

## **Zusammenfassung des Schlussberichts des Forschungsvorhabens „Beanspruchung von vierseitig linienförmig gelagerten Glasscheiben bei Stoßbelastung“**

### **1. Allgemeines und Zielsetzung**

Im Sachverständigenausschuss "Glas im Bauwesen" beim Deutschen Institut für Bautechnik werden derzeit Anforderungen an absturzsichernde Verglasungen und Prüfgrundsätze für den Nachweis der absturzsichernden Eigenschaften diskutiert.

Detaillierte Versuchsergebnisse zur Beanspruchung von Verglasungen beim Aufprall von Menschen waren bislang nicht bekannt. Ziele des nun abgeschlossenen Forschungsvorhabens waren daher:

- Erfassung der Beanspruchung einer Glasscheibe beim Aufprall eines Menschen
- Vergleich verschiedener Ersatz-Stoßkörper
- Untersuchung des Einflusses der Parameter Aufprallstelle und Reifenluftdruck mit dem Ersatz-Stoßkörper "Zwillingsreifen"

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist die denkbare Einwirkung im Falle des Aufpralls eines Menschen auf eine Verglasung. Als maßgebende Ausgangsgröße wird der Impuls  $I$  als Produkt von Laufgeschwindigkeit  $v$  und Masse  $m$  des Menschen betrachtet. Bei einem für das Bauwesen realistischen Szenario ergibt sich eine Obergrenze von 400 kgm/s.

### **2. Versuchsprogramm**

Zunächst wurden umfangreiche Vorversuche durchgeführt, um die Messtechnik, an die bei dynamisch ablaufenden Vorgängen mit großen Beschleunigungen besondere Anforderungen gestellt werden müssen, einzustellen und die Messprogramme zu optimieren. In den anschließend durchgeführten Versuchsreihen wurden Aufprallversuche mit Menschen sowie mit einem Dummy, einem mit Glaskugeln gefüllten Ledersack und dem Zwillingsreifen nach E DIN EN 12 600 durchgeführt.

Bei allen Versuchsreihen wurde die Aufprallgeschwindigkeit und damit der Impuls variiert. Zusätzlich wurden bei den Versuchen mit dem Dummy die Körperlage beim Aufprall untersucht. Es wurden Schulterstöße, Stöße mit dem Kopf und kombinierte Stöße mit einem ca. gleichzeitigen Aufprall von Kopf und Schulter realisiert. Bei den Versuchsreihen mit dem Zwillingsreifen wurden die Lage der Aufprallstelle und der Reifenluftdruck variiert.

### 3. Stoßkörper

Das Gewicht der Menschen betrug zwischen 75 und 89 kg. Der Dummy mit einer Größe von 1,75 m und einem Gewicht von 105 kg besteht aus einem "Skelett" aus Stahlteilen, die gelenkig miteinander verbunden sind. Die beim Menschen vorhandenen sogenannten Schwabbelmassen sind entsprechend der menschlichen Körperform aus geschäumtem Kunststoff nachgebildet.

Der Glaskugelsack ist ein sphäro-konischer Sack aus Lederelementen, gefüllt mit Glaskugeln mit einem Durchmesser von 3 mm und einer Gesamtmasse von 50 kg.

Der in E DIN EN 12 600 beschriebene Zwillingsreifen besteht aus zwei luftgefüllten Reifen mit einem runden Querschnitt und einem flachen Längsprofil. Die Felgen dieser Reifen sind mit zusätzlichen Stahlteilen verbunden, so dass die Gesamtmasse des Stoßkörpers 50 kg beträgt. Diese Massenangabe sowie der Luftdruck in den Reifen von 4,0 bar entsprechen neusten Festlegungen der europäischen Normungsgremien.

### 4. Versuchsaufbau

Die Versuche wurden an einem Prüfaufbau mit einer gängigen Pfosten-Riegel-Konstruktion durchgeführt. Die Abmessungen der 4-seitig liniengelagerten Elemente betragen  $b \times h = 1050 \times 2057 \text{ mm}^2$  bei einer Dicke von 8 mm. Als Verglasungselement wurde eine Scheibe aus Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) eingebaut. Bei einigen Versuchsreihen wurde eine Aluminiumplatte als Ersatz für die ESG-Scheibe verwendet.

### 5. Messtechnik

Zur Erfassung des dynamischen Verhaltens der beteiligten Stoßpartner wurden einige Sensoren appliziert. Im Bereich der Elementmitte wurde die Durchbiegung mittels eines Wegaufnehmers direkt gemessen. Parallel zu dieser Durchbiegungsmessung wurde in der Mitte der Verglasung die Beschleunigung des Elements gemessen. Ein an den Stoßkörpern mit Ausnahme der Menschen angebrachter Sensor erfasste deren Beschleunigung. Der Beanspruchungszustand im Verglasungselement wurde mit applizierten Dehnmessstreifen erfasst. Im Bereich der Elementmitte wurden die Dehnungen horizontal und vertikal auf beiden Seiten des Elements ermittelt.

Die Messwerterfassung erfolgte mit einer Messrate von 4800 Messungen je Sekunde und die Gesamtmessdauer wurde mit ca. 0,5 s festgelegt.

## 6. Stoßversuche mit unterschiedlichen Stoßkörpern

Bei den Versuchen mit Menschen führten insgesamt 3 Probanden einen Schulterstoß gegen die Mitte des Elements aus. Es wurden dabei über die Variation der Anlaufstrecke verschiedene Aufprallgeschwindigkeiten realisiert.

Bei den Schulterstößen mit dem Dummy wurde dieser am Kopf mit einer Pendellänge von  $> 1,5$  m aufgehängt, die Gliedmaßen wurden mittels Seilen am Körper festgebunden, um große Streuungen der Versuchsergebnisse infolge von Baumbewegungen der Arme und Beine zu vermeiden. Der Dummy wurde ausgelenkt und pendelte dann mit der Schulter gegen die Mitte des Verglasungselements. Für die Kopfstöße wurde der Dummy horizontal liegend aufgehängt und pendelte mit dem Kopf zentral gegen die Elementmitte. Die Körperachse war dabei normal zur Elementebene ausgerichtet.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihen zeigen, dass der zentrale Kopfstoß bei horizontal liegendem Dummy im Vergleich zum Schulterstoß eine deutlich ungünstigere Beanspruchung darstellt. Bei gleichem Impuls führt er zu einer bis zu 3fachen Dehnung in Elementmitte. Ein kombinierter Kopf-/Schulterstoß ruft in etwa vergleichbare Dehnungen wie der Schulterstoß hervor.

Der Glaskugelsack und der Zwillingstreifen wurden mit einer Pendellänge  $> 1,5$  m aufgehängt, durch ein Zugseil ausgelenkt und nach dem Einstellen der gewünschten Fallhöhe ausgelöst. Die Aufprallgeschwindigkeit wurde über die Fallhöhe variiert.

## 7. Vergleich der Stoßcharakteristik und Abschätzung der maximalen Fallhöhe

Bei den Versuchen mit Mensch und Dummy schließt sich an die erste „Hauptbelastungsphase“ eine „Sekundärphase“ mit geringerem Belastungsniveau an. Diese Sekundärphase kann von den Ersatz-Stoßkörpern Glaskugelsack und Zwillingstreifen nicht nachgebildet werden, da bei diesen der Stoßvorgang so elastisch verläuft, dass sich der Stoßkörper nach kurzer Kontaktzeit wieder vom Element löst. Bei den Versuchen mit Glaskugelsack und Zwillingstreifen schließt sich an die Kontaktphase eine ausgeprägte leicht gedämpfte Scheibenschwingung an. Die Hauptbelastung wird von beiden Ersatz-Stoßkörpern gleichermaßen gut reproduziert.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann eine Fallhöhe für den Zwillingstreifen abgeschätzt werden, die eine Beanspruchung in der Verglasung zur Folge hat, die dem maximal zu erwartenden Impuls eines menschlichen Stoßes von  $I = 400$  kgm/s entsprechen würde. Diese Fallhöhe beträgt 40 cm.