

Gutachten

Nr. G-70-20-0009

Datum: 06.10.2021

Geschäftszeichen: 5509.010#2020-9/1

über die Einhaltung bauaufsichtlicher Anforderungen
an bauliche Anlagen bei Einbau des Bauprodukts

Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund

Kuraray Europe GmbH
Philipp-Reis-Straße 4
65795 Hattersheim
DEUTSCHLAND

Das Gutachten umfasst zwei Seiten und sieben Anlagen.

1 Anforderungen an bauliche Anlagen

Dieses Gutachten dient zur Beurteilung der Einhaltung der Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit gemäß MVV TB, A 1.2.7.1 (Normenreihe DIN 18008¹) bei Verwendung von Verbund-Sicherheitsglas (VSG) mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 der Fa. Kuraray Europe GmbH mit Schubverbund.

2 Gegenstand des Gutachtens

Gegenstand des Gutachtens ist ein VSG, das aus mindestens zwei ebenen Glasscheiben und der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 hergestellt wird.

Der Aufbau und die Herstellung des VSG entspricht **Anlage 1, A 1.1**.

3 Bewertung

Auf Basis der vorgelegten Nachweise werden die Leistungswerte gemäß **Anlage 1, A 1.2** bestätigt.

Das VSG mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund weist eine ausreichende Resttragfähigkeit im Sinne der DIN 18008-1², Abschnitt 9 auf und hat damit seine Eignung für die Verwendung als VSG in Verglasungen, die entsprechend der Normenreihe DIN 18008¹ geplant, bemessen und ausgeführt werden, nachgewiesen.

Die Leistungen gelten nur, wenn sichergestellt ist, dass die Glas- bzw. Zwischenschichtränder nur in Kontakt mit angrenzenden Stoffen stehen, die dauerhaft mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 verträglich sind.

Die Bewertung gilt solange keine Änderungen des Produkts oder des Produktionsverfahrens vorgenommen werden.

Zur Bewertung wurde folgender Nachweis herangezogen:

- Sachverständige Stellungnahme 1378/2020.25.06C, Bewertung der Produkteigenschaften von SentryGlas® Xtra™ /SG 6000 als Verbundmaterial in Verbundsicherheitsglas unter Ansatz eines günstig wirkenden Schubverbundes bei der Glasbemessung, ausgestellt von SGS, 30.09.2021.

4 Empfehlungen und Hinweise

Es wird empfohlen, das Gutachten nach 5 Jahren auf seine Aktualität hin überprüfen zu lassen.

Der Hersteller weist die Leistungsbeständigkeit gemäß den Maßnahmen nach **Anlage 2** nach.

LBD Dipl.-Ing. Andras Kummerow
Abteilungsleiter

Beglaubigt
N. Stöhr

¹ DIN 18008
² DIN 18008-1:2020-05

Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln
Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen

A 1.1 Aufbau und Herstellung des VSG

- o Die Glasscheiben bestehen aus folgenden Glaserzeugnissen:
 - Floatglas (Kalk-Natronsilicatglas) nach DIN EN 572-2¹,
 - ESG nach DIN EN 12150-1² mit einem Bruchbild gemäß A 1.3,
 - Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas nach DIN EN 14179-1³ bzw. nach DIN 18008-2⁴, Abschnitt 4.3, 3. Spiegelstrich mit einem Bruchbild gemäß A 1.3,
 - TVG nach DIN EN 1863-1⁵ mit einem Bruchbild gemäß A 1.3,
 - beschichtetes Glas nach DIN EN 1096-1⁶ - mit Beschichtungen, die sich hinsichtlich Absorption und daraus resultierender Zwischenschichttemperatur nicht ungünstiger verhalten als Glas mit schwarzer Emaillierung.
 - Ornamentglas nach DIN EN 572-5⁷ - mit Einhaltung der Grenzwerte der Geradheit (lokale und globale Verwerfung) der Zwischenschicht zugewandten Seite bei thermisch nicht vorgespanntem Ornamentglas für TVG nach DIN EN 1863-1⁵ und ESG nach DIN EN 12150-1².
- o Die Mindestdicke der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 beträgt 0,76 mm, die maximale Dicke 3,04 mm. Die Herstellerangaben und die Zusammensetzung sind beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt (Stand: 21.09.2021).
- o Die Folienfeuchte bei der Herstellung beträgt ≤ 0,2 %, gemessen nach **Anlage 7**.
- o Bei Herstellung des VSG aus beschichteten Glaserzeugnissen (außer emaillierte Glaserzeugnisse) erfolgt die Laminierung der Glasscheiben mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 nur auf der unbeschichteten Glasoberfläche.
- o Die Herstellung des VSG erfolgt im Verbundverfahren unter Berücksichtigung der beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Bestimmungen vom 21.09.2021.
- o Bei VSG mit einer Zwischenschichtnenndicke von 0,76 mm darf die Nenndicke von thermisch vorgespanntem Glas maximal 8 mm betragen.

A 1.2 Leistungswerte

- o Stoßverhalten im Kugelfallversuch geprüft nach DIN 52338⁸: kein Durchschlagen der Kugel bei einer Abwurfhöhe 5,75 m
- o Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test) geprüft nach **Anlagen 3.1 und 3.2**: Pummelwert ≥ 6
- o Adhäsionsverhalten geprüft nach **Anlage 4**: Kleinstwert $\sigma \geq 8,5 \text{ N/mm}^2$
- o Schubmodulwerte geprüft nach **Anlagen 5.1 bis 5.3**: siehe **Anlage 6**

A 1.3 Bruchbild

Glasprodukte nach EN 12150-2⁹ und EN 14179-2¹⁰ müssen das in DIN EN 12150-1² für Testscheiben definierte Bruchbild für jede hergestellte Bauteilgröße aufweisen.
 Glasprodukte nach EN 1863-2¹¹ müssen ab einer Bauteilgröße von 1000 mm x 1500 mm ein Bruchbild aufweisen, bei dem der Flächenanteil an Bruchstücken unkritischer Größe größer als vier Fünftel der Gesamtfläche ist. Die Prüfung des Bruchbilds ist dabei in Anlehnung an DIN EN 1863-1⁵, Abschnitt 8 durchzuführen. Als Bruchstücke unkritischer Größe dürfen alle Bruchstücke betrachtet werden, denen ein Kreis von 120 mm Durchmesser einbeschrieben werden kann.

1 DIN EN 572-2:2012-11 Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas - Teil 2: Floatglas
 2 DIN EN 12150-1: 2019-08 Glas im Bauwesen - Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas - Teil 1: Definition und Beschreibung
 3 DIN EN 14179-1: 2016-12 Glas im Bauwesen - Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas - Teil 1: Definition und Beschreibung
 4 DIN 18008-2:2020-05 Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen
 5 DIN EN 1863-1: 2012-02 Glas im Bauwesen - Teilvorgespanntes Kalknatronglas - Teil 1: Definition und Beschreibung
 6 DIN EN 1096-1:2012-04 Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas - Teil 1: Definitionen und Klasseneinteilung
 7 DIN EN 572-5:2012-11 Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas - Teil 5: Ornamentglas
 8 DIN 52338:2016-10 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas
 9 In Deutschland umgesetzt durch DIN EN 12150-2:2005-01.
 10 In Deutschland umgesetzt durch DIN EN 14179-2:2005-08.
 11 In Deutschland umgesetzt durch DIN EN 1863-2:2005-01.

<p>Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund Aufbau und Herstellung, Leistungswerte</p>	<p>Anlage 1</p>
---	------------------------

A 2 Werkseigene Produktionskontrolle

Die werkseigene Produktionskontrolle umfasst mindestens die folgenden Maßnahmen:

Nr.	Merkmal	Anforderungen	Häufigkeit
1	2	3	4
1	Ausgangsmaterial	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfung der Werksbescheinigung "2.1" nach DIN EN 10204¹ der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen: <ul style="list-style-type: none"> - Feuchtegehalt am Sheet, gemessen nach Anlage 7: ≤ 0,2 % - Pummel am Laminat: ≥ 6 - Dicke: gemäß Bestellung - Rezeptur (beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt, Stand: 21.09.2021) - Kennwerte des verwendeten Glases gemäß DIN EN 14449² 	Kontinuierlich bzw. jede Lieferung
		<ul style="list-style-type: none"> - Dokumentation der Lagerungsbedingungen der geöffneten Sheets der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 und Prüfung hinsichtlich der Anforderungen (beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt, Stand: 21.09.2021) 	Kontinuierlich bzw. einmal täglich
2	Herstellungsprozess	Dokumentation der verwendeten relevanten Produktionsparameter (z. B. Druck- und Temperaturführung im Autoklaven oder Ofen im Vakuum-Verbundverfahren). Die Produktionsparameter müssen mit den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben vom 21.09.2021 übereinstimmen.	Jede Produktionscharge
3	Aussehen des VSG	Überprüfung auf Übereinstimmung mit den Merkmalen nach DIN EN ISO 12543-6 ³	Jede Produktionscharge
4	Prüfung bei hoher Temperatur	Überprüfung auf Übereinstimmung mit den Merkmalen nach DIN EN ISO 12543-2 ⁴ , Abschnitt 4.1 Zu prüfen sind mind. 5 Probekörper mit einem Aufbau von 3 mm Floatglas / 0,76 mm SentryGlas® Xtra™ SG 6000 / 3 mm Floatglas.	Mindestens monatlich
5	Stoßverhalten im Kugelfallversuch	Kugelfallversuch nach DIN 52338 ⁵ an mind. 5 Probekörpern mit einem Aufbau von 3 mm Floatglas/ 0,76 mm SentryGlas® Xtra™ SG 6000 / 3 mm Floatglas; kein Durchschlagen der Kugel bei einer Abwurfhöhe ≥ 4m.	Mindestens monatlich
6	Haftverhalten am Laminat	Pummel-Test nach Anlage 3 an mind. 5 Probekörpern. Pummelwert: ≥ 6	Jede Produktionscharge
7	Adhäsionsverhalten	Zugversuch (Pull-Test) an mind. 5 Kleinproben nach Anlage 4 . Kleinstwert $\sigma \geq 8,5 \text{ N/mm}^2$	Mindestens monatlich

1 DIN EN 10204:2005-01 Metallische Erzeugnisse, Arten von Prüfbescheinigungen
 2 DIN EN 14449:2005-07 Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas - Konformitätsbewertung/ Produktnorm
 3 DIN EN ISO 12543-6:2012-09 Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas - Teil 6: Aussehen
 4 DIN EN ISO 12543-2:2011-12 Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas - Teil 2: Verbund-Sicherheitsglas
 5 DIN 52338:2016-10 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas

**Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht
 SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund
 Werkseigene Produktionskontrolle**

Anlage 2

A 3 Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)

A 3.1 Allgemeines

- Die Probekörper werden unter Beachtung des Kuraray Manual (Laminationsrichtlinien, 9/2021) für SentryGlas® Xtra™ SG 6000 hergestellt.
- Die typische Abmessung der Probekörper beträgt 80 mm x 300 mm (mind. 80 mm x 150 mm).
- Die Probekörper haben folgenden Aufbau: 3 mm Float / 0,76 mm SentryGlas® Xtra™ SG 6000 / 3 mm Float.
- Anzahl der Probekörper: mindestens 5.

A 3.2 Prüfdurchführung

- Vor Prüfdurchführung wird der Probekörper mindestens 30 Minuten lang bei Raumtemperatur (25°C ± 5°C) äquilibriert.
- Der Probekörper wird in einem Winkel von ca. 5° zur Ebene der Pummelplatte gehalten bzw. auf den Schlagstock gelegt, damit nur die Kante des unzerbrochenen Glases Berührung mit der Platte hat (Abb. A 3.1).
- Der Probekörper wird mit einem Hammer (500 g Flachkopfhämmer) wiederholt in einem überlappenden Muster geschlagen (gleichmäßigen Schläge, beginnend am unteren Rand, die Hälfte des vorherigen Schlagbereichs überlappend, Abstand ca. 20 mm), um das Glas in pulverisierte Partikel zu zerbrechen. Es werden mindestens 6 bis 10 cm des Laminats geschlagen (Abb. A 3.1).
- Danach wird das Laminat umgedreht (kurzes Ende über kurzes Ende) und der Vorgang wiederholt. Beide Enden (die Innenseite des einen Endes und die Außenseite des anderen Endes) werden geschlagen und gelesen. Nach der Fertigstellung sollte der mittlere Abschnitt, in dem sich die Proben-ID befindet, das einzige Glas sein, das nicht zerkleinert wurde.

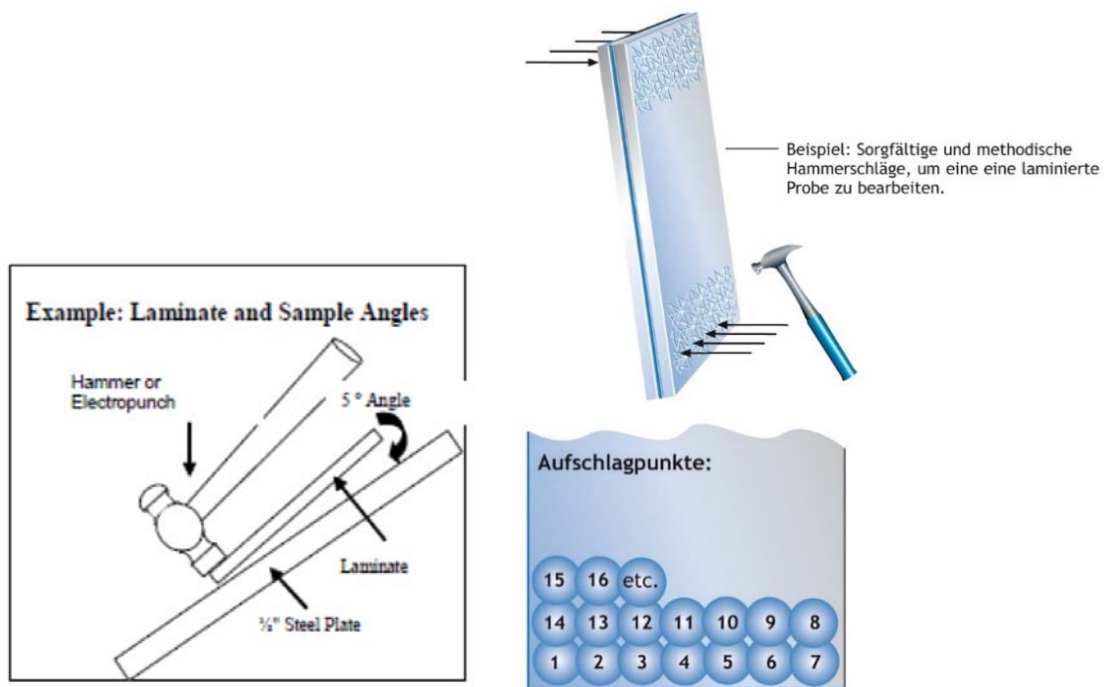


Abb. A 3.1: Prüfdurchführung

**Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht
SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund
Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)**

Anlage 3.1

A 3.3 Auswertung

- Die Proben werden auf braunes Kraftpapier gelegt, sorgfältig mit den Referenzproben verglichen und der Haftungsgrad (0 bis 10) durch Vergleich der Proben mit den Referenzproben (Abb. A 3.2) bestimmt.
- Ein Pummelwert von 0 entspricht keiner Haftung, ein Pummelwert von 10 entspricht einer sehr hohen Haftung

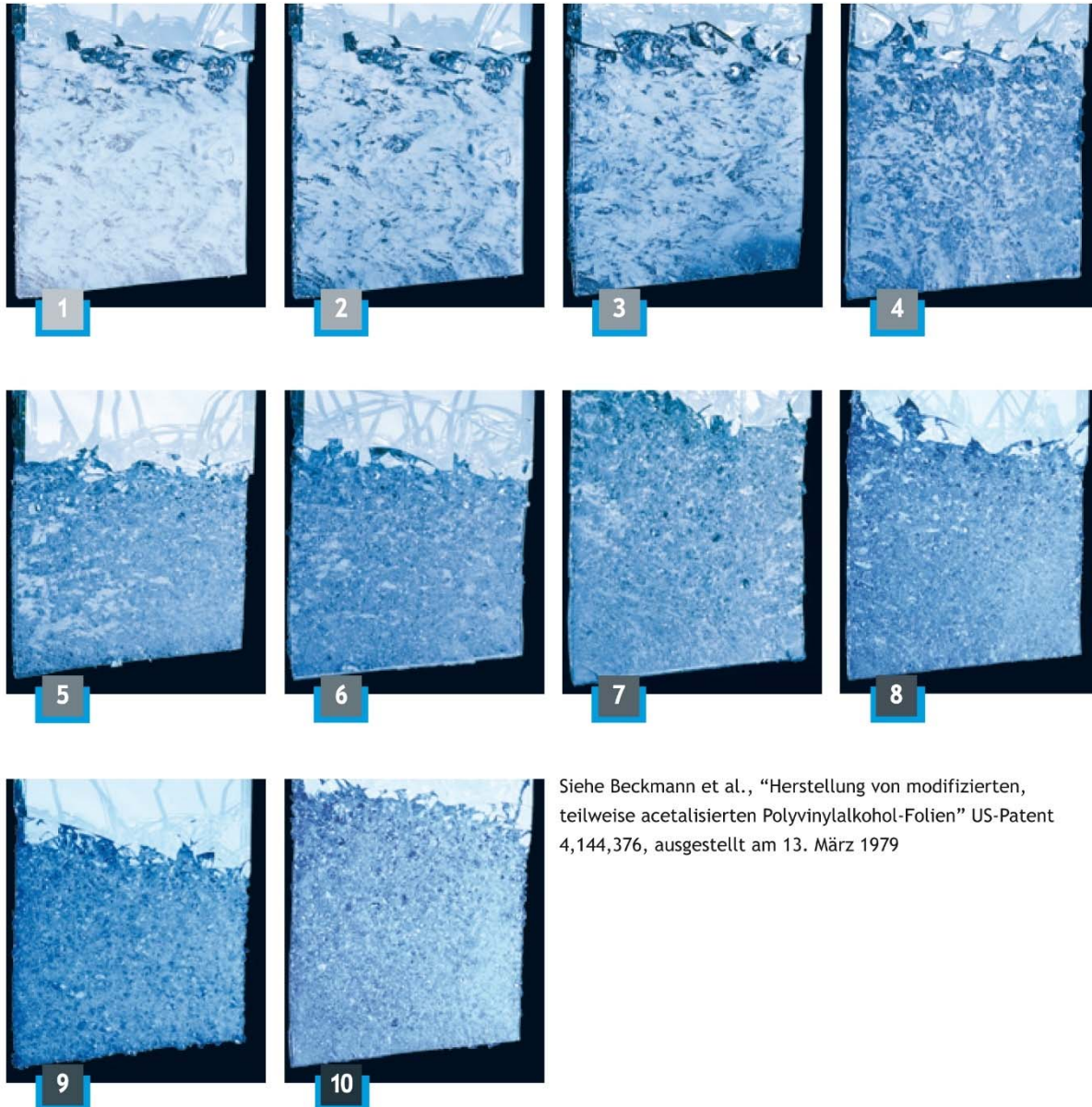


Abb. A 3.2: Referenz-Pummelbilder

Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)

Anlage 3.2

A 4 Prüfanleitung Pull-Test

A 4.1 Allgemeines

- Das VSG wird unter Beachtung des Kuraray Manual (Laminationsrichtlinien, 9/2021) für SentryGlas® Xtra™ SG 6000 hergestellt.
- Typischer Aufbau der Probekörper: 3 mm Float / 0,76 mm SentryGlas® Xtra™ SG 6000 / 3 mm Float
- Aus dem VSG–Laminat werden Probekörper im Format 40 mm x 10 mm mit geeigneten Säge- oder Schneidverfahren in einem Abstand von mind. 50mm entfernt von der VSG-Kante herausgeschnitten.
- Die Glasoberflächen der Probekörper werden mit n-Pentane gründlich gereinigt und entfettet.
- Die vorbereiteten Probekörper werden bei Raumtemperatur (23°C +/- 2°C) zwischen zwei geeigneten Probekörperhalterungen aus Metall eingeklebt (Abb. A 4.1). Als Klebstoff kann z. B. F246 Acrylic Adhesive, Bond Master mit Initiator No. 5, oder gleichwertige Klebstoffe verwendet werden. Der Klebstoff sollte mindestens 24 h aushärten.
- Die Probekörper sind vor Testbeginn für eine Woche bei Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchtigkeit von kleiner 60 % zu lagern.
- Anzahl der Probekörper: mind. 10 zur Ermittlung der Leistungswerte; mind. 5 zur WPK.

A 4.2 Prüfdurchführung

- Die Probekörper werden in der Probekörperaufnahme einer geeigneten Zugprüfmaschine (z. B. ZWICK Tensile Tester) platziert (Abb. A 4.2).
- Die Prüfgeschwindigkeit beträgt 0,50 mm/min., vertikale Bewegung bei Raumtemperatur (23°C +/- 2°C).

A 4.3 Auswertung

- Der Kraft-Wegverlauf bis zum Versagen der Verbindung zwischen SentryGlas® Xtra™ SG 6000 und Glas wird aufgezeichnet und dokumentiert. Probekörper mit Versagen der Klebeverbindung zum Probekörperhalter oder mit kohäsivem Versagen des Glases werden nicht zur Auswertung verwendet.
- Die aufgezeichneten Daten werden unter Einbeziehung der Probekörperabmessung in einen Spannungswert σ umgerechnet.

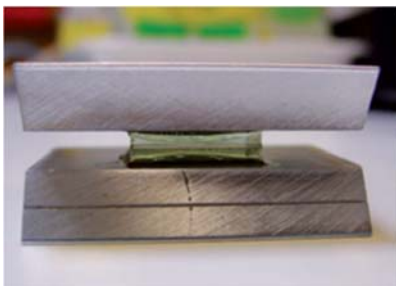


Abb. A 4.1: Probekörperhalterung

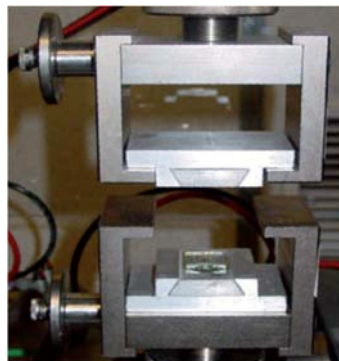
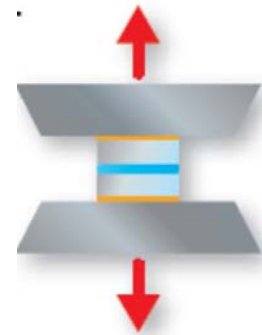


Abb. A 4.2: Zugprüfmaschine



<p>Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund Prüfanleitung Pull-Test</p>	<p>Anlage 4</p>
--	------------------------

A 5 Prüfanleitung Ermittlung der Schubmodulwerte G(t,T)

A 5.1 Allgemeines

Zur experimentellen Charakterisierung des temperatur- und belastungsdauerabhängigen Materialverhaltens polymerer Zwischenschichten werden Dynamisch-Mechanisch-Thermische-Analysen (DMTA) durchgeführt. In einer DMTA wird der visko-elastische Körper bei kontrollierter Temperatur mittels harmonisch oszillierender Verzerrung oder Spannung angeregt und die phasenverschobene Spannungs- bzw. Verzerrungsantwort gemessen. Durch Variation der Anregungsfrequenz und Temperatur können die zeit- und temperaturabhängigen Steifigkeitscharakteristika G(t;T) ermittelt werden. Die Messungen erfolgen im Rheometer.

Zur Berücksichtigung der Sekundärkristallisation werden die Versuche direkt bzw. 5 Tage nach Einbau der Probe gestartet.

Zur Validierung der DMTA werden Biegekriech- und Torsionsrelaxationsversuche am Glas-Folien-Laminat durchgeführt.

Das Prozedere ist allgemein in DIN EN 16613¹ bzw. der Normenreihe ISO 6721² beschrieben.

A 5.2 Prüfbeschreibung DMTA

A 5.2.1 Prüfdurchführung

Tabelle T 5.1 zeigt die Versuchsbeschreibung im Rheometer. In Abb. A 5.1 ist das Rheometer dargestellt.

Tab. T 5.1: Versuchsbeschreibung

Prüfmaschine	Rheometer	
Probenvorbereitung	Mittels Locheisen ausgestanzt	
Probenlagerung	min. 5d trocken (z.B. Steiner Chemie Trocknungspellets), Raumtemperatur	
Messsystem	Platte-Platte-System	
Probengeometrie	Kreis: Ø 8 mm, d=0,76 mm	
Kontaktnormalkraft	0,1 [N] (Druck)	
Anzahl an Proben	3	
	Amplituden-Messung	Temperatur-Frequenz-Messung
Temperatur	-40°C; +100°C	[-40°C bis +105°C]
Frequenzen	0,1Hz; 1Hz; 10Hz	[0,1Hz bis 10Hz]
Verzerrungsamplitude	[0,01% bis 0,05%]	0,025 % bei T [-40°C bis +65°C]; 0,04 % bei T [70°C bis 105°C]

A 5.2.2 Prüfergebnisse Rheometer

A 5.2.2.1 Amplituden-Messung

- Speichermodul G' in Abhängigkeit der aufgetragenen Verzerrungs-/Spannungsamplitude,
- Verlustmodul G'' in Abhängigkeit der aufgetragenen Verzerrungs-/Spannungsamplitude,
- Komplexer Modul G* in Abhängigkeit der aufgetragenen Verzerrungs-/Spannungsamplitude.

¹ DIN EN 16613:2020-01 Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbundsicherheitsglas - Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichten

² ISO 6721 Kunststoffe - Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften

Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund Prüfanleitung Ermittlung Schubmodule G(t,T)	Anlage 5.1
---	-------------------

A 5.2.2.2 Temperatur-Frequenz-Messung

- Speichermodul G' als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Verlustmodul G'' als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Betrag des Komplexer Modul $|G^*|$ als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Verlustfaktor $\tan \delta = G''/G'$ als Funktion von Frequenz und Temperatur.

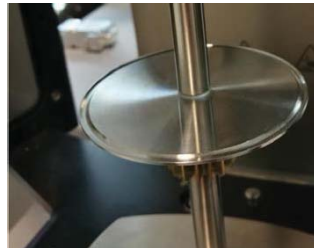


Abb. A 5.1: Versuchsaufbau, Rheometer

A 5.2.3 Analyse und Auswertung

So lange Speichermodul, Verlustmodul und komplexe Modul aus der Amplituden-Messung unabhängig von der aufgebrachten Verzerrungsamplitude oder Spannungsamplitude, befindet man sich im linear viskoelastischen Bereich.

Durch schrittweises Verschieben horizontal entlang der Frequenzachse der gemessenen isothermen $|G^*|$ -Modul-Frequenz-Kurven wird die Masterkurve bei einer Referenztemperatur von $T_{ref} = 20^\circ\text{C}$ erzeugt. Die horizontalen Verschiebungsfaktoren können mathematisch durch das Zeit/Temperatur-Verschiebungsprinzip von William-Landel-Ferry bzw. Arrhenius approximiert werden. Sofern diese die Verschiebungsfaktoren über den gesamten untersuchten Temperaturbereich nicht ausreichend abbilden, werden die inkrementell ermittelten Verschiebungsfaktoren herangezogen.

Unter Berücksichtigung der Masterkurven des Speichermodul G' und des Verlustmodul G'' wird die Prony-Reihe

$$G(t) = G_0 \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^n g_i \left(1 - e^{-\frac{t}{\alpha_T(T, T_{ref}) \cdot \tau_i}} \right) \right)$$

bestimmt, mit der man die Schubmodulwerte $G(t, T)$ erhält, s. **Anlage 6**, Abb. A 6.1 und A 6.2.

A 5.3 Prüfanleitung Biege- und Torsionsrelaxationsversuche

A 5.3.1 Allgemeines

- Das VSG wird unter Beachtung des Kuraray Manual (Laminationsrichtlinien, 9/2021) für SentryGlas® Xtra™ SG 6000 hergestellt.
- Aufbau: 4 mm Floatglas / 2,28 mm SentryGlas® Xtra™ SG 6000 / 4 mm Floatglas
- Abmessung: 1100 ± 5 mm x 360 ± 5 mm (L x B)
- Anzahl: mind. 3 Probekörper je Temperatur.
- Der Messaufbau besteht aus einem Messkanal für die Durchbiegung in der Mitte der Spannweite bzw. für den Bohrwinkel und das Torsionsmoment und die Temperatur jedes Glaslaminats. Die Temperatur wird an der Außenseite des Glaslaminats gemessen.
- Der Prüfaufbau und die Messpunkte sind in Abb. A 5.2 und A 5.3 dargestellt.

**Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht
 SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund
 Prüfanleitung Ermittlung Schubmodule $G(t, T)$**

Anlage 5.2

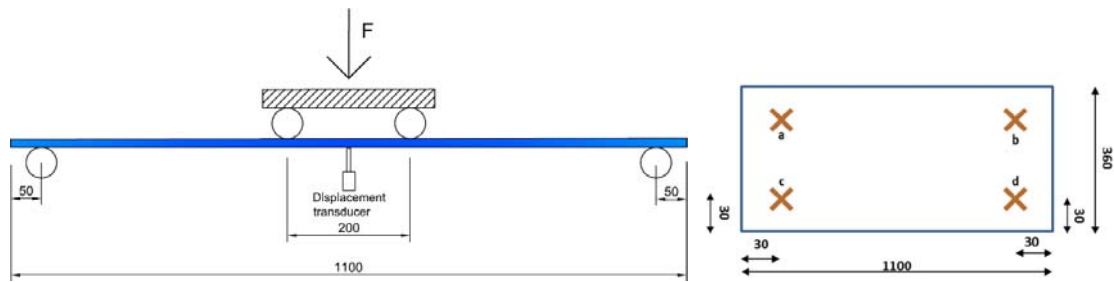


Abb. A 5.2: Biegekriechversuch und Messpunkte

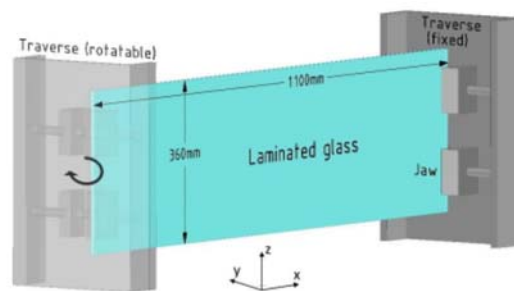


Abb. A 5.3: Torsionsrelaxationsversuch

A 5.3.2 Prüfdurchführung

A 5.3.2.1 Biegekriechversuch

- Durchführung in Anlehnung an DIN EN 16613¹, Anhang 3 bzw. DIN EN 1288-3².
- Belastung des Probekörpers so, dass die Glasscheiben mit mindestens 10 MPa belastet werden
- Vor dem Aufbringen der Last wurden alle Probekörper 24 Stunden lang ohne Belastung konditioniert, so dass Einfluss des Eigengewichts vernachlässigbar.
- Aufbringen der Belastung quasi-statisch (100 N, 250 N und 300 N).
- Messung bei 0°C, 23°C, 30°C, 50°C und 80°C.
- Belastungsdauer mind. 24 h
- Aufzeichnung der Durchbiegung in der Mitte der Spannweite sowie der Temperatur jedes Glaslaminats.

A 5.3.2.2 Torsionsrelaxationsversuch

- 24 h Konditionierung der Proben bei Raumtemperatur.
- Aufbringen des Verdrehwinkels von 2° in kurzer Zeit, aber quasi-statisch.
- Messung bei 23°C und 30°C
- Belastungsdauer mind. 24 h.
- Aufzeichnung des Verdrehwinkels, des Torsionsmoments sowie der Temperatur jedes Probekörpers (Beginn zusammen mit Konditionierung).

A 5.3.3 Auswertung

- Die Ermittlung der Schubmodule erfolgt für unterschiedliche Zeitpunkte und Temperaturen, s. **Anlage 6**, Abb. A 6.2.
- Die Schubmodule werden als Mittelwerte aus den Versuchen bestimmt.

¹ DIN EN 16613:2020-01 Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbundsicherheitsglas - Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichten
² DIN EN 1288-3:2000-09 Glas im Bauwesen - Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas, Teil 3: Prüfung von Proben bei zweiseitiger Auflagerung

**Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht
 SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund
 Prüfanleitung Ermittlung Schubmodule G(t,T)**

Anlage 5.3

A 6 Werte für Schubmodul $G(T,t)$, versuchstechnisch ermittelt

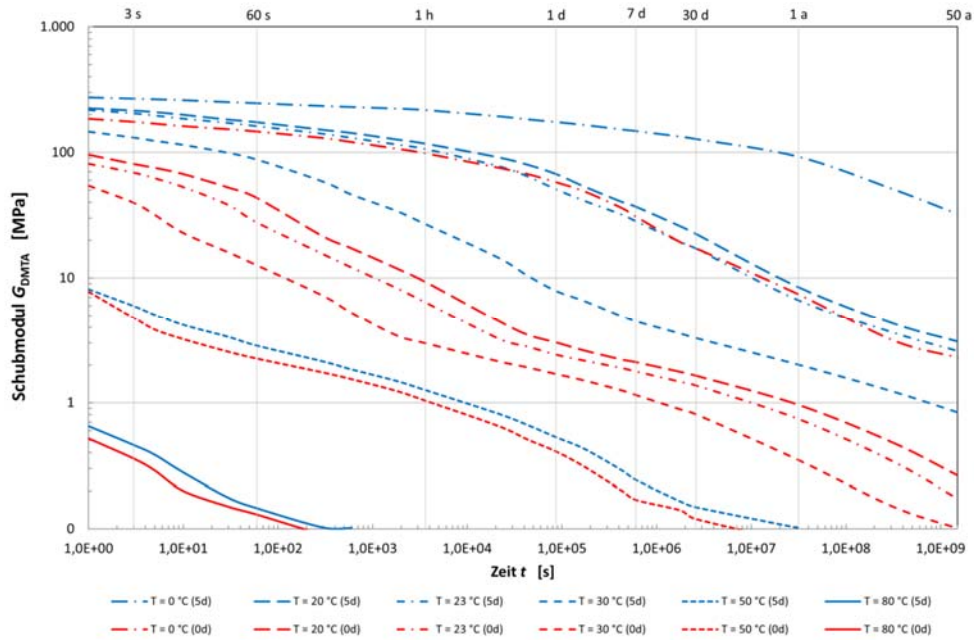


Abb. A 6.1 Schubmodul $G(T,t)$ aus DMTA in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

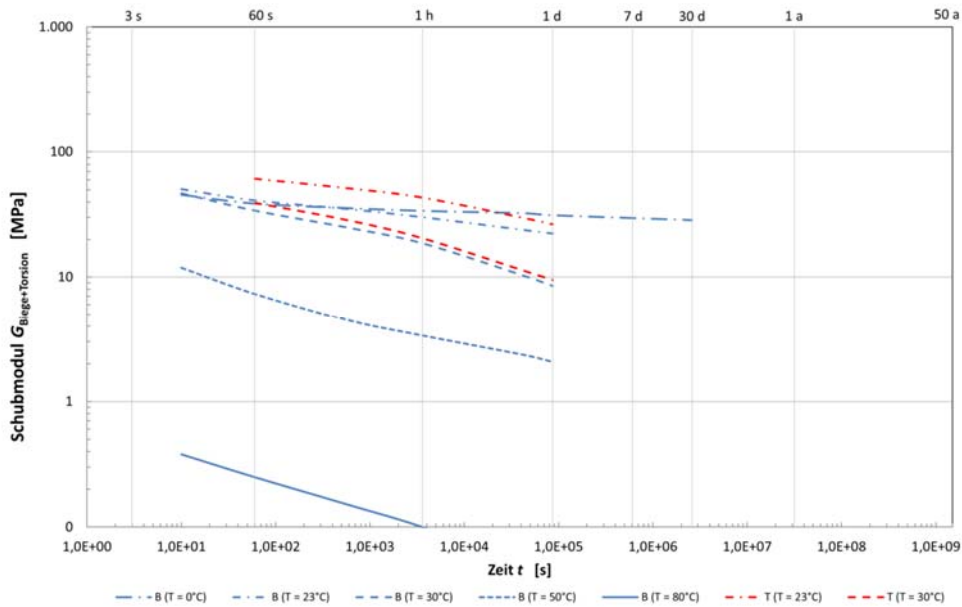


Abb. A 6.2 Schubmodul $G(T,t)$ aus Biegekriech- und Torsionsrelaxationsversuche in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

**Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht
SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund
Schubmodul $G(t,T)$**

Anlage 6

A 7 Prinzip der Feuchtemessung mittels NIR-Spektroskopie

A 7.1 Allgemeines Prinzip

Um den Feuchtigkeitsgehalt der Verbundfolie in einer Verbundglasprobe zu bestimmen, wird ein Spektralscan im nahen Infrarotbereich des Spektrums von 1450 bis 2200 nm durchgeführt. Die Absorption aufgrund von Feuchtigkeit in der Probe liegt im Bereich von 1875 - 1950 nm und wird für die Probendicke korrigiert, indem sie durch die Absorption aufgrund von CH₂-Gruppen bei 1730 nm dividiert wird.

Die Korrelation von Karl Fischer-Feuchteanalysen ("MOISTURE Standards") mit diesem NIR-Verhältnis ermöglicht die Berechnung des prozentualen Feuchtigkeitsgehalts. Zur Kalibrierung bzw. Einstellung des NIR-Spektrometers werden dazu vorab VSG-Proben mit genau definiertem Feuchtegehalt angefertigt bzw. bereitgestellt. Die Folienfeuchte wird für diese Proben ("MOISTURE STANDARDS") mittels Karl-Fischer Titration (KIF) ermittelt.

Die Konstanten sind für die verwendeten Glassubstrate (Art des Floatglases und die Dicke) zu ermitteln bzw. zu verwenden (Hinweis: Üblicherweise arbeiten die Labore immer mit identischem Basisglas in gleicher Dicke. Kenntnisse und Erfahrung in der Durchführung und Bewertung von NIR-Spektroskopie ist erforderlich.).

A 7.2 Prüfdurchführung

- Das NIR-Spektrophotometer ist so eingerichtet, dass es den Bereich 1450 bis 2200 nm scannt.
- Die VSG-Probe wird gereinigt, in das Spektrophotometer gelegt und im NIR-Bereich gescannt. Ein typischer Scan ist in der Abb. A 7 dargestellt.
- Die CH₂-Absorption wird von der horizontalen Tangente zum 1730-nm-Peak und einer zweiten horizontalen Basislinie zum Minimum nahe 1575 nm gemessen (die Minima sind im Wellenlängenbereich zu definieren und festzulegen).
- Die Feuchtigkeitsabsorption wird vom Maximum im Bereich von 1875 - 1950 nm bis zur Tangente zwischen den beiden Minima bei nominell 1873 und 2087 nm gemessen.

A 7.3 Auswertung

- Das NIR-Verhältnis ist die Feuchtigkeitsabsorption geteilt durch die CH₂-Absorption.
- Die prozentuale Feuchtigkeit wird mit der folgenden Gleichung berechnet.

$$\%H_2O = A * (\text{NIR ratio}) - B$$

- A und B sind Konstanten, die je nach Spektrofotometer, Glasfarbe und Glasdicke variieren.

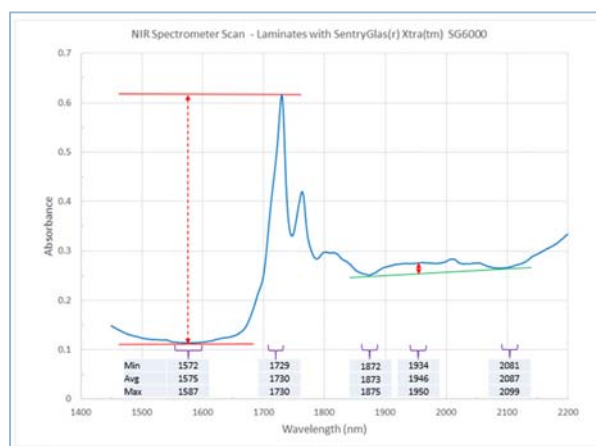


Abb. A 7: Typischer Scan

Verbund-Sicherheitsglas mit der Zwischenschicht
SentryGlas® Xtra™ SG 6000 mit Schubverbund
Prinzip der Feuchtemessung mittels NIR-Spektroskopie

Anlage 7