

DIN EN 843-2

ICS 81.060.30

Ersatz für
DIN V ENV 843-2:1996-02

**Hochleistungskeramik –
Mechanische Eigenschaften monolithischer Keramik bei
Raumtemperatur –
Teil 2: Bestimmung des Elastizitätsmoduls, Schubmoduls und der
Poissonzahl;
Deutsche Fassung EN 843-2:2006**

Advanced technical ceramics –
Mechanical properties of monolithic ceramics at room temperature –
Part 2: Determination of Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio;
German version EN 843-2:2006

Céramiques techniques avancées –
Propriétés mécaniques des céramiques monolithiques à température ambiante –
Partie 2: Détermination du module d'Young, du module de cisaillement et du coefficient de
Poisson;
Version allemande EN 843-2:2006

Gesamtumfang 40 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN

Nationales Vorwort

Die Europäische Norm wurde vom CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Großbritannien) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-02-91 AA „Hochleistungskeramik – Monolithische Werkstoffe“ im Normenausschuss Materialprüfung (NA 062).

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 3611	siehe DIN 863-1
ISO 6906	siehe DIN 862

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 843-2:1996-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Ablesbarkeit der Messschraube auf 0,002 mm gegenüber zuvor 0,01 mm festgelegt;
- b) Trockentemperatur der Probekörper von $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$ auf $(120 \pm 10)^\circ\text{C}$ geändert;
- c) Probekörper mit kreisförmigem Querschnitt zusätzlich aufgenommen;
- d) zulässige Messunsicherheit für die Messung der Grundfrequenz der Schwingungen festgelegt;
- e) Bilder überarbeitet und neue aufgenommen;
- f) zwei informative Anhänge über Stoßanregungsverfahren, anwendbar für scheibenförmige Probekörper, und Ringversuchsergebnisse ergänzt;
- g) Inhalt redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 843-2: 1996-02

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 862, *Messschieber; Anforderungen, Prüfung*

DIN 863-1, *Prüfen geometrischer Größen — Messschrauben — Teil 1: Bügelmessschrauben, Normalausführung; Begriffe, Anforderungen, Prüfung*

Deutsche Fassung

Hochleistungskeramik —
Mechanische Eigenschaften monolithischer Keramik
bei Raumtemperatur —
Teil 2: Bestimmung des Elastizitätsmoduls,
Schubmoduls und der Poissonzahl

Advanced technical ceramics —
Mechanical properties of monolithic ceramics at
room temperature —
Part 2: Determination of Young's modulus, shear modulus
and Poisson's ratio

Céramiques techniques avancées —
Propriétés mécaniques des céramiques monolithiques
à température ambiante —
Partie 2: Détermination du module d'Young, du module de
cisaillement et du coefficient de Poisson

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 11. November 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Verfahren A: Statisches Biegeverfahren	6
4.1 Kurzbeschreibung	6
4.2 Geräte	6
4.3 Probekörper	8
4.4 Durchführung	8
4.5 Berechnungen	10
4.6 Messunsicherheit	12
5 Verfahren B: Resonanzverfahren	12
5.1 Kurzbeschreibung	12
5.2 Geräte	12
5.3 Probekörper	14
5.4 Prüfverfahren	15
5.5 Berechnungen	18
5.6 Messunsicherheit	19
6 Verfahren C: Ultraschallverfahren	19
6.1 Kurzbeschreibung	19
6.2 Geräte	20
6.3 Probekörper	21
6.4 Durchführung	22
6.5 Berechnungen	22
6.6 Messunsicherheit	23
7 Verfahren D: Impulsanregungs-Verfahren	23
7.1 Kurzbeschreibung	23
7.2 Prüfgeräte	23
7.3 Probekörper	24
7.4 Durchführung	24
7.5 Berechnungen	26
7.6 Messunsicherheit	26
8 Prüfbericht	27
8.1 Allgemeines	27
8.2 Verfahren A	27
8.3 Verfahren B	27
8.4 Verfahren C	28
8.5 Verfahren D	28
Anhang A (informativ) Auf scheibenförmige Probekörper angewendetes Stoßanregungsverfahren	29
A.1 Anwendungsbereich	29
A.2 Prüfgeräte	29
A.3 Probekörper	29
A.4 Kurzbeschreibung	29
A.5 Verfahren	30
A.6 Berechnungen	31
A.7 Störungen	31
A.8 Messunsicherheit	32
A.9 Prüfbericht	32

Anhang B (informativ) Ringversuch zur Bewertung von Prüfverfahren	36
B.1 Zielstellungen	36
B.2 Werkstoffe	36
B.3 Prüfeinrichtungen.....	36
B.4 Ergebnisse	36
B.5 Schlussfolgerungen	37
Literaturhinweise	38

Vorwort

Dieses Dokument (EN 843-2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2007 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ist Ersatz für ENV 843-2:1995.

EN 843 „Hochleistungskeramik — Monolithische Keramik — Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur“ besteht aus sechs Teilen:

- *Teil 1: Bestimmung der Biegefestigkeit*
- *Teil 2: Bestimmung des Elastizitätsmoduls, Schubmoduls und der Poissonzahl*
- *Teil 3: Bestimmung der Parameter des unterkritischen Risswachstums aus Biegefestigkeitsprüfungen mit konstanter Spannungsrate*
- *Teil 4: Härteprüfung nach Vickers, Knoop und Rockwell*
- *Teil 5: Statistische Auswertung*
- *Teil 6: Leitlinie zur fraktographischen Untersuchung*

Zur Zeit der Veröffentlichung dieser Überarbeitung von Teil 2 lag Teil 6 als Technische Spezifikation vor.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von EN 843 legt Verfahren zur Bestimmung der elastischen Moduln, speziell des Elastizitätsmoduls, des Schubmoduls und der Poissonzahl von monolithischer Hochleistungskeramik bei Raumtemperatur fest. Diese Europäische Norm legt vier alternativ anwendbare Verfahren für die Bestimmung eines oder aller dieser drei Parameter fest:

- A Bestimmung des Elastizitätsmoduls durch statische Biegung eines dünnen Stabes bei Drei- oder Vier-Punkt-Biegung.
- B Bestimmung des Elastizitätsmoduls durch erzwungene longitudinale Schwingung oder des Elastizitätsmoduls, Schubmoduls und der Poissonzahl durch erzwungene Biege- oder Torsionsschwingungen eines dünnen Stabes.
- C Bestimmung des Elastizitätsmoduls, Schubmoduls und der Poissonzahl aus der Laufzeit eines Ultraschallimpulses.
- D Bestimmung des Elastizitätsmoduls durch die Grundeigenschwingung eines angestoßenen Stabes (Stoß- oder Impulsanregungs-Verfahren).

Alle Prüfverfahren setzen aus homogenen linear-elastischen Werkstoffen gefertigte Probekörper voraus.

ANMERKUNG 1 Nicht alle Keramikwerkstoffe sind bei Zugspannung und Druck gleichmäßig und linear elastisch, beispielsweise einige poröse und piezoelektrische Werkstoffe.

Mit Ausnahme von Verfahren C wird bei der Prüfung vorausgesetzt, dass der Probekörper isotrope elastische Eigenschaften besitzt. Verfahren C kann angewendet werden, um den Grad an Anisotropie in unterschiedlichen Richtungen zu bestimmen.

ANMERKUNG 2 Ein Ultraschallverfahren zur Prüfung von anisotropen Werkstoffen (Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix) ist in ENV 14186 [1] gegeben. In Anhang A ist eine Alternative zu Verfahren D für isotrope Werkstoffe, bei dem scheibenförmige Probekörper verwendet werden, aufgezeigt.

ANMERKUNG 3 Bei hohen Porositätsgraden können sich alle Verfahren, ausgenommen Verfahren C, als ungeeignet erweisen. Die Verfahren sind nur für eine maximale Korngröße (siehe EN 623-3), mit Ausnahme absichtlich eingebrachter Whisker, kleiner 10 % des Mindestmaßes des Probekörpers geeignet.

ANMERKUNG 4 Die in dieser Europäischen Norm festgelegten verschiedenen Verfahren können mit demselben Werkstoff wegen der Unterschiede zwischen quasiisothermen, quasistatischen und quasiadiabatisch dynamischen Bedingungen zu leicht abweichenden Ergebnissen führen. Außerdem haben die Rechenprogramme bei den verschiedenen Verfahren einen anderen Ursprung und unterschiedliche potenzielle Unsicherheiten, die bei der Erarbeitung dieser Europäischen Norm nicht streng bewertet wurden. In Anhang B sind dazu einige Informationen gegeben (siehe auch [2]).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 623-2, *Hochleistungskeramik — Monolithische Keramik — Allgemeine und strukturelle Eigenschaften — Teil 2: Bestimmung von Dichte und Porosität*

EN 623-3, *Hochleistungskeramik — Monolithische Keramik — Allgemeine und strukturelle Eigenschaften — Teil 3: Bestimmung der Korngröße und der Korngrößenverteilung (Linienschnittverfahren)*

EN 623-4, *Hochleistungskeramik — Monolithische Keramik — Allgemeine und strukturelle Eigenschaften — Teil 4: Bestimmung der Oberflächenrauheit*

EN 843-1:2006, *Hochleistungskeramik — Monolithische Keramik — Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur — Teil 1: Bestimmung der Biegefestigkeit*

EN ISO 463, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Längenmessgeräte — Konstruktionsmerkmale und messtechnische Merkmale für mechanische Messuhren (ISO 463:2006)*

EN ISO 7500-1, *Metallische Werkstoffe — Prüfung von Prüfmaschinen für statische einachsige Beanspruchung — Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen — Prüfung und Kalibrierung der Kraftmess-einrichtung (ISO 7500-1:2004)*

EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:1999)*

ISO 3611, *Micrometer callipers for external measurement*

ISO 6906, *Vernier callipers reading to 0,02 mm*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 843-1:2006 und die folgenden Begriffe.

3.1 Elastizitätsmodul
Spannung, die in einem Werkstoff benötigt wird, um eine Dehnung um den Betrag 1 bei einachsigem Zug oder Druck zu erzeugen

3.2 Schubmodul
Schubspannung, die in einem Werkstoff benötigt wird, um eine Scherung um den Betrag 1 zu erzeugen

3.3 Poissonzahl
negativer Wert des Verhältnisses von Querdehnung zu Längsdehnung in einem längsbeanspruchten elastischen Körper

3.4 statischer Elastizitätsmodul
Elastizitätsmodul, bestimmt unter quasiisothermer Bedingung bei statischer oder quasistatischer Beanspruchung

3.5 dynamischer Elastizitätsmodul
Elastizitätsmodul, bestimmt unter nichtquasistatischen, d. h. quasiadiabatischen Bedingungen, beispielsweise bei Resonanz-, Ultraschallimpuls- oder Impulsanregungs-Verfahren

4 Verfahren A: Statisches Biegeverfahren

4.1 Kurzbeschreibung

Mit der Drei- oder Vier-Punkt-Biegung wird die elastische Durchbiegung eines dünnen balkenförmigen Probekörpers gemessen, aus der nach den Biegegleichungen der Elastizitätsmodul berechnet wird.

4.2 Geräte

4.2.1 Belastungseinrichtung

Die Belastungseinrichtung muss in Bezug auf ihre Funktionen in Übereinstimmung mit EN 843-1 sein, d. h., die Stütz- und Belastungsrollen müssen einzeln frei drehbar und kippfähig sein, um eine axiale und gleichmäßige Beanspruchung sicherzustellen.

ANMERKUNG 1 Die Kippfähigkeit hat bei sorgfältig eben und parallel bearbeiteten Probekörpern keine Bedeutung.

Der äußere Auflagerabstand der Belastungseinrichtung muss 40 mm oder größer sein.

ANMERKUNG 2 Sofern es die Verfügbarkeit des Werkstoffes zulässt, wird ein Auflagerabstand von mindestens 100 mm empfohlen, um große Durchbiegungen zu erhalten und sicherzustellen, dass die Nachgiebigkeit der Prüfmaschine vernachlässigbar ist, wenn die Durchbiegung als Querkauptbewegung aufgezeichnet wird.

Die Belastungseinrichtung muss für Vier-Punkt-Biegung ausgelegt sein, wenn die Durchbiegung mit einem Dehnungsmessgerät oder Differential-Weg-Messwertaufnehmer bestimmt wird.

4.2.2 Prüfmaschine

Die Prüfmaschine muss in der Lage sein, eine Kraft mit einer konstanten Verschiebungsrate auf die Probe in der Belastungseinrichtung aufzubringen. Die Prüfmaschine muss mit einer Einrichtung zur kontinuierlichen Aufzeichnung der auf die Belastungseinrichtung aufgetragenen Kraft versehen sein. Die Genauigkeit der Prüfmaschine muss EN ISO 7500-1, Klasse 1 (1 % der angezeigten Kraft) entsprechen und imstande sein, mit einer Empfindlichkeit $\leq 0,1$ % von der aufgetragenen Höchstkraft aufzuzeichnen. Die Kalibrierung muss innerhalb des vorangegangenen Jahres überprüft worden sein.

4.2.3 Einrichtung zur Messung der Durchbiegung oder Dehnung

4.2.3.1 Allgemeines

Es muss eine Ausrüstung vorgesehen sein zur Messung der Durchbiegung oder Dehnung des beanspruchten Probekörpers nach einem von drei Verfahren nach 4.2.3.2, 4.2.3.3 oder 4.2.3.4.

4.2.3.2 Verfahren A.1

Mit einer geeigneten Einrichtung wird die scheinbare Verschiebung der Prüfmaschine mit dem Probekörper (siehe Bild 1 a)) als auch mit einem anstelle des Probekörpers eingesetzten Stahl- oder Keramikstab von mindestens 15 mm Dicke aufgezeichnet. Die Differenz zwischen diesen Verschiebungen ist äquivalent zur Verschiebung des Probekörpers in der Belastungseinrichtung. Das Verschiebungs-Messsystem muss durch Vergleich der Verschiebung des Querkaupts mit der angezeigten Bewegung an einer Messuhr oder anderen Einrichtung zur Messung der Verschiebung (siehe 4.2.5), die das Querkaupt berührt, kalibriert werden.

4.2.3.3 Verfahren A.2

Mit einer geeigneten Einrichtung wird die Probendurchbiegung direkt aufgezeichnet, indem induktive Messwegaufnehmer mit zwei definierten Punkten auf der Probenoberfläche zwischen den Auflagerrollen bei Drei-Punkt- oder Vier-Punkt-Biegung mechanisch in Kontakt ist (siehe Bild 1 b)). Die definierten Punkte müssen die Auflagermitte und eine oder beide Belastungsrollen-Auflagepunkte bei Vier-Punkt-Biegung bzw. bei Drei-Punkt-Biegung sein. Der Wegaufnehmer muss Wegmessungen auf 0,001 mm ermöglichen, eine Linearität von 0,01 % aufweisen und auf 0,1 % kalibriert sein.

4.2.3.4 Verfahren A.3

Mit einer geeigneten Einrichtung wird die Dehnung auf der Probekörperoberfläche durch Verwendung eines bei der Vier-Punkt-Biegung auf der Probekörperoberfläche (siehe Bild 1 c)) zwischen den mittleren Belastungsrollen angebrachten Dehnungsmessgerätes aufgezeichnet. Das Dehnungsmessgerät, zusammen mit dem Brückenverstärker, muss Fehlergrenzen von besser als 0,1 % haben und eine Auflösung von kleiner als 10^{-5} ermöglichen.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, das Dehnungsmessgerät nur durch erfahrenes Personal anbringen zu lassen, um sicherzustellen, dass präzise Messungen erfolgen. Weiterhin wird empfohlen, zwei oder mehr Dehnungsmessgeräte anzubringen und deren Ausgangssignale gleichzeitig aufzuzeichnen, um eine Überprüfung hinsichtlich Zuverlässigkeit der aufgetragenen Dehnungsmessgeräte sicherzustellen.

4.2.4 Messschraube

Die Messschraube muss in Übereinstimmung mit ISO 3611, jedoch ablesbar auf 0,002 mm, oder eine andere Messeinrichtung gleicher Genauigkeit sein zur Bestimmung der Länge des Probekörpers.

4.2.5 Messuhr

Die Messuhr muss in Übereinstimmung mit EN ISO 463 oder eine andere kalibrierte Weg-Messeinrichtung, ablesbar auf 0,01 mm, sein.

4.3 Probekörper

Probekörper müssen Stäbe mit rechteckigem Querschnitt sein und nach Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern ausgewählt und hergestellt werden. Sie können direkt nahezu auf Endmaß hergestellt oder aus größeren Blöcken herausgearbeitet werden. Bei dieser Prüfung wird der Elastizitätsmodul parallel zur Längsachse des Probekörpers gemessen. Falls der zu prüfende Werkstoff elastisch anisotrop ist, muss bei der Wahl der Probekörperorientierung und der Interpretation der Prüfergebnisse mit Sorgfalt vorgegangen werden. Die größte Korngröße (siehe EN 623-3), ausgenommen absichtlich eingebrachte Whisker, muss kleiner 10 % des Mindestmaßes des Probekörpers sein.

Die Länge des Probekörpers muss insgesamt mindestens 10 mm länger sein als der Auflagerabstand der Belastungseinrichtung. Die Breite des Probekörpers muss 4 mm bis 10 mm betragen. Bei Verfahren A.1 (siehe 4.2.3.2) muss die Dicke des Probekörpers im Bereich von 0,8 mm bis 1,5 mm liegen. Bei den Verfahren A.2 (siehe 4.2.3.3) und A.3 (siehe 4.2.3.4) darf der Probekörper bis zu 3 mm dick sein. Die Probekörper sind auf Endmaß zu bearbeiten. Sie müssen eben sein und eine Parallelität der Flächen, die auf den Belastungsrollen der Belastungseinrichtung aufliegen, von besser als $\pm 0,5\%$ der Probekörperdicke aufweisen. Die Seitenflächen müssen ebenfalls eben sein und eine Parallelität von besser als $\pm 0,5\%$ der Probekörperbreite besitzen. Für das Verfahren A.1 dürfen die Probekörper nicht angefast werden.

ANMERKUNG Für die Verfahren A.2 und A.3 können die Probekörper, wie in EN 843-1 festgelegt, angefast sein.

Es sind mindestens drei Probekörper herzustellen.

4.4 Durchführung

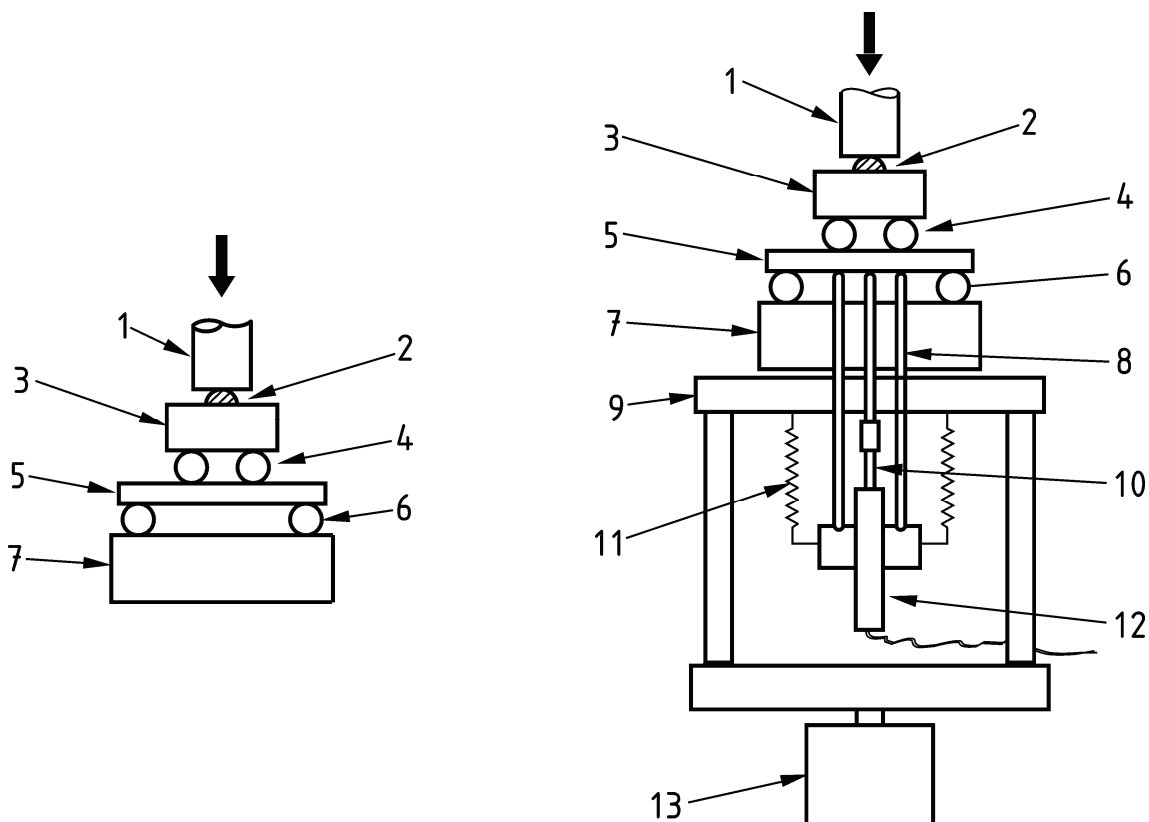
Die Breite und Dicke der Probekörper sind an mehreren Stellen zu messen und die Mittelwerte aufzuzeichnen.

Der Probekörper ist in die Belastungseinrichtung einzusetzen und nach den Anforderungen von EN 843-1 zu zentrieren. Es ist eine auf den Probekörper aufzubringende Höchstkraft zu wählen, die nicht zum Bruch führt.

ANMERKUNG 1 Die Höchstkraft kann durch Festigkeitsberechnung nach EN 843-1:2006, Abschnitt 8, und Einsetzen einer Spannung von nicht mehr als $0,5 \sigma_f$ geschätzt werden, wobei σ_f die mittlere Biegefestigkeit bedeutet.

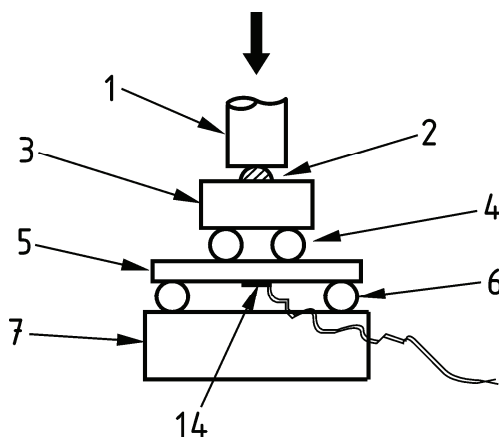
Es ist eine stetig ansteigende Kraft auf die Belastungseinrichtung mit einer konstanten Querhaupts-Verschiebungsrate im Bereich von 0,001 mm/min bis 0,5 mm/min anzulegen. Die Beanspruchung und Verschiebung (entweder Querhauptsverschiebung (Verfahren A.1, 4.2.3.2), Verschiebung des Weg-Messwertaufnehmers (Verfahren A.2, 4.2.3.3) oder Ausgangssignal des Dehnungsmessgerätes (Verfahren A.3, 4.2.3.4)) ist kontinuierlich aufzuzeichnen. Wenn die gewählte Höchstkraft erreicht ist, ist die Beanspruchungsrichtung umzukehren, bis die Beanspruchung auf null gesunken ist. Der Zyklus ist mindestens zweimal bis zur Höchstkraft, oder so lange, bis reproduzierbare Ergebnisse erhalten werden, zu wiederholen. Die Prüfung ist an jedem Probekörper zu wiederholen. Falls die Querhauptsverschiebung anzuwenden ist (Verfahren A.1) oder ein Weg-Messwertaufnehmer mit einer Belastungsrolle als einer der definierten Messbezugspunkte angewendet wird (Verfahren A.2), ist der Probekörper durch den dicken paralleelseitigen Stahl- oder Keramikstab zu ersetzen, und die Belastungszyklen sind bis zur gleichen Höchstkraft bei Aufzeichnung der Kraft und Verschiebung zu wiederholen.

ANMERKUNG 2 Die Durchführung von Belastungs- und Entlastungszyklen ist notwendig, um bei Verfahren A.1 eine Maschinenhysterese, bei Verfahren A.2 eine Weg-Messwertaufnehmer-Hysterese und bei Verfahren A.3 Dehnungsmessgerät-Adhäsionseffekte zu berücksichtigen.



a) Verfahren A.1, die Querschnittverschiebung nutzend

b) Verfahren A.2, Messung mithilfe eines Weg-Messwertaufnehmers



c) Verfahren A.3, Messung mithilfe eines Dehnungsmessgerätes

Legende

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 Stößel oder obere Anpressplatte | 8 Stäbe zum Nachweis von Biegung |
| 2 Halbkugel aus Metall | 9 Stützrahmen |
| 3 Belastungsblock aus Metall | 10 Stellschraube |
| 4 Belastungsrollen (frei beweglich) | 11 Tragfedern |
| 5 Probekörper | 12 Weg-Messwertaufnehmer |
| 6 Auflagerrollen (frei beweglich) | 13 Kraftaufnehmer |
| 7 Auflagerblock | 14 Dehnungsmessgerät |

Bild 1 — Verfahren zum Messen von Durchbiegung oder Dehnung in quasistatisch beanspruchten Biegeprobekörpern

a) Verfahren A.1, die Querschnittverschiebung nutzend, b) Verfahren A.2, Messung mithilfe eines Weg-Messwertaufnehmers, c) Verfahren A.3, Messung mithilfe eines Dehnungsmessgerätes

4.5 Berechnungen

4.5.1 Berechnung aus der Querhaupt-Verschiebung (Verfahren A.1)

Die Aufzeichnungen von Kraft und Verschiebung sind für den Probekörper und den dicken Stahl- oder Keramikstab auf Gleichmäßigkeit und Linearität zu prüfen. Von den Aufzeichnungen wird ein Bereich von einer Mindestkraft von nicht kleiner als 10 % der Höchstkraft oder 0,2 N, je nachdem, welche die größere ist, bis zu einer Höchstkraft von nicht kleiner als 90 % der aufgebrachten Höchstkraft ausgewählt. Der gleiche Kraftbereich muss für jeden Beanspruchungszyklus des Probekörpers und des dicken Kalibrierstabes ausgewählt werden.

ANMERKUNG 1 Die ausgewählten Aufzeichnungsbereiche sollten starke Nichtlinearitäten bei geringer Kraft vermeiden, die zu nicht reproduzierbaren Auswirkungen der Maschinenbewegung und Probekörperausrichtung sowie der Umkehr der Querhauptsrührung nahe der Höchstkraft führen können.

Die aufgezeichnete Verschiebung muss über den gewählten Kraftbereich für jeden Be- und Entlastungszyklus der Probe und den dicken Kalibrierstab berechnet oder gemessen werden. Für jede Richtung ist die mittlere Verschiebung zu berechnen. Falls die Verschiebung des ersten Zyklus sich mehr als 2 % von der der zweiten oder der weiteren Zyklen unterscheidet, ist der erste Zyklus bei der Berechnung des Mittelwerts wegzulassen.

ANMERKUNG 2 Der erste Zyklus kann eine unterschiedliche Reaktion im Vergleich zu den folgenden Zyklen zeigen, da sich der Probekörper an die Belastungseinrichtung anpasst und sich die Bewegung der Prüfmaschine stabilisiert.

Der Elastizitätsmodul ist nach den folgenden Gleichungen zu berechnen:

Für die Durchbiegung bei Drei-Punkt-Biegung:

$$E = \frac{(F_2 - F_1) l^3}{4 b h^3 (d_c - d_s)} \quad (1)$$

Für die Durchbiegung bei Vier-Punkt-Biegung:

$$E = \frac{2 (F_2 - F_1) d_1^2 (d_1 + 3 d_2)}{b h^3 (d_c - d_s)} \quad (2)$$

Dabei ist

- E der Elastizitätsmodul, in Newton je Quadratmeter (N m^{-2}) oder Pascal (Pa);
- F_1 die Kraft am unteren Ende des gewählten Aufzeichnungsbereiches, in Newton (N);
- F_2 die Kraft am oberen Ende des gewählten Aufzeichnungsbereiches, in Newton (N);
- l der äußere Auflagerabstand der Belastungseinrichtung bei Drei-Punkt- oder Vier-Punkt-Biegung, in Meter (m);
- d_1 der Abstand zwischen inneren und äußeren Belastungsrollen bei Vier-Punkt-Biegung, in Meter (m);
- d_2 die Hälfte des inneren Auflagerabstandes der Belastungseinrichtung bei Vier-Punkt-Biegung, in Meter (m);
- b die Probekörperbreite, in Meter (m);
- h die Probekörperdicke, in Meter (m);