

DIN EN 12697-24

ICS 93.080.20

Ersatz für
DIN EN 12697-24:2007-10**Asphalt –
Prüfverfahren für Heißasphalt –
Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung;
Deutsche Fassung EN 12697-24:2012**

Bituminous mixtures –
Test methods for hot mix asphalt –
Part 24: Resistance to fatigue;
German version EN 12697-24:2012

Mélanges bitumineux –
Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud –
Partie 24: Résistance à la fatigue;
Version allemande EN 12697-24:2012

Gesamtumfang 57 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12697-24:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-10-10 AA „Asphalt“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12697-24:2007-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) im Anwendungsbereich wird geklärt, dass Prüfungen mit unterschiedlichen Ausfallkriterien nicht miteinander vergleichbar sind;
- b) die Definition der konventionellen Ausfallkriterien für die konstante Kraft wurde gestrichen, sodass nur die konstante Verschiebung bleibt;
- c) die Definitionen der durchschnittlichen Dauerhaltbarkeit und der Standardabweichung der Dauerhaltbarkeit einer Reihe von Probekörpern für die Zweipunkt- und Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern wurden gestrichen;
- d) die Symbole für die Frequenz der sinusförmig aufgebrachten Last und der Winkelgeschwindigkeit wurden geändert;
- e) die Anforderungen an das Alter und das Trocknen der Probekörper wurden von den einzelnen Anhängen in den Haupttext verschoben;
- f) die Grenzen der Interpolation wurden definiert;
- g) ein alternatives Kriterium ist in einer Anmerkung festgelegt;
- h) die Anforderung an die Überprüfung (im Gegensatz zur Kalibrierung) der Prüfeinrichtung wurde von den einzelnen Anhängen in den Haupttext verschoben;
- i) es wurde eine Anforderung aufgenommen, dass der Prüfbericht Informationen zum gewählten Prüfverfahren, zur verwendeten Prüfeinrichtung, zu den Ergebnissen der letzten Überprüfung der Prüfeinrichtung und zum Alter des Probekörpers bei der Prüfung enthalten muss;
- j) die Toleranz für die Verschiebung von trapezförmigen Probekörpern wurde erweitert;
- k) die Messungen in der Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern beginnen nach weniger Zyklen;
- l) Aufnahme einer Anmerkung zur Drehung des Probekörpers in der Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern;
- m) die freigestellte Anforderung zur Wahl eines Frequenzspektrums für die anfänglichen komplexen (Steifigkeits-)Moduli wurde aus der Vierpunkt-Biegeprüfung für prismatische Probekörper gestrichen;
- n) die Kurzbeschreibung, Prüfeinrichtung, Durchführung und Berechnungen für die Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von zylindrischen Probekörpern wurden überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 12697-24: 2004-09, 2007-10

Deutsche Fassung

Asphalt —
Prüfverfahren für Heißasphalt —
Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung

Bituminous mixtures —
Test methods for hot mix asphalt —
Part 24: Resistance to fatigue

Mélanges bitumineux —
Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —
Partie 24: Résistance à la fatigue

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. März 2012 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 des CEN-CENELEC 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, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern	9
3.3 Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	10
3.4 Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	12
3.5 Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	13
3.6 Symbole für die Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von zylindrischen Probekörpern	18
4 Vorbereitung der Proben	18
4.1 Alter der Probekörper	18
4.2 Trocknen des Probekörpers	18
4.3 Maße und Rohdichte der Probekörper	18
5 Versagen	18
6 Berechnungen	18
7 Zusammenfassung der Prüfverfahren	19
7.1 Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern	19
7.2 Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	19
7.3 Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	19
7.4 Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	19
7.5 Indirekte Zugprüfung von zylindrischen Probekörpern	19
8 Überprüfung der Prüfeinrichtung	20
9 Prüfbericht	20
Anhang A (normativ) Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern	21
A.1 Kurzbeschreibung	21
A.2 Prüfeinrichtung	22
A.3 Probekörperherstellung	22
A.4 Prüfverfahren	25
A.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	26
A.6 Prüfbericht	27
A.7 Präzision	27
Anhang B (normativ) Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	28
B.1 Kurzbeschreibung	28
B.2 Prüfeinrichtung	28
B.3 Probekörperherstellung	29
B.4 Prüfverfahren	29
B.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	30
B.6 Prüfbericht	32
B.7 Präzision	32
Anhang C (normativ) Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	33
C.1 Kurzbeschreibung	33
C.2 Prüfeinrichtung	33
C.3 Probekörperherstellung	34
C.4 Prüfverfahren	34
C.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	35
C.6 Prüfbericht	38
C.7 Präzision	39

Anhang D (normativ) Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	40
D.1 Kurzbeschreibung	40
D.2 Prüfeinrichtung	42
D.3 Probekörperherstellung	43
D.4 Prüfverfahren	44
D.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	46
D.6 Prüfbericht	46
D.7 Präzision	46
Anhang E (normativ) Indirekte Zugprüfung von zylindrischen Probekörpern	47
E.1 Kurzbeschreibung	47
E.2 Prüfeinrichtung	47
E.3 Probekörperherstellung	50
E.4 Prüfverfahren	51
E.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	51
E.6 Prüfbericht	54
E.7 Präzision	54
Literaturhinweise	55

Vorwort

Dieses Dokument (EN 12697-24:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2012 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 12697-24:2004+A1:2007.

Die wesentlichen Änderungen gegenüber der vorherigen Fassung sind:

- im Anwendungsbereich wird geklärt, dass Prüfungen mit unterschiedlichen Ausfallkriterien nicht miteinander vergleichbar sind;
- die Definition der konventionellen Ausfallkriterien für die konstante Kraft wurde gestrichen, sodass nur die konstante Verschiebung bleibt;
- die Definitionen der durchschnittlichen Dauerhaltbarkeit und der Standardabweichung der Dauerhaltbarkeit einer Reihe von Probekörpern für die Zweipunkt- und Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern wurden gestrichen;
- die Symbole für die Frequenz der sinusförmig aufgebrachten Last und der Winkelgeschwindigkeit wurden geändert;
- die Anforderungen an das Alter und das Trocknen der Probekörper wurden von den einzelnen Anhängen in den Haupttext verschoben;
- die Grenzen der Interpolation wurden definiert;
- ein alternatives Kriterium ist in einer Anmerkung festgelegt;
- die Anforderung an die Überprüfung (im Gegensatz zur Kalibrierung) der Prüfeinrichtung wurde von den einzelnen Anhängen in den Haupttext verschoben;
- es wurde eine Anforderung aufgenommen, dass der Prüfbericht Informationen zum gewählten Prüfverfahren, zur verwendeten Prüfeinrichtung, zu den Ergebnissen der letzten Überprüfung der Prüfeinrichtung und zum Alter des Probekörpers bei der Prüfung enthalten muss;
- die Toleranz für die Verschiebung von trapezförmigen Probekörpern wurde erweitert;
- die Messungen in der Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern beginnen nach weniger Zyklen;
- Aufnahme einer Anmerkung zur Drehung des Probekörpers in der Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern;
- die freigestellte Anforderung zur Wahl eines Frequenzspektrums für die anfänglichen komplexen (Steifigkeits-)Moduli wurde aus der Vierpunkt-Biegeprüfung für prismatische Probekörper gestrichen;
- die Kurzbeschreibung, Prüfeinrichtung, Durchführung und Berechnungen für die Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von zylindrischen Probekörpern wurden überarbeitet.

Diese Europäische Norm gehört zu der nachfolgend aufgelisteten Normenreihe für Asphalt:

EN 12697-1, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt*

EN 12697-2, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 2: Korngrößenverteilung*

EN 12697-3, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 3: Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer*

EN 12697-4, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 4: Rückgewinnung des Bindemittels: Fraktionierkolonne*

EN 12697-5, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 5: Bestimmung der Rohdichte*

EN 12697-6, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-7, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 7: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern mit Gamma-Strahlen*

EN 12697-8, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 8: Bestimmung von volumetrischen Charakteristiken von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-10, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 10: Verdichtbarkeit*

EN 12697-11, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 11: Bestimmung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen*

EN 12697-12, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 12: Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-13, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 13: Temperaturmessung*

EN 12697-14, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 14: Wassergehalt*

EN 12697-15, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 15: Bestimmung der Entmischungsneigung*

EN 12697-16, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 16: Abrieb durch Spikereifen*

EN 12697-17, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 17: Kornverlust von Probekörpern aus offenporigem Asphalt*

EN 12697-18, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 18: Bestimmung des Ablaufens*

EN 12697-19, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 19: Durchlässigkeit der Probekörper*

EN 12697-20, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 20: Eindringversuch an Würfeln oder zylindrischen Probekörpern*

EN 12697-21, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 21: Eindringversuch an Platten*

EN 12697-22, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 22: Spurbildungstest*

EN 12697-23, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 23: Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-24, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung*

EN 12697-25, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 25: Druckschwellversuch*

EN 12697-26, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 26: Steifigkeit

EN 12697-27, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 27: Probenahme

EN 12697-28, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 28: Vorbereitung von Proben zur Bestimmung des Bindemittelgehaltes, des Wassergehaltes und zur Korngrößenbestimmung

EN 12697-29, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 29: Bestimmung der Maße von Asphalt-Probe-körpern

EN 12697-30, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät

EN 12697-31, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 31: Herstellung von Probekörpern mit dem Gyrator-Verdichter

EN 12697-32, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 32: Laborverdichtung von Asphalt mit einem Vibrationsverdichter

EN 12697-33, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 33: Probestückvorbereitung mit einem Walzenenverdichtungsgerät

EN 12697-34, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 34: Marshall-Prüfung

EN 12697-35, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 35: Labormischung

EN 12697-36, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 36: Bestimmung der Dicke von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt

EN 12697-37, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 37: Prüfung des Haftvermögens eines Bindemittels auf vorumhüllten Splitt für Hot-Rolled-Asphalt mittels heißem Sand

EN 12697-38, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 38: Prüfeinrichtung und Kalibrierung

EN 12697-39, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 39: Bestimmung des Bindemittelgehaltes durch Thermoanalyse

EN 12697-40, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 40: In-situ-Durchlässigkeit

EN 12697-41, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 41: Widerstand gegen chemische Auftaumittel

EN 12697-42, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 42: Fremdstoffgehalt in Ausbauasphalt

EN 12697-43, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 43: Treibstoffbeständigkeit

EN 12697-44, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 44: Bestimmung der Rissausbreitung mittels Halbzylinder-Biegeversuch

EN 12697-45, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 45: Alterungsprüfung an gesättigten Asphalt-Probekörpern (SATS-Prüfung)

EN 12697-46, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 46: Widerstand gegen Kälterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen

EN 12697-47, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 47: Bestimmung des Aschegehaltes von Naturasphalt

prEN 12697-48, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 48: Haftfestigkeit der Schichten untereinander*¹⁾

prEN 12697-49, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 49: Messung der Griffigkeit nach Polierung*¹⁾

prEN 12697-50, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 50: Abriebbeständigkeit von Asphalt-deckschichten*¹⁾

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

¹⁾ In Vorbereitung.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Verfahren zur Charakterisierung der Ermüdung von Asphalt durch verschiedene Prüfungen, einschließlich Biegeprüfungen und Prüfungen der direkten sowie der indirekten Zugfestigkeit, fest. Die Prüfungen werden an verdichtetem Asphalt unter sinusförmiger oder einer anderen kontrollierten Belastung unter Verwendung verschiedener Probekörpertypen und Auflagerungen vorgenommen.

Das Verfahren dient

- a) zur Einstufung von Asphalt nach seiner Beständigkeit gegen Ermüdung;
- b) als Hinweis auf das relative Leistungsvermögen von Asphalt in der Fahrbahnbefestigung;
- c) dazu, Daten zur Abschätzung des Tragverhaltens in der Straße zu erhalten; und
- d) zur Beurteilung der Prüfdaten nach den für Asphalt geltenden Festlegungen.

Da diese Europäische Norm keinen bestimmten Prüfgerätetyp vorschreibt, hängt die genaue Auswahl der Prüfbedingungen von den Möglichkeiten und dem Arbeitsbereich des im betreffenden Fall verwendeten Prüfgeräts ab. Bei der Auswahl der jeweiligen Prüfbedingungen müssen die Anforderungen der Produktnormen für Asphalt berücksichtigt werden. Die Anwendbarkeit dieses Dokumentes ist in den Produktnormen für Asphalt beschrieben.

Die mit verschiedenen Prüfverfahren oder unter Anwendung verschiedener Ausfallkriterien erhaltenen Prüfergebnisse sind nicht notwendigerweise miteinander vergleichbar.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 12697-6, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-8, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 8: Bestimmung von volumetrischen Charakteristiken von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-26:2011, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 26: Steifigkeit*

EN 12697-27, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 27: Probenahme*

EN 12697-29, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 29: Bestimmung der Maße von Asphalt-Probekörpern*

EN 12697-31, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 31: Herstellung von Probekörpern mit dem Gyrator-Verdichter*

EN 12697-33, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 33: Probestckvorbereitung mit einem Walzenverdichtungsgert*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe, Symbole und Abkürzungen.

3.1 Allgemeines

3.1.1

Ermüdung

Verringerung der Festigkeit eines Materials bei wiederholter Belastung im Vergleich mit der Festigkeit unter einer Einzellast

3.1.2

konventionelle Ausfallkriterien

Anzahl der Lastangriffe $N_{f/50}$, bei der sich der komplexe Steifigkeitsmodul $S_{\text{mix},0}$ auf die Hälfte seines Ausgangswertes verringert hat

3.1.3

anfänglicher komplexer Steifigkeitsmodul

komplexer Steifigkeitsmodul $S_{\text{mix},0}$ nach 100 Belastungen

3.1.4

Dauerhaltbarkeit eines Probekörpers

Anzahl der Zyklen $N_{i,j,k}$, die dem konventionellen Ausfallkriterium bei einer gegebenen Reihe von Prüfbedingungen k (Temperatur, Frequenz und Belastungsart) entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Belastungsart kann z. B. eine konstante Durchbiegungsstufe oder konstante Kraftstufe und/oder jede sonstige konstante Belastungsbedingung sein.

3.2 Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern

3.2.1

Konstante der Relation zur größten Dehnung

eine Konstante, die es ermöglicht, die Verschiebung z des Kopfes des trapezförmigen Probekörpers mit den Maßen $[B, b, e, h]$, auf den eine Biegedehnungsstufe ε ausgeübt wird, in die größte Dehnung umzuwandeln

Anmerkung 1 zum Begriff: K_ε und ihre Beziehung zu den oben genannten Parametern sind durch folgende Gleichungen gegeben:

$$K_\varepsilon \times z = \varepsilon \quad (1)$$

$$K_\varepsilon = \frac{B^2 \times (B - b)^2}{4b \times h^2 \times \left[(b - B) \times (3B - b) + 2B^2 \times \ln\left(\frac{B}{b}\right) \right]} \quad (2)$$

3.2.2 Symbole

Sofern eine Dehnung von 1 Mikrostrain (μstrain) vereinbarungsgemäß 10^{-6} entspricht, werden folgende Symbole verwendet:

i	Index des Probekörpers für eine Einzelprüfung (aus dem Bereich 1 bis n);
h_i	Höhe, in Meter (m);
B_i	Länge der langen Grundflächenkante, in Meter (m);
b_i	Länge der kurzen Grundflächenkante, in Meter (m);
e_i	Dicke, in Meter (m);
v_i	nach dem Verfahren durch Ausmessen bestimmter Hohlraumgehalt des Probekörpers i , in Prozent (%);
$K_{\varepsilon i}$	Konstante der Relation zur größten Dehnung, im umgekehrten Verhältnis zu Meter (m^{-1});
z_i	Amplitude der Verschiebung der Prüffläche des Probekörpers i , in Meter (m);
ε_i	größte relative Dehnung des Probekörpers i , entspricht der Verschiebung am Kopf des Trapezes;
N_i	konventionelle Dauerhaltbarkeit des Probekörpers i ;
a	Ordinate der Ermüdungskurve nach der Gleichung $\log(N) = a + (1/b) \log(\varepsilon)$;
r_2	linearer Korrelationskoeffizient ($\log(N_i)$, $\log(\varepsilon_i)$);

$1/b$	Anstieg der Ermüdungskurve;
$\log(\varepsilon)$	Durchschnittswert von $\log(\varepsilon_i)$;
$S_{\log(\varepsilon)}$	Standardabweichung von $\log(\varepsilon_i)$;
$S_{\log(N)}$	Standardabweichung von $\log(N_i)$;
ε_6	10^6 Zyklen entsprechende Dehnung;
s_N	Schätzwert der Rest-Standardabweichung der Zehnerlogarithmen der Dauerhaltbarkeiten;
$\Delta\varepsilon_6$	Qualitätsindex der Prüfung;
n	Anzahl der Probekörper

3.3 Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

3.3.1

Konstanten für die Betrachtung der Probekörpergeometrie

Konstanten, die es ermöglichen, die Festigkeit P_{ij} der Prüffläche des Probekörpers i mit den Maßen b_i , e_i und h_i , auf den eine Biegekraft aufgebracht wird, in eine Höchstzugspannung umzuwandeln

Anmerkung 1 zum Begriff: K_{ε_i} und ihre Beziehung zu den oben genannten Parametern sind durch folgende Gleichungen gegeben:

$$K_{\sigma i} \times P_{ij} = \sigma_{j\max} \quad (3)$$

Dabei ist

$K_{\sigma i}$	die Konstante für die Betrachtung der Probekörpergeometrie bei konstanter Kraft;
P_{ij}	die Amplitude der auf die Prüffläche aufgetragenen Kraft, in Newton (N);
$\varepsilon_{j\max}$	die größte relative Dehnung des Probekörpers, entspricht der Verschiebung am Kopf des Prismas;
$\sigma_{j\max}$	die größte relative Zugspannung des Probekörpers, entspricht der am Kopf des Prismas aufgetragenen Kraft.

$$K_{\sigma i} = \frac{6 h_i}{b_i^2 \times e_i} \quad (4)$$

Dabei ist

$K_{\sigma i}$	die Konstante für die Betrachtung der Probekörpergeometrie bei konstanter Kraft (Faktor nach EN 12697-26);
b_i	die Länge der Grundflächenkante, in Millimeter (mm);
h_i	die Höhe, in Millimeter (mm);
e_i	die Breite, in Millimeter (mm).

3.3.2 Symbole

Sofern eine Dehnung von 1 Mikrostrain (μstrain) vereinbarungsgemäß 10^{-6} entspricht, werden folgende Symbole verwendet:

3.3.2.1 Probe *i*

h_i	Höhe, in Millimeter (mm);
b_i	entweder (A) die Länge der kurzen Grundflächenkante oder (B) die Länge der langen Grundflächenkante, in Millimeter (mm);
e_i	Dicke, in Millimeter (mm);
m_i	Masse, in Gramm (g);
$v_i\%$	nach dem Verfahren durch Ausmessen ermittelter Hohlraumgehalt, in Prozent (%);
$K\sigma_i$	Konstante für die Betrachtung der Probekörpergeometrie bei konstanter Kraft, im umgekehrten Verhältnis zu Millimeter (mm^{-1}).

3.3.2.2 Auf den Kopf des Prismas aufgebrachte Kraft und Höchstzugspannung des Probekörpers *i* bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$

P_{ij}	Amplitude der auf den Kopf des Prismas aufgebrachten Kraft, in Newton (N);
$\sigma_{j\max}$	größte relative Zugspannung des Probekörpers, entspricht der auf den Kopf des Prismas aufgebrachten Kraft.

3.3.2.3 Dauerhaltbarkeit des Probekörpers *i* bei der Spannungsstufe $\sigma_{j\max}$

N_{ij}	Dauerhaltbarkeit.
----------	-------------------

3.3.2.4 Dauerhaltbarkeit in Relation zur Probe *i* bei der Dehnungsstufe ϵ_j

N_{ij}	konventionelle Dauerhaltbarkeit.
----------	----------------------------------

3.3.2.5 Ermüdungskurve

p_σ	Anstieg der Ermüdungskurve $\ln(\sigma_{j\max}) = f(\ln(N_{ij}))$;
$\hat{\sigma}_6$	10^6 Zyklen entsprechende Zugspannung, in Megapascal (MPa);
$s_{\sigma x/y}$	Schätzwert der Rest-Standardabweichung der natürlichen Logarithmen der Dauerhaltbarkeiten;
$\Delta\hat{\sigma}_6$	Vertrauensbereich von $\hat{\sigma}_6$ für eine Wahrscheinlichkeit von 95 %;
N	Anzahl der Einzelprüfungen (Anzahl der Probekörper bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$ multipliziert mit der Anzahl der Stufen), wobei $N = n \cdot l$;
s_N	Schätzwert der Standardabweichung von $\ln(N_{ij})$.

3.3.2.6 Dauerhaltbarkeit einer Reihe von *n* Probekörpern (A) bei der Dehnungsstufe $\epsilon_{j\max}$ oder (B) bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$

$N_{ej\max}$	durchschnittliche Anzahl der bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$ durchlaufenen Zyklen;
l	Nummer des Zyklus, bei dem die Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$ erreicht wird;
n	Anzahl der Probekörper bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$.

3.4 Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

3.4.1 Symbole

Es werden folgende Symbole verwendet:

$2A_t$	Amplitude der Spannungs-Näherungsfunktion, in Megapascal (MPa);
$2A_t$	Amplitude der Dehnungs-Näherungsfunktion, in Megapascal (MPa);
B	Messgrundlänge des Dehnungsmessgerätes, in Millimeter (mm);
B_t	Phasenwinkel der Spannungs-Näherungsfunktion, im Bogenmaß (rad);
B_ε	Phasenwinkel der Dehnungs-Näherungsfunktion, im Bogenmaß (rad);
D_c	Verschiebung zum Zeitpunkt t , in Mikron (μm);
$2D_0$	Gesamtamplitude der Verschiebungsfunktion, in Mikron (μm);
DDE	Dichte der abgegebenen Energie, in Megapascal (MPa) oder Megajoule je Kubikmeter (MJ/m^3);
$DE_{(\text{ges})}$	Gesamtdichte der im Verlauf der gesamten Prüfung abgegebenen Energie, in Megajoule je Kubikmeter (MJ/m^3);
$DDE(x)$	Dichte der bei Zyklus x abgegebenen Energie, in Megajoule je Kubikmeter (MJ/m^3);
EXT	vom Dehnungsmessgerät gemessene momentane Dehnung, in Millimeter (mm);
L	Abstand zwischen den Auflagerungen, in Millimeter (mm);
MD	dynamischer Modul, in Megapascal (MPa);
N	Anzahl der bei Beendigung der Prüfung durchlaufenen Zyklen;
P	momentane Last, in Megapascal (MPa);
W	Gesamtdichte der im Verlaufe der gesamten Prüfung abgegebenen Energie, in Megajoule je Kubikmeter (MJ/m^3);
b	Breite des Probekörpers, in Millimeter (mm);
e	Dicke des Probekörpers, in Millimeter (mm);
f	Wellenfrequenz, in Hertz (Hz);
m	$(N - 200)/500$;
t	Zeit, in Sekunden (s);
ε	momentane Dehnung oder Amplitude einer Halbperiode der Dehnungsfunktion beim 200. Zyklus;
ε_a	Wert der Dehnungs-Näherungsfunktion;
ε_c	Amplitude einer Dehnungsfunktionsperiode;
ε_6	Dehnung bei 10^6 Zyklen;
σ	momentane Spannung, in Megapascal (MPa);
σ_a	Näherungswert der Spannungsfunktion, in Megapascal (MPa);
σ_c	Amplitude einer Spannungsfunktionsperiode, in Megapascal (MPa);
Φ	Phasenverschiebungswinkel, in Grad ($^\circ$).

3.5 Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

3.5.1

(komplexer) Steifigkeitsmodul

Verhältnis $S = S_{\text{mix},n} \times e^{i\phi}$ von berechneter Spannung und Dehnung im Probekörper bei Zyklus n

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Steifigkeitsmodul bestimmt die Beziehung zwischen der Spannung und der Dehnung eines linear viskoelastischen Materials, das einer sinusförmigen Belastung unterzogen wird.

3.5.2

anfänglicher (komplexer) Steifigkeitsmodul

beim 100. Lastangriff gemessene Werte für den anfänglichen Modul $S_{\text{mix},0}$ des komplexen Moduls, in Megapascal (MPa), und für die anfängliche Phasenverzögerung ϕ_0 des komplexen Moduls, in Grad

3.5.3

Dauerhaltbarkeit $N_{i,j,k}$

Anzahl der Zyklen für den Probekörper i , die den gewählten Ausfallkriterien j (z. B. konventioneller Ausfall $j = f/50$) bei der gegebenen Reihe von Prüfbedingungen k (Temperatur, Frequenz und Belastungsart) entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Belastungsart kann z. B. eine konstante Durchbiegungsstufe oder konstante Kraftstufe und/oder jede sonstige konstante Belastungsbedingung sein.

3.5.4

Prüfbedingung k

Reihe von Bedingungen, bei denen der Probekörper geprüft wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu dieser Reihe gehören die angewendete Frequenz f , die Prüftemperatur θ und die Belastungsart (konstante Durchbiegung oder konstante Kraft und/oder konstante Energieabgabe je Zyklus).

3.5.5

Gesamtlänge L_{ges}

Gesamtlänge des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm)

3.5.6

effektive Länge L

Abstand zwischen den beiden äußeren Klemmen, in Millimeter (mm)

3.5.7

Breite B

Breite des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm)

3.5.8

Höhe H

Höhe des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm)

3.5.9

mittige Spannweite a

Abstand zwischen den beiden inneren Klemmen, in Millimeter (mm)

3.5.10

Koordinate A

Abstand zwischen der linken äußeren ($x = 0$) und der linken inneren Klemme ($x = A$), in Millimeter (mm)

3.5.11

Koordinate x

Abstand zwischen x und der linken äußeren Klemme ($0 \leq x \leq L/2$), in Millimeter (mm)

3.5.12

Koordinate x_s

Koordinate x , bei der die Durchbiegung gemessen wird ($A \leq x_s \leq L/2$), in Millimeter (mm)

3.5.13

Dichte ρ

Raumdichte des Probekörpers, in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m^3)

$$\rho = \frac{M_{\text{Balken}} \times 10^9}{(H \times L \times B)} \quad (5)$$

3.5.14

Masse M_{Balken}

Gesamtmasse des prismatischen Balkens, in Kilogramm (kg)

3.5.15

Dämpfungskoeffizient T

für die Berechnung der Systemverluste erforderlicher Koeffizient, in Kilogramm je Sekunde (kg/s)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Koeffizient lässt sich nur durch Einstellung der Prüfeinrichtung mit Hilfe eines Bezugsbalkens ermitteln, dessen Steifigkeitsmodul und (materialabhängiger) Phasenwinkel bekannt sind. Bei gut funktionierenden Prüfeinrichtungen kann der Koeffizient T vernachlässigt (d. h. gleich null gesetzt) werden.

3.5.16

Gewichtsfunktion $R(x)$

dimensionslose Funktion in Abhängigkeit vom Abstand x zur linken äußeren Klemme, von der Koordinate A der linken inneren Klemme und von der effektiven Länge L zwischen den beiden äußeren Klemmen

$$R(x) = \frac{12 L^3}{A \times (3L \times x - 3x^2 - A^2)} \quad (6)$$

3.5.17

äquivalente Masse $M_{\text{äq}}$

gewichtete Masse der beweglichen Teile des Balkens (M_{Balken}), des Messfühlers ($M_{\text{Messfühler}}$) und der Klemmen (M_{Klemme}), deren Wert von dem Ort, an dem die Durchbiegung $Z(x_s)$ gemessen wird, abhängt, in Kilogramm (kg)

$$M_{\text{äq}} = \frac{R(x_s)}{\pi^4} \times M_{\text{Balken}} + \frac{R(x_s)}{R(A)} \times M_{\text{Klemme}} + M_{\text{Messfühler}} \quad (7)$$

3.5.18

äquivalenter Dämpfungskoeffizient

gewichteter Koeffizient für die Dämpfung innerhalb des Systems, dessen Wert von dem Ort, an dem die Durchbiegung $Z(x_s)$ gemessen wird, abhängt, in Kilogramm je Sekunde (kg/s)

$$T_{\text{äq}} = \frac{R(x_s)}{R(A)} \times T \quad (8)$$

3.5.19

Durchbiegung $Z(x_s)$

Amplitude der Durchbiegung des Balkens im Verlauf eines Zyklus bei Messung an oder zwischen den beiden inneren Klemmen mit einem Abstand x_s von der linken äußeren Klemme, in Millimeter (mm)

3.5.20

Kraft F_0

Amplitude der auf die beiden inneren Klemmen aufgebrachten Gesamtkraft, in Newton (N)

3.5.21

Frequenz f [Hz] und Kreisfrequenz ω [rad/s]

Frequenz der sinusförmig aufgetragenen Last

$$\omega_0 = 2\pi \times f_0 \quad (9)$$

3.5.22

Trägheitsfunktion $I(x_s)$

dimensionslose Funktion in Abhängigkeit vom Abstand x_s , mit der den Massenträgheitseffekten Rechnung getragen wird

$$I(x_s) = M_{eq} \times \frac{Z(x_s)}{F_0} \times \omega_0^2 \times 10^{-3} \quad (10)$$

3.5.23

Dämpfungsfunktion $J(x_s)$

dimensionslose Funktion in Abhängigkeit vom Abstand x_s , mit der den Dämpfungseffekten (nicht viskos) im System (Systemverlusten) Rechnung getragen wird

$$J(x_s) = T_{eq} \times \frac{Z(x_s)}{F_0} \times \omega_0 \times 10^{-3} \quad (11)$$

3.5.24

gemessene Phasenverzögerung $\phi^*(x_s)$

im Verlauf eines Zyklus gemessene Phasenverzögerung zwischen der sinusförmig aufgetragenen Last und der gemessenen Durchbiegung $Z(x_s)$, in Grad

3.5.25

System-Phasenverzögerung $\theta(x_s)$

für einen Zyklus berechnete Phasenverzögerung, die die Systemverluste repräsentiert, in Grad

$$\tan\left(\theta \times \frac{\pi}{180}\right) = \frac{T_{eq} \times \omega_0}{M_{eq} \times \omega_0^2} \quad (12)$$

3.5.26

Phasenverzögerung ϕ

für einen Zyklus berechnete Phasenverzögerung zwischen der Spannung und der Dehnung, die bei der angewendeten Frequenz im Probekörper auftreten, in Grad

$$\tan\left(\phi \times \frac{\pi}{180}\right) = \frac{\sin\left(\phi^*(x_s) \times \frac{\pi}{180}\right) - J(x_s)}{\cos\left(\phi^*(x_s) \times \frac{\pi}{180}\right) + I(x_s)} \quad (13)$$

3.5.27

Modul S_{mix} des komplexen (Steifigkeits-)Moduls oder des dynamischen Steifigkeitsmoduls

für einen Zyklus berechneter Modul des komplexen Moduls des Probekörpers, in Megapascal (MPa)

$$S_{mix} = \frac{12F_0 \times L^3}{Z(x_s) \times R(x_s) \times B \times H^3} \times \sqrt{1 + 2[\cos(\phi^*(x_s)) \times I(x_s) - \sin(\phi^*(x_s)) \times J(x_s)] + [I^2(x_s) + J^2(x_s)]} \quad (14)$$

3.5.28

Konstante K der Relation zur (größten) Dehnung

Konstante, die die Berechnung der größten Biegedehnungs-Amplitude an dem Ort, an dem die Durchbiegung gemessen wird, ermöglicht, im umgekehrten Verhältnis zu Millimeter (mm^{-1})

$$K(x_s) = \frac{H \times A}{4L^3} \times R(x_s) \quad (15)$$

3.5.29

Dehnungsamplitude ε $\varepsilon(x_s)$

größte Dehnungsamplitude, die im Verlauf eines Zyklus zwischen den beiden inneren Klemmen auftritt, in Mikron je Meter ($\mu\text{m}/\text{m}$)

$$\varepsilon = K(x_s) \times Z(x_s) \times 10^6 \quad (16)$$

3.5.30

Spannungsamplitude σ

größte Spannungsamplitude, die im Verlauf eines Zyklus zwischen den beiden inneren Klemmen auftritt, in Megapascal (MPa)

$$\sigma = S_{\text{mix}} \times \varepsilon \quad (17)$$

3.5.31

abgegebene Energie je Zyklus

in den Balken abgegebene viskose Energie je Volumeneinheit ΔW_{dis} und Zyklus, die für sinusförmige Dehnungs- und Spannungssignale berechnet wird, in Kilojoule je Kubikmeter (kJ/m^3)

$$\Delta W_{\text{dis}} = \pi \times \varepsilon \times \sigma \times \sin\left(\phi(x_s) \times \frac{\pi}{180}\right) \quad (18)$$

3.5.32

kumulierte abgegebene Energie

Summe der je Zyklus bis zum Zyklus n abgegebenen Energie

$$W_{\text{dis},n(m)} = \sum_{i=1}^n \Delta W_{\text{dis},i} \quad (19)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Fall, dass die Messungen in den Intervallen $n(i)$ durchgeführt werden, wird empfohlen, die Trapezregel anzuwenden:

$$W_{\text{dis},n(m)} = n(1) \times \Delta W_{\text{dis},n(1)} + \sum_{i=1}^m \left[0,5 \times (n(i+1) - n(i)) \times (\Delta W_{\text{dis},n(i+1)} + \Delta W_{\text{dis},n(i)}) \right] \quad (20)$$

3.5.33

Amplitude

halbe Differenz zwischen dem im Verlauf eines Zyklus gemessenen Maximum und Minimum eines (sinusförmigen) Signals

3.5.34

Messfehler

Differenz zwischen dem wahren Wert einer physikalischen Größe und dem vom Messgerät angezeigten Wert, angegeben als Anteil des wahren Wertes, in Prozent (%)