

Gutachten

Nr. G-70-20-0010

Datum: 16.04.2024

Geschäftszeichen: 5509.010#2020-10/2

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

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® ExtraStiff B230 oder pro B231 mit Schubverbund

Kuraray Europe GmbH
Philipp-Reis-Straße 4
65795 Hattersheim

Das Gutachten umfasst zwei Seiten und sieben Anlagen mit elf Seiten.

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 Polyvinyl-Butyral (PVB)-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231 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 PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231 hergestellt wird.

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

3 Bewertung

Auf Basis der vorgelegten Nachweise werden die Leistungswerte gemäß **Anlage 1.1, A 1.2** bestätigt.

Das VSG mit der PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231 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 18008² geplant, bemessen und ausgeführt werden, nachgewiesen.

Die Leistungen gelten nur, wenn sichergestellt ist, dass die Glas- bzw. Folienränder nur in Kontakt mit angrenzenden Stoffen stehen, die dauerhaft mit der PVB - Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231 verträglich sind.

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

Zur Bewertung wurden folgende Nachweise herangezogen:

- Sachverständige Stellungnahme 1378/2020.25.07 vom 22.12.2021, ausgestellt durch SGS.
- Sachverständige Stellungnahme 1378/2020.25.08 vom 22.12.2021, ausgestellt durch SGS.
- Sachverständige Stellungnahme 1596/2024.20.01 vom 27.03.2024, ausgestellt durch SGS.

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.

¹ DIN 18008

Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln

² DIN 18008-1:2020-05

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

A 1.1 Aufbau und Herstellung des VSG

- Die Glasscheiben bestehen aus folgenden Glaserzeugnissen:
 - Floatglas (Kalk-Natronsilicatglas) nach DIN EN 572-2¹,
 - ESG nach DIN EN 12150-1² mit einem Bruchbild gemäß Anlage 1.2, 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 Anlage 1.2, A 1.3,
 - TVG nach DIN EN 1863-1⁵ mit einem Bruchbild gemäß Anlage 1.2, 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.
- Die Nenndicke der PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 und pro B231 beträgt 0,76 mm, 1,52 mm, 2,28 mm oder 3,04 mm. Die technischen Daten sind beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt, Stand: 16.04.2024.
- Die PVB-Folien haben folgende nach DIN EN ISO 527-3⁸ (Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min, Prüftemperatur: 23 °C) ermittelten Eigenschaften:
 Trosifol[®] Extra Stiff B230: Reißfestigkeit: 34 N/mm²; Bruchdehnung: 202 %.
 Trosifol[®] Extra Stiff pro B231: Reißfestigkeit (längs/quer): 40,19 N/mm²/35,66 N/mm²;
 Bruchdehnung (längs/quer): 200 %/184%.
- Die Folienfeuchte bei der Herstellung beträgt ≤ 0,55 %, gemessen nach **Anlage 7**.
- Bei Herstellung des VSG aus beschichteten Glaserzeugnissen (außer emaillierte Glaserzeugnisse) erfolgt die Laminierung der Glasscheiben mit der PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231 nur auf der unbeschichteten Glasoberfläche
- Es gelten die Grenzabmaße nach Abschnitt 4.1.2.1 der DIN EN ISO 12543-5⁹.
- Die Herstellung des VSG erfolgt im Verbundverfahren unter Berücksichtigung des TROSIFOL[®] Manual, Stand 2014.

A 1.2 Leistungswerte

- Stoßverhalten VSG mit Trosifol[®] Extra Stiff B230 im Kugelfallversuch geprüft nach DIN 52338¹⁰: kein Durchschlagen der Kugel bei einer Abwurfhöhe ≥ 4m
- Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test) geprüft nach **Anlage 3**: Pummelwert ≥ 4
- Adhäsionsverhalten geprüft nach **Anlage 4**: Mittelwert Scherfestigkeit $\sigma \geq 15 \text{ N/mm}^2$
- Schubmodulwerte geprüft nach **Anlagen 5.1 bis 5.3**: siehe **Anlage 6**

<p>¹ DIN EN 572-2:2012-11 ² DIN EN 12150-1:2019-08 ³ DIN EN 14179-1:2016-12 ⁴ DIN 18008-2:2020-05 ⁵ DIN EN 1863-1:2012-02 ⁶ DIN EN 1096-1:2012-04 ⁷ DIN EN 572-5:2012-11 ⁸ DIN EN ISO 527-3:2003-07 ⁹ DIN EN ISO 12543-5:2011-12 ¹⁰ DIN 52338:2016-10</p>	<p>Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas - Teil 2: Floatglas Glas im Bauwesen - Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheiben-sicherheitsglas – Teil 1: Definition und Beschreibung Glas im Bauwesen - Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas – Teil 1: Definition und Beschreibung Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen Glas im Bauwesen - Teilvorgespanntes Kalknatronglas - Teil 1: Definition und Beschreibung Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas - Teil 1: Definitionen und Klasseneinteilung Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas – Teil 5: Ornamentglas Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas – Teil 5: Maße und Kantenbearbeitung Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas</p>
--	--

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231 mit Schubverbund	Anlage 1.1
Aufbau und Herstellung, Leistungswerte	

A 1.3 Bruchbild

Glasprodukte nach EN 12150-2¹¹ und EN 14179-2¹² müssen das in DIN EN 12150-1² für Testscheiben definierte Bruchbild für jede hergestellte Bauteilgröße aufweisen.

Glasprodukte nach EN 1863-2¹³ müssen ab einer Bauteilgröße von 1000 mm x 1500 mm ein Bruchbild aufweisen, bei dem der Flächenanteil an Bruchstücken unkritischer Größe mehr als vier Fünftel der Gesamtfläche beträgt. 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.

¹¹ In Deutschland umgesetzt durch DIN EN 12150-2:2005-01.

¹² In Deutschland umgesetzt durch DIN EN 14179-2:2005-08.

¹³ In Deutschland umgesetzt durch DIN EN 1863-2:2005-01.

**Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231
mit Schubverbund**

Aufbau und Herstellung, Leistungswerte (Fortsetzung)

Anlage 1.2

A 2 Werkseigene Produktionskontrolle

Die werkseigene Produktionskontrolle umfasst mindestens die folgenden Maßnahmen:

Nr.	Merkmal	Anforderungen	Häufigkeit
1	2	3	4
1	Materialkontrolle	Gemäß DIN EN 14449 ¹	
2	Produktionskontrolle	Gemäß DIN EN 14449 ¹	
3	Produktkontrolle	Gemäß DIN EN 14449 ¹	
4	Folienfeuchte im Laminat	Messung der Folienfeuchte nach Anlage 7: ≤ 0,2 %	Jede Produktionscharge
5	Stoßverhalten im Kugelfallversuch	Kugelfallversuch nach DIN 52338 ⁵ an mind. 5 Probekörpern mit einem Aufbau von 3 mm Floatglas/ 0,76 mm Trosifol® Extra Stiff B230 / 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: ≥ 4;	Jede Produktionscharge
7	Adhäsionsverhalten	Kompressionsschertest an mind. 5 Probekörpern nach Anlage 4 . Mittelwert Scherfestigkeit $\sigma \geq 15 \text{ N/mm}^2$	Mindestens monatlich

¹ DIN EN 14449:2005-07
⁵ DIN 52338:2016-10

Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas – Konformitäts-bewertung / Produktnorm
 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 mit Schubverbund

Werkseigene Produktionskontrolle

Anlage 2

A 3 Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)

A 3.1 Allgemeines

- Die Probekörper werden unter Beachtung des TROSIFOL® Manual, Stand 2014 hergestellt.
- Die typische Abmessung der Probekörper beträgt 80 mm x 150 mm.
- Typischer Aufbau: 3 mm Float / 0,76 mm Trosifol® Extra Stiff / 3 mm Float.
- Anzahl der Probekörper: mindestens 5

A 3.2 Prüfdurchführung

- Der Probekörper werden mindestens für 4h bei +5°C (± 2°C) konditioniert.
- 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.

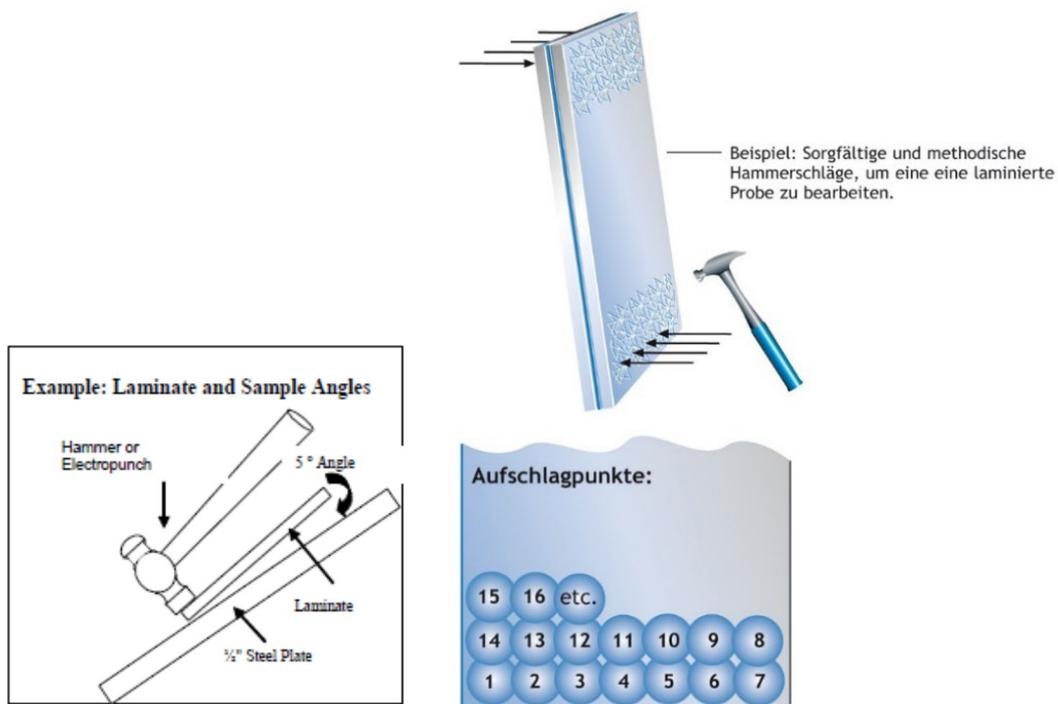


Abb. A 3.1: Prüfdurchführung

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 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.

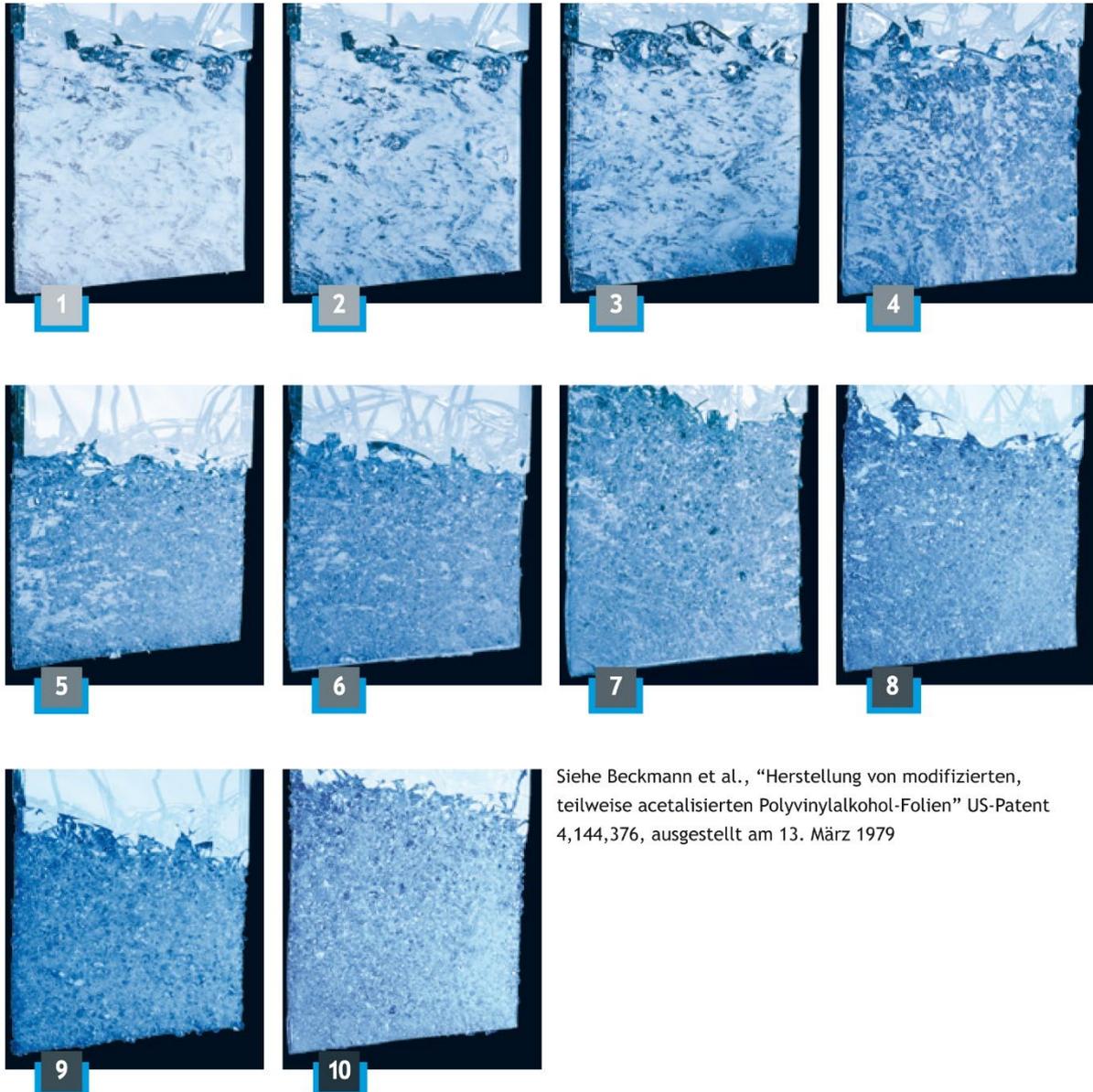


Abb. A 3.2: Referenz-Pummelbilder

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 mit Schubverbund
Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)

Anlage 3.2

A 4 Prüfanleitung Kompressionsschertest

A 4.1 Allgemeines

- Das VSG wird unter Beachtung des TROSIFOL® Manual, Stand 2014 hergestellt.
- Typischer Aufbau der Probekörper: 3 mm Float / 0,76 mm Trosifol® Extra Stiff / 3 mm Float.
- Aus einem VSG werden mindestens 10 quadratische (planparallel mit glatten Kanten) Prüflinge mit einer Kantenlänge von 25 mm mittels eines geeigneten Glasschneiders herausgeschnitten.
- Die entnommenen Prüflinge werden mindestens 4 Stunden bei Normklima (23°C / 50 % RLF) gelagert. Eine Lagerdauer von länger 24 Stunden ist nicht zulässig, da ein Aufweichen der Prüflinge im Randbereich nicht auszuschließen ist.
- Als Prüfgerät wird eine Zugprüfmaschine benutzt, in die die Probenhalterung eingesetzt wird (Abb. A 4). Die Halterung besteht aus zwei Backen, deren Fläche unter einem Winkel von 45° gegeneinander stehen. Die Probe wird in die Aussparung der unteren Backen eingesetzt, die auf einem horizontal beweglichen Wagen angebracht sind. Der obere Backen ist fest in den beweglichen Teil der Prüfmaschine eingespannt.
- Anzahl der Probekörper: mind. 10 zur Ermittlung der Leistungswerte; mind. 5 zur WPK.

A 4.2 Prüfdurchführung

- Vor dem Einsetzen einer Probe werden die beiden Backen bis zum Anschlag zusammengefahren und so eingestellt, dass die Kanten parallel zueinander sind.
- Nach dem Einsetzen der Probe werden die beiden Backen mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 2,5 mm / min. zusammengeschoben bis eine Glasseite von der Folie geschert ist.
- An der Anzeige der Prüfmaschine wird als Scherkraft die maximale Kraft F_s , die zur Trennung des VSG notwendig ist, abgelesen.

A 4.3 Auswertung

- Aus den im Versuch ermittelten Scherkräften F_s werden unter Einbeziehung der Probekörpergeometrie die Mittelwerte der Scherfestigkeiten σ ermittelt.



Abb. A 4: Prüfgerät

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231
mit Schubverbund

Prüfanleitung Kompressionsschertest

Anlage 4

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 Validierung der DMTA werden 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. 2d 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	+100°C; +40°C; -20°C	[100°C bis -20°C], Abkühlung 5°C-Schritte, Nitrogen
Frequenzen	0,1Hz; 1Hz; 10Hz	[0,1Hz bis 10Hz]
Verzerrungsamplitude	[0,01% bis 0,25%] bei -20°C sonst [0,01 bis 0,1]%	0,1 % bei T [100°C bis +40°C]; 0,025 % bei T [40°C bis -20°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

<p>Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 mit Schubverbund</p> <p>Prüfanleitung DMTA und Torsionsrelaxationsversuche</p>	<p>Anlage 5.1</p>
--	--------------------------

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 komplexen Moduls $|G^*|$ als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Verlustfaktor $\tan \delta = G''/G'$ als Funktion von Frequenz und Temperatur.

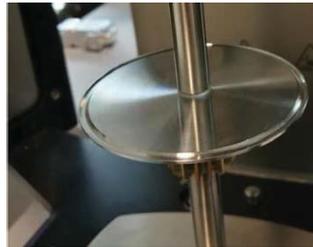


Abb. A 5.1: Versuchsaufbau, Rheometer

A 5.2.3 Analyse und Auswertung

So lange Speichermodul, Verlustmodul und komplexer Modul aus der Amplituden-Messung unabhängig von der aufgebrachten Verzerrungsamplitude oder Spannungsamplitude sind, 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.

A 5.3 Prüfanleitung Torsionsrelaxationsversuche

A 5.3.1 Allgemeines

- Das VSG wird unter Beachtung des TROSIFOL[®] Manual, Stand 2014 hergestellt.
- Aufbau: 6 mm TVG / 0,76 mm Trosifol[®] Extra Stiff/ 6 mm TVG
- 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 ist in Abb. A 5.2 dargestellt.

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231
mit Schubverbund

Prüfanleitung DMTA und Torsionsrelaxationsversuche

Anlage 5.2

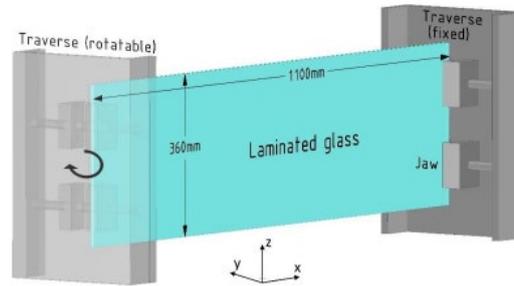


Abb. A 5.2: Torsionsrelaxationsversuch

A 5.3.2 Prüfdurchführung

- 24 h Konditionierung der Proben bei Raumtemperatur.
- Aufbringen des Verdrehwinkels von 2° in kurzer Zeit, aber quasi-statisch.
- Messung bei 0°C , 23°C und 50°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.

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol[®] Extra Stiff B230 oder pro B231
mit Schubverbund

Prüfanleitung DMTA und Torsionsrelaxationsversuche

Anlage 5.3

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

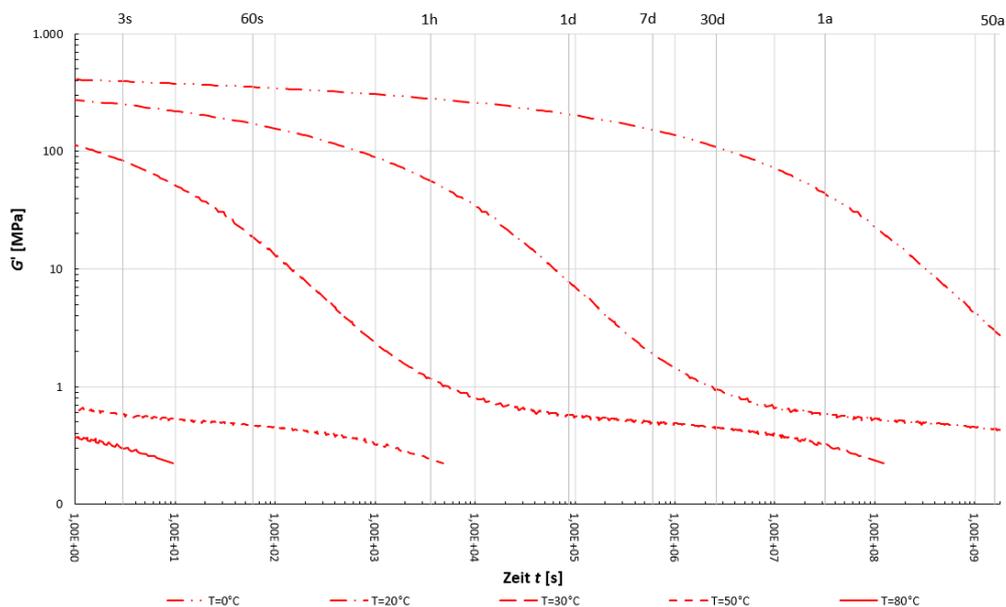


Abb. A 6.1 Schubmodul $G(T,t)$ aus DMTA in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

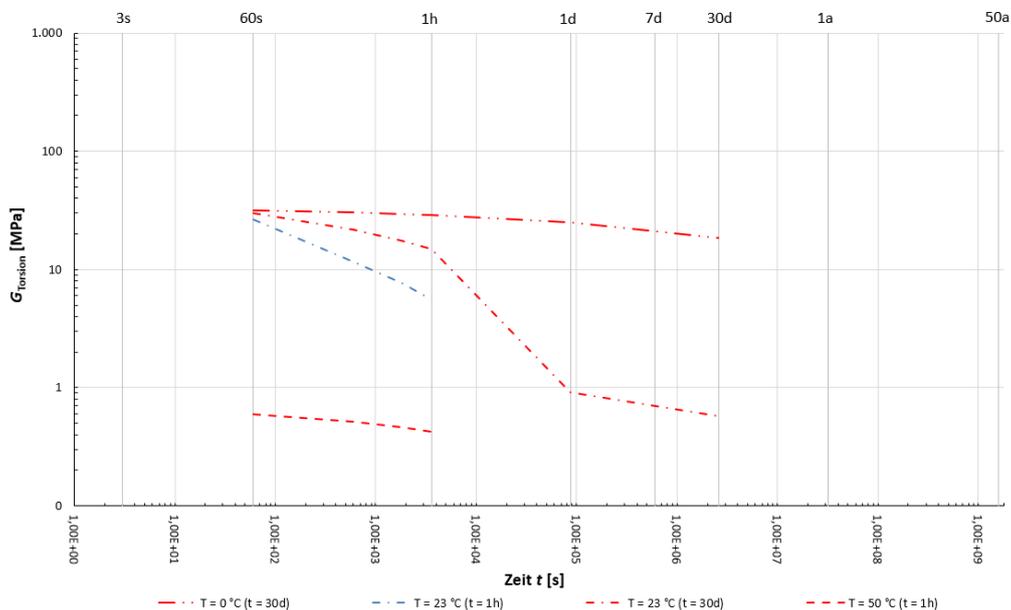


Abb. A 6.2 Schubmodul $G(T,t)$ aus Torsionsrelaxationsversuchen in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 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.

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

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

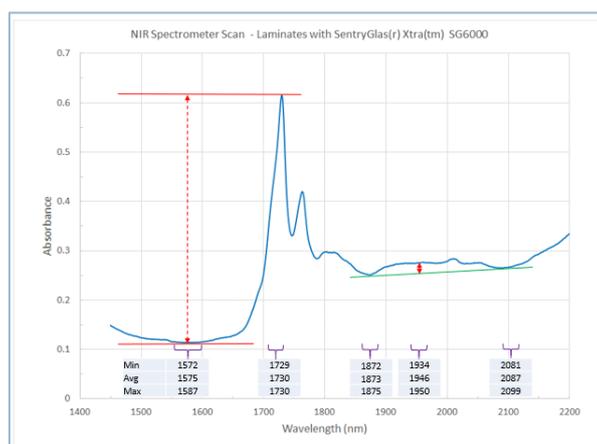


Abb. A 7: Typischer Scan

Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 mit Schubverbund

Anlage 7

Prinzip der Feuchtemessung mittels NIR-Spektroskopie