

# Prüfung der Resttragfähigkeit nach Bruch für Überkopf-Anwendungen von Verbund-Sicherheitsglas

## Kurzfassung

Der Gestaltung und der mechanischen Belastbarkeit von Verbund-Sicherheitsglas (VSG) in Überkopfanwendungen wie Vordächer oder Oberlichter kommt eine hohe Bedeutung zu, denn sie haben einen großen Einfluss auf die Sicherheit von Passanten sowie des Reinigungs- und Wartungspersonals. Eine entscheidende Eigenschaft ist dabei die Resttragfähigkeit nach Glasbruch. Die Festigkeit im unbeschädigten Zustand lässt sich mit hoher Genauigkeit mit Hilfe von Finite-Elemente-Programmen wie SJ Mepla berechnen. Dabei kann der Anwender neben den mechanischen Eigenschaften des Glases auch die Werte von Zwischenlagenwerkstoffen mit viskoelastischem Verhalten eingeben. Dies ermöglicht auf die Zwischenlage bezogene Unterscheidungen der Ausgangs-Tragfähigkeit und entsprechende konstruktive Optimierungen. Dem gegenüber ist die Resttragfähigkeit nach Glasbruch noch immer ein weitgehend unbekanntes Gebiet. Die zu deren Berechnung verwendeten analytischen Modelle sind nicht schlüssig, so dass die zerstörende Prüfung bisher die einzige zuverlässige Lösung darstellt. Mit Hilfe einer Schlagprüfung, die den Aufprall eines Menschen bei einem Unfall simuliert, wurden die entsprechenden Durchschlag-Widerstände von VSG-Konstruktionen (mit Punkthalterung) bestimmt, wobei der Einfluss von Zwischenlagen aus Standard-PVB, Ionomer, steifem PVB und EVA verglichen wurde. Darüber hinaus wurden die Resttragfähigkeiten nach Glasbruch für mittlere Belastungsdauern (30 min oder mehr) entsprechend den Anforderungen des Norm-Entwurfs DIN 18008-6 bei tiefer (-20 °C), Raum- (+21 °C) und erhöhter (+50 °C) Temperatur erfasst. Über Messungen der Durchbiegung wurden die Reststeifigkeiten der Lamine nach Bruch bestimmt.

Autoren:  
Malvinder Singh Roprai  
Ingo Stelzer

## Einführung

Die Resttragfähigkeit nach Glasbruch ist ein signifikanter Vorteil von VSG gegenüber einer Scheibe aus monolithischem Glas. Dieser beruht auf der Tatsache, dass die einzelnen Fragmente an der Zwischenlage haften bleiben, und so eine Verbundwirkung aufbauen können. Die Wirkung dieses Effekts steigt mit der Größe der Fragmente. Darum ist die Resttragfähigkeit von VSG-Scheiben aus Floatglas oder nur thermisch teilvorgespanntem Glas, die in große Teile zerbrechen, besonders hoch. Auch das Material der Zwischenlage beeinflusst die Resttragfähigkeit nach Glasbruch. In den meisten Fällen ist dies Standard-PVB, dessen mechanische Eigenschaften stark von der Umgebungstemperatur und der Belastungsdauer abhängen. Bei Raumtemperatur ist es weich, mit einer Reißdehnung von über 250 %. Höhere Temperaturen und Belastungsdauern haben einen starken Einfluss auf die Steifigkeit und Fähigkeit zur Übertragung von Scherkräften [1]. Auf Grund

| Typ der Zwischenlage | Dichte (kg/m <sup>3</sup> ) | Steifigkeit bei 50 °C, Belastungsdauer 1 h (MPa) | Poissonzahl | Thermischer Ausdehnungskoeffizient (K <sup>-1</sup> ) | Reißfestigkeit (MPa) |
|----------------------|-----------------------------|--|-------------|---|----------------------|
| Ionomer              | 850                         | 12,6   | 0,5         | 1,25 x 10 <sup>-4</sup>                               | 44                   |
| PVB                  | 1070                        | 0,16   | 0,5         | 2,2 x 10 <sup>-4</sup>                                | 25                   |
| steifes PVB          | 1081                        | 1,86   | 0,5         | 1,6 x 10 <sup>-4</sup>                                | 35                   |

Tabelle 1: Vergleich der mechanischen Eigenschaften von Ionomer, Standard- und steifem PVB

der geringen Steifigkeit von PVB-Zwischenlagen kommt es mit Eintritt des Glasbruchs zu einer Verformung, die der eines ‚nassen Handtuchs‘ ähnelt, und dies selbst in vertikalen Anwendungen (Bild 1), ausgelöst durch das Eigengewicht der Scheibe und unterstützt durch große Scheibenabmessungen und Halterungen von geringer Größe. Die Ionomer-Zwischenlage von Kuraray wurde (ursprünglich von DuPont) entwickelt, um die Steifigkeit, die Temperaturbeständigkeit und die Reißfestigkeit in Anwendungen mit Punkthalterung zu steigern und so zu höherer Resttragfähigkeit nach Glasbruch und mehr Sicherheitsreserven beizutragen. In Tabelle 1 sind die mechanischen Eigenschaften von Ionomer-, Standard- und steifem PVB-Zwischenlagen gegenübergestellt.

Die Resttragfähigkeit nach Glasbruch hängt stark von dem sich ausbildenden Rissmuster in den Glasscheiben, der Art der Halterung und der Temperatur ab. Dabei kann das Rissmuster - selbst für den gleichen Glastyp - stark variieren. Dadurch ist eine Berechnung der zu erwartenden Resttragfähigkeit so gut wie unmöglich, und der Ingenieur ist auf die Ergebnisse der zerstörenden Prüfung angewiesen. Dabei unterscheidet man die folgenden Werte:

1. Resttragfähigkeit gegen „Durchschlagen“ unmittelbar nach Glasbruch
2. Prüfung der Resttragfähigkeit nach Glasbruch bei mittlerer Belastungsdauer (über 30 min), entsprechend Norm-Entwurf DIN 18008-6

Beide Werte wurden in separaten Tests ermittelt. Die Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt

## Resttragfähigkeit gegen „Durchschlagen“ unmittelbar nach Glasbruch

Die Prüfungen wurden bei Intertek ATI Inc. York, Pennsylvania/USA, durchgeführt, wo man einen weichen, 100 kg schweren Sack (entsprechend dem typischen Gewicht eines Arbeiters inklusive Werkzeug und Sicherungsvorrichtung) aus 1,2 m Höhe bei 50 °C Umgebungstemperatur auf die Glasscheiben fallen ließ. Dieses Verfahren simuliert die potenzielle Belastung im Falle eines Unfalls. Dazu wurden die Scheiben vor Beginn der Prüfungen 1 h lang bei 50 °C konditioniert. Der Prüfaufbau war von isolierenden Platten umschlossen, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse nicht durch Temperaturänderungen verfälscht wurden. Diese Platten wurden erst kurz vor Beginn der Prüfung entfernt.



Bild 1: Der ‚Nasses-Handtuch‘-Effekt

## Prüfung der Resttragfähigkeit nach Bruch für Überkopf-Anwendungen von Verbund-Sicherheitsglas

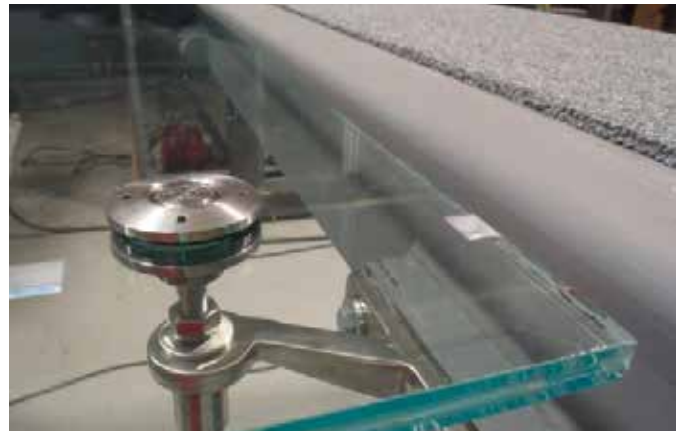
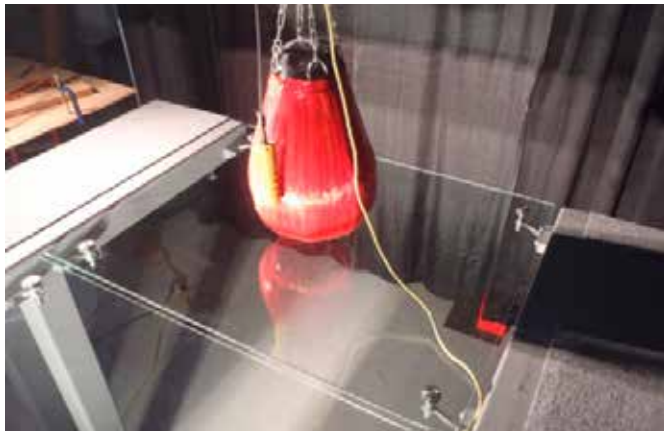


Bild 2 a und b: Statische Belastung einer rahmenlos punktgehaltenen Scheibe für ein Vordach

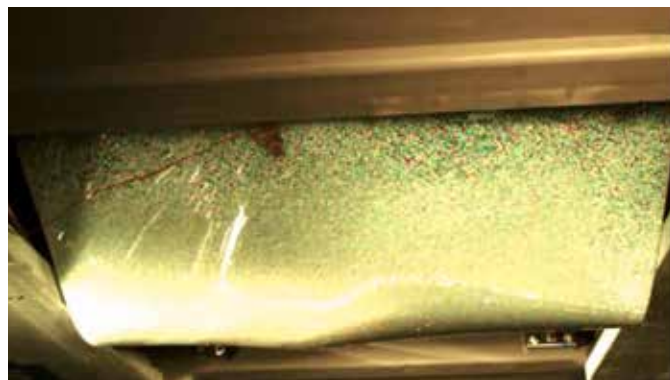


Bild 3: Ionomer-Laminat wird nicht durchgeschlagen

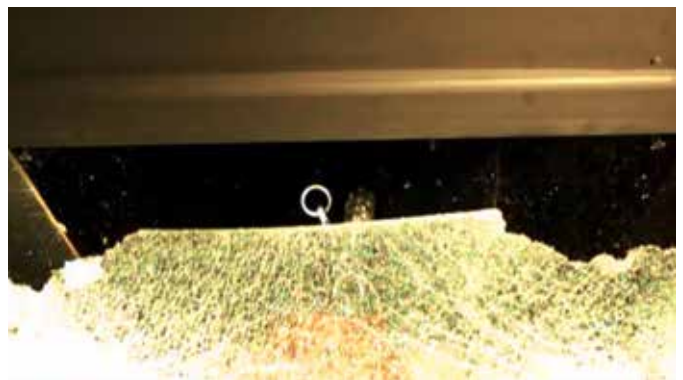


Bild 4: EVA-Laminat wird durchgeschlagen

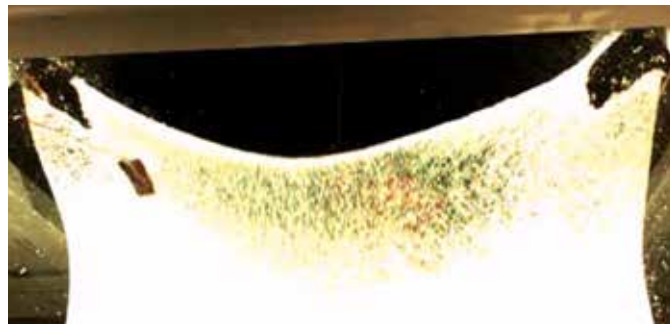


Bild 5: PVB-Laminat wird durchgeschlagen



Bild 6: Laminat mit steifem PVB wird durchgeschlagen

Bild 2a zeigt, wie das Laminat mit der Ionomer-Zwischenlage der statischen Belastung durch das Fallgewicht widersteht. Der Sack wurde nach 15 min entfernt, wobei die Zwischenlage keinerlei Anrisse im Bereich der Punkthalterungen zeigte (Bild 2b). Im anschließenden Falltest wurde dieses Laminat nicht von dem Fallgewicht durchgeschlagen (Bild 3), während die Laminat mit Zwischenlagen aus EVA, Standard- und steifem PVB (Bilder 4 bis 6) sofort bei Auftreffen des Sackes versagten, ohne das Durchschlagen verhindern zu können.

### Resttragfähigkeit nach Glasbruch bei mittlerer Belastungsdauer (über 30 min)

#### Anforderungen der Norm

Der deutsche Norm-Entwurf DIN 18008-6 von Februar 2015 (*Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 6: Zusatzanforderungen an zu Instandhaltungsmaßnahmen betretbare Verglasungen und an durchsturz sichere Verglasungen*) stellt für Überkopfverglasungen, die für Wartungs- und Reinigungsmaßnahmen begehbar sind, verschärfte Anforderungen an das Resttragfähigkeit nach Glasbruch. Bei der Prüfung wird

zunächst ein Fallgewicht in Form eines 50 kg schweren Doppelreifens aus 900 mm Höhe auf das Laminat fallen gelassen, damit die obere Glaslage zu Bruch geht. Nachfolgend wird eine 200 mm x 200 mm große Fläche mit einem Gewicht von 100 kg belastet (Bild 7). Der Test gilt als bestanden, wenn das Laminat mit der gebrochenen oberen Scheibe dabei mindestens 30 min lang nicht aus seiner Halterung reißt, nicht von dem Fallgewicht durchdrungen wird und keine potenziell gefährlichen Glasfragmente zu Boden fallen [2].

Die Prüfung der Resttragfähigkeit nach Glasbruch an - für Vordächer typischen - punktgehaltenen, 1,5 m x 2,0 m großen Glasscheiben erfolgte an der *Universität der Bundeswehr München*. Mit jeder der vier unterschiedlichen Zwischenlagen - Ionomer (1,52 mm sowie 0,89 mm), steifes PVB (1,52 mm) und Standard-PVB (1,52 mm) - wurden dazu neun Glasscheiben hergestellt (Glasaufbau: 2 x 6mm ESG + jeweilige Folie). Immer drei des gleichen Typs wurden dann bei -20 °C, +21 °C und +50 °C geprüft, um herauszufinden, welches Laminat mit welcher Zwischenlage die Anforderungen des Norm-Entwurfs DIN 18008-6 erfüllt. Außerdem sollte die maximale Belastbarkeit der Laminat bestimmt werden, wobei die Obergrenze der Prüfapparatur bei 400 kg lag. Für jede Prüftemperatur

## Prüfung der Resttragfähigkeit nach Bruch für Überkopf-Anwendungen von Verbund-Sicherheitsglas



Bild 7: Versuchsaufbau zur Messung der Resttragfähigkeit nach Glasbruch

wurden die Laminare mindestens 3 h konditioniert. Die Temperatur der Prüfkammer konnte zwischen  $-25\text{ °C}$  und  $+25\text{ °C}$  geregelt werden. Alle geprüften Laminare widerstanden der Belastung durch das Fallgewicht ohne Bruch. Darum mussten die oberen und unteren Scheiben jeweils manuell durch einen (mittig) angesetzten Hammerschlag gebrochen werden. Anschließend wurden die Laminare 30 min lang mit einem 100 kg

schweren Zementblock belastet. Um die maximale Resttragfähigkeit nach Glasbruch zu ermitteln, wurde die Belastung nach jeweils 15 min Haltezeit in 100-kg-Schritten bis auf 400 kg erhöht.

Die Zwischenlagen aus Ionomer und steifem PVB widerstanden der Belastung mit 400 kg bei  $-20\text{ °C}$  und  $+21\text{ °C}$  ohne zu versagen (Bild 8). Dem gegenüber rissen die Standard-PVB-Zwischenlagen bei  $21\text{ °C}$  und Belastung mit 100 kg bereits nach wenigen Sekunden aus den Punkthalterungen (Bild 9).

Bei der erhöhten Temperatur von  $50\text{ °C}$  versagten die gebrochenen Laminare mit Zwischenlagen aus Standard- und steifem PVB bereits unter ihrem Eigengewicht (Bilder 10 und 11), sobald auch die zweite Glasscheibe brach. Dem gegenüber widerstanden die Laminare mit der 0,89 mm dicken Ionomer-Zwischenlage der Belastung mit 100 kg mehr als 30 min lang und versagten bei der Laststeigerung auf 200 kg. Die Laminare mit der 1,52 mm dicken Ionomer-Zwischenlage widerstanden der Belastung mit 200 kg über 30 min lang und versagten bei 300 kg (Bilder 12 und 13).



Bild 8: Das Ionomer-Laminat mit 400 kg Belastung bei  $21\text{ °C}$

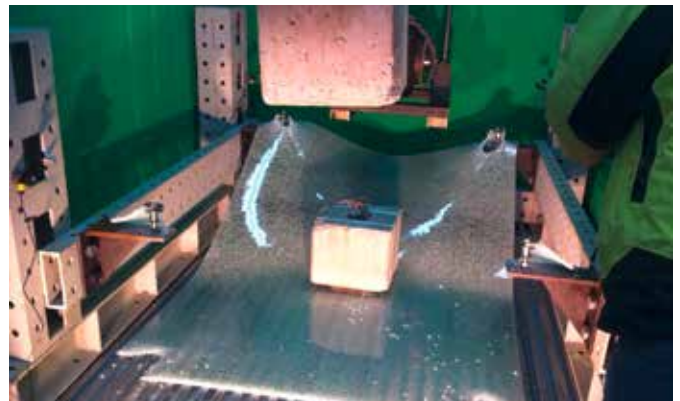


Bild 9: Das zerstörte PVB-Laminat nach Belastung mit 100 kg bei  $21\text{ °C}$

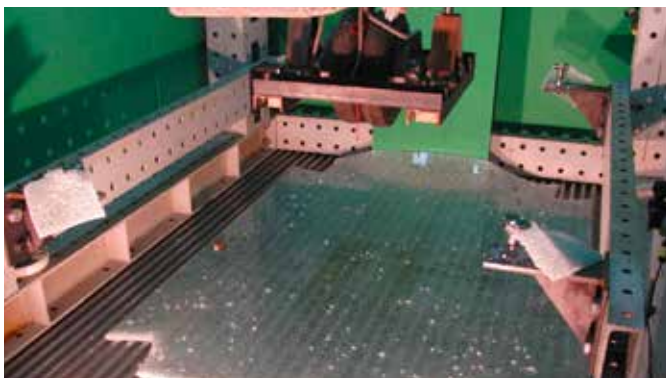


Bild 10: Das zerstörte PVB-Laminat bei  $50\text{ °C}$



Bild 11: Das zerstörte Laminat mit steifem PVB bei  $50\text{ °C}$



Bild 12: Das Laminat mit 0,89 mm dicker Ionomer-Zwischenlage versagte bei 200 kg/ $50\text{ °C}$

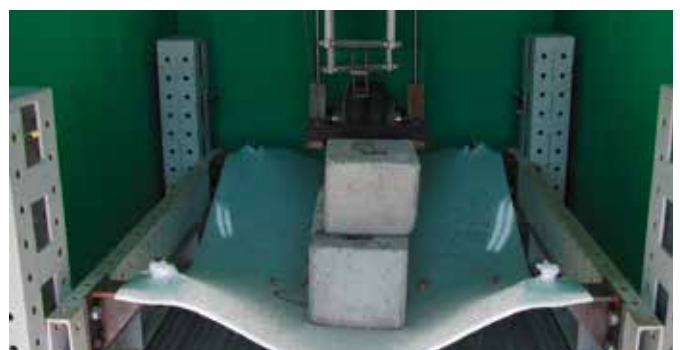


Bild 13: Das Laminat mit 1,52 mm dicker Ionomer-Zwischenlage versagte bei 300 kg/ $50\text{ °C}$

## Prüfung der Resttragfähigkeit nach Bruch für Überkopf-Anwendungen von Verbund-Sicherheitsglas

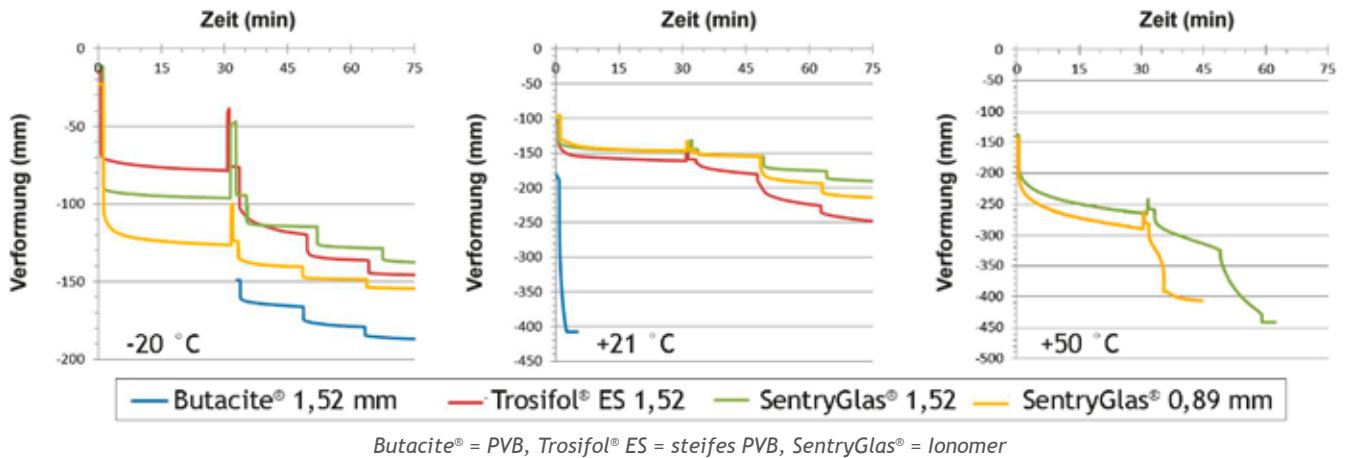


Bild 14:  
Verformung über der Zeit bei -20 °C

Bild 15:  
Verformung über der Zeit bei +21 °C

Bild 16:  
Verformung über der Zeit bei +50 °C

### Messung der Verformung zur Bestimmung der Steifigkeit des gebrochenen Laminats

Bei allen drei Temperaturen wurden jeweils die Verformungen gemessen, um so auf die Reststeifigkeit des Laminats rückschließen zu können. Bei -20 °C zeigte das Laminat mit 1,52 mm Ionomer-Zwischenlage geringere Verformungen (ab  $t > 30$  min, Bild 14), während bei +21 °C beide Laminare mit Ionomer-Zwischenlage (1,52 mm und 0,89 mm) die PVB-Laminare übertrafen (Bild 15). Bei -20 °C zeigte das Laminat mit 1,52 mm Ionomer-Zwischenlage die geringste Verformungen nach 30 min (Bild 14), während bei +21 °C die Laminare mit beiden Ionomer-Zwischenlagen sowie mit der steifen PVB-Zwischenlage das Standard-PVB-Laminat übertrafen (Bild 15). Bei +50 °C übertrafen die Laminare mit den SentryGlas® Ionoplast-Zwischenlagen auch das steife PVB deutlich (Bild 16).

### Schlussfolgerungen

1. Bei -20 °C erfüllen alle vier Laminare (mit 0,89 mm Ionomer, 1,52 mm Ionomer, 1,52 mm PVB und 1,52 mm steifes PVB) die Anforderungen des Norm-Entwurfs DIN 18008-6 in Bezug auf die Resttragfähigkeit nach Glasbruch.
2. Bei -20 °C lag die maximale Belastbarkeit aller vier Laminare bei mehr als 400 kg. In keinem Fall versagten die Scheiben aufgrund eines Reißens der Zwischenlage an der Punkthalterung.
3. Bei +21 °C erfüllen Laminare mit Ionomer- und steifer PVB-Zwischenlage die Anforderungen des Norm-Entwurfs DIN 18008-6 in Bezug auf die Resttragfähigkeit nach Glasbruch, nicht aber die Laminare mit Standard-PVB-Zwischenlage.
4. Bei +21 °C zeigten die Laminare mit 0,89 mm und 1,52 mm dicker Ionomer-Zwischenlage bis rund 45 min nach dem Glasbruch nahezu gleiche Resttragfähigkeiten.
5. Für Regionen mit tropischem Klima und Umgebungstemperaturen über 45 °C erfüllen Laminare mit Ionomer-Zwischenlage die Anforderungen des Norm-Entwurfs DIN 18008-6.

### Literatur

1. Haldimann, M.; Luible, A.; Overend, M.: Structural Engineering Documents 10, Structural Use of Glass - ISBN 978-3-85748-119-2, 2008, Seite 14-15
2. Haldimann, M.; Luible, A.; Overend, M.: Structural Engineering Documents 10, Structural Use of Glass - ISBN 978-3-85748-119-2, 2008, Seite 172

## REGIONALE KONTAKTE

Kuraray Europe GmbH  
Business Area PVB  
Mülheimer Straße 26  
53840 Troisdorf, Germany  
Telefon: +49 (0) 22 41/25 55 - 220  
E-Mail: trosifol@kuraray.eu

Kuraray America, Inc.  
Applied Bank Center  
2200 Concord Pike, Suite 1100  
Wilmington, Delaware 19803  
Telefon: +1 800 635 3182

Copyright ©2015 Kuraray. Alle Rechte vorbehalten. SentryGlas® ist markenrechtlich geschützt für E.I. du Pont de Nemours and Company oder einer ihrer Konzerngesellschaften für ihr Angebot an Zwischenlagen. Es wird von Kuraray und seinen Lizenznehmern unter exklusiver Lizenz verwendet. TROSIFOL® ist markenrechtlich geschützt für Kuraray. Die hierin enthaltenen Informationen entsprechen unserem Kenntnisstand am Tag der Veröffentlichung. Wir behalten uns vor, die Informationen zu ändern, sofern neue Erkenntnisse und Erfahrungen erhältlich sind. Die hierin enthaltenen Daten entsprechen den üblichen Produkteigenschaften und beziehen sich ausschließlich auf das jeweilige Material; die Daten können unter Umständen nicht gelten, sofern die Materialien in Kombination mit anderen Materialien, Zusätzen oder in anderen Prozessen genutzt werden, sofern nicht ausdrücklich anderweitig angegeben. Die Daten sind nicht gedacht, Spezifikationsgrenzen festzulegen oder allein als Grundlage für ein Design; sie sind nicht dazu gedacht, Tests zu ersetzen, die von dem Anwender durchzuführen sind, um sich von der Eignung eines bestimmten Materials für einen speziellen Zweck zu überzeugen. Da Kuraray nicht alle Variationen des endgültigen Gebrauches berücksichtigen kann, übernimmt Kuraray keine Gewährleistung und keine Haftung im Zusammenhang mit der Nutzung der Informationen. Diese Publikation stellt keine Gewährung einer Lizenz oder eine Empfehlung zur Verletzung von Patentrechten dar.