad \text{und}$$



a) b) c)

Bilder 6a bis c. Beispiel für die Wirkung von Verbundsicherheitsglas für extreme Belastungssituationen a) angriffshemmend, b) durchschußhemmend und c) explosionshemmend.

$$p_d \cdot t_1 = \frac{\bar{I} \cdot c \cdot x_{Br}}{\omega}$$

scheibenspezifische Umrechnungsfaktoren berechnet werden, die eine Transformation der dimensionslosen Kurven in Bild 2 in dimensionsbehaftete Diagramme ermöglicht. Danach kann für eine Scheibe bestimmter Abmessung ermittelt werden, welchem dynamischen Belastungsdruck p_d und Impulswert $I (I = p_d \cdot t_1)$ diese standhält.

An einem Beispiel von gemauerten Wänden ist dies exemplarisch für das Zerstörungskriterium $5/\lambda$ und verschiedene Steinsorten (Hochlochziegel (Hlz), Vollziegel (Mz), Betonhohlblocksteine (Hbn) und Kalksandvollsteine (KSV)) in Bild 5 dargestellt. Bild 5 kann man entnehmen, daß bei großen Einwirkzeiten t_1 des Druckes p_d und damit großen Impulswerten I der Belastung, im Grenzbereich eine Wand aus KSV im ungünstigen Fall 30 kN/m^2 aufnimmt. Bei kleineren Belastungszeiten t_1 und damit geringeren Impulswerten I steigt die aufnehmbare Belastung an.

Da Glas in der Architektur als transparenter Werkstoff weit verbreitet ist, sind Untersuchungen zu Verhalten bei extremen Belastungssituationen unverzichtbar. Neben Bewertungen zu Einbruch (Bild 6a), Durchschuss (Bild 6b) sind auch Aussagen zu sprenghemmender Wirkung (Bild 6c) erforderlich. Dies kann in einer allgemein gültigen Form am effektivsten durch das Ermitteln von Zerstörungskennlinien erfolgen.

3. Literatur

[1] DIN EN 13541 Sicherheitssonderverglasung; Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes gegen Sprengwirkung (2000). Berlin: DIN, 2001.

[2] DIN prEN 13123-1 Fenster, Türen und Abschlüsse – Explosionshemmung – Anforderungen und Klassifizierungen, Teil 1: Stoßrohr (1998). Berlin: DIN, 1998.

[3] DIN prEN 13124-1 Fenster, Türen und Abschlüsse – Explosionshemmung – Prüfverfahren, Teil 1: Stoßrohr (1998). Berlin: DIN, 1998.

0901T004

Adresse der Autoren:

Ch. Mayrhofer und C. Kranzer
Fraunhofer Institut für
Kurzzeitdynamik
Ernst-Mach-Institut
Institutsteil Efringen-Kirchen
Am Klingelberg 1
D-79588 Efringen-Kirchen
E-mail: mayrhofer@emi.fhg.de