

Allgemeine Bauartgenehmigung

Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam
getragene Anstalt des öffentlichen Rechts

**Zulassungs- und Genehmigungsstelle
für Bauprodukte und Bauarten**

Datum:

24.01.2022

Geschäftszeichen:

I 34-1.70.3-47/19

Nummer:

Z-70.3-278

Geltungsdauer

vom: **24. Januar 2022**

bis: **24. Januar 2027**

Antragsteller:

Kuraray Europe GmbH

Philipp-Reis-Straße 4

65795 Hattersheim

Gegenstand dieses Bescheides:

**Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit
Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008**

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst fünf Seiten und sieben Anlagen.

DIBt

I ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

- 1 Mit der allgemeinen Bauartgenehmigung ist die Anwendbarkeit des Regelungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
- 2 Dieser Bescheid ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.
- 3 Dieser Bescheid wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.
- 4 Dem Anwender des Regelungsgegenstandes sind, unbeschadet weitergehender Regelungen in den "Besonderen Bestimmungen", Kopien dieses Bescheides zur Verfügung zu stellen. Zudem ist der Anwender des Regelungsgegenstandes darauf hinzuweisen, dass dieser Bescheid an der Anwendungsstelle vorliegen muss. Auf Anforderung sind den beteiligten Behörden ebenfalls Kopien zur Verfügung zu stellen.
- 5 Dieser Bescheid darf nur vollständig vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen diesem Bescheid nicht widersprechen, Übersetzungen müssen den Hinweis "Vom Deutschen Institut für Bautechnik nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten.
- 6 Dieser Bescheid wird widerruflich erteilt. Die Bestimmungen können nachträglich ergänzt und geändert werden, insbesondere, wenn neue technische Erkenntnisse dies erfordern.
- 7 Dieser Bescheid bezieht sich auf die von dem Antragsteller im Genehmigungsverfahren zum Regelungsgegenstand gemachten Angaben und vorgelegten Dokumente. Eine Änderung dieser Genehmigungsgrundlagen wird von diesem Bescheid nicht erfasst und ist dem Deutschen Institut für Bautechnik unverzüglich offenzulegen.

II BESONDERE BESTIMMUNGEN

1 Genehmigungsgegenstand und Anwendungsbereich

Genehmigungsgegenstand ist die Planung, Bemessung und Ausführung von Verglasungen unter Verwendung von Verbund-Sicherheitsglas (VSG) mit der Polyvinyl-Butyral (PVB)-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 der Fa. Kuraray Europe GmbH.

Der Anwendungsbereich umfasst Verglasungen entsprechend der Normenreihe DIN 18008¹. Die Verglasungen können mit oder ohne statischen Ansatz des Schubverbundes der VSG-Scheiben ausgeführt werden.

Das VSG mit der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 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

2 Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung

2.1 Planung

Für die Planung der Verglasungen sind die Technischen Baubestimmungen, insbesondere die Normenreihe DIN 18008¹ sowie die nachfolgenden Bestimmungen zu beachten.

Das VSG muss aus mindestens zwei Ebenen Glasscheiben und der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 bestehen.

Bei Ausführung der Verglasung unter Verwendung von VSG ohne statischen Ansatz des Schubverbundes müssen Aufbau und Herstellung sowie das Stoß- und Haftverhalten des VSG der Anlage 1 entsprechen. Bei Ausführung der Verglasung unter Verwendung von VSG mit statischem Ansatz des Schubverbundes müssen zusätzlich das Adhäsionsverhalten sowie die Schubmodule der Anlage 1 entsprechen.

Es ist sicherzustellen, dass die Glas- bzw. Zwischenschichtränder nur in Kontakt mit angrenzenden Stoffen stehen, die dauerhaft mit der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 verträglich sind. Hierzu sind die Angaben der Fa. Kuraray Europe GmbH zu beachten.

2.2 Bemessung

Für die Bemessung der Verglasungen sind die Technischen Baubestimmungen, insbesondere die Normenreihe DIN 18008¹ sowie die nachfolgenden Bestimmungen zu beachten.

Das in DIN 18008-1², Abschnitt 4.1.3 geforderte typische Bruchbild für Scheiben in Bauteilgröße ist für die im VSG verwendeten Glasscheiben gewährleistet.

Bei der Bemessung der Verglasungen darf für das VSG die Verbundwirkung der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 berücksichtigt werden, wenn Aufbau und Herstellung sowie das Stoß-, Haft- und Adhäsionsverhalten sowie die Schubmodulwerte des VSG der Anlage 1 entsprechen.

Abweichend zu den Regelungen der Normenreihe DIN 18008¹ darf beim Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit von Vertikalverglasungen (Fassaden- und Innenbereich) unter Wind- und Holmlasten oder von Horizontalverglasungen (Überkopfbereich) unter Schnee- und Windlasten unter den nachfolgend genannten Bedingungen zur Berücksichtigung des Schubverbundes zwischen den Einzelscheiben ein linear elastisches Verhalten der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 angesetzt werden.

Als lineare elastische Kenngrößen der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 dürfen bei Einfachverglasungen abhängig von der Belastungsart die in Tabelle 1 enthaltenen Schubmodule und die Querdehnzahl $\mu = 0,49$ verwendet werden.

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

Tabelle 1: Kennwerte für Einfachverglasungen

Lastfall		Schubmodul G [N/mm ²]	k _{VSG} ³ [-]	k _{mod} [-]
Fassadenbereich	Lastfall Wind	7,0	1	0,7
	Lastfall Holm ⁴	1,2 (T=30°C) 0,5 (T=35°C) 0,2 (T≤43°C) 0,0 (T>43°C)	1	0,7
	Lastfall Holm und Wind	7,0	1	0,7
Innenbereich	Lastfall Wind	7,0	1	0,7
	Lastfall Holm	1,2 ⁵	1	0,7
	Lastfall Holm und Wind	7,0	1	0,7
	Lastfall Eigengewicht	0,0	1,1	0,25
Überkopfbereich	Beheizter Bereich⁶			
	Lastfall Schnee	0,58	1	0,4
	Lastfall Wind und Schnee	0,58	1	0,7
	Unbeheizter Bereich⁷			
	Lastfall Schnee	100,0	1	0,4
	Lastfall Wind und Schnee	100,0	1	0,7

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte wurden mit einem visko-elastischen Modell für die PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 ermittelt und durch Grenzfallbetrachtungen und Korrelationsanalysen für die Einwirkungen für die praktische Anwendung mit Berechnungsverfahren unter linear-elastischem Ansatz für die Zwischenschicht vereinfacht. Sofern andere Randbedingungen und Einwirkungen als in Tabelle 1 angegeben nachgewiesen werden sollen, kann der jeweilige Schubmodul entsprechend der Vorgehensweise in Anlage 7 nachgewiesen werden. Hierfür ist i.d.R. zusätzlich eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung erforderlich.

Die Berechnungen können geometrisch linear oder nichtlinear erfolgen. Folgende Reihenfolge ist bei der Nachweisführung einzuhalten:

- 1) Es sind Lastfallkombinationen nach DIN EN 1990⁸ inklusive der zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten zu bilden.
- 2) Die Hauptzugspannungen im VSG sind für jeden Lastanteil (γ -, ψ -fache Last) der jeweiligen Lastfallkombination getrennt zu berechnen. Folgende Systemannahmen sind dabei zu beachten:
 - Für Wind-, Holm- und Schneelasten darf bei der Berechnung ein Teilverbund nach Tabelle 1 angesetzt werden.

³ k_{VSG} Faktor für Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas siehe DIN 18008-1, Abschnitt 8.3.9

⁴ T Zwischenschichttemperatur

Zwischenwerte der aufgeführten Schubmoduln können linear interpoliert werden. Zwischenschichttemperaturen T > 43°C sind nicht abgedeckt.

⁵ Gültig für eine zulässige Zwischenschichttemperatur T von 30°C und eine Belastungsdauer von einer Stunde; bei höheren Zwischenschichttemperaturen T sind Schubmodulwerte für die Anwendung im Außenbereich zu berücksichtigen.

⁶ Gültig für eine Belastungsdauer von 30 Tagen und bei einer Temperatur von 23°C

⁷ Gültig für eine Belastungsdauer von 30 Tagen und bei einer Temperatur von 0°C

⁸ DIN EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

- Bei Klimalasten (Temperatur, atmosphärischer Druck, Höhendifferenz) ist nach Abschnitt 7.2 der DIN 18008-1² vorzugehen; Grenzfallbetrachtung "ohne Verbund" und "voller Verbund". Der ungünstigere Grenzfall ist maßgebend.
 - Für die übrigen Lasten (z.B. Eigengewicht) darf kein Schubverbund bei der Berechnung angesetzt werden.
- 3) Anschließend sind die so ermittelten Hauptzugspannungen je Lastanteil entsprechend der betrachteten Lastfallkombination aufzusummieren.
 - 4) Der Nachweis der Tragfähigkeit ist nach DIN 18008-1² für die maßgebende Lastfallkombination unter Berücksichtigung der k_{mod} - und k_{VSG} -Beiwerte nach Tabelle 1 zu führen.

2.3 Ausführung

Für die Ausführung der Verglasungen sind die Technischen Baubestimmungen, insbesondere die Normenreihe DIN 18008¹ zu beachten.

Die bauausführende Firma hat zur Bestätigung der Übereinstimmung der Bauart mit der allgemeinen Bauartgenehmigung eine Übereinstimmungserklärung gemäß §§ 16 a Abs. 5 i.V.m. 21 Abs. 2 MBO abzugeben.

3 Bestimmungen für Nutzung, Unterhalt und Wartung

Beschädigte Scheiben sind umgehend auszutauschen. Gefährdete Bereiche sind sofort abzusperren. Beim Austausch der Scheiben ist darauf zu achten, dass ausschließlich Bauprodukte für die diese allgemeine Bauartgenehmigung gilt, verwendet werden.

Andreas Schult
Referatsleiter

Beglaubigt
N. Stöhr

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 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 vor-gespanntem Ornamentglas für TVG nach DIN EN 1863-1⁵ und ESG nach DIN EN 12150-1².
- Die Nenndicke der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 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: 14.02.2021.
- Die PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 hat folgende nach DIN EN ISO 527-3⁸ (Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min, Prüftemperatur: 23 °C) ermittelten Eigenschaften:
 Reißfestigkeit: 34 N/mm²; Bruchdehnung: 202 %.
- Die Folienfeuchte bei der Herstellung beträgt ≤ 0,55 %, gemessen nach **Anlage 6**.
- Bei Herstellung des VSG aus beschichteten Glaserzeugnissen (außer emaillierte Glaserzeugnisse) erfolgt die Laminierung der Glasscheiben mit der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 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, 2014.

A 1.2 Leistungswerte

- Stoßverhalten im Kugelfallversuch geprüft nach DIN 52338¹⁰: kein Durchschlagen der Kugel bei einer Abwurfhöhe ≥ 4m
- Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test) geprüft nach **Anlage 2**: Pummelwert ≥ 4
- Adhäsionsverhalten geprüft nach **Anlage 3**: Mittelwert Scherfestigkeit $\sigma \geq 15 \text{ N/mm}^2$
- Schubmodulwerte geprüft nach **Anlagen 4.1 bis 4.3**: siehe **Anlage 5**

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 größer als vier Fünftel der Gesamtfläche ist. Die Prüfung des Bruchbilds ist dabei in Anlehnung an DIN EN 1863-1⁴, 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 12150-1:2012-02	Glas im Bauwesen - Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheiben-sicherheitsglas - 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 EN ISO 527-3:2003-07	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln
⁹ DIN EN ISO 12543-5:2011-12	Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas - Teil 5: Maße und Kantenbearbeitung
¹⁰ DIN 52338:2016-10	Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas
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.

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008	Anlage 1
Aufbau und Herstellung, Leistungswerte	

A 2 Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)

A 2.1 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 B230/ 3 mm Float.
- Anzahl der Probekörper: mindestens 5

A 2.2 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 2.1).
- 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 2.1).
- 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.

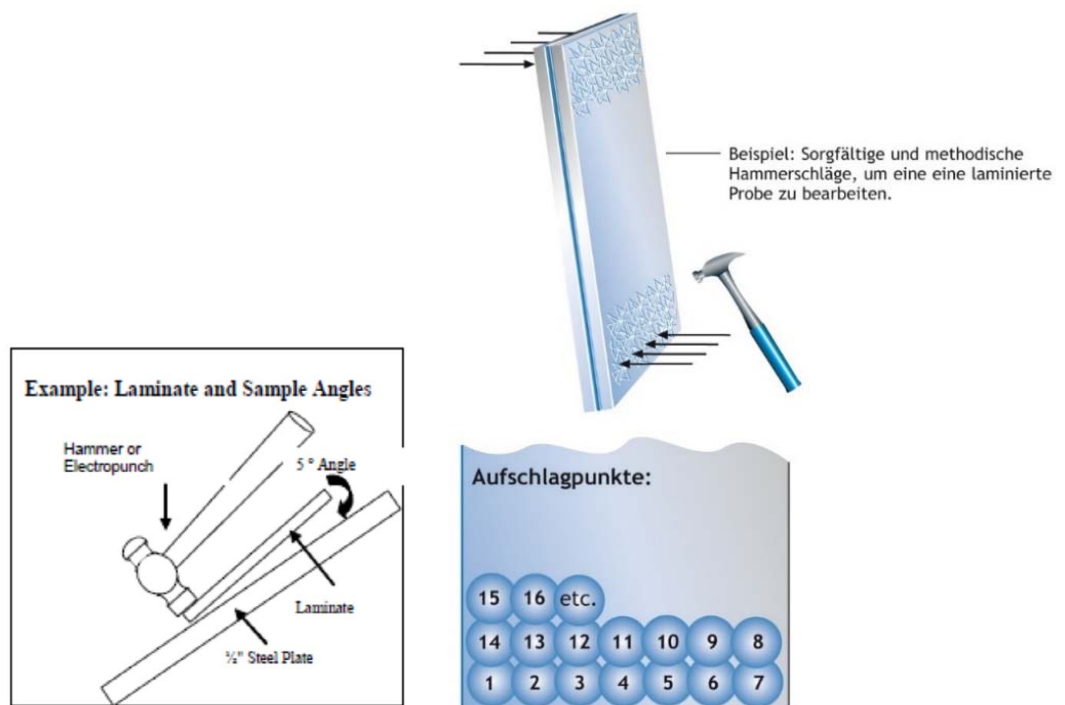
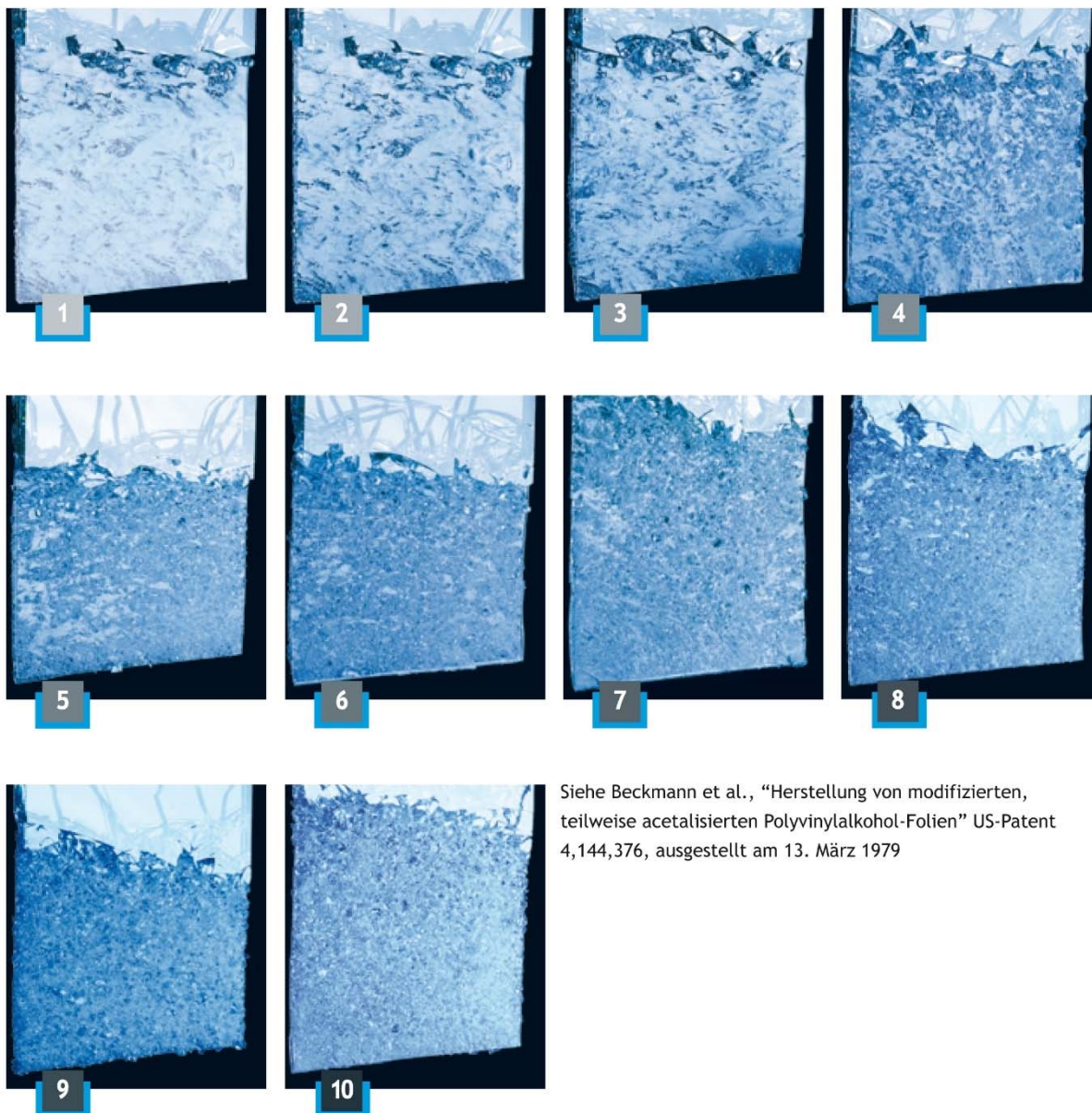


Abb. A 2.1: Prüfdurchführung

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008	Anlage 2.1
Anlagenbeschreibung Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)	

A 2.3 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 2.2) bestimmt.
- Ein Pummelwert von 0 entspricht keiner Haftung, ein Pummelwert von 10 entspricht einer sehr hohen Haftung



Siehe Beckmann et al., "Herstellung von modifizierten, teilweise acetalisierten Polyvinylalkohol-Folien" US-Patent 4,144,376, ausgestellt am 13. März 1979

Abb. A 2.2: Referenz-Pummelbilder

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008	Anlage 2.2
Prüfanleitung Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test)	

A 3 Prüfanleitung Kompressionsschertest

A 3.1 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 B230 / 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 3). 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 3.2 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 gesichert ist.
- An der Anzeige der Prüfmaschine wird als Scherkraft die maximale Kraft F_s , die zur Trennung des VSG notwendig ist, abgelesen.

A 3.3 Auswertung

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



Abb. A 3: Prüfgerät

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Prüfanleitung Kompressionsschertest

Anlage 3

A 4 Prüfanleitung Ermittlung der Schubmodulwerte G(t,T)

A 4.1 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 4.2 Prüfbeschreibung DMTA

A 4.2.1 Prüfdurchführung

Tabelle T 4.1 zeigt die Versuchsbeschreibung im Rheometer. In Abb. A 5.1 ist das Rheometer dargestellt.

Tab. T 4.1: 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 4.2.2 Prüfergebnisse Rheometer

A 4.2.2.1 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

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Prüfanleitung DMTA und Torsionsrelaxationsversuche

Anlage 4.1

A 4.2.2.2 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.

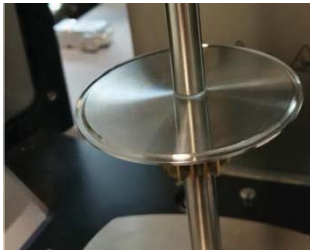


Abb. A 4.1: Versuchsaufbau, Rheometer

A 4.2.3 Analyse und Auswertung

So lange Speichermodul, Verlustmodul und komplexer Modul aus der Amplituden-Messung unabhängig von der aufgetragenen 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

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

bestimmt, mit der man die Schubmodulwerte $G(t, T)$ erhält, s. **Anlage 5**, Abb. A 5.1.

A 4.3 Prüfanleitung Torsionsrelaxationsversuche

A 4.3.1 Allgemeines

- Das VSG wird unter Beachtung des TROSIFOL® Manual, Stand 2014 hergestellt.
- Aufbau: 6 mm TVG / 0,76 mm Trosifol® Extra Stiff B230/ 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 4.3 dargestellt.

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Prüfanleitung DMTA und Torsionsrelaxationsversuche

Anlage 4.2

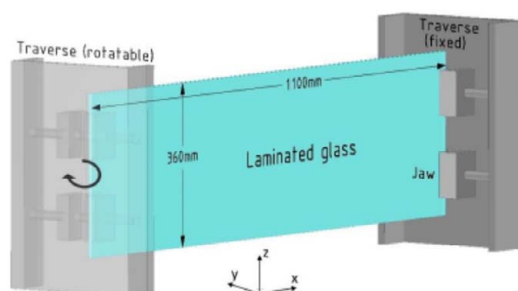


Abb. A 4.2: Torsionsrelaxationsversuch

A 4.3.2 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 4.3.3 Auswertung

- Die Ermittlung der Schubmodule erfolgt für unterschiedliche Zeitpunkte und Temperaturen, s. **Anlage 5**, Abb. A 5.2.
- 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

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Prüfanleitung DMTA und Torsionsrelaxationsversuche

Anlage 4.3

A 5 Werte für Schubmodul $G(T,t)$, versuchstechnisch ermittelt

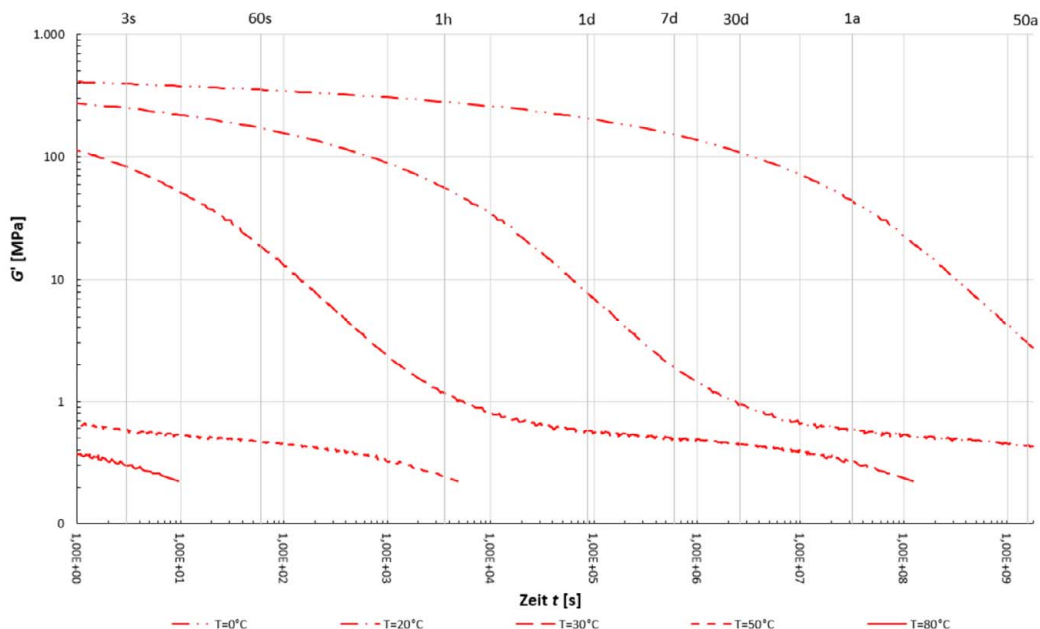


Abb. A 5.1 Schubmodul $G(T,t)$ aus DMTA in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

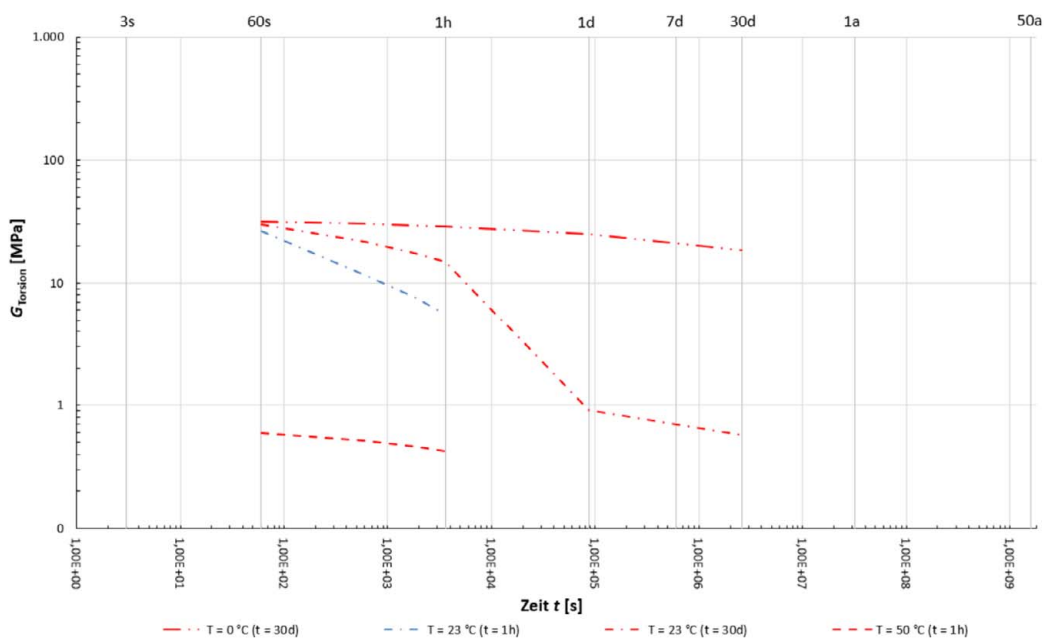


Abb. A 5.2 Schubmodul $G(T,t)$ aus Torsionsrelaxationsversuchen in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Schubmodul $G(t,T)$

Anlage 5

A 6 Prinzip der Feuchtemessung mittels NIR-Spektroskopie

A 6.1 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 6.2 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 6.3 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.

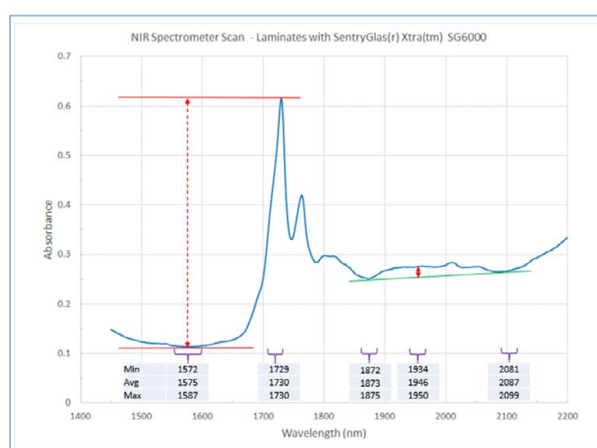


Abb. A 6: Typischer Scan

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Prinzip der Feuchtemessung mittels NIR-Spektroskopie

Anlage 6

A 7 Verschiebungsfunktion und Prony-Reihe

Für Einwirkungen, die von Tabelle 1 abweichen und für Berechnungsverfahren, die die visko-elastischen Eigenschaften der Zwischenschicht berücksichtigen können, dürfen die Verschiebungsfunktion nach Gleichung (G 7.1) und die Werte der Prony-Parameter nach Tabelle T 7.1 mit Gleichung (G 7.2) verwendet werden. Mit der jeweiligen Temperatur und Gleichung (G 7.2) wird zunächst der Verschiebungsfaktor a_T berechnet und anschließend mit der Relaxationszeit τ_i in Gleichung (G 7.1) multipliziert.

Temperaturbereich 0°C bis +70°C.

$$G(T, t) = G_0 \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^n g_i \left(1 - e^{-\frac{t}{\alpha_T \cdot \tau_i}} \right) \right) \tag{G 7.1}$$

$$\log_{10} a_T(T) = 5,1496 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 - 4,6503 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 1,0685 \cdot 10^{-1} \cdot T + 3,585152 \tag{G 7.2}$$

mit:

$\log_{10} a_T(T)$: Verschiebungsfunktion für die Berechnung der Masterkurve bei einer Referenztemperatur von 20 °C

T : jeweils zu untersuchende Folientemperatur in [°C]

$G(t)$: Schubmodul in Abhängigkeit der Zeit t in [Nmm⁻²]

G_0 : initialer Schubmodul (456 Nmm⁻²)

g_i : dimensionsloser Schubmodul [-] siehe Tabelle T 7.1

τ_i : Relaxationszeit [s] siehe Tabelle T 7.1

t : jeweils zu untersuchende Belastungszeit

Tabelle T 7.1: Prony-Parameter für eine Referenztemperatur von $T_{ref} = 20^\circ\text{C}$

Relaxationszeit τ_i [s]	Dimensionsloser Schubmodul g_i [-]
1,0E+08	1,33727900E-03
1,0E+07	4,04015787E-04
1,0E+06	2,40827400E-03
1,0E+05	1,75355355E-02
1,0E+04	1,01707925E-01
1,0E+03	1,97590634E-01
1,0E+02	1,95890854E-01
1,0E+01	1,73716847E-01
1,0E+00	1,17163446E-01
1,0E-01	1,92245189E-01

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas aus Trosifol® Extra Stiff B230 PVB mit Schubverbund für die Anwendung nach DIN 18008

Verschiebungsfunktion und Prony-Reihe

Anlage 7