

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | DIN EN 16613       |  |
| ICS 81.040.20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <div>Entwurf</div> | Einsprüche bis 2024-04-09<br>Vorgesehen als Ersatz für<br>DIN EN 16613:2020-01      |
| <p><b>Glas im Bauwesen –<br/>Verbundglas und Verbundsicherheitsglas –<br/>Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichten;<br/>Deutsche und Englische Fassung prEN 16613:2024</b></p> <p>Glass in building –<br/>Laminated glass and laminated safety glass –<br/>Determination of interlayer viscoelastic properties;<br/>German and English version prEN 16613:2024</p> <p>Verre dans la construction –<br/>Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité –<br/>Détermination des propriétés viscoélastiques des intercalaires;<br/>Version allemande et anglaise prEN 16613:2024</p> <p><b>Anwendungswarnvermerk</b></p> <p>Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-02-09 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter <a href="http://www.din.de/go/entwuerfe">www.din.de/go/entwuerfe</a> bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter <a href="http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de">www.entwuerfe.normenbibliothek.de</a>, sofern dort wiedergegeben;</li><li>– oder als Datei per E-Mail an <a href="mailto:nabau@din.de">nabau@din.de</a> möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <a href="http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe">www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe</a> oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter <a href="http://www.dke.de/stellungnahme">www.dke.de/stellungnahme</a> abgerufen werden;</li><li>– oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.</li></ul> <p>Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p>Gesamtumfang 69 Seiten</p> <p>DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)</p> |                    |                                                                                     |

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16613:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 129 „Glas im Bauwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NBN (Belgien) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-09-29 AA „Glas im Bauwesen (SpA zu CEN/TC 129 und ISO/TC 160; SpA zu CEN/TC 129/WG 1, CEN/TC 129/WG 2, CEN/TC 129/WG 3, CEN/TC 129/WG 5, CEN/TC 129/WG 6, CEN/TC 129/WG 8, CEN/TC 129/WG 9, CEN/TC 129/WG 10, CEN/TC 129/WG 12, CEN/TC 129/WG 14, CEN/TC 129/WG 17, CEN/TC 129/WG 18, CEN/TC 129/WG 19, CEN/TC 129/WG 20, CEN/TC 129/WG 21, ISO/TC 160/CAG, ISO/TC 160/WG 1, ISO/TC 160/WG 2, ISO/TC 160/WG 3, ISO/TC 160/WG 4, ISO/TC 160/WG 5, ISO/TC 160/WG 7, ISO/TC 160/WG 8, ISO/TC 160/WG 9, ISO/TC 160/WG 10)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 16613:2020-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) normative Verweisungen aktualisiert;
- b) Schwerpunkt des Prüfverfahrens auf Parallelplatten-Schwingung gelegt anstatt auf Zugschwingung;
- c) detailliertere Beschreibung des Prüfverfahrens aufgeführt, das vier aufeinanderfolgende Schritte umfasst;
- d) Anhang A überarbeitet, um für anisotrope und mehrschichtige Zwischenschichtmaterialien sowie für Schritt 4 des Hauptprüfverfahrens verwendet zu werden, und enthält nun Verfahren zur Berechnung der effektiven Dicke, des Spannungsübertragungskoeffizienten  $\omega$ , des Kopplungsfaktors  $\eta$  und des Schubmoduls einer Zwischenschicht  $G_{\text{int}}$ ;
- e) in Anhang C das Verfahren zur Ermittlung der Masterkurve und der Prony-Parameter beschrieben;
- f) Anhang D zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften, die für die Berechnung der Lärminderung verwendet werden, neu aufgenommen;
- g) Anhang E mit einer Anleitung für eine genaue geometrische Bewertung eines durchgebogenen Probekörpers neu aufgenommen;
- h) Literaturhinweise aktualisiert;
- i) Dokument redaktionell überarbeitet.

Februar 2024

**prEN 16613**

**Glas im Bauwesen – Verbundglas und Verbundsicherheitsglas – Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichten**

Glass in building – Laminated glass and laminated safety glass – Determination of interlayer viscoelastic properties

Verre dans la construction – Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité – Détermination des propriétés viscoélastiques des intercalaires

## Inhalt

|                                                                                                                                                         | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort . . . . .                                                                                                                          | 4     |
| Einleitung . . . . .                                                                                                                                    | 5     |
| 1 Anwendungsbereich . . . . .                                                                                                                           | 6     |
| 2 Normative Verweisungen . . . . .                                                                                                                      | 6     |
| 3 Begriffe . . . . .                                                                                                                                    | 6     |
| 4 Symbole und Abkürzungen . . . . .                                                                                                                     | 8     |
| 5 Prüfverfahren . . . . .                                                                                                                               | 10    |
| 5.1 Allgemeines . . . . .                                                                                                                               | 10    |
| 5.2 Probekörper . . . . .                                                                                                                               | 11    |
| 5.3 Prüfverfahren . . . . .                                                                                                                             | 12    |
| 5.3.1 Glasübergangstemperatur $T_g$ (Schritt 1) . . . . .                                                                                               | 12    |
| 5.3.2 Bestimmung des temperatur- und zeitabhängigen Schubmoduls $G_{\text{int}}(Tt)$ . . . . .                                                          | 12    |
| 6 Auswertung der Spannungsübertragungseigenschaften . . . . .                                                                                           | 16    |
| 6.1 Bestimmung des temperatur- und zeitabhängigen Schubmoduls $G_{\text{int}}(Tt)$ . . . . .                                                            | 16    |
| 6.2 Belastungsdauer und Temperaturbereiche . . . . .                                                                                                    | 16    |
| 7 Prüfbericht . . . . .                                                                                                                                 | 16    |
| Anhang A (normativ) Verfahren für Biege-Kriechversuche zur Bestimmung der<br>Zwischenschichteigenschaften . . . . .                                     | 18    |
| A.1 Allgemeines . . . . .                                                                                                                               | 18    |
| A.2 Verfahren . . . . .                                                                                                                                 | 18    |
| A.3 Probekörper . . . . .                                                                                                                               | 19    |
| A.4 Prüfverfahren . . . . .                                                                                                                             | 20    |
| A.5 Bestimmung der effektiven Dicke . . . . .                                                                                                           | 21    |
| A.6 Bestimmung des Spannungsübertragungskoeffizienten $\omega$ . . . . .                                                                                | 21    |
| A.7 Bestimmung des Kopplungsfaktors $\eta$ . . . . .                                                                                                    | 23    |
| A.8 Bestimmung des Schubmoduls $G_{\text{int}}$ . . . . .                                                                                               | 24    |
| A.9 Bestimmung des Kopplungsfaktors bei bekanntem Zwischenschicht-Schubmodul . . . . .                                                                  | 25    |
| Anhang B (normativ) Vorbereitung der Probekörper . . . . .                                                                                              | 27    |
| B.1 Folien-Zwischenschichten . . . . .                                                                                                                  | 27    |
| B.2 Gießharz-Zwischenschichten . . . . .                                                                                                                | 27    |
| B.3 Intumeszierende Zwischenschichten . . . . .                                                                                                         | 27    |
| Anhang C (informativ) Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip und Prony-Reihe . . . . .                                                                   | 28    |
| C.1 Erstellung der Masterkurve . . . . .                                                                                                                | 28    |
| C.2 Bestimmung der Prony-Reihe . . . . .                                                                                                                | 29    |
| Anhang D (informativ) Mechanische Eigenschaften von Zwischenschichten bei verschiedenen<br>Frequenzen und einer bestimmten Temperatur . . . . .         | 31    |
| D.1 Zweck dieses Anhangs . . . . .                                                                                                                      | 31    |
| D.2 Berechnung des Schubspeichermoduls $G'$ und des Schubverlustmoduls $G''$ bei<br>verschiedenen Frequenzen für eine gewählte Temperatur $T$ . . . . . | 31    |
| Anhang E (informativ) Bestimmung der Verschiebung des Kontaktpunktes zwischen den<br>Auflagerrollen und der Platte . . . . .                            | 32    |
| E.1 Einleitung . . . . .                                                                                                                                | 32    |
| E.2 Berechnung der Korrektur . . . . .                                                                                                                  | 32    |
| Literaturhinweise . . . . .                                                                                                                             | 34    |

## Bilder

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Bild 1 — Verlustfaktor . . . . . | 14 |
| Bild 2 — Phasenwinkel . . . . .  | 14 |

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 3 — Bestimmung der Masterkurve . . . . .                                                                                                                | 15 |
| Bild 4 — Beispiel einer Darstellung des Schubrelaxationsmoduls der Zwischenschicht in<br>Abhängigkeit von der Zeit bei einer bestimmten Temperatur . . . . . | 16 |
| Bild A.1 — Strukturmodell der Biegeprüfung nach EN 1288-3 . . . . .                                                                                          | 19 |
| Bild A.2 — Vollständige Schubkopplung ( $\omega = 1$ ) . . . . .                                                                                             | 22 |
| Bild A.3 — Partielle Schubkopplung ( $\omega \approx 0,5$ ) . . . . .                                                                                        | 22 |
| Bild A.4 — Keine Schubkopplung ( $\omega = 0$ ) . . . . .                                                                                                    | 23 |
| Bild A.5 — Geometrie eines Verbundglaselements (Querschnittsansicht) . . . . .                                                                               | 23 |
| Bild A.6 — Last und Randbedingungen . . . . .                                                                                                                | 25 |
| Bild C.1 — Darstellung des verallgemeinerten Maxwell-Modells . . . . .                                                                                       | 29 |
| Bild E.1 — Strukturmodell . . . . .                                                                                                                          | 32 |

## Tabellen

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle A.1 — Empfohlene Kraft für die Biegeprüfung von normal gekühltem Glas . . . . . | 20 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16613:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 129 „Glas im Bauwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NBN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 16613:2019 ersetzen.

prEN 16613:2024 beinhaltet die folgenden wesentlichen technischen Änderungen im Vergleich zu EN 16613:2019:

- a) Das Prüfverfahren konzentriert sich auf eine Parallelplatten-Schwingung anstelle einer Zugschwingung.
- b) Es wird eine detailliertere Beschreibung des Prüfverfahrens aufgeführt, das vier aufeinander folgende Schritte umfasst.
- c) Anhang A wurde überarbeitet und wird für anisotrope und mehrschichtige Zwischenschichtmaterialien sowie für Schritt vier des Hauptprüfverfahrens verwendet. Er enthält die Verfahren zur Berechnung der effektiven Dicke, des Spannungsübertragungskoeffizienten  $\omega$ , des Kopplungsfaktors  $\eta$  und des Schubmoduls einer Zwischenschicht  $G_{\text{int}}$ .
- d) In Anhang C ist das Verfahren zur Ermittlung der Masterkurve und der Prony-Parameter beschrieben.
- e) Der neue Anhang D hilft bei der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften, die für die Berechnung der Lärminderung verwendet werden.
- f) Anhang E enthält eine Anleitung für eine genaue geometrische Bewertung eines durchgebogenen Probekörpers.

## **Einleitung**

Dieses Dokument dient dazu, die viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichtmaterialien für die konstruktive Bemessung von Verbundglas bereitzustellen.

Darüber hinaus enthält es ein Verfahren zur Berechnung der mechanischen Eigenschaften von Zwischenschichten bei verschiedenen Frequenzen, die für die Berechnung von Schalldämmwerten verwendet werden können.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der mechanischen viskoelastischen Eigenschaften von Materialien für Zwischenschichten fest. Zu prüfen sind Zwischenschichten, die bei der Herstellung von Verbundglas oder Verbundsicherheitsglas verwendet werden. Die Schubeigenschaften von Zwischenschichten werden benötigt, um Verbundglas nach EN 16612:2019 und der Reihe CEN/TS 19100 zu konstruieren.

Die Parameter der Prony-Reihe, die häufig in der numerischen Simulation verwendet werden, können aus den Messungen in Anhang C abgeleitet werden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1288-3, *Glas im Bauwesen — Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas — Teil 3: Prüfung von Proben bei zweiseitiger Auflagerung (Vierschneiden-Verfahren)*

EN ISO 6721-1, *Kunststoffe — Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften — Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 6721-1)*

ISO 6721-4, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 4: Tensile vibration — Non-resonance method*

ISO 6721-6, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 6: Shear vibration — Non-resonance method*

ISO 6721-7, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 7: Torsional vibration — Non-resonance method*

ISO 6721-10, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 10: Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer*

ISO 6721-11, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 11: Glass transition temperature*

EN 16612:2019, *Glas im Bauwesen — Bestimmung des Belastungswiderstandes von Glasscheiben durch Berechnung*

ISO 18437-6, *Mechanical vibration and shock — Characterization of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials — Part 6: Time-temperature superposition*

CEN/TS 19100-2:2021, *Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Glas — Teil 2: Querbelaastete Bauteile*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 6721-1:2019 und ISO 18437-6 sowie die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

### 3.1

#### Glasübergangstemperatur

$T_g$

Temperaturbereich, in dem ein Material von einem gummiartigen Zustand in einen Festkörper wechselt oder umgekehrt

### 3.2

#### Spannungsübertragungskoeffizient der Zwischenschicht

$\omega$

Koeffizient zwischen 0 und 1, der die Fähigkeit eines Zwischenschichtmaterials beschreibt, Schubkräfte zwischen den Glaslagen einer Verbundglasscheibe zu übertragen, wenn diese gebogen wird

### 3.3

#### glasartiges Polymer

Polymer, das eine Glasübergangstemperatur  $T_g$  im Bereich von Bauanwendungen aufweist

### 3.4

#### Relaxationsmodul

$G_{\text{int}}$

Verhältnis der zeitabhängigen Spannung zu einer herbeigeführten konstanten Verformung

### 3.5

#### komplexer Modul

Verhältnis aus dynamischer Spannung und dynamischer Verformung eines viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Schwingung ausgesetzt wird

### 3.6

#### Speichermodul

Realteil des komplexen Moduls

### 3.7

#### Verlustmodul

Imaginärteil des komplexen Moduls

### 3.8

#### Phasenwinkel

Phasenverschiebung zwischen der dynamischen Spannung und der dynamischen Verformung eines viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Schwingung ausgesetzt ist ( $\delta$ )

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Phasenwinkel wird in Radiant (rad) angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: In einem dynamischen Experiment ist dies der Winkel zwischen dem komplexen Modul  $G^*$  und der Projektion seiner elastischen Komponente, dem Speichermodulteil  $G'$ .

### 3.9

#### Verlustfaktor

Tangens des Phasenwinkels, auch ausgedrückt als Verhältnis des dynamischen Verlustmoduls  $G''$  zum dynamischen Speichermodul  $G'$

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Verlustfaktor wird als dimensionslose Kenngröße ausgedrückt.

### 3.10

#### Verschiebungsfaktor

Wert (positiv oder negativ) der horizontalen Verschiebung der einzelnen DMA-Kurven entlang der Frequenzachse, um so die Masterkurve zu bilden

### 3.11

#### Masterkurve

Kurve, die erhalten wird durch Verschiebung isothermer DMA-Kurven, die bei verschiedenen Frequenzen und einer ausgewählten Referenztemperatur gemessen wurden

### 3.12

#### Zeit-Temperatur-Superposition

Prinzip, das die Vorhersage des Materialverhaltens außerhalb des prüfbaren Bereichs ermöglicht

### 3.13

#### Prony-Reihe

Gleichung, die die Berechnung des Schubmoduls auf Grundlage der Prony-Parameter ermöglicht

### 3.14

#### Prony-Parameter

Parameter zur Auswertung des Schubrelaxationsmoduls aus der Prony-Reihe, einschließlich der normalisierten Module  $g_i$ , der Relaxationszeiten  $\tau_i$  und des anfänglichen Schubmoduls  $G_0$

## 4 Symbole und Abkürzungen

|                   |                                                                                                                        |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a(T)$            | Temperaturabhängiger, horizontaler Verschiebungsfaktor im Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip                        |
| $b$               | Breite des Probekörpers                                                                                                |
| $b_{\text{ave}}$  | mittlere Breite der Platte                                                                                             |
| $l_{\text{cor}}$  | korrigierter Abstand zwischen den Auflagerrollen im Falle einer gebogenen Glasplatte                                   |
| $l_{\text{red}}$  | Verringerung der Stützweite pro Auflagerrolle                                                                          |
| $C_1, C_2$        | empirische Konstanten der viskoelastischen WLF-TTS-Gleichung                                                           |
| $d$               | Abstand der Mittelebene der Glaslagen von der Mittelebene des Verbundglases, das aus zwei Lagen gleicher Dicke besteht |
| $d_1$             | Abstand der Mittelebene der Glaslage 1 von der Mittelebene des Verbundglases                                           |
| $d_2$             | Abstand der Mittelebene der Glaslage 2 von der Mittelebene des Verbundglases                                           |
| $d_3$             | Abstand der Mittelebene der Glaslage 3 von der Mittelebene des Verbundglases                                           |
| $D_{\text{abs}}$  | Biegesteifigkeit im Zustand ohne Schubübertragung                                                                      |
| $D_{\text{full}}$ | Biegesteifigkeit im Zustand mit voller Schubübertragung                                                                |
| $D_i$             | Biegesteifigkeit der Glaslage $i$                                                                                      |
| DMTA              | dynamisch-mechanische Thermoanalyse (-TS: Temperatursweep, -AS: Amplitudensweep, -TFS: Temperatur-Frequenz-Sweep)      |
| DSC               | Differential-Scanning-Kalorimetrie (en: differential scanning calorimetry)                                             |
| $e_{\text{dl}}$   | Durchbiegung unter Eigengewicht                                                                                        |
| $e_{\text{f}}$    | Durchbiegung unter aufgebrachtter Last                                                                                 |
| EET               | verbessertes Verfahren zur Bestimmung der effektiven Dicke (en: enhanced effective thickness)                          |
| $E$               | Elastizitätsmodul des Glases                                                                                           |
| $E_{\text{a}}$    | Aktivierungsenergie                                                                                                    |
| $E_{\text{int}}$  | Elastizitätsmodul des Zwischenschichtmaterials                                                                         |
| $f$               | Frequenz                                                                                                               |

|                                                      |                                                                                                  |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F$                                                  | Last während des Vierschneiden-Verfahrens                                                        |
| $g_i$                                                | normalisierte Schubmodule                                                                        |
| $G^*,  G^* $                                         | komplexer Schubmodul                                                                             |
| $G'$                                                 | Schubspeichermodul                                                                               |
| $G''$                                                | Schubverlustmodul                                                                                |
| $G_0$                                                | anfänglicher Schubmodul (zu einem Zeitpunkt 0)                                                   |
| $G_\infty$                                           | Gleichgewichtsmodul (bei unendlicher Zeit)                                                       |
| $G_{\text{int}}$                                     | Schubrelaxationsmodul des Zwischenschichtmaterials                                               |
| $h$                                                  | Dicke der Glasscheibe eines Verbundglases, das aus $n$ Lagen gleicher Dicke besteht              |
| $h_1$                                                | Nenndicke der Scheibe 1 eines Mehrscheiben-Isolierglases oder der Lage 1 eines Verbundglases     |
| $h_2$                                                | Nenndicke der Scheibe 2 eines Mehrscheiben-Isolierglases oder der Lage 2 eines Verbundglases     |
| $h_3$                                                | Nenndicke der Scheibe 3 eines Mehrscheiben-Isolierglases oder der Lage 3 eines Verbundglases     |
| $h_{\text{ef},\sigma}$                               | effektive Dicke des Verbundglases für die Berechnung der Spannung                                |
| $h_{\text{ef},w}$                                    | effektive Dicke des Verbundglases für die Berechnung der Durchbiegung                            |
| $h_{\text{ef},wt}$                                   | effektive Dicke des Verbundglases bei Durchbiegung unter Last                                    |
| $h_i$                                                | Nenndicke der Scheibe $i$ eines Mehrscheiben-Isolierglases oder der Lage $i$ eines Verbundglases |
| $h_{\text{int}}, h_{\text{int},1}, h_{\text{int},2}$ | Dicke der Zwischenschicht                                                                        |
| $l_b$                                                | Abstand zwischen den Mittellinien der Biegerollen                                                |
| $l$                                                  | Abstand zwischen den Mittellinien der Auflagerrollen                                             |
| $l_{\text{cor}}$                                     | korrigierter Abstand zwischen den Auflagerrollen im Falle einer gebogenen Glasplatte             |
| $l_{\text{red}}$                                     | Verringerung der Stützweite pro Auflagerrolle                                                    |
| $n$                                                  | Anzahl der Lagen (nur in Anhang A) und Anzahl der Feder-Dämpfer-Elemente (nur in Anhang C)       |
| $p$                                                  | Eigengewicht der Platte                                                                          |
| $P_{r,j}$                                            | Polynomkoeffizient des Schubspeichermoduls von Grad $j$ , wobei $j$ im Bereich von 0 bis 7 liegt |
| $P_{i,j}$                                            | Polynomkoeffizient des Schubverlustmoduls von Grad $j$ , wobei $j$ im Bereich von 0 bis 7 liegt  |
| $r$                                                  | Radius des unter Eigengewicht durchgebogenen Glases                                              |
| $r_r$                                                | Radius der Rolle                                                                                 |
| $R$                                                  | universelle Glaskonstante                                                                        |
| $t$                                                  | Belastungsdauer                                                                                  |
| $t_r$                                                | erforderliche Zeit zum Aufbringen der Last                                                       |
| $T$                                                  | Temperatur, in °C                                                                                |
| $T_c$                                                | Kristallisationstemperatur                                                                       |
| $T_g$                                                | Glasübergangstemperatur                                                                          |
| $T_k$                                                | Temperatur, in Kelvin                                                                            |
| $T_m$                                                | Schmelztemperatur                                                                                |
| $T_r$                                                | Referenztemperatur                                                                               |
| $T_{k,r}$                                            | Bezugstemperatur, in Kelvin                                                                      |
| TTS                                                  | Zeit-Temperatur-Superposition (en: time-temperature-superposition)                               |
| $\nu_{\text{int}}$                                   | Poissonzahl des Zwischenschichtmaterials                                                         |
| $\nu$                                                | Poissonzahl des Glasmaterials                                                                    |
| WLF-TTS                                              | Williams-Landel-Ferry-TTS                                                                        |
| $x$                                                  | Achse $x$ , die die waagerechte Lage des Probekörpers angibt                                     |

|             |                                                                                    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $x_{F1}$    | Abstand zwischen der ersten Auflagerrolle und der ersten Biegerolle                |
| $x_{F2}$    | Abstand zwischen der ersten Auflagerrolle und der zweiten Biegerolle               |
| $y$         | Achse $y$ zur Darstellung der Vertikalverschiebung                                 |
| $y_{c,g}$   | Durchbiegung unter Eigengewicht                                                    |
| $y'_{dl}$   | Winkelverformung unter Eigengewicht                                                |
| $y'_p$      | Winkelverformung unter zwei punktuellen Lasten                                     |
| $y'_r$      | Gleichung für die Krümmung der Auflagerrolle                                       |
| $y'_t$      | Gesamte Winkelverformung unter Eigengewicht und punktuellen Lasten                 |
| $y_{tot}$   | Gesamtdurchbiegung unter Eigengewicht und aufgebracht Last                         |
| $y_{tot,m}$ | gesamte gemessene Durchbiegung unter Eigengewicht und aufgebracht Last             |
| $\beta$     | Skalierungsfaktor                                                                  |
| $\delta$    | Phasenwinkel                                                                       |
| $\eta$      | Kopplungskoeffizient, der in Anhang A verwendet wird (EET)                         |
| $\eta$      | Viskositätskoeffizient, der in Anhang C verwendet wird (Maxwell-Modell)            |
| $\eta_2$    | Kopplungskoeffizient für Verbundglas, das aus zwei Lagen besteht                   |
| $\eta_3$    | Kopplungskoeffizient für Verbundglas, das aus drei Lagen besteht                   |
| $\eta_n$    | Kopplungskoeffizient für Verbundglas, das aus $n$ Lagen mit gleicher Dicke besteht |
| $\Psi_b$    | Grenzkoeffizient für Träger, die aus $n$ Lagen bestehen                            |
| $\sigma$    | berechnete Spannung                                                                |
| $\tau_i$    | Relaxationszeiten                                                                  |
| $\omega$    | Spannungsübertragungskoeffizient der Zwischenschicht                               |
| $\omega_f$  | Kreisfrequenz (nur in Anhang C)                                                    |

## 5 Prüfverfahren

### 5.1 Allgemeines

Die allgemeine Methodik der verwendeten Prüfung ist in EN ISO 6721-1 beschrieben. Die DMTA-Messung wird vorzugsweise nach ISO 6721-10 (Parallelplatten-Schwingung) durchgeführt.

Alternativ können auch die Nicht-Resonanz-Verfahren nach ISO 6721-6 (Schervibration), ISO 6721-4 (Zugschwingung), ISO 6721-7 (Drehschwingung) verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Die üblicherweise verwendeten Zwischenschichten bestehen im Allgemeinen aus isotropen Materialien. Je nach Wahl des Messverfahrens können der Schubmodul oder der Elastizitätsmodul der Zwischenschicht mithilfe der Gleichung (1) ineinander umgewandelt werden.

$$G_{\text{int}} = \frac{E_{\text{int}}}{2(1 + \nu_{\text{int}})} \quad (1)$$

Dabei ist  $\nu_{\text{int}}$  die Poissonzahl der Zwischenschicht.  $\nu_{\text{int}}$  kann mit 0,49 angenähert werden, was zur Näherung führt.

$$E_{\text{int}} \approx 3G_{\text{int}} \quad (2)$$

Wissenschaftlich betrachtet hängt die Poissonzahl von der Temperatur ab, aber für die Zwecke der konstruktiven Bemessung von Verbundglas kann dieser Effekt ignoriert werden.

Aus einigen Zwischenschichten können keine Probekörper hergestellt werden oder sie sind nicht stabil, wenn ihre Kanten in diesen kleinen Abmessungen freiliegen. Bei diesen Zwischenschichtmaterialien können die entsprechenden Eigenschaften der Zwischenschichten aus den Ergebnissen von Biegeprüfungen berechnet werden. Je nach dem Berechnungsverfahren, das für die Bemessung von Verbundglas verwendet wird, dürfen die relevanten Schubeigenschaften nach Anhang A bestimmt werden.

DMTA-Messgeräte haben einen begrenzten Frequenzbereich, für den in den einzelnen Teilen der Norm ISO 6721 (siehe oben) Anmerkungen angegeben werden. Um Modulwerte bei höheren oder niedrigeren Frequenzen zu erhalten, wird die Zeit-Temperatur-Superpositionsanalyse (TTS) angewendet. Anhand einer Reihe von Temperatur-Frequenz-Kurven wird die Zeitabhängigkeit der viskoelastischen Eigenschaften berechnet.

Um das TTS-Prinzip anzuwenden, muss sich die Probe thermorheologisch einfach verhalten (d. h. homogen, isotrop und amorph sein). Das Material muss unter den interessierenden Durchbiegungen linear viskoelastisch sein, d. h. die Durchbiegung muss als lineare Funktion der Spannung ausgedrückt werden, indem sehr geringe Verformungen angewendet werden.

Bei der Anwendung der WLF-TTS sollten die Verschiebungsfaktoren innerhalb des Glasübergangstemperaturbereichs verwendet werden. Bei einer Temperatur unterhalb der Glasübergangstemperatur dürfen andere TTS verwendet werden, etwa das Arrhenius-Modell.

Die Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Zwischenschichtmaterialien beinhaltet im Allgemeinen die folgenden Schritte:

- Schritt 1: Differential-Scanning-Kalorimetrie zur Bestimmung der thermomechanischen Phasen (kristallin, amorph) und der charakteristischen Temperaturen (Glasübergangstemperatur  $T_g$ , Kristallisationstemperatur  $T_c$  und Schmelztemperatur  $T_m$ ) – allgemein empfohlen; zusätzlich DMTA-TS zur Bestimmung der thermomechanischen Phasen (kristallin, amorph) und der charakteristischen Temperaturen (Glasübergangstemperatur  $T_g$ , Kristallisationstemperatur  $T_c$  und Schmelztemperatur  $T_m$ ).
- Schritt 2: DMTA-AS zur Überprüfung der linearen Viskoelastizität (Linearität in Spannung-Verformung und Zeit).
- Schritt 3: DMTA-TFS zur Erfassung einer Reihe von Kurven in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz. Es wird eine anschließende TTS-Behandlung mit Masterkurven angewendet, um das (die) Zeit-Temperatur-Superpositionsgesetz(e) und die Prony-Reihe (falls erforderlich) abzuleiten, siehe Anhang C.

ANMERKUNG 2 Die Werte des Schubrelaxationsmoduls  $G_{int}$ , die für Finite-Elemente-Berechnungen oder andere fortgeschrittene Berechnungsverfahren verwendet werden, können aus der Prony-Reihe abgeleitet werden.

- Schritt 4: Durchführung von Validierungsprüfungen in großem Maßstab (Biege-Kriechversuch).

Für anisotrope Materialien muss eine direkte Messung des Schubmoduls durchgeführt werden. Dies kann mittels DMTA oder nach Anhang A erfolgen.

ANMERKUNG 3 Für Materialien, aus denen keine kleinen Proben hergestellt werden können, kann Schritt 4 als ausreichend betrachtet werden (siehe Anhang A).

## 5.2 Probekörper

Die Probekörper müssen aus Proben hergestellt werden, die für eine normale Fertigung des Zwischenschichtmaterials repräsentativ sind. Die Probekörper müssen unter normalen Bedingungen bei der Verbundherstellung verarbeitet werden (siehe Anhang B).

**E DIN EN 16613:2024-03**  
**prEN 16613:2024 (D)**

Die Dicke  $h_{\text{int}}$  der Probekörper sollte nicht weniger als 0,50 mm und nicht mehr als 2,0 mm betragen. Das Schichten und Stapeln des Zwischenschichtmaterials, um eine ausreichende Dicke zu erreichen, muss für den normalen Fertigungsprozess repräsentativ sein.

Die Größe der Probekörper und die Toleranzen für die Abmessungen müssen nach den Anforderungen von ISO 6721-10 oder der entsprechenden Norm festgelegt werden.

Es sind zwei Sätze von Probekörpern erforderlich. Ein Satz von drei Probekörpern wird für die Bestimmung der Glasübergangstemperatur  $T_g$  verwendet (siehe 5.3.1). Der andere Satz von einem Probekörper wird zur Beurteilung der  $G_{\text{int}}(T, f)$ -Kurve verwendet (siehe 5.3.2).

Vor der Prüfung ist eine angemessene hygrothermische Konditionierung der Probekörper für eine reproduzierbare experimentelle Untersuchung unerlässlich. Wichtige Aspekte für die Konditionierung sind der Aushärtungs- und Vernetzungsgrad des Polymers und der Feuchtigkeitsgehalt des Polymers auf dem vorgesehenen Niveau. Die Lagerungsanweisungen des Herstellers müssen befolgt werden.

Die Probe muss zunächst verarbeitet, zur Stabilisierung über einen Zeitraum nach den Angaben des Zwischenschichtherstellers gelagert und für alle Zwischenschichttypen eine Woche lang im Labor konditioniert werden.

### **5.3 Prüfverfahren**

#### **5.3.1 Glasübergangstemperatur $T_g$ (Schritt 1)**

Zur Bestimmung der Glasübergangstemperatur des Zwischenschichtmaterials müssen erste Prüfungen an mindestens drei Prüfkörpern nach ISO 6721-11 durchgeführt werden. Diese wird verwendet, um die nach 5.3.2 abgeschätzten Temperaturen zu präzisieren. Alternativ kann auch die DSC-Messung nach EN ISO 11357-2 verwendet werden. Anhand der Messergebnisse können die Heizrate und der Temperaturbereich von DMTA-TFS (Schritt 3) festgelegt werden.

**ANMERKUNG 1** Wenn die Zwischenschicht nicht aus einem glasartigen Polymer besteht, kann es vorkommen, dass keine Glasübergangstemperatur bestimmt werden kann.

**ANMERKUNG 2** Ein striktes TTS-Verfahren gilt nur für thermorheologisch einfaches Material. Möglicherweise liegt nur ein Phasenübergang erster Ordnung vor, wie z. B. ein glasartiger Übergang oder eine Schmelze.

**ANMERKUNG 3** Im Falle von Polymermischungen (Gemischen), Blockcopolymeren oder anderen Copolymeren mit spezifischen Monomerverteilungen hat jede polymere Komponente ihr spezifisches rheologisches Verhalten in Abhängigkeit von der Temperatur. TTS gilt nicht für solche Mischungen oder Materialien.

Das Temperaturprogramm sollte wie folgt eingerichtet werden:  $T = [-40; +100]^\circ\text{C}$  mit einer Heizrate von 3 K/min. Die Frequenz sollte auf 1 Hz eingestellt werden und die Amplitude sollte im linear-viskoelastischen Bereich liegen. Der Temperatursweep sollte bei hohen Temperaturen beginnen und für alle Zwischenschichten abnehmen, außer bei Ionomeren (hier von niedrigen zu hohen Temperaturen). Die Messung muss einmal pro Probe wiederholt werden, da eine solche Temperaturbehandlung die Struktur des Polymermaterials verändern kann (Rekristallisation usw.). Anhand der Messergebnisse können die Heizrate und der Temperaturbereich von DMTA-TFS (Schritt 3) festgelegt werden.

#### **5.3.2 Bestimmung des temperatur- und zeitabhängigen Schubmoduls $G_{\text{int}}(T, t)$**

##### **5.3.2.1 Allgemeines**

Es muss eine Reihe von Prüfungen nach ISO 6721-10 durchgeführt werden, um  $G_{\text{int}}(T, t)$  für einen Bereich von Belastungsdauern  $t$  (oder Frequenzen  $f$ ) und einen Temperaturbereich  $T$  zu bestimmen, der ausreicht, um den Zwischenschichtmodul  $G_{\text{int}}$  zu definieren.

### 5.3.2.2 Messung der Amplitudensweeps mit dem DMTA-AS-Verfahren (Schritt 2)

Die DMTA-AS-Messung wird durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Prüfbedingungen (Temperatur, Frequenz) innerhalb des linearen viskoelastischen Bereichs des mechanischen Verhaltens liegen.

Es werden Amplitudensweeps mit einer Prüffrequenz von  $f = 1$  Hz bei verschiedenen Temperaturen ( $T_g - 40$  °C;  $T_g$ ;  $T_g + 40$  °C) durchgeführt. Diese Temperaturen liegen zwischen  $-40$  °C und  $+80$  °C. Die Amplitude darf bei den meisten Prüfungsarten und Zwischenschichtmaterialien im Bereich von 0,01 % bis 0,3 % eingestellt werden.

### 5.3.2.3 Messung der Temperatur-Frequenz-Sweeps mit dem DMTA-TFS-Verfahren (Schritt 3)

Die DMTA-TFS-Messung wird durchgeführt, um das zeit- und temperaturabhängige Materialverhalten zu bestimmen. Die Prüftemperaturen für die Temperatur-Frequenz-Sweeps müssen entsprechend den in Schritt 1 ermittelten thermomechanischen Bereichen des Polymers ausgewählt werden.

Die Prüfung sollte bei hohen Temperaturen beginnen und zu niedrigen Temperaturen übergehen, um die Auswirkungen der physikalischen Alterung des Polymers unterhalb von  $T_g$  zu minimieren. Bevor die Temperatur gesenkt wird, wird eine Haltephase von 5 min bis 10 min angewendet.

Der Frequenzbereich liegt zwischen 0,1 Hz und 10 Hz.

Die Eigenfrequenzen sollten vorher überprüft werden.

Bei PVB-Material liegen die allgemeinen Bedingungen bei  $T$  zwischen  $T_g - 40$  °C und  $T_g + 40$  °C.  $T_g$  liegt üblicherweise bei 20 °C, hängt aber vom Weichmachergehalt ab. Es wird empfohlen, ein Temperatur-Prüfprogramm mit Temperaturschritten von 2 °C bis 5 °C und einer maximalen Abkühlungsrate von 2 K/min durchzuführen.

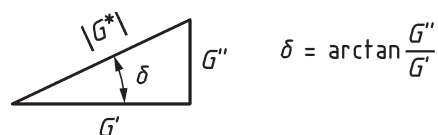
Bei EVA-Material liegen die allgemeinen Bedingungen bei  $T_g + 20$  °C und  $T_g + 100$  °C.  $T_g$  liegt in der Regel bei  $-40$  °C, hängt aber von den Verbindungsverhältnissen ab. Es wird empfohlen, ein Temperatur-Prüfprogramm mit Temperaturschritten von 2 °C bis 5 °C und einer maximalen Abkühlungsrate von 2 K/min durchzuführen.

Bei Ionomer-Material liegen die allgemeinen Bedingungen bei  $T$  zwischen  $T_g - 50$  °C und  $T_g + 40$  °C. Es wird empfohlen, ein Temperatur-Prüfprogramm mit Temperaturschritten von 2 °C bis 5 °C und einer maximalen Abkühlungsrate von 2 K/min durchzuführen. Bei diesem Material darf die Prüfung bei niedrigen Temperaturen beginnen und bei hohen Temperaturen enden.

Das Messverfahren ermöglicht den Zugriff auf den Speichermodul ( $G'$ , elastische Materialkomponente) und den Verlustmodul ( $G''$ , viskose Materialkomponente). Das Verhältnis  $G'/G''$  ergibt den Verlustfaktor  $\tan \delta$  ( $\delta$ , Phasenwinkel oder mechanischer Dämpfungsfaktor).

ANMERKUNG 1 Der Verlustfaktor ist in Bild 1 dargestellt. Der Phasenwinkel ist in Bild 2 dargestellt.

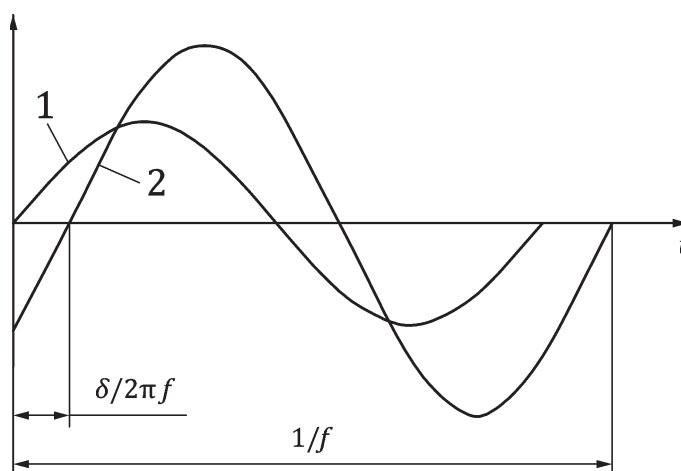
ANMERKUNG 2 In der Nähe von  $T_g$  wird oft eine Verschiebung der Reihe beobachtet. Sie ist auf einen entropischen Beitrag zur Retraktionskraft der Polymerkette zurückzuführen, der die freie Energie erhöht.



#### Legende

- $\delta$  Phasenwinkel, rad
- $G'$  Schubspeichermodul, MPa
- $G''$  Schubverlustmodul, MPa
- $|G^*|$  komplexer Schubmodul, MPa

**Bild 1 — Verlustfaktor**

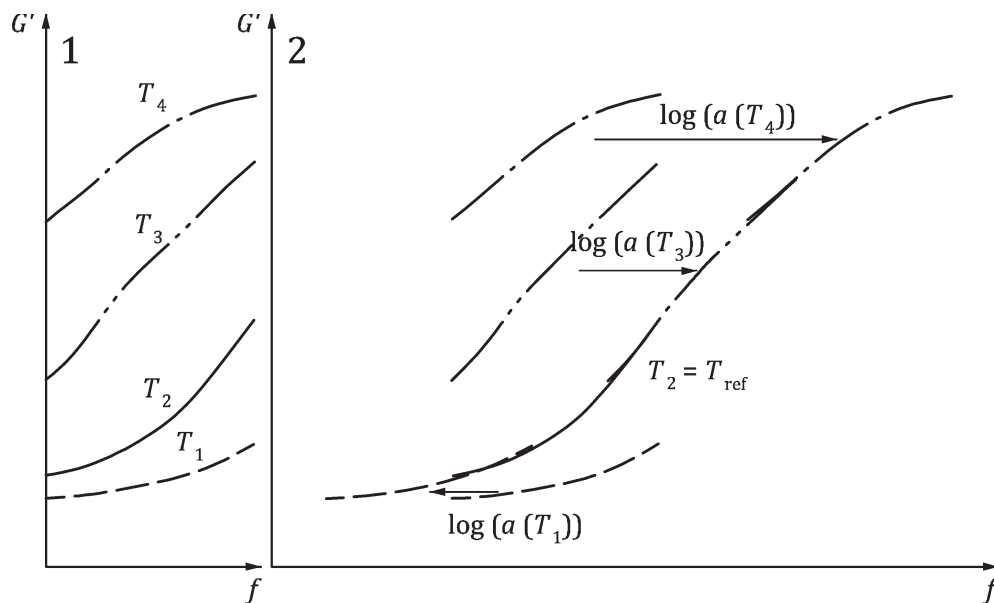


#### Legende

- $t$  Zeit, s
- 1 dynamische Spannung, MPa
- 2 dynamische Verformung, dimensionslos
- $\delta$  Phasenwinkel, rad
- $f$  Frequenz, Hz

**Bild 2 — Phasenwinkel**

Aus den Temperatur-Frequenz-Messreihen darf eine Masterkurve bei einer Referenztemperatur  $T_r$  durch rein horizontale Verschiebung der einzelnen Modulkurven erzeugt werden (Bild 3). Anhang C beschreibt die TTS-Modelle, die zur mathematischen Näherung der Verschiebungsfaktoren  $a(T)$  verwendet werden dürfen.



### Legende

- 1 Ergebnisse bei verschiedenen Prüftemperaturen
- 2 Umwandlungen in die Referenztemperatur  $T_2$  ergeben die Masterkurve
- $G'$  Schubspeichermodul, MPa
- $T_1$  bis  $T_4$  Temperaturen während der Prüfung, °C
- $a(T)$  temperaturabhängiger, horizontaler Verschiebungsfaktor, m
- $f$  Frequenz, Hz

**Bild 3 — Bestimmung der Masterkurve**

Die Referenztemperatur  $T_r$  muss gewählt werden.

ANMERKUNG 3 Üblicherweise wird für PVB eine Temperatur von 20 °C gewählt.

Die Masterkurve kann auch zur Bestimmung des in der Akustiksoftware verwendeten Schubmoduls verwendet werden (siehe Anhang D).

#### 5.3.2.4 Biege-Kriechversuche (Schritt 4)

Es müssen Biege-Kriechversuche an den Verbunden durchgeführt werden, um die DMTA-basierten Prony-Reihen und TTS zu validieren. Ziel ist es, die Durchbiegung für einen Temperaturbereich  $T$  und einen Belastungsdauerbereich  $t$  zu bestimmen, der ausreichend ist, um den Schubmodul der Zwischenschicht zu bestimmen.

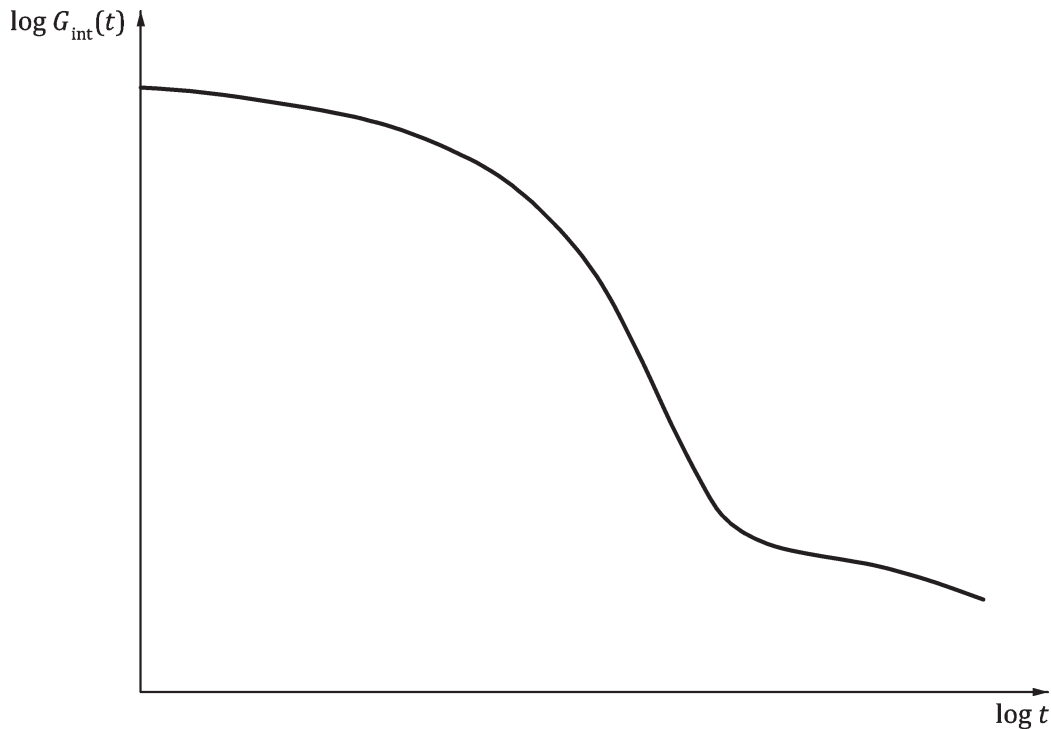
Im Hinblick auf die Auswertung der Kriech- und Relaxationsversuche kann der Zwischenschicht-Schubmodul für Zeiten  $t > 10 t_r$  berechnet werden (dabei ist  $t_r$  die Zeit, die zum Aufbringen der Last benötigt wird). Dieses Verfahren ist für einen  $G_{int}$ -Wert zwischen 0,5 MPa und 10 MPa anwendbar.

Der Biege-Kriechversuch ist in Anhang A beschrieben.

## 6 Auswertung der Spannungsübertragungseigenschaften

### 6.1 Bestimmung des temperatur- und zeitabhängigen Schubmoduls $G_{\text{int}}(T, t)$

Die Bestimmung des Zwischenschicht-Schubrelaxationsmoduls  $G_{\text{int}}(t)$  aus den Masterkurven  $G'$  und  $G''$  wird in Abschnitt C.1 beschrieben. Für jede beliebige Temperatur  $T$  kann ein Diagramm erstellt werden, in dem  $G_{\text{int}}(t)$  aufgezeichnet wird. Ein Beispiel hierfür ist in Bild 4 dargestellt.



#### Legende

$G_{\text{int}}(t)$  zeitabhängiger Schubrelaxationsmodul des Zwischenschichtmaterials, MPa

$t$  Zeit, s

**Bild 4 — Beispiel einer Darstellung des Schubrelaxationsmoduls der Zwischenschicht in Abhängigkeit von der Zeit bei einer bestimmten Temperatur**

### 6.2 Belastungsdauer und Temperaturbereiche

Anhaltswerte für die Dauer und Temperaturbereiche der verschiedenen Lastfälle sind in EN 16612:2019, Tabelle D.2, aufgeführt. Für die Windlast muss jedoch eine Dauer von 3 s für die Steifigkeitseigenschaften der Zwischenschicht angewendet werden.

## 7 Prüfbericht

Die in Schritt 1 bis Schritt 4 erzielten Ergebnisse müssen in einem Bericht nach der Normenreihe ISO 6721 und diesem Dokument festgehalten werden. Die folgenden Informationen sollten enthalten sein:

- Verweisung auf den entsprechenden Teil der Normenreihe ISO 6721 und auf dieses Dokument;
- eine vollständige Beschreibung des Zwischenschichtmaterials, einschließlich der chemischen Art, der Dicke bei Folien, des Handelsnamens oder der Codenummer des Herstellers, der Vorgeschichte, sofern diese bekannt ist;
- Datum der Prüfung;

- die Form und Abmessungen des Probekörpers (eventuell mit einem gezeichneten Schnitt oder Bildern);
- die Anzahl der geprüften Probekörper;
- eine Beschreibung des für die Prüfung verwendeten Geräts (Marke, Modell);
- das bei der Prüfung verwendete Temperaturprogramm, einschließlich der Anfangs- und Endtemperatur sowie der Rate der linearen Temperaturänderung oder der Größe und Dauer der Temperaturschritte, der dynamischen Verformungsamplitude und des Frequenzbereichs;
- charakteristische Temperaturen  $T_g$ ,  $T_m$ ,  $T_c$  und Beschreibung des Bewertungsverfahrens;
- grafische Darstellung der Masterkurve des komplexen Moduls  $|G^*|$ , Speichermoduls  $G'$  und Verlustmoduls  $G''$  bei der Bezugstemperatur  $T_r$ ;
- Tabellen mit dem Schubrelaxationsmodul  $G_{\text{int}}$  für bestimmte Lastszenarien nach EN 16612:2019, Tabelle D.2;
- Prony-Parameter sowie die Parameter für die Temperaturverschiebungsfunktion;
- Beschreibung und Ergebnisse der Kriechversuche;
- optional: Polynomkoeffizienten für Schubspeichermodul  $G'$  und Schubverlustmodul  $G''$ , die für Anhang D verwendet werden können.

## Anhang A (normativ)

### Verfahren für Biege-Kriechversuche zur Bestimmung der Zwischenschichteigenschaften

#### A.1 Allgemeines

Dieses Verfahren kann verwendet werden, um die Schubübertragung von Folgendem zu bestimmen:

- anisotrope Zwischenschichten und Zwischenschichten, die nicht zu kleinen Prüfkörpern geformt werden können, oder
- in Schritt 4 (siehe 5.3.2.3).

Für die Validierung der Zwischenschichteigenschaften und der Prony-Reihe können zwei verschiedene Optionen verwendet werden:

- a) die Schubmodulwerte aus der DMTA können mit denen aus dem Kriechversuch verglichen werden;
- b) die aus der Prony-Reihe abgeleiteten Modulwerte werden zur Berechnung der Durchbiegung verwendet, und die Durchbiegung wird mit derjenigen aus dem Kriechversuch verglichen.

Dieser Anhang enthält nur zusätzliche Informationen zu Option a).

Auf Grundlage der Messung der Durchbiegung einer Probe unter Last werden die folgenden Größen bestimmt:

- die effektive Dicke des Verbundes unter den angewandten Lastverhältnissen – Gleichung (A.6);
- der Spannungsübertragungskoeffizient  $\omega$ , wie er in diesem Dokument und in EN 16612 vorkommt – Gleichung (A.5);
- der Kopplungsfaktor  $\eta$ , wie er in CEN/TS 19100-2 vorkommt, basierend auf der effektiven Dicke des Verbundes – Gleichung (A.8) und Gleichung (A.9);
- der Zwischenschichtmodul, berechnet anhand des Kopplungsfaktors  $\eta$  – Gleichung (A.10), Gleichung (A.11) und Gleichung (A.12);
- der Kopplungsfaktor  $\eta$ , wie er in CEN/TS 19100-2 auf Grundlage eines bekannten Zwischenschichtmoduls vorkommt – Gleichung (A.14), Gleichung (A.15) und Gleichung (A.16).

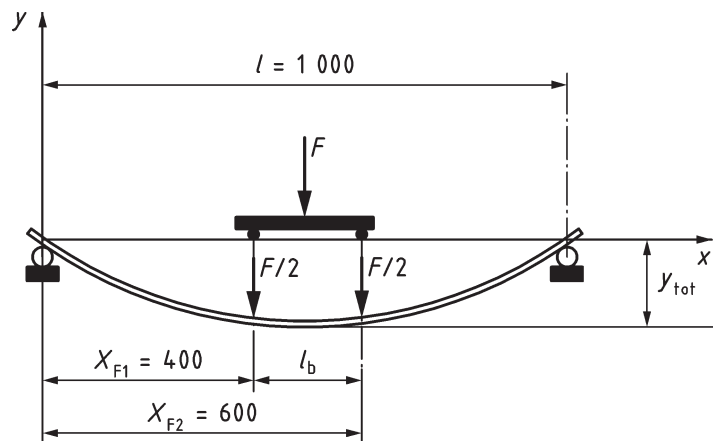
#### A.2 Verfahren

Die Probekörper müssen aus Proben hergestellt werden, die für die normale Produktion von Zwischenschichtmaterialien repräsentativ sind. Die Probekörper müssen unter normalen Bedingungen bei der Verbundherstellung verarbeitet sein.

Eine Reihe von Prüfungen muss nach den Grundsätzen von EN 1288-3 durchgeführt werden (siehe Bild A.1), ohne die Probekörper zu brechen.

Ziel ist es, die Durchbiegung für einen Temperaturbereich  $T$  und einen Belastungsdauerbereich  $t$  zu messen, die ausreichen, um den Schubrelaxationsmodul  $G_{\text{int}}$  für die in EN 16612:2019, Tabelle D.2, angegebenen Dauern und Temperaturen zu bestimmen, wobei die Spezifikationen von 5.2.5.3 zu berücksichtigen sind.

Maße in mm



### Legende

- $x$   $x$ -Achse zur Darstellung der waagerechten Lage, m
- $x_{F1}$  Abstand zwischen der ersten Auflagerrolle und der ersten Biegerolle, mm
- $x_{F2}$  Abstand zwischen der ersten Auflagerrolle und der zweiten Biegerolle, mm
- $y$   $y$ -Achse, die die Vertikalverschiebung darstellt, mm
- $y_{tot}$  Gesamtdurchbiegung unter Eigengewicht und punktuellen Lasten, mm
- $l$  Abstand zwischen den Mittellinien der Auflagerrollen, m
- $l_b$  Abstand zwischen den Mittellinien der Biegerollen, mm
- $F$  Last während des Vierschneiden-Verfahrens, kN

**Bild A.1 — Strukturmodell der Biegeprüfung nach EN 1288-3**

## A.3 Probekörper

Die Probe muss aus 3 Probekörpern aus Zwei-Lagen-Verbundglas aus Floatglas mit den Abmessungen 1 100 mm × 360 mm bestehen. Die Gesamtdicke der Scheibe sollte so gewählt werden, dass die Durchbiegung infolge der Eigenlast minimiert wird.

Der Probekörper muss so beschaffen sein, dass:

- die Spannung bei Langzeit-Belastung 10 MPa nicht überschreiten sollte;
- die Spannung bei Kurzzeit-Belastung 25 MPa nicht überschreiten sollte.

Die Fehlergrenze der Durchbiegungsmessung von 5 % sollte berücksichtigt werden. Die Breite  $b$  der Proben wird in der Feldmitte und oberhalb der Auflagerrollen gemessen. Der Durchschnittswert der drei Messungen,  $b_{ave}$ , wird für die Bestimmung der effektiven Dicke  $h_{ef,wt}$  herangezogen. Die Genauigkeit der Messung liegt bei  $\pm 1$  mm.

Aufgrund der Viskoelastizität der Materialien hängt dies stark von dem Temperaturbereich ab, der geprüft wird. Insbesondere bei Temperaturen oberhalb der Glasübergangstemperatur kann die anfängliche Durchbiegung bereits viskose Anteile enthalten, die von der Eigenlast abhängen und daher nicht von der rein elastischen Reaktion unterschieden werden können. Das Warten auf eine Stabilisierung kann genau durch diese verzögerte viskose Reaktion beeinflusst werden. Es wird empfohlen, vorher durch eine Berechnung in Abhängigkeit von den Randbedingungen und der Temperatur der Prüfung zu prüfen, ob dieser Effekt vernachlässigt werden kann.

**ANMERKUNG** Einige Erzeugnisse werden auf dünnen Glassubstraten gefertigt. Damit die Probe repräsentativ ist, kann ein asymmetrischer Verbundaufbau verwendet werden, z. B. Verbundglas aus 3-mm-Glasscheibe/Zwischenschicht/6-mm-Glasscheibe.