Deutsches Institut für Bautechnik

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

Zulassungs- und Genehmigungsstelle für Bauprodukte und Bauarten

Allgemeine Bauartgenehmigung

Datum: 14.05.2025

Geschäftszeichen: I 34-1.70.3-16/25

Nummer:
Z-70.3-278

Geltungsdauer
vom: **14. Mai 2025**
bis: **24. Januar 2027**

Antragsteller:
Kuraray Europe GmbH
Philipp-Reis-Straße 4
65795 Hattersheim

Gegenstand dieses Bescheides:
Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 und pro B231 mit Schubverbund

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich genehmigt.
Dieser Bescheid umfasst sechs Seiten und acht Anlagen.
Diese allgemeine Bauartgenehmigung ersetzt die allgemeine Bauartgenehmigung Nr. Z-70.3-278 vom 16. April 2024.

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 Regelungsgegenstand und Anwendungsbereich

Genehmigungsgegenstand ist die Planung, Bemessung und Ausführung von Verglasungen unter Verwendung von Verbund-Sicherheitsglas (VSG) mit den Zwischenschichten Polyvinyl-Butyral (PVB)-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 der Fa. Kuraray Europe GmbH.

Der Anwendungsbereich umfasst Verglasungen aus VSG mit Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 nach den Normen der Reihe DIN 18008 mit und ohne statischen Ansatz des Schubverbundes der Zwischenschicht.

2 Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung

2.1 Planung

Für die Planung der Verglasungen sind die Technischen Baubestimmungen, insbesondere die Normenreihe DIN 18008 sowie die nachfolgenden Bestimmungen zu beachten.

Das VSG muss aus mindestens zwei ebenen Glasscheiben und der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 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 Schubmodulwerte der Anlage 1 entsprechen.

Das Stoßverhalten[1] ist in einer Leistungserklärung anzugeben. Die Korrektheit der übrigen Leistungswerte[2] des VSG unter Berücksichtigung einer regelmäßigen werkseigenen Produktionskontrolle einschließlich einer Erstprüfung durch eine PÜZ-Stelle nach lfd. Nr. 9/3[3] (vgl. Anlage 2) ist in einer technischen Dokumentation[4] darzulegen.

Es ist sicherzustellen, dass die Glas- und Zwischenschichtränder nur in Kontakt mit angrenzenden Stoffen stehen, die dauerhaft mit der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 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 18008 sowie die nachfolgenden Bestimmungen zu beachten.

Das VSG darf als VSG im Sinne von DIN 18008 verwendet werden, wenn Aufbau und Herstellung sowie das Stoß- und Haftverhalten des VSG der Anlage 1 entsprechen.

Das in DIN 18008-1, Abschnitt 4.1.3 geforderte typische Bruchbild für Scheiben in Bauteilgröße ist für die im VSG verwendeten Glasscheiben gewährleistet, vgl. Anlage 1.

Bei der Bemessung der Verglasungen darf für das VSG die Verbundwirkung der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 oder pro B231 berücksichtigt werden, wenn Aufbau und Herstellung sowie die Leistungswerte des VSG der Anlage 1 entsprechen.

[1] nach DIN EN 12600 und DIN EN 356, s. Anlage 1, Abschnitt A 1.2
[2] siehe Anlage 1, Abschnitt A 1.2
[3] siehe Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen (PÜZ-Verzeichnis), veröffentlicht unter www.dibt.de
[4] siehe Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV-TB), Ausgabe 2024/1, D3, veröffentlicht unter www.dibt.de - bzw. deren Umsetzung in den Ländern

Abweichend zu den Regelungen der Normenreihe DIN 18008 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 oder pro B231 angesetzt werden.

Als lineare elastische Kenngrößen der PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 und pro B231 dürfen bei Einfachverglasungen abhängig von der Belastungsart die in Tabelle 1 enthaltenen Schubmodule und die Querdehnzahl μ = 0,49 verwendet werden.

Tabelle 1: Kennwerte für Einfachverglasungen

Lastfall		Schubmodul G [N/mm²]	k_{VSG}[5] [-]	k_{mod} [-]
Fassaden-bereich	Lastfall Wind	7,0	1	0,7
	Lastfall Holm[6]	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
Innen-bereich	Lastfall Wind	7,0	1	0,7
	Lastfall Holm	1,2[7]	1	0,7
	Lastfall Holm und Wind	7,0	1	0,7
Überkopfbereich	Lastfall Eigengewicht	0,0	1,1	0,25
	Beheizter Bereich[8]			
	Lastfall Schnee	0,58	1	0,4
	Lastfall Wind und Schnee	0,58	1	0,7
	Unbeheizter Bereich[9]			
	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 und pro B231 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:

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

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

7 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.

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

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

1) Es sind Lastfallkombinationen nach DIN EN 1990 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.
   - Bei Klimalasten (Temperatur, atmosphärischer Druck, Höhendifferenz) ist nach Abschnitt 7.2 der DIN 18008-1 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 18008-1 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 18008 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[10] 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.

Folgende technische Spezifikationen und Verordnungen werden in Bezug genommen:

Normenreihe DIN 18008	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln
DIN 18008-1:2020-05	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln - Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
DIN EN 14449:2005-07	Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas - Konformitätsbewertung/Produktnorm
DIN EN 572-2:2012-11	Glas im Bauwesen - Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas - Teil 2: Floatglas
DIN EN 12150-1:2020-07	Glas im Bauwesen - Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas – Teil 1: Definition und Beschreibung
DIN EN 14179-1:2016-12	Glas im Bauwesen - Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas – Teil 1: Definition und Beschreibung
DIN 18008-2:2020-05	Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen
DIN EN 1863-1: 2012-02	Glas im Bauwesen - Teilvorgespanntes Kalknatronglas - Teil 1: Definition und Beschreibung

[10] bzw. deren Umsetzung in den Landesbauordnungen

DIN EN 1096-1:2012-04	Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas - Teil 1: Definitionen und Klasseneinteilung
DIN EN 572-5:2012-11	Glas im Bauwesen – Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas – Teil 5: Ornamentglas
DIN EN ISO 527-3:2003-07	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln
DIN EN 10204:2005-01	Metallische Erzeugnisse, Arten von Prüfbescheinigungen
DIN EN 12600:2003-04	Glas im Bauwesen - Pendelschlagversuch, Verfahren für die Stoßprüfung und Klassifizierung von Flachglas
DIN EN 356:2000-02	Glas im Bauwesen – Sicherheitssonderverglasung, Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes
DIN 52338:2016-10	Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen; Kugelfallversuch für Verbundglas
DIN EN 16613:2020-01	Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbundsicherheitsglas – Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichten
Normenreihe ISO 6721	Kunststoffe – Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften
MBO	Musterbauordnung Fassung November 2002 zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 26./27. September 2024

Andreas Schult
Referatsleiter

Beglaubigt
Stöhr

A 1 Aufbau, Herstellung und Leistungswerte

A 1.1 Aufbau und Herstellung

Für das VSG gilt DIN EN 14449 sowie die nachfolgenden Bestimmungen:

- Die Glasscheiben bestehen aus folgenden Glaserzeugnissen:
  - Floatglas (Kalk-Natronsilicatglas) nach DIN EN 572-2,
  - ESG nach DIN EN 12150-1 mit einem Bruchbild gemäß A 1.3,
  - Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas nach DIN EN 14179-1 bzw. nach DIN 18008-2, Abschnitt 4.3, 3. Spiegelstrich mit einem Bruchbild gemäß A 1.3,
  - TVG nach DIN EN 1863-1 mit einem Bruchbild gemäß A 1.3,
  - beschichtetes Glas nach DIN EN 1096-1 - mit Beschichtungen, die sich hinsichtlich Absorption und daraus resultierender Zwischenschichttemperatur nicht ungünstiger verhalten als Glas mit schwarzer Emaillierung,
  - Ornamentglas nach DIN EN 572-5 - mit Einhaltung der Grenzwerte der Geradheit (lokale und globale Verwerfung) der Zwischenschicht zugewandten Seite bei thermisch nicht vorgespanntem Ornamentglas für TVG nach DIN EN 1863-1 und ESG nach DIN EN 12150-1.
- 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 527-3 (Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min, Prüftemperatur: 23°C) ermittelten Eigenschaften:
  Trosifol® Extra Stiff B230: Reißfestigkeit: ≥32 N/mm²; Bruchdehnung: ≥190 %.
  Trosifol® Extra Stiff pro B231: Reißfestigkeit: ≥28 N/mm²; Bruchdehnung: ≥150 %.
  Die Werkstoffeigenschaften sind durch ein Werkszeugnis "2.2" nach DIN EN 10204 zu belegen.
- 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
- Die Herstellung des VSG erfolgt im Verbundverfahren unter Berücksichtigung des TROSIFOL® Manual, Stand 2014.

A 1.2 Leistungswerte

- Stoßverhalten geprüft nach DIN EN 12600 (4mm Float/0,76mm PVB/4mm Float): Trosifol® Extra Stiff B230: 1(B)1; Trosifol® Extra Stiff pro B231: 2(B)2
- Stoßverhalten geprüft nach DIN EN 356 (4mm Floatglas/0,76mm PVB/4mm Float): P1A
- Haftverhalten am Laminat (Pummel-Test) geprüft nach **Anlage 3**: Pummelwert ≥ 4
- Adhäsionsverhalten geprüft nach **Anlage 4**: Mittelwert Scherfestigkeit $\sigma \geq 15$ N/mm²
- Schubmodulwerte geprüft nach **Anlagen 5.1 bis 5.3**: siehe **Anlage 6**

A 1.3 Bruchbild

Glasprodukte nach DIN EN 12150-1 und DIN EN 14179-1 müssen das in DIN EN 12150-1 für Testscheiben definierte Bruchbild für jede hergestellte Bauteilgröße aufweisen.

Glasprodukte nach DIN EN 1863-1 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 1863-1, Abschnitt 8 durchzuführen. Als Bruchstücke unkritischer Größe dürfen alle Bruchstücke betrachtet werden, denen ein Kreis von 120 mm Durchmesser einbeschrieben werden kann.

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 und pro B231 mit Schubverbund	Anlage 1
Aufbau, Herstellung und Leistungswerte	

A 2 Werkseigene Produktionskontrolle, Erstprüfung

A 2.1 Werkseigene Produktionskontrolle

Die werkseigene Produktionskontrolle umfasst mindestens die Maßnahmen nach Tab. T 2.1.

Nr.	Merkmal	Anforderungen	Häufigkeit
1	2	3	4
1	Materialkontrolle	Gemäß DIN EN 14449	
2	Produktionskontrolle	Gemäß DIN EN 14449	
3	Produktkontrolle	Gemäß DIN EN 14449	
4		Folienfeuchte im Laminat: Messung der Folienfeuchte nach **Anlage 7**: ≤ 0,55 %	Jede Produktionscharge
5		Haftverhalten am Laminat: Pummel-Test nach **Anlage 3** an mind. 5 Probekörpern. Pummelwert: ≥ 4;	Jede Produktionscharge
6		Adhäsionsverhalten[1]: Kompressionsschertest an mind. 5 Probekörpern nach **Anlage 4**. Mittelwert Scherfestigkeit $\sigma \geq 15$ N/mm²	Mindestens monatlich

Tab. T 2.1 Werkseigene Produktionskontrolle

A 2.2 Erstprüfung

In jedem Herstellwerk erfolgt eine Erstprüfung des Bauprodukts durch eine PÜZ-Stelle nach lfd. Nr. 9/3[2]. Dabei sind die unter lfd. Nr. 4 bis 6 in Tab. T 2.1 genannten Merkmale sowie das Stoßverhalten[3] zu prüfen.

[1] bei VSG für Verglasungen mit Ansatz des Schubverbundes der Zwischenschicht
[2] siehe Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen (PÜZ-Verzeichnis) - veröffentlicht unter www.dibt.de
[3] 2(B)2 geprüft nach DIN EN 12600 und P1A geprüft nach DIN EN 356, Aufbau: 4mm Float/0,76mm Trosifol® Extra Stiff B231/4mm Float

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 Flachkopfhammer) 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.

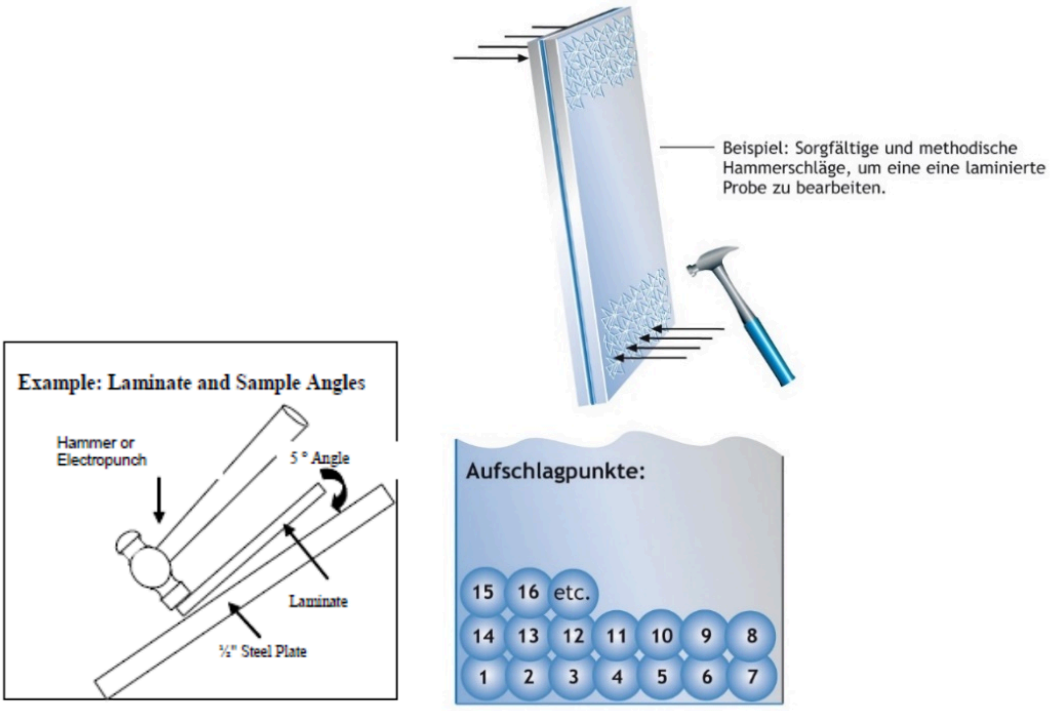

Abb. A 3.1: Prüfdurchführung

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.

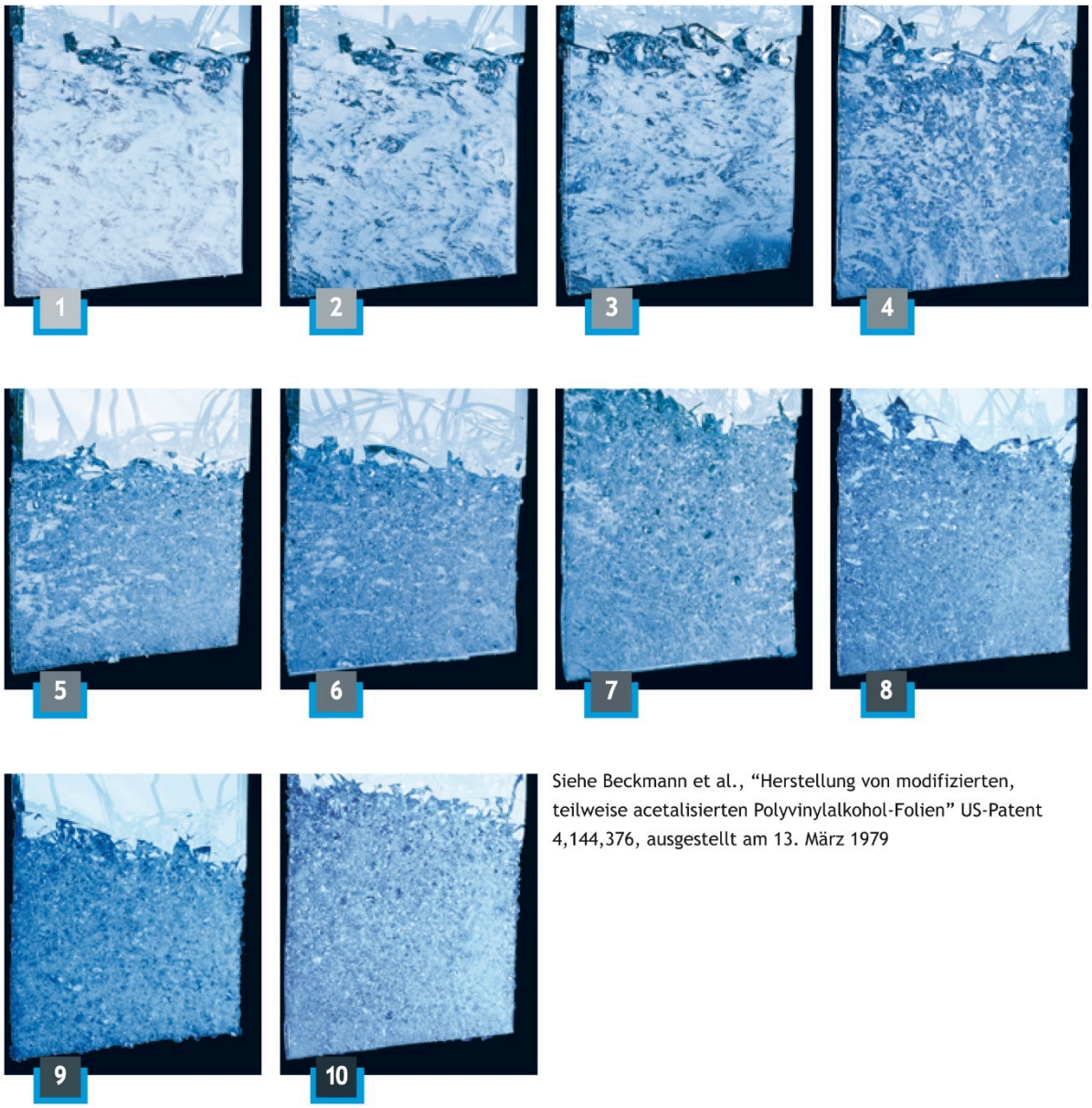

Abb. A 3.2: Referenz-Pummelbilder

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 Auffeuchten 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 Probekörper-geometrie die Mittelwerte der Scherfestigkeiten σ ermittelt.

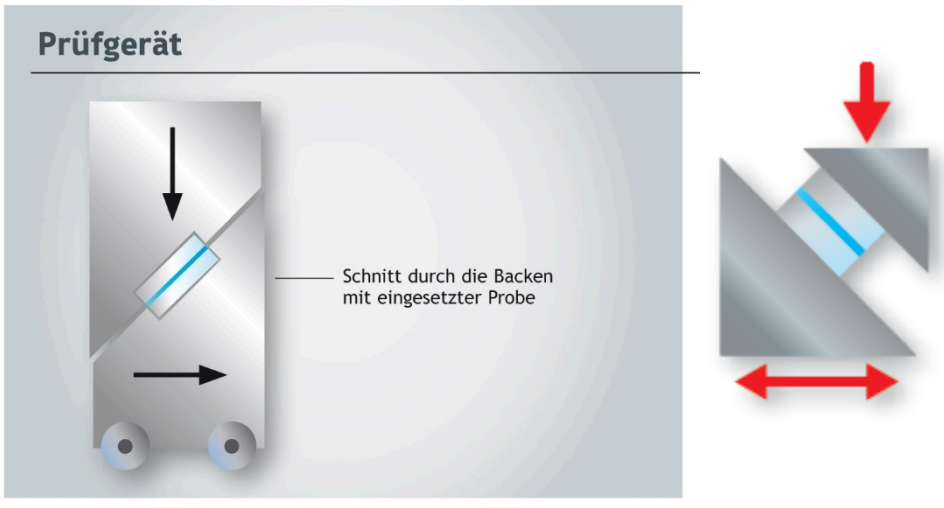

Abb. A 4: Prüfgerät

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 Steifigkeits-charakteristika 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 16613 bzw. der Normenreihe ISO 6721 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 Trocknungsperlen), 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 aufgebrachten Verzerrungs-/Spannungsamplitude,
- Verlustmodul G" in Abhängigkeit der aufgebrachten Verzerrungs-/Spannungsamplitude,
- Komplexer Modul G* in Abhängigkeit der aufgebrachten Verzerrungs-/Spannungsamplitude.

A 5.2.2.2 Temperartur-Frequenz-Messung

- Speichermodul G' als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Verlustmodul G" als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Betrag des komplexen Moduls lG*l als Funktion von Frequenz und Temperatur,
- Verlustfaktor tan δ= G"/G' als Funktion von Frequenz und Temperatur.

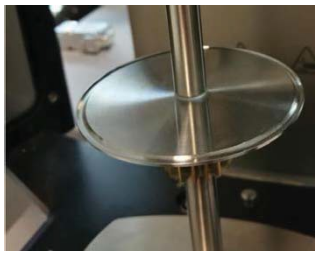

Abb. A 5.1: Versuchsaufbau, Rheometer

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 lG*l-Modul-Frequenz-Kurven wird die Masterkurve bei einer Referenztemperatur von T_{ref} = 20°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.

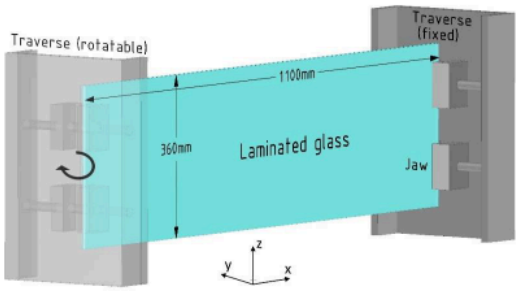

Abb. A 5.2: Torsionsrelaxationsversuch

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.

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

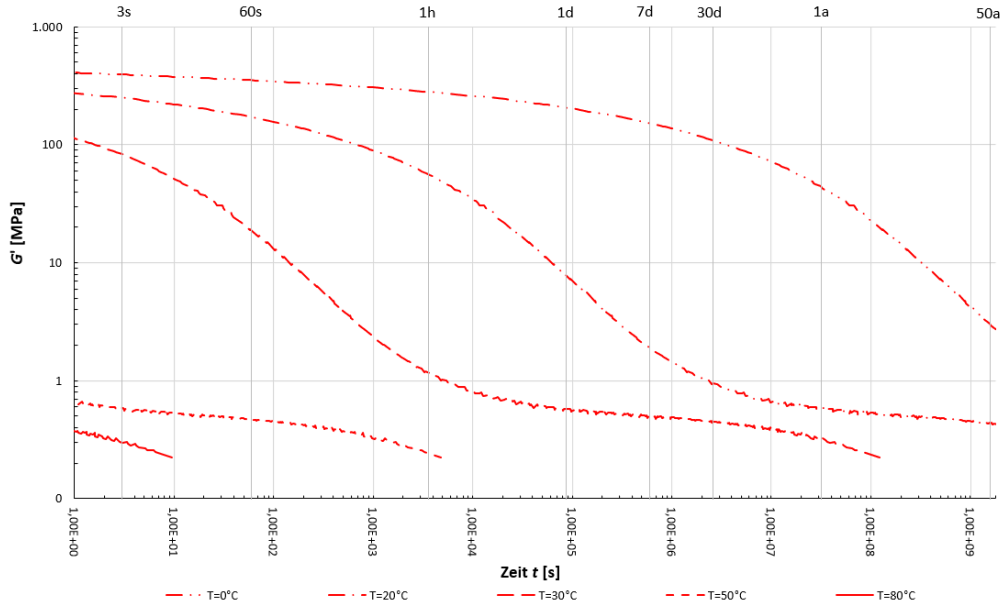

Abb. A 6.1 Schubmodul G(T,t) aus DMTA in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

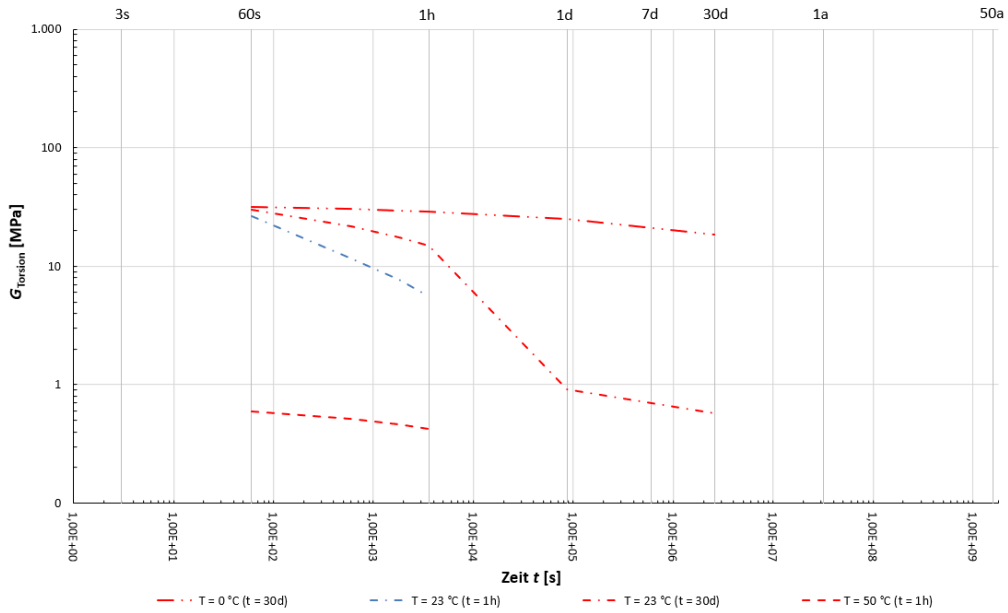

Abb. A 6.2 Schubmodul G(T,t) aus Torsionsrelaxationsversuchen in Abhängigkeit der Temperatur T und der Lasteinwirkungsdauer t

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 und pro B231 mit Schubverbund	Anlage 6
Werte für Schubmodul G(T,t), versuchstechnisch ermittelt	

A 7 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 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 6 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.

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

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

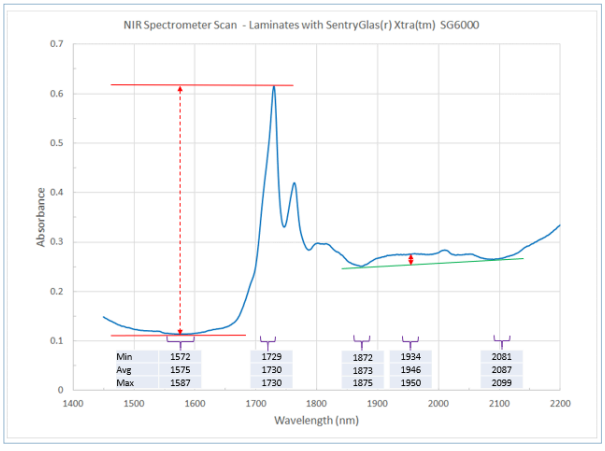

Abb. A 7: Typischer Scan

Verglasungen aus Verbund-Sicherheitsglas mit PVB-Folie Trosifol® Extra Stiff B230 und pro B231 mit Schubverbund	Anlage 7
Prinzip der Feuchtemessung mittels NIR-Spektroskopie	

A 8 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 8.1) und die Werte der Prony-Parameter nach Tabelle T 8.1 mit Gleichung (G 8.2) verwendet werden. Mit der jeweiligen Temperatur und Gleichung (G 8.2) wird zunächst der Verschiebungsfaktor a_T berechnet und anschließend mit der Relaxationszeit τ_i in Gleichung (G 8.1) multipliziert.

Temperaturbereich 0°C bis +70°C.

$$G(T,t) = G_0 \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^{n} g_i \left(1 - e^{-\frac{t}{a_T \cdot \tau_i}}\right)\right) \quad \text{(G 8.1)}$$

$$\log_{10} a_T(T) = 5{,}1496 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 - 4{,}6503 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 1{,}0685 \cdot 10^{-1} \cdot T + 3{,}585152 \quad \text{(G 8.2)}$$

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 8.1
τ_i: Relaxationszeit [s] siehe Tabelle T 8.1
t: jeweils zu untersuchende Belastungszeit

Tabelle T 8.1: Prony-Parameter für eine Referenztemperatur von $T_{ref} = 20$°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