

DIN EN ISO 6721-1

ICS 83.080.01

Einsprüche bis 2018-04-02
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 6721-1:2011-08

Entwurf

**Kunststoffe –
Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften –
Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO/DIS 6721-1:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 6721-1:2018**

Plastics –
Determination of dynamic mechanical properties –
Part 1: General principles (ISO/DIS 6721-1:2018);
German and English version prEN ISO 6721-1:2018

Plastiques –
Détermination des propriétés mécaniques dynamiques –
Partie 1: Principes généraux (ISO/DIS 6721-1:2018);
Version allemande et anglaise prEN ISO 6721-1:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-02-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fnk@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Kunststoffe (FNK), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 59 Seiten

DIN-Normenausschuss Kunststoffe (FNK)
DIN-Normenausschuss Elastomer-Technik (NET)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6721-1:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 61 „Plastics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 249 „Kunststoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NBN (Belgien) gehalten wird.

Das zuständige deutsche/nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 054-01-03 AA „Physikalische, rheologische und analytische Prüfungen“ im DIN-Normenausschuss Kunststoffe (FNK).

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.

DIN EN ISO 6721 besteht unter dem allgemeinen Titel *Kunststoffe — Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Grundlagen
- Teil 2: Torsionspendel-Verfahren
- Teil 3: Biegeschwingung; Resonanzkurven-Verfahren

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 291	siehe DIN EN ISO 291
ISO 293	siehe DIN EN ISO 293
ISO 294 (all parts)	siehe DIN EN ISO 294 (alle Teile)
ISO 295	siehe DIN EN ISO 295
ISO 472	siehe DIN EN ISO 472
ISO 2818	siehe DIN EN ISO 2818
ISO 6721-2	siehe DIN EN ISO 6721-2

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 6721-1:2011-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- b) Korrektur von Bild 1;
- c) 5.3 Temperierkammer aktualisiert;
- d) Fehlergrenzen in 5.3 und 9.2 absoluten und prozentualen Werten angegeben;
- e) Norm redaktionell angepasst.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 291, *Kunststoffe — Normalklimate für Konditionierung und Prüfung*

DIN EN ISO 293, *Kunststoffe — Formgepresste Probekörper aus Thermoplasten*

DIN EN ISO 294 (alle Teile), *Kunststoffe — Spritzgießen von Probekörpern aus Thermoplasten*

DIN EN ISO 295, *Kunststoffe — Pressen von Probekörpern aus duroplastischen Werkstoffen*

DIN EN ISO 472, *Kunststoffe — Fachwörterverzeichnis*

DIN EN ISO 2818, *Kunststoffe — Herstellung von Probekörpern durch mechanische Bearbeitung*

DIN EN ISO 6721-2, *Kunststoffe — Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften — Teil 2: Torsionspendel-Verfahren*

— Leerseite —

Kunststoffe — Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften — Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO/DIS 6721-1:2018)

Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 1 : Principes généraux (ISO/DIS 6721-1:2018)

Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 1: General principles (ISO/DIS 6721-1:2018)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Kurzbeschreibung	14
5 Prüfeinrichtung	17
5.1 Typ	17
5.2 Mechanische Teile, elektronische Einrichtung und Aufzeichnungssystem	17
5.3 Temperierkammer	18
5.4 Gaszufuhr	18
5.5 Gerät zur Messung der Temperatur	18
5.6 Gerät zur Messung der Probekörpermaße	18
6 Probekörper	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Form und Maße	18
6.3 Herstellung	19
7 Anzahl der Probekörper	19
8 Konditionierung	19
9 Durchführung	19
9.1 Prüfklima	19
9.2 Messung des Probekörperquerschnitts	19
9.3 Einbau des Probekörpers	19
9.4 Änderung der Temperatur	20
9.5 Änderung der Frequenz	20
9.6 Änderung der dynamischen Dehnungsamplitude	20
10 Auswertung	21
11 Präzision	21
12 Prüfbericht	21
Anhang A (informativ) Resonanzkurven	23
Anhang B (informativ) Abweichungen vom linearen Verhalten	29
Literaturhinweise	30

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6721-1:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 61 „Plastics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 249 „Kunststoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NBN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 6721-1:2011 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 6721-1:2018 wurde von CEN als prEN ISO 6721-1:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 61, *Plastics*, Unterkomitee SC 5, *Physical-chemical properties*, erarbeitet.

Diese vierte Ausgabe ersetzt die dritte Ausgabe (ISO 6721-1:2011), die technisch überarbeitet wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 6721 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Die in den ersten neun Teilen von ISO 6721 festgelegten Verfahren können zur Bestimmung von Speicher- und Verlustmoduln von Kunststoffen bei unterschiedlichen Temperaturen oder Frequenzen angewendet werden, indem die Probekörpertemperatur oder die Schwingfrequenz verändert werden. Aufzeichnungen der Speicher- oder Verlustmoduln oder von beiden lassen auf die viskoelastischen Merkmale des Probekörpers schließen. Bereiche schneller Änderungen in den viskoelastischen Eigenschaften bei bestimmten Temperaturen oder Frequenzen weisen gewöhnlich auf Übergangsbereiche hin. Weiterhin kann von den Temperatur- und Frequenzabhängigkeiten des Verlustmoduls auf die Schall- und Schwingungsdämpfung von Polymeren oder von Metall-Polymersystemen geschlossen werden.

Offenbare Unstimmigkeiten können bei Ergebnissen auftreten, die unter verschiedenen experimentellen Bedingungen erhalten wurden. Wenn bei unveränderter Wiedergabe der ermittelten Daten die Bedingungen, unter denen sie erhalten wurden, vollständig angegeben werden (wie in den verschiedenen Teilen von ISO 6721 beschrieben), wird damit ermöglicht, beobachtete scheinbare Unterschiede miteinander in Einklang zu bringen.

Die Definitionen der komplexen Moduln gelten exakt nur für sinusförmige Schwingungen mit konstanter Amplitude und konstanter Frequenz während jeder Messung. Andererseits sind Messungen kleiner Phasenwinkel zwischen Spannung und Verformung unter den angegebenen Bedingungen mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Da diese Schwierigkeiten bei einigen Verfahren, die auf frei abklingenden Schwingungen und/oder in Resonanznähe veränderter Frequenz beruhen, nicht auftreten, werden diese Verfahren häufig angewendet (siehe ISO 6721-2 und ISO 6721-3). In diesen Fällen sind einige der Gleichungen, die die viskoelastischen Eigenschaften definieren, nur näherungsweise gültig.

1 Anwendungsbereich

Die verschiedenen Teile von ISO 6721 legen Verfahren zur Bestimmung der dynamisch-mechanischen Eigenschaften von steifen Kunststoffen im Bereich des linear-viskoelastischen Verhaltens fest. Dieser Teil von ISO 6721 ist ein Einführungsteil, der die Definitionen und alle Gesichtspunkte enthält, die für die einzelnen, in den folgenden Teilen beschriebenen Prüfverfahren gültig sind.

Unterschiedliche Deformationsarten können Ergebnisse hervorrufen, die nicht direkt vergleichbar sind. Zum Beispiel ergeben Zugschwingungen Spannungen, die über die gesamte Dicke des Probekörpers gleichförmig sind, während Biege-Messungen bevorzugt durch die Eigenschaften von Oberflächen-Gebieten des Probekörpers beeinflusst sind.

Eigenschaftswerte aus Biegeprüfungen sind nur mit solchen aus Zugprüfungen vergleichbar in Spannungsbereichen, in denen die Spannungs-Dehnungs-Beziehung linear ist, und für Probekörper mit homogener Struktur.

2 Normative Verweisungen

Auf die folgenden Dokumente wird in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes normativ verwiesen, so dass sie für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich sind. 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).

ISO 291, *Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 293, *Plastics — Compression moulding of test specimens of thermoplastic materials*

ISO 294 (all parts), *Plastics — Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials*

ISO 295, *Plastics — Compression moulding of test specimens of thermosetting materials*

ISO 1268 (all parts), *Fibre-reinforced plastics — Methods of producing test plates*

ISO 2818, *Plastics — Preparation of test specimens by machining*

ISO 4593, *Plastics — Film and sheeting — Determination of thickness by mechanical scanning*

ISO 6721-2, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 2: Torsion-pendulum method*

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

ISO 6721-5, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 5: Flexural 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 6721-8, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 8: Longitudinal and shear vibration — Wave-propagation method*

ISO 6721-9, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 9: Tensile vibration — Sonic-pulse propagation method*

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

ISO 6721-12, *Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 12: Compressive vibration — Non-resonance method*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Einige der hier definierten Begriffe sind auch definiert in ISO 472 [7]. Die hier gegebenen Definitionen sind nicht streng identisch, jedoch gleichwertig mit denen in ISO 472.

3.1 komplexer Modul

M^*

Verhältnis aus dynamischer Spannung, gegeben durch $\sigma(t) = \sigma_A \exp(i2\pi ft)$, und dynamischer Verformung, gegeben durch $\varepsilon(t) = \varepsilon_A \exp[i(2\pi ft - \delta)]$, eines viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Schwingung ausgesetzt ist, wobei σ_A und ε_A die Spannungs- und Dehnungsamplituden sind, f die Frequenz, δ der Phasenwinkel zwischen Spannung und Dehnung (siehe 3.5 und Bild 1) und t die Zeit ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird angegeben in Pascal (Pa).

Anmerkung 2 zum Begriff: Abhängig von der Verformungsart kann der komplexe Modul von unterschiedlichem Typ sein: E^* , G^* , K^* oder L^* (siehe Tabelle 3).

$$M^* = M' + iM'' \text{ (siehe 3.2 und 3.3)} \quad (1)$$

Dabei ist

$$i = (-1)^{1/2} = \sqrt{-1}$$

Für Beziehungen zwischen den komplexen Moduln siehe Tabelle 1.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei isotropen viskoelastischen Materialien sind nur zwei der elastischen Parameter G^* , E^* , K^* , L^* und μ^* voneinander unabhängig (wobei μ^* die komplexe Poisson-Zahl ist, nach $\mu^* = \mu' + i\mu''$).

Anmerkung 4 zum Begriff: Der kritischste Term, der die Poisson-Zahl μ enthält, ist der „Volumenterm“ $1 - 2\mu$, der Werte zwischen 0 und 0,4 für μ zwischen 0,5 und 0,3 hat. Die Beziehungen in Tabelle 1, die den „Volumenterm“ $1 - 2\mu$ enthalten, können nur angewendet werden, wenn dieser Term mit genügender Genauigkeit bekannt ist.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, kann der „Volumenterm“ $1 - 2\mu$ mit einigem Vertrauen nur aus der Kenntnis des Kompressionsmoduls K oder dem einachsigen Dehnmodul L und entweder E oder G abgeschätzt werden. Dies beruht darauf, dass bei K - und L -Messungen Deformationen mit relativ hohem Anteil von Volumen-Dehnung auftreten.

Anmerkung 5 zum Begriff: Bisher wurden keine Messungen des dynamisch-mechanischen Kompressionsmoduls K und nur eine geringe Anzahl von Ergebnissen, die sich auf Relaxationsexperimente beziehen, bei denen $K(t)$ gemessen wurde, in der Literatur beschrieben.

Anmerkung 6 zum Begriff: Der einachsige Dehnmodul L beruht auf einer Belastung mit hohem Anteil an Kompressions-Spannung. Deshalb gleichen Werte von L das Fehlen der K -Werte aus, und der „Volumenterm“ $1 - 2\mu$ kann mit ausreichender Genauigkeit aus den Modulpaaren (G, L) und (E, L) bestimmt werden. Das Paar (G, L) wird bevorzugt, weil G auf Belastungen ohne hydraulischem Anteil beruht.

Anmerkung 7 zum Begriff: Die Beziehungen nach Tabelle 1 gelten für die komplexen Moduln wie für die entsprechenden Beträge der Moduln (siehe 3.4).

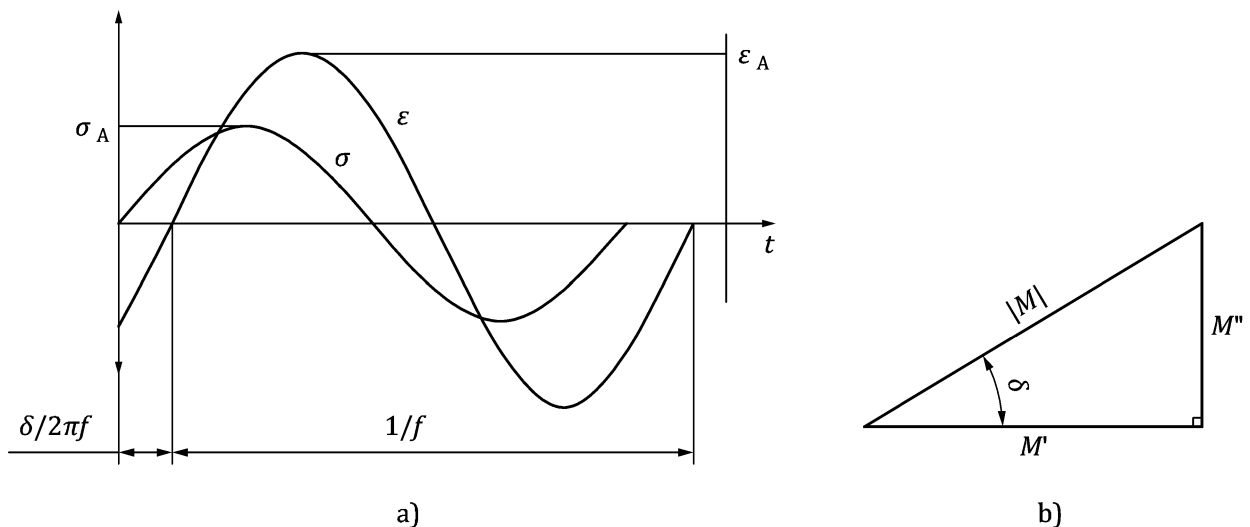
Anmerkung 8 zum Begriff: Die meisten Beziehungen zur Berechnung der Moduln, die in den anderen Teilen dieser Internationalen Norm angegeben werden, gelten nicht genau. Sie berücksichtigen z. B. nicht „Endeffekte“ der Probekörper, die durch das Einspannen verursacht werden, und schließen weitere Vereinfachungen ein. Die Anwendung der Beziehungen von Tabelle 1 setzt deshalb häufig voraus, dass zusätzliche Korrekturen gemacht werden (siehe z. B. die Zitate [1] und [2] in den Literaturhinweisen).

Anmerkung 9 zum Begriff: Für linear-viskoelastisches Verhalten ist die komplexe Nachgiebigkeit C^* der Kehrwert des komplexen Moduls M^* , d. h.

$$M^* = (C^*)^{-1} \quad (2)$$

Daher ist

$$M' + iM'' = \frac{C' - iC''}{(C')^2 + (C'')^2} \quad (3)$$



Die Phasenverschiebung $\delta/2\pi f$ zwischen Spannung σ und Dehnung ϵ eines viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Schwingung ausgesetzt ist (σ_A und ϵ_A sind die jeweiligen Amplituden, f ist die Frequenz)

Die Beziehung zwischen dem Speichermodul M' , dem Verlustmodul M'' , dem Phasenwinkel δ und dem Betrag $|M|$ des komplexen Moduls M^*

Bild 1 — Phasenwinkel und komplexer Modul

Tabelle 1 — Beziehungen zwischen den Moduln für homogen-isotrope Werkstoffe

	G und μ	E und μ	K und μ	G und E	G und K	E und K	G und L^a
Poisson-Zahl, μ $1 - 2\mu =^b$				$3 - \frac{E}{G}$	$\frac{G/K}{1 + G/3K}$	$\frac{E}{3K}$	$\frac{1}{L/G - 1}$
Schubmodul, $G =$		$\frac{E}{2(1 + \mu)}$	$\frac{3K(1 - 2\mu)}{2(1 + \mu)}$			$\frac{E}{3 - E/3K}$	
Zugmodul, $E =$	$2G(1 + \mu)$		$3K(1 - 2\mu)$		$\frac{3G}{1 + G/3K}$		$\frac{3G(1 - 4G/3L)}{1 - G/L}$
Kompressionsmodul, $K =^c$	$\frac{2G(1 + \mu)}{3(1 - 2\mu)}$	$\frac{E}{3(1 - 2\mu)}$		$\frac{G}{3(3G/E - 1)}$			$L - \frac{4G}{3}$
Einachsiger Dehnungs- oder Longitudinalwellenmodul, $L =$	$\frac{2G(1 - \mu)}{1 - 2\mu}$	$\frac{E(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}$	$\frac{3K(1 - \mu)}{1 + \mu}$	$\frac{G(4G/E - 1)}{3G/E - 1}$	$K + \frac{4G}{3}$	$\frac{K(1 + E/3K)}{1 - E/9K}$	
^a Siehe Anmerkung 6 zu Definition 3.1. ^b Siehe Anmerkung 4 zu Definition 3.1. ^c Siehe Anmerkung 5 zu Definition 3.1.							

3.2

Speichermodul

M'

Realteil des komplexen Moduls M^* [siehe Bild 1 b)]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Speichermodul wird angegeben in Pascal (Pa).

Anmerkung 2 zum Begriff: Er ist proportional zur maximal während einer Belastungsperiode gespeicherten Arbeit und stellt die Steifigkeit eines viskoelastischen Werkstoffs dar.

Anmerkung 3 zum Begriff: Abhängig von der Deformationsart sind die Typen von Speichermoduln: E'_t Zugspeichermodul, E'_f Biegespeichermodul, G'_s Schubspeichermodul, G'_{to} Torsionsspeichermodul, K' Kompressions-Speichermodul, L'_c einachsiger Dehnspeichermodul und L'_w Longitudinalwellenspeichermodul.

3.3

Verlustmodul

M''

Imaginärteil des komplexen Moduls M^* [siehe Bild 1 b)]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Verlustmodul wird angegeben in Pascal (Pa).

Anmerkung 2 zum Begriff: Er ist proportional zur Arbeit, die während einer Belastungsperiode dissipiert (dem System entzogen) wird. Wie für den Speichermodul (siehe 3.2) wird die Deformationsart nach Tabelle 3 bezeichnet, z. B. ist E''_t der Zugverlustmodul.

3.4

Betrag des komplexen Moduls

$|M|$

quadratischer Mittelwert aus Speicher- und Verlustmodul nach der Gleichung

$$|M|^2 = (M')^2 + (M'')^2 = (\sigma_A/\varepsilon_A)^2 \quad (4)$$

Dabei sind σ_A und ε_A die Amplituden der Spannung und der Dehnung.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Betrag wird angegeben in Pascal (Pa).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Beziehung zwischen dem Speichermodul M' , dem Verlustmodul M'' , dem Phasenwinkel δ und dem Betrag $|M|$ des komplexen Moduls M^* ist in Bild 1 b) dargestellt. Wie für den Speichermodul wird die Deformationsart nach Tabelle 3 bezeichnet, z. B. ist $|E_t|$ der Betrag des komplexen Zugmoduls.

3.5

Phasenwinkel

δ

Phasenverschiebung zwischen der dynamischen Spannung und dynamischen Verformung eines viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Schwingung ausgesetzt ist (siehe Bild 1)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Phasenwinkel wird angegeben in Radiant (rad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Wie für den Speichermodul (siehe 3.2) wird die Deformationsart nach Tabelle 3 bezeichnet, z. B. ist δ_t der Zugverlustwinkel.

3.6

Verlustfaktor

$\tan\delta$

Verhältnis zwischen Verlust- und Speichermodul nach der Gleichung

$$\tan\delta = M''/M' \quad (5)$$

Dabei ist δ der Phasenwinkel zwischen Spannung und Verformung (siehe 3.5).

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Verlustfaktor wird als dimensionslose Zahl angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Gemeinhin wird $\tan\delta$ als ein Maß für die Dämpfung eines viskoelastischen Systems angewendet. Wie für den Speichermodul (siehe 3.2) wird die Deformationsart nach Tabelle 3 bezeichnet, z. B. ist $\tan\delta_t$ der Zugverlustfaktor.

3.7

Spannungs-Dehnungs-Hystereseschleife

Spannung als Funktion der Verformung eines viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Schwingung ausgesetzt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Lineare Viskoelastizität vorausgesetzt, ist diese Kurve eine Ellipse (siehe Bild 2).

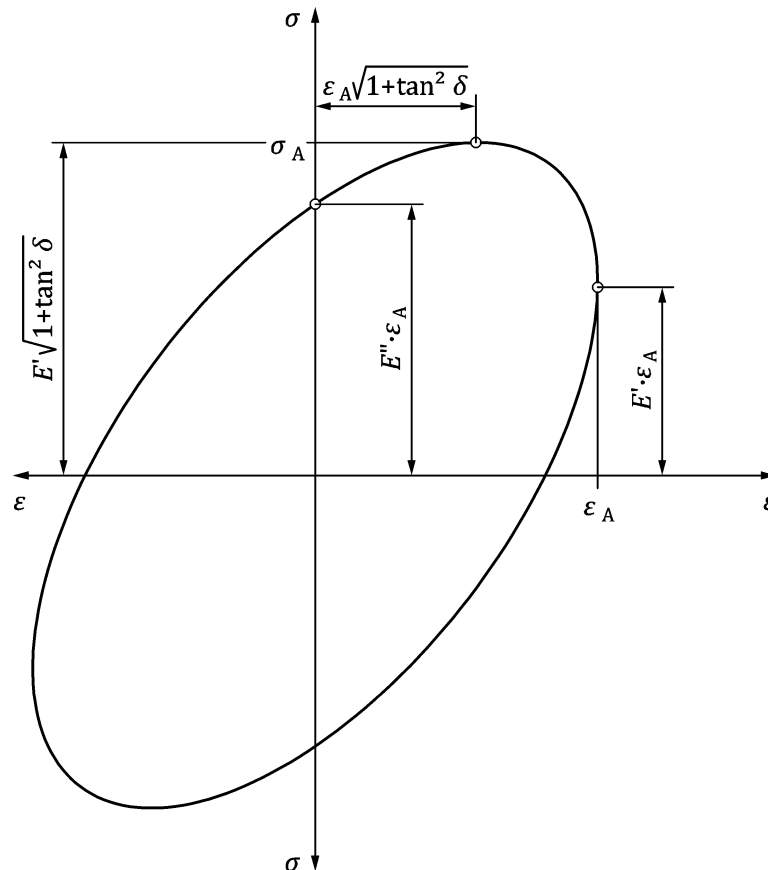


Bild 2 — Spannungs-Dehnungs-Hystereseschleife eines linear-viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Zugschwingung ausgesetzt ist

3.8 gedämpfte Schwingung

zeitabhängige Deformation oder Deformationsrate $X(t)$ eines zu frei abklingenden Schwingungen angeregten viskoelastischen Systems (siehe Bild 3) nach der Gleichung

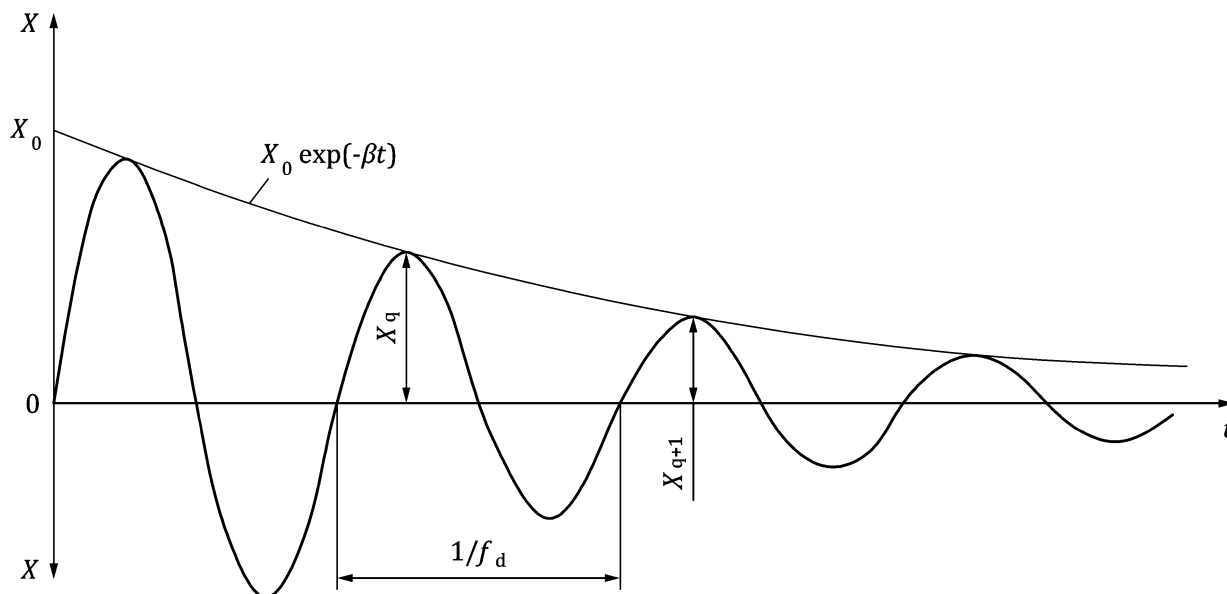
$$X(t) = X_0 \exp(-\beta t) \times \sin 2\pi f_d t \quad (6)$$

Dabei ist

X_0 der Anfangswert der Einhüllenden der Maximalwerte;

f_d die Frequenz des gedämpften Systems;

β die Abklingkonstante (siehe 3.9).



Legende

- X ist die zeitabhängige Deformation oder Deformationsgeschwindigkeit
 X_q ist die Amplitude der q -ten Periode
 X_0 und β bestimmen die Einhüllende des exponentiellen Abklingens der Periodenamplituden — siehe Gleichung (6)

Bild 3 — Kurve der gedämpften Schwingungen eines zu frei abklingenden Schwingungen angeregten viskoelastischen Systems

3.9
Abklingkonstante
 β
 Koeffizient, der das zeitabhängige Abklingen der gedämpften freien Schwingung bestimmt, d. h. die Abhängigkeit der Maximalwerte X_q der Deformation oder der Deformationsrate von der Zeit [siehe Bild 3 und Gleichung (6)]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Abklingkonstante wird angegeben in reziproken Sekunden (s^{-1}).

3.10
logarithmisches Dekrement
 Λ
 natürlicher Logarithmus des Verhältnisses von zwei in derselben Richtung aufeinander folgenden Maximalwerten der gedämpften Schwingung eines viskoelastischen Systems (siehe Bild 3) nach der Gleichung

$$\Lambda = \ln\left(\frac{X_q}{X_{q+1}}\right) \quad (7)$$

Dabei sind X_q und X_{q+1} zwei in derselben Richtung aufeinander folgende Maximalwerte der Deformation oder Deformationsrate.

Anmerkung 1 zum Begriff: Das logarithmische Dekrement wird als dimensionslose Zahl angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Es wird als ein Maß für die Dämpfung eines viskoelastischen Systems angewendet.

Anmerkung 3 zum Begriff: In Abhängigkeit von der Abklingkonstante β und der Frequenz f_d ist das logarithmische Dekrement gegeben durch Gleichung (8).

$$\Lambda = \frac{\beta}{f_d} \quad (8)$$

Anmerkung 4 zum Begriff: Der Verlustfaktor $\tan\delta$ hängt näherungsweise mit dem logarithmischen Dekrement über die Gleichung zusammen

$$\tan\delta \approx \frac{\Lambda}{\pi} \quad (9)$$

Anmerkung 5 zum Begriff: Gedämpfte frei abklingende Schwingungen sind besonders geeignet, den Typ der Dämpfung im geprüften Material zu analysieren (d. h. ob linear-viskoelastisches oder nicht-lineares Verhalten vorliegt) und Reibung zwischen bewegten und festen Teilen des Prüfgeräts zu analysieren (siehe Anhang B).

3.11

Resonanzkurve

Kurve, die die Frequenzabhängigkeit der Deformationsamplitude D_A oder der Deformationsraten-Amplitude R_A eines trägheitsbehafteten viskoelastischen Systems beschreibt, das erzwungenen Schwingungen mit konstanter Belastungsamplitude L_A unterliegt, bei Frequenzen dicht bei und einschließlich Resonanz (siehe Bild 4 und Anhang A)

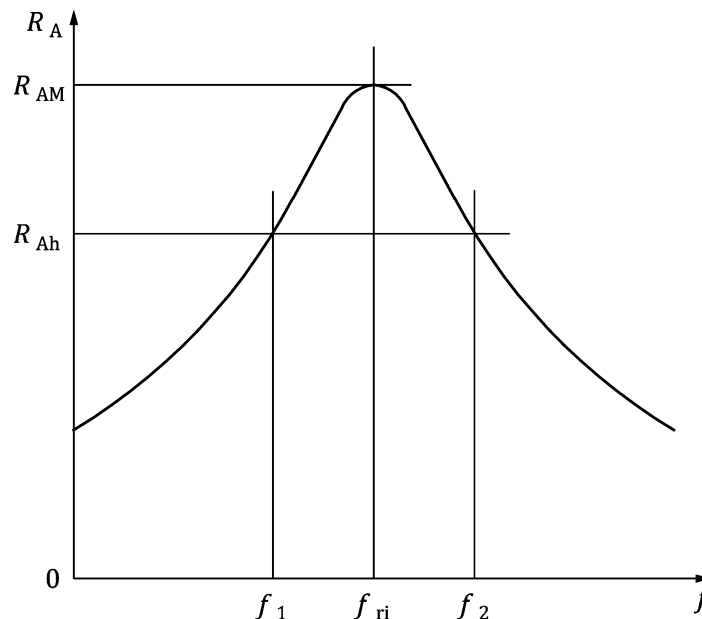


Bild 4 — Resonanzkurve eines erzwungenen Schwingungen ausgesetzten viskoelastischen Systems
(Maximalwert R_A der Deformationsgeschwindigkeit als Funktion der Frequenz f bei konstanter Belastungsamplitude; logarithmische Frequenzskala)

3.12

Resonanzfrequenzen

f_{ri}

Frequenzen der Maximalwerte einer Resonanzkurve

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Index i ist die Ordnungszahl der Resonanz.

Anmerkung 2 zum Begriff: Resonanzfrequenzen werden angegeben in Hertz (Hz).

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Resonanzfrequenzen viskoelastischer Materialien aus Messungen der Maximalwerte der Deformation unterscheiden sich geringfügig von denen aus Messungen der Maximalwerte der Deformationsrate, wobei der Unterschied mit der Materialdämpfung ansteigt (siehe Anhang A). Speicher- und Verlustmodule sind in exakten, einfachen Ausdrücken durch die Resonanzfrequenzen aus Deformationsraten-Kurven gegeben. Die Anwendung von Resonanzfrequenzen aus Deformationsmessungen führt zu kleinen Fehlern, die bei hoher Dämpfung der Probe bedeutend werden. In diesen Fällen sind Resonanzprüfungen ungeeignet.

3.13

Breite der Resonanzkurve

Δf_i

Differenz zwischen den Frequenzen f_1 und f_2 der i -ten Resonanz, bei denen die Höhe R_{Ah} der Resonanzkurve bei f_1 und f_2 sich zur Maximalhöhe R_{AMi} der i -ten Resonanz verhält nach

$$R_{Ah} = 2^{-1/2} R_{AM} = 0,707 R_{AM} \quad (10)$$

(siehe Bild 4)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Breite Δf_i wird angegeben in Hertz (Hz).

Anmerkung 2 zum Begriff: Sie hängt mit dem Verlustfaktor $\tan \delta$ über die Gleichung zusammen

$$\tan \delta = \frac{\Delta f_i}{f_{ri}} \quad (11)$$

Wenn sich der Verlustfaktor im Frequenzbereich der Breite Δf_i nicht merklich ändert, gilt Gleichung (11) exakt, sofern die Resonanzkurve auf Maximalwerten der Deformationsraten-Amplitude beruht (siehe Anhang A).

4 Kurzbeschreibung

Ein Probekörper bekannter Geometrie wird einer mechanischen Schwingung unterworfen, deren Typ durch zwei Merkmale beschrieben wird: die Art der Schwingung und die Art der Deformation.

Vier Schwingungsarten I bis IV sind möglich, je nachdem, ob sie auf nicht resonanten Schwingverfahren, Eigenschwingungs- (in Resonanz) oder resonanznahen Verfahren beruhen. Diese Arten sind in Tabelle 2 beschrieben.

Der einzelne Modultyp hängt von der entsprechenden Deformationsart ab (siehe Tabelle 3).

In Tabelle 4 sind für die unterschiedlichen Modultypen übliche Prüfverfahren aufgeführt. Tabelle 5 gibt einen schematischen Überblick über Prüfverfahren nach den verschiedenen Teilen dieser Internationalen Norm.