

DIN EN 12697-24



ICS 93.080.20

Entwurf

Einsprüche bis 2016-02-04
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12697-24:2012-08

**Asphalt –
Prüfverfahren –
Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12697-24:2015**

Bituminous mixtures –
Test methods –
Part 24: Resistance to fatigue;
German and English version prEN 12697-24:2015

Mélanges bitumineux –
Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud –
Partie 24: Résistance à la fatigue;
Version allemande et anglaise prEN 12697-24:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-12-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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 nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin (Hausanschrift: 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 150 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12697-24:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Der NA 005-10-10 AA „Asphalt (SpA zu CEN/TC 227/WG 1) Gemeinschaftsausschuss mit FGSV“ ist der im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) zuständige Spiegelausschuss.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 12697-17 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12697-24:2012-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme eines neuen Anhangs für die CITT;
- b) Präzisierung mehrerer Textpassagen, um die Verfahren zu erläutern.

Asphalt — Prüfverfahren — Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung

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

Bituminous mixtures — Test methods — Part 24: Resistance to fatigue

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.7g

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	10
3.1 Allgemeines	10
3.2 Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern	10
3.2.2 Symbole	11
3.3 Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	11
3.3.2 Symbole	12
3.4 Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	13
3.4.1 Symbole	13
3.5 Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	15
3.6 Symbole für die Prüfung mit indirekter Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern	20
3.7 Symbole für die Prüfung mit indirekter zyklischer Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern	20
4 Probenvorbereitung	21
4.1 Lagerung der Probekörper	21
4.2 Trocknen des Probekörpers	21
4.3 Maße und Raumdichte der Probekörper	21
5 Versagen	21
6 Berechnungen	22
7 Zusammenfassung der Prüfverfahren	22
7.1 Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern	22
7.2 Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	22
7.3 Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	22
7.4 Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern	22
7.5 Indirekte Zugprüfung an zylindrischen Probekörpern	23
7.6 Prüfung mit indirekter zyklischer Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern	23
8 Überprüfung der Prüfeinrichtung	23
9 Prüfbericht	24
Anhang A (normativ) Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern	25
A.1 Kurzbeschreibung	25
A.1.1 Allgemeines	25
A.1.2 Einzelprüfung	25
A.1.3 Ermüdungskurve	26
A.2 Prüfeinrichtung	26
A.2.1 Prüfmaschine	26
A.2.2 Thermostatisch geregelte Prüfkammer	26
A.2.3 Messausrüstung	26
A.3 Probekörpervorbereitung	26
A.3.1 Sägen und Aufbewahren	26
A.3.2 Eigenschaften der Probekörper	27
A.3.3 Überprüfung der Einbettung	27

A.3.4	Verkleben der Enden	29
A.4	Durchführung	29
A.4.1	Vorbereitung der Prüfeinrichtung.....	29
A.4.2	Durchführung der Ermüdungsprüfung	30
A.4.3	Auswahl der Dehnung.....	30
A.4.4	Anzahl der Einzelprüfungen.....	30
A.5	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	30
A.6	Prüfbericht.....	31
A.7	Präzision.....	32
A.7.1	Allgemeines	32
Anhang B (normativ) Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern.....		33
B.1	Kurzbeschreibung.....	33
B.2	Prüfeinrichtung.....	33
B.2.1	Prüfmaschine	33
B.2.2	Thermostatisch geregelte Prüfkammer.....	33
B.2.3	Messeinrichtung	33
B.3	Probekörpervorbereitung	34
B.3.1	Sägen	34
B.3.2	Eigenschaften der Probekörper.....	34
B.3.3	Verkleben der Enden	34
B.4	Durchführung	34
B.4.1	Vorbereitung der Prüfeinrichtung.....	34
B.4.2	Durchführung der Ermüdungsprüfung	34
B.4.3	Auswahl der Zugspannung.....	35
B.5	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	35
B.6	Prüfbericht.....	37
B.7	Präzision.....	37
Anhang C (normativ) Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern.....		38
C.1	Kurzbeschreibung.....	38
C.1.1	Allgemeines	38
C.1.2	Einzelprüfung	38
C.1.3	Ermüdungskurve	38
C.2	Prüfeinrichtung.....	38
C.2.1	Prüfmaschine	38
C.2.2	Kraftmessdose	38
C.2.3	Extensometer und Verschiebungsmessfühler	38
C.2.4	Klemmvorrichtung.....	39
C.2.5	Ausrüstung zur Datenerfassung	39
C.2.6	Thermostatisch geregelte Prüfkammer.....	39
C.3	Probekörpervorbereitung	39
C.3.1	Herstellung und Sägen.....	39
C.3.2	Vorbereitung der Klemmvorrichtungen.....	39
C.4	Durchführung	39
C.4.1	Vorbereitung der Prüfeinrichtung.....	39
C.4.2	Durchführung der Ermüdungsprüfung	40
C.4.3	Aufzeichnung der Lastfunktion, der Funktion des Extensometersignals und der Verschiebungsfunktion	40
C.4.4	Ende der Prüfung.....	40
C.5	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	41
C.5.1	Berechnung der Spannungs- und der Dehnungsfunktion für einen Zyklus	41
C.5.2	Berechnung des dynamischen Moduls, des Phasenverschiebungswinkels und der Dichte der im Verlauf eines Zyklus abgegebenen Energie	41
C.5.3	Bestimmung des Ermüdungsgesetzes und des Energiegesetzes	43
C.6	Prüfbericht.....	44

C.7	Präzision	44
Anhang D (normativ) Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern.....		45
D.1	Kurzbeschreibung	45
D.1.1	Allgemeines	45
D.1.2	Einzelprüfung	46
D.1.3	Ermüdungskurve	46
D.2	Prüfeinrichtung	47
D.2.1	Prüfmaschine	47
D.2.2	Klemmvorrichtung	47
D.2.3	Thermostatisch geregelte Prüfkammer	48
D.2.4	Elektronische Ausrüstung zur Datenerfassung	48
D.2.5	Überprüfung der Prüfeinrichtung	48
D.3	Probekörpervorbereitung	48
D.3.1	Maße	48
D.3.2	Sägen	49
D.3.3	Zustand	49
D.3.4	Befestigung	49
D.4	Durchführung	50
D.4.1	Vorbereitung der Prüfeinrichtung	50
D.4.2	Durchführung der Ermüdungsprüfung	50
D.4.3	Auswahl der Prüfbedingungen	51
D.4.4	Datenverarbeitung	51
D.5	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	51
D.6	Prüfbericht	52
D.7	Präzision	52
Anhang E (normativ) Indirekte Zugprüfung von zylindrischen Probekörpern		53
E.1	Kurzbeschreibung	53
E.2	Prüfeinrichtung	53
E.2.1	Prüfmaschine	53
E.2.2	Verschiebung	53
E.2.3	Thermostatisch geregelte Prüfkammer	53
E.2.4	Aufzeichnungs- und Messsystem	53
E.2.5	Belastungsrahmen	54
E.2.6	Führungsvorrichtung	56
E.3	Probekörpervorbereitung	57
E.3.1	Probekörper	57
E.3.2	Probekörpermaße	57
E.3.3	Position der Verformungs- und Druckstreifen	57
E.3.4	Klimatisierung	57
E.4	Durchführung	57
E.5	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	59
E.6	Prüfbericht	62
E.7	Präzision	62
Anhang F (normativ) Prüfung mit indirekte zyklischer Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern (CITT)		63
F.1	Kurzbeschreibung	63
F.2	Prüfeinrichtung	63
F.2.1	Prüfmaschine	63
F.2.2	Belastung	63
F.2.3	Verschiebung	63
F.2.4	Thermostatisch geregelte Prüfkammer	64
F.2.5	Aufzeichnungs- und Messsystem	64
F.2.6	Druckstreifen	64
F.3	Probekörpervorbereitung	66

F.3.1	Probekörper.....	66
F.3.2	Probekörpermaße	66
F.4	Durchführung	67
F.4.1	Prüftemperatur	67
F.4.2	Temperieren	67
F.4.3	Einbau des Probekörpers.....	67
F.4.4	Belastungsbedingungen.....	67
F.4.5	Einbau des Probekörpers.....	68
F.5	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	69
F.5.1	Analyse der Last- und Durchbiegungssignale.....	69
F.5.2	Berechnung der Prüfergebnisse	69
F.6	Prüfbericht.....	71
F.7	Präzision.....	71
	Literaturhinweise.....	72

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12697-24:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12697-24:2012 ersetzen.

Diese Europäische Norm gehört zu der nachfolgend aufgelisteten Normenreihe.

- EN 12697-1, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt*
- EN 12697-2, *Asphalt — Prüfverfahren — Teil 2: Korngrößenverteilung*
- EN 12697-3, *Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 3: Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer*
- EN 12697-4, *Asphalt — Prüfverfahren — 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 — 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 offenerporigem Asphalt*

- EN 12697-18, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 18: Bestimmung des Ablaufens¹⁾
- 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 — Teil 23: Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von Asphalt-Probekörpern
- EN 12697-24, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung
- EN 12697-25, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 25: Druckschwellversuch
- EN 12697-26, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 26: Steifigkeit
- EN 12697-27, Asphalt — Prüfverfahren — 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-Probekörpern
- 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 Asphaltproben mit einem Vibrationsverdichter
- EN 12697-33, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 33: Probestückvorbereitung mit einem Rollenverdichtungsgerät
- EN 12697-34, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 34: Marshall-Prüfung
- EN 12697-35, Asphalt — Prüfverfahren — 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 vorumhülltem Splitt für Hot-Rolled-Asphalt mittels heißem Sand
- EN 12697-38, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 38: Prüfeinrichtung und Kalibrierung

1) In Vorbereitung.

- EN 12697-39, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 39: Bindemittelgehalt 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 Aufbaumittel
- 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
- EN 12697-48, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 48: Schichtenverbund¹⁾
- EN 12697-49, Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt — Teil 49: Messung der Griffigkeit nach Polierung
- CEN/TS 12697-50, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 50: Bestimmung des Kornverlusts¹⁾
- EN 12697-51, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 51: Bestimmung der Oberflächen-Scherfestigkeit¹⁾
- CEN/TS 12697-52, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 52: Konditionierung, um der oxidativen Alterung Rechnung zu tragen¹⁾
- EN 12697-53, Asphalt — Prüfverfahren — Teil 53: Kohäsionszunahmemessung durch Ausbreitmaßmethode¹⁾

Gegenüber EN 12697-24:2012 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme eines neuen Anhangs für die CITT;
- b) Präzisierung mehrerer Textpassagen, um die Verfahren zu erläutern.

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 der im betreffenden Fall verwendeten Prüfeinrichtung 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.

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 12697-7, *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 12697-26:2011, *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: Probestückvorbereitung mit einem Rollenverdichtungsgerät*

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm werden nicht nur die konventionellen Ausfallkriterien, die auf der Verringerung der Steifigkeit beruhen, dargestellt. Auch andere Ausfallkriterien, z. B. Auftreten von Makrorissen oder der energiebasierte Ausfallmechanismus, kommen zur Anwendung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Unterschiedliche Prüfverfahren und unterschiedliche Ausfallkriterien könnten zu Ergebnissen führen, die nicht vergleichbar sind.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei einer weggeregelten Ermüdungsprüfung ist die Verringerung des Steifigkeitsmoduls auf die Hälfte seines Ausgangswertes ein allmählicher Prozess. Bei einer kraftgeregelten Prüfung wird in den meisten Fällen ein fortschreitendes Versagen des Probekörpers stattfinden.

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 Ausfallkriterium bei einer gegebenen Reihe von Prüfbedingungen k (Temperatur, Frequenz und Belastungsart) entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Belastungsart könnte z. B. eine konstante Durchbiegungsstufe, konstante Kraftstufe 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 deren Beziehung zu den oben genannten Parametern sind durch folgende Gleichungen gegeben:

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

$$K_{\varepsilon j} = \frac{(B_i - b_i)^2}{8 * b_i * h_i^2 \left[\frac{(b_i - B_i) * (3B_i - b_i)}{2 * B_i^2} + \ln \frac{B_i}{b_i} \right]} \quad (2)$$

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 (von 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 (%);
$K_{\epsilon i}$	Konstante in Relation zur größten Dehnung, im umgekehrten Verhältnis zu Meter (m^{-1});
z_i	Amplitude der Verschiebung am Kopf 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 $\lg(N) = a + (1/b) \lg(\epsilon)$;
r_2	linearer Korrelationskoeffizient ($\lg(N_i)$, $\lg(\epsilon_i)$);
$1/b$	Anstieg der Ermüdungskurve;
$\lg(\epsilon)$	Mittelwert von $\lg(\epsilon_i)$;
$S_{\lg(\epsilon)}$	Standardabweichung von $\lg(\epsilon_i)$;
$S_{\lg(N)}$	Standardabweichung von $\lg(N_i)$;
ϵ_6	10^6 Zyklen entsprechende Dehnung;
s_N	Schätzwert der Rest-Standardabweichung der dekadischen Logarithmen der Dauerhaltbarkeiten;
$\Delta\epsilon_6$	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} am Kopf 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: $K_{\sigma i}$ und deren Beziehung zu den zuvor 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 am Kopf aufgebrachten 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 aufgebrachten Kraft.

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

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 $\sigma_{j\max}$

$N\sigma_{ij}$ Dauerhaltbarkeit bei kraftgeregelter Prüfung.

3.3.2.4 Dauerhaltbarkeit in Relation zur Probe i bei der Dehnungsstufe ε_j

$N\varepsilon_{ij}$ konventionelle Dauerhaltbarkeit bei weggeregelter Prüfung.

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 $\varepsilon_{j\max}$ oder (B) bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$

$N_{\sigma j\max}$ mittlere Anzahl der bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j\max}$ durchlaufenen Zyklen;

$N_{\varepsilon i\max}$ mittlere Anzahl der bei der Dehnungsstufe $\varepsilon_{i\max}$ durchlaufenen Zyklen.

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);

$2A_\varepsilon$ Amplitude der Dehnungs-Näherungsfunktion, in Meter je Meter;

B Messgrundlänge des Extensometers, 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 Mikrometer (μm);
$2D_0$	Gesamtamplitude der Verschiebungsfunktion, in Mikrometer (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	momentanes Extensometersignal, 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 Verlauf 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 könnte 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

Raumdicke 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

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

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)

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einem perfekten sinusförmigen Signal beträgt der Spitzen-Spitzen-Wert das Doppelte der Signalamplitude.

3.5.20

Kraft F_0

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

3.5.21

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

Frequenz der sinusförmig aufgebrauchten 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

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

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

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

3.5.24

gemessene Phasenverzögerung $\varphi^*(x_s)$

im Verlauf eines Zyklus gemessene Phasenverzögerung zwischen der sinusförmig aufgebrauchten 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

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

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

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

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)

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

3.5.28

Konstante K in 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 $\varepsilon = \varepsilon(x_s)$

größte Dehnungsamplitude, die im Verlauf eines Zyklus zwischen den beiden inneren Klemmen auftritt, in Mikrometer 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)

$$\sigma = S_{\text{mix}} \times \varepsilon \times 10^{-6} \quad (17)$$

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)

$$\Delta W_{\text{dis}} = 10^{-3} \times \pi \times \varepsilon \times \sigma \times \sin\left(\varphi(x_s) \times \frac{\pi}{180}\right) \quad (18)$$

3.5.32

kumulierte abgegebene Energie

Summe der je Zyklus bis zum Zyklus n abgegebenen Energie

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Fall, dass die Messungen in 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 (%)

3.5.35

Genauigkeitsklasse

zulässiger Messfehler im Ausgangssignal eines Messwertaufnehmers oder Messfühlers

3.5.36 Symbole

Es werden folgende Symbole verwendet:

A_1	Schätzwert des Anstiegs p ;
A_0	Schätzwert der Belastungsstufe Q ;
B	Breite des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm);
D	maximale Nennkorngröße des zu prüfenden Asphalts, in Millimeter (mm);
H	Höhe des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm);
L	effektive Länge des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm);
L_{ges}	Gesamtlänge des prismatischen Probekörpers, in Millimeter (mm);
M_{Balken}	Masse des gesamten Balkens ohne die Massen der befestigten Klemmen, in Kilogramm (kg);
M_{Klemmen}	Massen der beiden inneren Klemmen, einschließlich der Masse des Klebstoffes und der Masse des Rahmens zwischen der Kraftmessdose und dem Kolben, in Kilogramm (kg);
$M_{\text{Messfühler}}$	Masse der beweglichen Teile des Messfühlers, in Kilogramm (kg);
$M_{\text{äq}}$	äquivalente Masse, in Kilogramm (kg);
$N_{i,j,k}$	Lebensdauer des Probekörpers i für die gewählten Ausfallkriterien j und die Reihe der Prüfbedingungen k in Zyklen;
$N_{f/50}$	Anzahl der Lastangriffe beim konventionellen Ausfall, wenn sich der Modul des (komplexen) Steifigkeitsmoduls auf die Hälfte seines Anfangswertes verringert hat;
Q	Stufe der Belastungsart-Prüfbedingung, die in Übereinstimmung mit den gewählten Ausfallkriterien k einer Anzahl von 10^6 Zyklen für die Dauerhaltbarkeit entspricht;
ΔQ	Vertrauensbereich in Relation zu Q ;
S_{mix}	Anfangswert des berechneten Moduls;
$S_{x/y}$	Schätzwert der Standardabweichung der Restverteilung der natürlichen Logarithmen der Dauerhaltbarkeiten, $\sigma_{x/y}$;
T	Koeffizient der Systemverluste bei Verwendung der Gleichungen des Youngschen Elastizitätsmoduls in der Auswertung;
p	Anstieg der Ermüdungskurve;
r	Korrelationskoeffizient der Regression;
x	Abstand vom Probenende, in Millimeter (mm);
x_s	Abstand vom Probekörperende bis zu der Stelle, an der der Messfühler angeordnet wird, in Millimeter (mm);
ε_i	beim 100. Lastangriff gemessene anfängliche Dehnungsamplitude;
f	Prüffrequenz, in Hertz (Hz);
ω	Winkelgeschwindigkeit, in Radian je Sekunde (rad/s);
θ	Prüftemperatur, in Grad Celsius (°C).

3.6 Symbole für die Prüfung mit indirekter Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern

Es werden folgende Symbole verwendet:

F	gemessene Amplitude der Kraft, in Newton (N);
t	Probekörperdicke, in Millimeter (mm);
Ω	Probekörperdurchmesser, in Millimeter (mm);
ΔH	horizontale Gesamtverformung zwischen dem 60. Impuls und dem 100. Impuls, in Millimeter (mm);
$\Delta H_{R,n}$	Amplitude der elastischen horizontalen Verformung bei Impuls n , in Millimeter (mm);
ν	Poissonzahl;
σ_0	Zugspannungsamplitude in der Mitte des Probekörpers, in Megapascal (MPa);
ε_0	anfängliche Dehnung in der Mitte des Probekörpers, in Mikrometer je Meter ($\mu\text{m}/\text{m}$);
$\varepsilon_{R,n}$	elastische Dehnung während der zyklischen Belastung, in Mikrometer je Meter ($\mu\text{m}/\text{m}$);
$S_{\text{mix},n}$	Steifigkeitsmodul bei Impuls n , in Megapascal (MPa);
W_n	Energieverhältnis;
N	Anzahl der Lastangriffe.

3.7 Symbole für die Prüfung mit indirekter zyklischer Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern

F_m	mittlere vertikale Kraft, in Kilonewton (kN);
F_l	untere vertikale Kraft, in Kilonewton (kN);
F_a	Amplitude der vertikalen Kraft, in Kilonewton (kN);
f	Lastfrequenz, in Hertz (Hz);
t	Prüfdauer, in Sekunden (s);
σ	maximale horizontale Zugspannung in der Mitte des Probekörpers, in Megapascal (MPa);
Ω	Probekörperdurchmesser, in Millimeter (mm);
t	Probekörperdicke, in Millimeter (mm);
u_m	mittlere horizontale Verschiebung, in Millimeter (mm);
u_a	Amplitude der horizontalen Verschiebung, in Millimeter (mm);
u_d	horizontale Verschiebungsrates, entspricht den viskoplastischen Durchbiegungen, in Millimeter (mm);
ε_a	maximale Amplitude der horizontalen Dehnung in der Mitte des Probekörpers, in Millimeter je Meter (mm/m);
$\Delta\varepsilon$	maximaler Dehnungsunterschied in der Mitte des Probekörpers, in Millimeter je Meter (mm/m);

ν	Poissonzahl, dimensionslos (-);
$S_{\text{mix},n}$	Steifigkeitsmodul, berechnet für das Lastintervall n ;
n	Anzahl der Lastzyklen bei dem aufgezeichneten Intervall, (-);
$ER(n)$	Energieverhältnis für das Lastintervall n , (-);
$N_{f,w}$	Anzahl der Lastangriffe bis zur Dauerhaltbarkeit entsprechend dem Energiekriterium, (-);
k, n	Materialkonstanten der Ermüdungsfunktion.

4 Probenvorbereitung

4.1 Lagerung der Probekörper

Vor Beginn der Prüfung müssen die Probekörper zwischen 14 Tagen und 42 Tagen ab dem Zeitpunkt der Herstellung bei einer Temperatur von höchstens 20 °C auf einer ebenen Fläche gelagert werden. Proben, die geschnitten und/oder geklebt werden müssen, müssen spätestens 8 Tage nach dem Verdichten des Asphalts geschnitten und frühestens 2 Wochen nach dem Schneiden geklebt werden. Als Zeitpunkt der Herstellung dieser Proben gilt der Zeitpunkt des Schneidens.

ANMERKUNG 1 Die Dauer der Lagerung beeinflusst die mechanischen Eigenschaften des Probekörpers.

ANMERKUNG 2 Zu Prüfzwecken mit Ausnahme von Prüfungen für die CE-Kennzeichnung kann eine andere Dauer der Lagerung verwendet werden.

4.2 Trocknen des Probekörpers

Nach dem Sägen und vor dem Kleben und/oder Prüfen müssen die Probekörper bei einer relativen Luftfeuchte von weniger als 80 % und bei einer Temperatur von höchstens 20 °C an der Luft bis zur Massenkonstanz getrocknet werden. Ein Probekörper gilt als trocken, wenn zwei Wägungen, die in einem Abstand von mindestens 4 h erfolgen, sich um weniger als 0,1 % unterscheiden.

ANMERKUNG Probekörper, die mindestens 14 Tage geschützt im Trockenen gelagert wurden, gelten als trocken.

4.3 Maße und Raumdichte der Probekörper

Die Maße der Probekörper müssen nach EN 12697-29 gemessen werden. Die Raumdichte muss nach EN 12697-6 oder EN 12697-7 bestimmt werden. Die Raumdichte der einzelnen Probekörper darf um nicht mehr als 1 % von der mittleren Raumdichte der Charge abweichen. Bei größeren Abweichungen der Raumdichte

Für die CE-Kennzeichnung dürfen Mittelwert und Einzelwerte der Raumdichte nicht mehr als 1 % abweichen. Für andere Zwecke sind größere Abweichungen zulässig. Das hat allerdings Auswirkung auf die Messunsicherheit der Prüfergebnisse.

5 Versagen

Falls nichts anderes vorgeschrieben ist, muss das in 3.1.2 definierte konventionelle Ausfallkriterium für die Art der durchgeführten Prüfung verwendet werden, um die Dauerhaltbarkeit eines Materials zu bestimmen. In solchen Fällen muss das verwendete Kriterium im Prüfbericht angegeben werden.

6 Berechnungen

Die Prüflasten, Verformungen und Frequenzen müssen so gewählt werden, dass der ε_6 -Wert durch Interpolation, nicht jedoch durch Extrapolation, berechnet wird. Mindestens 20 % der Messergebnisse müssen zu beiden Seiten des Ergebnisses der Berechnung liegen.

7 Zusammenfassung der Prüfverfahren

7.1 Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der in Form trapezförmiger Probekörper mit kontrollierter Verschiebung einer Zweipunkt-Biegebelastung bis zur Ermüdung unterzogen wird. Dieses Verfahren kann auf Asphalt mit einer maximalen Korngröße der Gesteinskörnung von bis zu 20 mm und auf Probekörper angewendet werden, die im Labor hergestellt oder aus einer mindestens 40 mm dicken Fahrbahnbefestigungsschicht entnommen wurden. Bei Asphalt mit einem Größtkorn D zwischen 20 mm und 40 mm kann die Prüfung nach demselben Prinzip durchgeführt werden, jedoch sind die Probekörpermaße entsprechend anzupassen. Für eine gegebene Frequenz der sinusförmigen Verschiebung erfordert das Verfahren die Durchführung mehrerer Einzelprüfungen in einer belüfteten Umgebung und bei geregelter Temperatur.

7.2 Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der in Form rechtwinkliger prismatischer Probekörper einer Zweipunkt-Biegebelastung bis zur Ermüdung unterzogen wird. Dieses Verfahren kann auf Asphalt mit einer maximalen Korngröße der Gesteinskörnung von bis zu 20 mm und auf Probekörper angewendet werden, die im Labor hergestellt oder aus einer mindestens 40 mm dicken Fahrbahnbefestigungsschicht entnommen wurden.

7.3 Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der in Form prismatischer, balkenförmiger Probekörper mit kontrollierter Verschiebung einer Dreipunkt-Biegebelastung bis zur Ermüdung unterzogen wird. Das Verhalten wird durch Bestimmung des Ermüdungsgesetzes in Bezug auf die Dehnung (Relation zwischen der Dehnung und der Anzahl der bis zum Ausfall durchlaufenen Lastzyklen) und des zugehörigen Energiegesetzes charakterisiert. Dieses Verfahren kann auf Asphalt-Probekörper mit einer maximalen Korngröße der Gesteinskörnung von 22 mm oder auf Probekörper angewendet werden, die aus einer mindestens 50 mm dicken Fahrbahnbefestigungsschicht entnommen wurden. Für eine gegebene Frequenz der sinusförmigen Verschiebung erfordert das Verfahren die Durchführung mehrerer Einzelprüfungen bei geregelter Temperatur.

7.4 Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der in Form schmaler rechteckiger Probekörper (prismatische Balken) bis zur Ermüdung einer Vierpunkt-Biegebelastung in einem Prüfgerät unterzogen wird, dessen innere und äußere Klemmen symmetrisch angeordnet sind. Die prismatischen Balken müssen einer periodischen Vierpunkt-Biegebelastung mit freier Rotation und Translation in allen Lastangriffs- und Reaktionspunkten unterzogen werden. Die Biegung muss durch senkrecht und im rechten Winkel zur Längsachse des Balkens wirkende Belastung der beiden inneren Lastangriffspunkte (innere Klemmen) erreicht werden. Die vertikale Position der Endlager (äußere Klemmen) muss festgelegt sein. Diese Belastungsanordnung muss ein konstantes Moment und damit eine konstante Dehnung zwischen den beiden inneren Klemmen erzeugen. Die Last muss sinusförmig aufgebracht werden. Während der Prüfung müssen die für die Biegung des Probekörpers benötigte Last, die Durchbiegung und die Phasenverzögerung zwischen diesen beiden Signalen als Funktion der Zeit gemessen werden. Die Ermüdungsdaten des geprüften Materials müssen aus diesen Messungen bestimmt werden.

7.5 Indirekte Zugprüfung an zylindrischen Probekörpern

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der einer Ermüdungsprüfung durch wiederholte indirekte Zugbeanspruchung mit einer konstanten Belastungsart unterzogen wird. Für diese Prüfung können zylindrische Probekörper verwendet werden, die im Labor hergestellt oder durch Kernbohren aus einer Fahrbahnbefestigung entnommen wurden. Ein zylindrischer Probekörper muss wiederholten Druckbeanspruchungen mit einem halbsinusförmigen Lastsignal ohne Ruhepausen auf die vertikale Durchmesserebene unterzogen werden. Diese Belastung führt zu einer relativ gleichförmigen Zugspannung senkrecht zur aufgebrachten Last und in der vertikalen Durchmesserebene und verursacht damit den Ausfall des Probekörpers durch Spaltung entlang des vertikalen Durchmessers. Die resultierende horizontale Verformung des Probekörpers muss gemessen werden, und es muss eine angenommene Poissonzahl verwendet werden, um die Zugdehnung in der Mitte des Probekörpers zu berechnen.

ANMERKUNG Als alternatives Ausfallkriterium kann die Dauerhaltbarkeit als die bis zum Bruch des Probekörpers erreichte Gesamtanzahl der Lastangriffe bestimmt werden. Weitere alternative Ausfallkriterien können auf dem Energieverhältnis beruhen. Falls dieses Kriterium verwendet wird, sollte das im Prüfbericht angegeben werden.

7.6 Prüfung mit indirekter zyklischer Zugbelastung an zylindrischen Probekörpern

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der einer Ermüdungsprüfung mit indirekter zyklischer Zugbelastung mit einer kraftgeregelten Belastungsart unterzogen wird. Für diese Prüfung können zylindrische Probekörper verwendet werden, die im Labor hergestellt oder durch Kernbohren aus einer Fahrbahnbefestigung entnommen wurden. Ein zylindrischer Probekörper muss auf die vertikale Durchmesserebene vertikalen zyklischen Drucklastimpulsen ohne Ruhepausen ausgesetzt werden. Diese Belastung führt zu einer sinusförmigen Zugspannung senkrecht zur aufgebrachten Last und in der vertikalen Durchmesserebene und verursacht damit den Ausfall des Probekörpers durch Spaltung entlang des vertikalen Durchmessers. Die resultierende horizontale Verformung des Probekörpers muss gemessen werden, und es muss eine angenommene Poissonzahl verwendet werden, um die Zugdehnung in der Mitte des Probekörpers zu berechnen. Als alternatives Ausfallkriterium muss die Anzahl der Lastangriffe bis zur Entstehung von Makrorissen aufgebracht werden.

8 Überprüfung der Prüfeinrichtung

Die gesamte Prüfeinrichtung muss mit mindestens einem Referenzprobekörper, der nicht aus Asphalt besteht, mit einem bekannten Steifigkeitsmodul (Modul und Phasenverzögerung) überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse innerhalb der Prüfpräzision liegen. Zur Überprüfung der Prüfeinrichtung für die Anhänge A, B, C und D muss das gewählte Biegemoment (E , I) des(der) Probekörper(s) dem Biegemoment eines üblichen Asphaltprobekörpers entsprechen (wobei ein Steifigkeitsmodul des Asphalts zwischen 3 GPa und 14 GPa zu wählen ist). Für Anhang E ist ein geeigneter Referenzprobekörper mit einer bekannten Steifigkeit zwischen 3 GPa und 14 GPa für die Überprüfung zu verwenden. Der Referenzprobekörper muss bei mindestens 2 Frequenzen, 1 Temperatur und 2 Durchbiegungen geprüft werden. Der umgerechnete Steifigkeitsmodul darf maximal 2 % vom bekannten Modul und $1,0^\circ$ von der bekannten Phasenverzögerung abweichen. Falls durch elektronische Bauteile oder mechanische Geräte bedingte systematische (oder größere) Abweichungen des:

- Steifigkeitsmoduls beobachtet werden, müssen alle elektronischen Bauteile und alle mechanischen Geräte auf einwandfreie Funktion überprüft werden, ohne dass ein Korrekturverfahren für die Umrechnungssoftware erlaubt ist;
- Phasenwinkels beobachtet werden, ist ein Korrekturverfahren für die Umrechnungssoftware erlaubt.

Die Geometrie des Referenzprobekörpers sollte so gewählt werden, dass dessen Masse mit der Masse eines Asphaltprobekörpers vergleichbar ist. Das Einspannen des Referenzprobekörpers sollte dem Vorgehen bei Asphaltprobekörpern entsprechen. Referenzmaterialien mit einer Phasenverzögerung ungleich null werden bevorzugt; ein Material wie Aluminium (E etwa 70 GPa, Phasenverzögerung null) ist jedoch auch zulässig.

9 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- a) Angaben zum gewählten Prüfverfahren, zur verwendeten Prüfeinrichtung und Ergebnisse der letzten Überprüfung der Prüfeinrichtung;
- b) Kennzeichnung des Asphalts;
- c) Datum der Prüfung und Alter des Probekörpers bei der Prüfung (in Tagen);
- d) mittlerer Hohlraumgehalt des Probekörpers nach EN 12697-8;
- e) Verfahren der Herstellung oder der Probenahme, falls anwendbar;
- f) Bedingungen der Ermüdungsprüfung (Temperatur, Frequenz usw.);
- g) gewähltes Ausfallkriterium (falls abweichend vom konventionellen Ausfallkriterium);
- h) für jeden Probekörper Anzahl der Zyklen bis zu dem Punkt, an dem das Ermüdungskriterium erreicht wird, mit Angabe der Dehnungs- oder Spannungsstufe sowie Mittelwert und Standardabweichung für jede Dehnungs- oder Spannungsstufe;
- i) Darstellung der Ermüdungskurve;
- j) Titel des zutreffenden Anhangs dieser Europäischen Norm;
- k) sonstige nach dem relevanten Anhang geforderte Ergebnisse;
- l) sonstige Einzelheiten, soweit sie nicht in dieser Europäischen Norm geregelt sind;
- m) alle Vorkommnisse, die einen Einfluss auf die Ergebnisse haben könnten.

Anhang A (normativ)

Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern

A.1 Kurzbeschreibung

A.1.1 Allgemeines

A.1.1.1 Dieser Anhang legt ein Verfahren zur Charakterisierung des Verhaltens von Asphalt fest, der unter Verwendung trapezförmiger Probekörper mit kontrollierter Verschiebung einer Zweipunkt-Biegebelastung bis zur Ermüdung unterzogen wird.

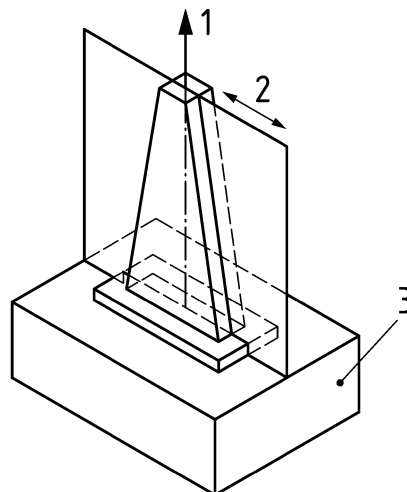
A.1.1.2 Dieses Verfahren kann auf Asphalt mit einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 20 mm und auf Probekörper angewendet werden, die im Labor hergestellt oder aus einer mindestens 40 mm dicken Fahrbahnbefestigungsschicht entnommen wurden. Bei Asphalt mit einem Größtkorn D zwischen 20 mm und 40 mm kann die Prüfung nach demselben Prinzip durchgeführt werden, jedoch sind die Probekörpermaße entsprechend anzupassen.

A.1.1.3 Für eine gegebene Frequenz der sinusförmigen Verschiebung erfordert das Verfahren die Durchführung mehrerer Einzelprüfungen in einer belüfteten Umgebung und bei geregelter Temperatur.

A.1.2 Einzelprüfung

Bei einer Einzelprüfung wird:

- eine sinusförmige Verschiebung mit konstanter Amplitude am Kopf eines gleichschenkligen trapezförmigen Probekörpers ausgeübt, wie in Bild A.1 dargestellt;
- die Änderung der Amplitude der am Kopf des Trapezes aufgetragenen Kraft in Relation zur Reaktion des Probekörpers aufgezeichnet;
- die Dauerhaltbarkeit des Probekörpers bis zum Erreichen des Ausfallkriteriums gemessen.



Legende

- 1 am Kopf des Trapezes aufgetragene Kraft in Relation zur Reaktion des Probekörpers
- 2 konstante Amplitude bei sinusförmiger Verschiebung
- 3 Nut im Metallsockel

Bild A.1 — Sinusförmige Verschiebung am Kopf des Probekörpers

A.1.3 Ermüdungskurve

Die Ermüdungskurve der Einzelprüfungen des Asphalts für die verschiedenen bei den Prüfungen angewendeten Stufen der Verschiebungsamplitude muss erstellt werden. Die Ermüdungskurve muss in einem doppellogarithmischen System als lineare Regression der Dauerhaltbarkeit über den Amplitudenstufen geschätzt werden. Unter Verwendung dieser Ergebnisse müssen die einem Durchschnitt von 10^6 Zyklen ε_6 entsprechende Dehnung und der Anstieg der Ermüdungskurve $1/b$ bestimmt werden. Außerdem dürfen die Standardabweichung der Restverteilung der Dauerhaltbarkeit S_N und der auf ε_6 bezogene Qualitätsindex $\Delta\varepsilon_6$ berechnet werden.

A.2 Prüfeinrichtung

A.2.1 Prüfmaschine

Die Prüfmaschine muss ein System sein, das es ermöglicht, den Kopf des Probekörpers einer sinusförmigen Verschiebung mit festgelegter Frequenz zu unterziehen. Die Schwankung der Verschiebung während der Prüfung muss kleiner als $0,12 \mu\text{m}/\text{N}$ sein. Die Prüfmaschine muss in der Lage sein, die Probekörper mit einer Frequenz von (25 ± 1) Hz und, falls für andere Zwecke gefordert, mit anderen Frequenzen $\pm 4 \%$ zu belasten.

Falls eine andere Frequenz als 25 Hz verwendet wird, sollte das im Prüfbericht angegeben werden. Die Ergebnisse von Prüfungen mit unterschiedlichen Frequenzen sind nicht notwendigerweise direkt miteinander vergleichbar.

A.2.2 Thermostatisch geregelte Prüfkammer

Die thermostatisch geregelte Prüfkammer muss belüftet und in der Lage sein, die Temperatur des Metallsockels der Probekörper und die mittlere Temperatur des wenige Zentimeter an den Probekörpern vorbeigeführten Luftstroms während der gesamten Prüfung auf $\pm 1^\circ\text{C}$ aufrechtzuerhalten.

A.2.3 Messausrüstung

A.2.3.1 Kraft

Die Einrichtung zur Messung der auf den Kopf des Probekörpers aufgebrachten Kraft muss Werte $\geq 200 \text{ N}$ auf $\pm 2 \%$ und Werte $< 200 \text{ N}$ auf $\pm 2 \text{ N}$ messen.

A.2.3.2 Verschiebung

Die Einrichtung zur Messung der Verschiebung am Kopf des Probekörpers mit Hilfe von Messfühlern muss in der Lage sein, die Verschiebung mit einem statischen Verfahren auf mindestens $\pm 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}$ zu messen. Falls eine Kalibrierung nach einem statischen Verfahren vorgenommen wird, muss die bei Anwendung des dynamischen Verfahrens angezeigte Verschiebung mit einer Abweichung von weniger als 2% gleich dem bei Anwendung des statischen Verfahrens angezeigten Wert sein.

A.3 Probekörpervorbereitung

A.3.1 Sägen und Aufbewahren

A.3.1.1 Die Probekörper müssen, wie in Bild A.2 dargestellt, die Form gleichschenkliger Trapeze und eine gleichmäßige Dicke haben. Die entsprechenden Maße sind in Tabelle A.1 angegeben.

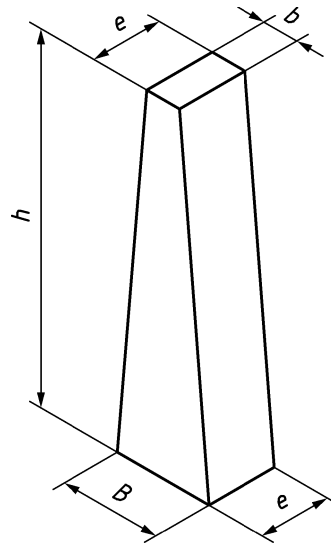


Bild A.2 — Probekörpergeometrie

Tabelle A.1 — Probekörpermaße

Probekörpermaße	Art des Asphalts		
	$D \leq 14 \text{ mm}$	$14 < D \leq 20 \text{ mm}$	$20 < D \leq 40 \text{ mm}$
B	$56 \pm 1 \text{ mm}$	$70 \pm 1 \text{ mm}$	$70 \pm 1 \text{ mm}$
b	$25 \pm 1 \text{ mm}$	$25 \pm 1 \text{ mm}$	$25 \pm 1 \text{ mm}$
e	$25 \pm 1 \text{ mm}$	$25 \pm 1 \text{ mm}$	$50 \pm 1 \text{ mm}$
h	$250 \pm 1 \text{ mm}$	$250 \pm 1 \text{ mm}$	$250 \pm 1 \text{ mm}$

A.3.1.2 Die zu prüfenden Probekörper müssen aus Platten, die entweder nach EN 12697-33 im Labor hergestellt oder aus Fahrbahnbefestigungen entnommen wurden, gesägt oder aus Bohrkernen mit einem Durchmesser von mindestens 250 mm hergestellt werden. Die Platten müssen ausreichende Abmessungen (siehe Tabelle A.1) und eine Dicke von mindestens 40 mm haben.

A.3.2 Eigenschaften der Probekörper

Die Probekörper müssen auf 0,1 mm gemessen werden. Die Standardabweichung von v_i % muss $\leq 0,7$ % sein.

A.3.3 Überprüfung der Einbettung

Die Probekörper müssen nach einem Verfahren eingebettet werden, das dem Verfahren zur Überprüfung der Einbettung entspricht. Die Einbettung muss mit einem Probekörper aus einer Aluminiumlegierung des Typs EN AW 2017T4 überprüft werden, der einen rechteckigen Querschnitt mit den Maßen $(13,5 \pm 1) \text{ mm} \times (30 \pm 1) \text{ mm}$ hat und mindestens 220 mm lang ist (siehe Bild A.3). Der metallische Probekörper muss in die Prüfmaschine eingespannt werden. Auf seine Oberseite muss eine Kraft von etwa 200 N aufgebracht werden. Die Verschiebung und die Dehnung müssen aufgezeichnet werden. Der metallische Probekörper muss an einem L-förmigen Rahmen aus Stahl mit einem Querschnitt von mehr als $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ befestigt werden. Auf die Oberseite des Probekörpers muss eine Kraft so aufgebracht werden, dass die gemessene Dehnung gleich der von der Prüfmaschine aufgezeichneten Dehnung ± 1 % ist. Die Verschiebung darf um nicht mehr als 5 % abweichen. Ein Beispiel für die Prüfeinrichtung ist in Bild A.4 dargestellt.

ANMERKUNG Es dürfen auch andere Verfahren angewendet werden, sofern sie zu denselben Ergebnissen führen.

Maße in Millimeter

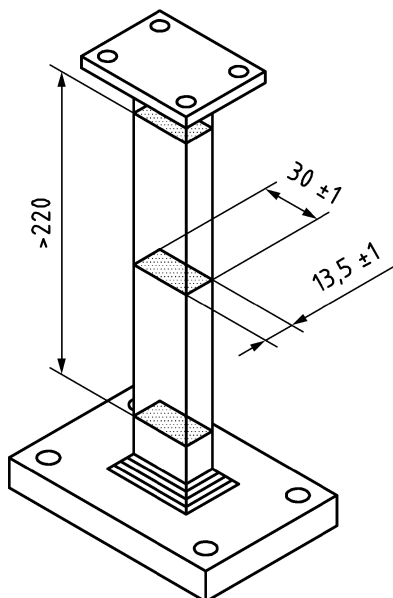
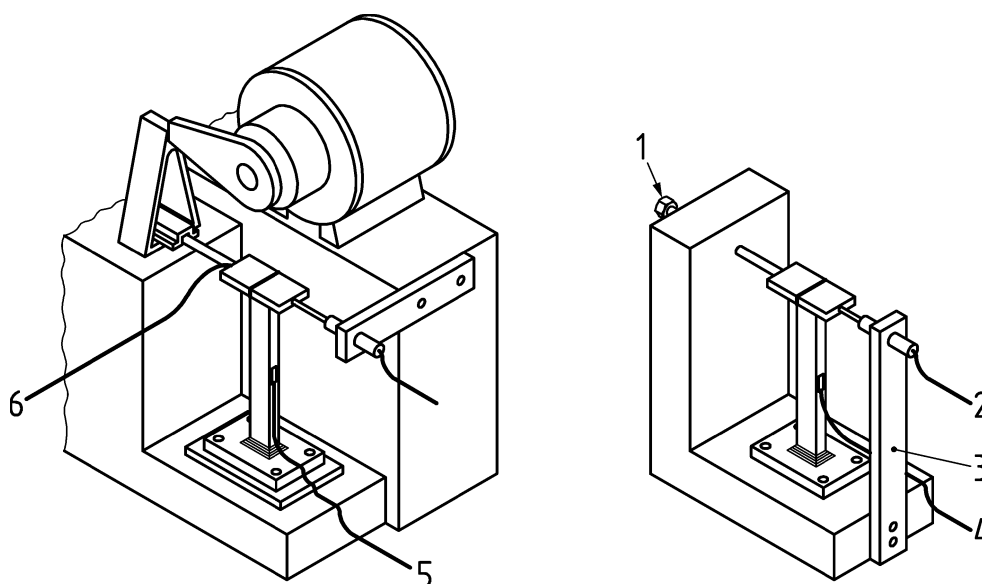


Bild A.3 — Beispiel für den Probekörper aus Aluminiumlegierung



Legende

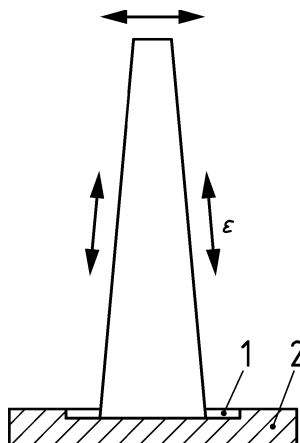
- 1 Schraube, mit deren Hilfe die Verformung verursacht wird
- 2 Verschiebungsmessung
- 3 Auflagerung
- 4 gemessene Dehnung
- 5 aufgezeichnete Dehnung
- 6 aufgezeichnete Spannung

Bild A.4 — Beispiel für die Einrichtung zur Überprüfung des Einbettungsverfahrens

A.3.4 Verkleben der Enden

Vor dem Einbau in die Prüfmaschine muss jeder Probekörper, wie in Bild A.5 dargestellt, mit seiner großen Grundfläche in die (etwa 2 mm tiefe) Nut eines Metallsockels mit einer Mindestdicke von 20 mm geklebt werden. Dieser Arbeitsgang muss auf einer Vorrichtung ausgeführt werden, mit deren Hilfe die korrekte Positionierung des Probekörpers auf dem Sockel während des Klebens sichergestellt wird. Der Klebstofffilm muss möglichst dünn sein. Es darf auch ein anderes Befestigungsverfahren angewendet werden, sofern nachgewiesen werden kann, dass die Grundfläche der Probe fixiert ist.

ANMERKUNG Die Verschiebung wird an einer auf den Kopf des Probekörpers geklebten Abdeckung aufgebracht.



Legende

- 1 etwa 2 mm tiefe Nut
- 2 Metallsockel

Bild A.5 — Befestigung des Probekörpers

A.4 Durchführung

A.4.1 Vorbereitung der Prüfeinrichtung

A.4.1.1 Die thermostatisch geregelte Prüfkammer und das zur Lastaufbringung verwendete Gerät müssen auf die Prüftemperatur gebracht werden. Für jeden Probekörper i muss die gewünschte Verschiebung des Kopfes nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$z_i = \frac{\varepsilon_i}{K_i} \quad (\text{A.1})$$

A.4.1.2 Danach muss der zu prüfende Probekörper in die Prüfmaschine eingebaut werden. Die Einstellung der Verschiebung muss $\pm 5 \mu\text{m}$ betragen. Falls ein metallischer Probekörper verwendet wird, um die Verschiebung einzustellen, muss er vom selben Typ sein wie der in A.2.1 beschriebene metallische Probekörper. Die Ermüdungsprüfung darf nicht begonnen werden, bevor nachgewiesen wurde, dass der Probekörper die Prüftemperatur erreicht hat (falls notwendig, mit Hilfe eines Blindprobekörpers).

ANMERKUNG Die Probekörper sollten keinesfalls vorher belastet worden sein, weil das zu abweichenden Ergebnissen führen könnte.

A.4.2 Durchführung der Ermüdungsprüfung

Der Kopf des Probekörpers i muss bis zum Erreichen des Ausfallkriteriums sinusförmig mit einer Verschiebungsamplitude von $\pm 5 \mu\text{m}$ bewegt werden. Zwischen dem 100. Zyklus und dem 500. Zyklus müssen die Reaktionskräfte auf $\pm 2 \%$ aufgezeichnet werden, und daraus muss die mittlere Reaktionskraft berechnet werden. Die Verschiebung z_i muss gemessen werden, und für diese Einzelprüfung muss ε_i berechnet werden. Die Anzahl der bis zum Erreichen des Ausfallkriteriums durchlaufenen Zyklen N_i muss auf 300 Zyklen genau gemessen werden.

ANMERKUNG Die mittlere Reaktionskraft zwischen dem 100. Zyklus und dem 500. Zyklus ist als Anfangswert der Reaktionskraft definiert.

A.4.3 Auswahl der Dehnung

A.4.3.1 Die Verformungen ε_i müssen so gewählt werden, dass entweder:

- die Werte auf einer logarithmischen Skala annähernd gleichmäßig verteilt sind; oder
- es mindestens 3 Stufen der Verformung mit einer homogenen Anzahl an Probekörpern (von 1 Probekörper oder 2 Probekörpern) je Stufe gibt. Die Mittelwerte müssen auf einer logarithmischen Skala annähernd gleichmäßig verteilt sein.

A.4.3.2 Zusätzlich zu den in Abschnitt 6 festgelegten Anforderungen: Die Verformungen müssen so sein, dass mindestens ein Drittel der Einzelprüfungen Ergebnisse mit $N \leq 10^6$ und mindestens ein Drittel der Einzelprüfungen Ergebnisse mit $N \geq 10^6$ liefert. Andernfalls müssen zusätzliche Einzelprüfungen durchgeführt werden.

A.4.4 Anzahl der Einzelprüfungen

Zur Bestimmung des Ergebnisses müssen mindestens 18 Einzelprüfungen durchgeführt werden.

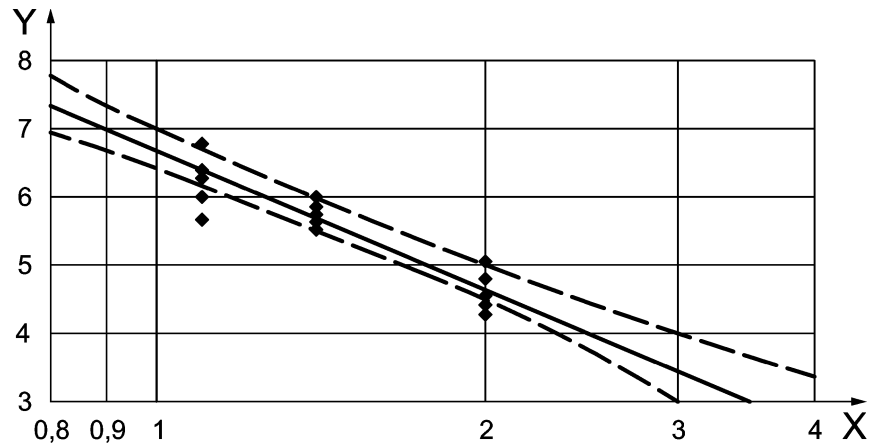
A.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

A.5.1 Die Ermüdungskurve ist auf Grundlage der Ergebnisse, die die Länge der Lebensdauer N_i für die gewählte ε_i repräsentieren, durch eine lineare Regression zwischen den Zehnerlogarithmen von N_i und den Zehnerlogarithmen von ε_i in folgender Form zu erstellen:

$$\lg(N) = a + \left(\frac{1}{b}\right) \times \lg(\varepsilon) \quad (\text{A.2})$$

mit dem Korrelationskoeffizienten r_2 .

ANMERKUNG Ein Beispiel für eine Ermüdungskurve ist in Bild A.6 dargestellt, wobei die Achsen anders als bei der häufigsten Art der Darstellung vertauscht sind, so dass der Anstieg dem für die Prüfung festgelegten entspricht.



Legende

Y	lg(N)
X	lg(ε/10 000)
N	Anzahl der Lastzyklen
ε	Dehnung

Bild A.6 — Beispiel einer Ermüdungskurve

A.5.2 Für n Ergebnisse muss Folgendes berechnet werden:

- der Schätzwert der Dehnung bei 10^6 Zyklen:

$$\varepsilon_6 = 10^{b \times (6-a)} \quad (\text{A.3})$$

- der Schätzwert der Rest-Standardabweichung S_N :

$$S_N = S_{\lg(N)} \times \sqrt{\frac{(1-r_2^2) \times (n-1)}{(n-2)}} \quad (\text{A.4})$$

- der Qualitätsindex $\Delta\varepsilon_6$:

$$\Delta\varepsilon_6 = 0,5\varepsilon_6 \times (10^{-2b \times S_0} - 10^{2b \times S_0}) \quad (\text{A.5})$$

wobei

$$S_0 = S_N \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\lg(\varepsilon_6) - \lg(\varepsilon))^2}{(n-1) \times S_{\sin(\varepsilon)}^2}} \quad (\text{A.6})$$

A.6 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die in Abschnitt 9 aufgeführten Angaben sowie folgende Angaben enthalten:

- ε_6 ;
- $\Delta\varepsilon_6$;
- Anstieg l/b ;
- Schätzwert der Rest-Standardabweichung s_N ;
- Korrelationskoeffizient r_2 .

ANMERKUNG Ein Prüfergebnis umfasst die Messungen an mindestens 18 Einzelprobekörpern.

A.7 Präzision

A.7.1 Allgemeines

Die Vergleichpräzision und die Wiederholpräzision des mit gleichschenkligen Probekörpern durchgeführten Zweipunkt-Prüfverfahrens wurden nach ISO 5725-2 [2] unter Beteiligung von 11 Laboratorien (aus 3 europäischen Ländern) unter Verwendung verschiedener Prüfeinrichtungen bestimmt. Der im Jahre 2001 durchgeführte Versuch wurde an Asphaltbeton AC14 bei 10 °C und 25 Hz durchgeführt.

A.7.1 Ergebnisse mit Bezug auf ε_6 :

- Wiederholpräzision, Standardabweichung, $\sigma_r = 1,43$ Mikrostrain;
- Wiederholpräzision, Wahrscheinlichkeitsgrenze 95 %, $r = 4,2$ Mikrostrain;
- Vergleichpräzision, Standardabweichung $\sigma_R = 1,43$ Mikrostrain;
- Vergleichpräzision, Wahrscheinlichkeitsgrenze 95 %, $R = 8,3$ Mikrostrain.

A.7.1 Ergebnisse mit Bezug auf l/b :

- Wiederholpräzision, Standardabweichung, $\sigma_r = 0,021\ 3$;
- Wiederholpräzision, Wahrscheinlichkeitsgrenze 95 %, $r = 0,060\ 2$;
- Vergleichpräzision, Standardabweichung $\sigma_R = 0,022\ 7$;
- Vergleichpräzision, Wahrscheinlichkeitsgrenze 95 %, $R = 0,064\ 2$.

Anhang B (normativ)

Zweipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

B.1 Kurzbeschreibung

Dieser Anhang legt ein Verfahren zur Charakterisierung des Verhaltens von Asphalt fest, der unter Verwendung rechtwinkliger prismatischer Probekörper einer Zweipunkt-Biegebelastung bis zur Ermüdung unterzogen wird. Dieses Verfahren kann auf Asphalt mit einer maximalen Korngröße der Gesteinskörnung von 20 mm und auf Probekörper angewendet werden, die im Labor hergestellt oder aus einer mindestens 40 mm dicken Fahrbahnbefestigungsschicht entnommen wurden.

B.2 Prüfeinrichtung

B.2.1 Prüfmaschine

Die Prüfmaschine muss ein System sein, das es ermöglicht, den Kopf des Probekörpers einer sinusförmigen Verschiebung mit festgelegter Frequenz zu unterziehen. Die Schwankung der Verschiebung während der Prüfung muss kleiner als $0,1 \mu\text{m}/\text{N}$ sein. Die Prüfmaschine muss in der Lage sein, die Probekörper mit einer Frequenz von (25 ± 1) Hz und, falls für andere Zwecke gefordert, mit anderen Frequenzen $\pm 4 \%$ zu belasten.

Falls eine andere Frequenz als 25 Hz verwendet wird, sollte das im Prüfbericht angegeben werden. Die Ergebnisse von Prüfungen mit unterschiedlichen Frequenzen sind nicht notwendigerweise direkt miteinander vergleichbar.

B.2.2 Thermostatisch geregelte Prüfkammer

Die thermostatisch geregelte Prüfkammer muss in der Lage sein, die Temperatur des Metallsockels der Probekörper und die mittlere Temperatur des wenige Zentimeter an den Probekörpern vorbeigeführten Luftstroms während der gesamten Prüfung auf $\pm 1^\circ\text{C}$ aufrechtzuerhalten. Falls sich die Prüfmaschine mit all ihren Teilen in der thermostatisch geregelten Prüfkammer befindet, muss die Temperatur des Metallsockels der Probekörper die für den Luftstrom geltenden Bedingungen erfüllen. Anstelle der Lufttemperatur muss dann diese Temperatur aufgezeichnet werden. Die Prüfkammer muss auf $0,5^\circ\text{C}$ kalibriert werden.

B.2.3 Messeinrichtung

B.2.3.1 Kraft

Die Kraftmesseinrichtung muss die auf den Kopf des Probekörpers aufgebrachte Kraft anhand der Stromaufnahme des verwendeten elektrodynamischen Schwingers auf $\pm 1 \text{ N}$ bestimmen. Es muss ein System zur Erfassung der gemessenen Kräfte vorhanden sein.

B.2.3.2 Verschiebung

Die Einrichtung zur Messung der Verschiebung des Kopfes des Probekörpers mit Hilfe von Messfühlern muss in der Lage sein, die Verschiebung auf mindestens $\pm 10^{-3} \text{ m}$ zu messen. Es muss ein System zur Erfassung der gemessenen Verschiebung vorhanden sein.

B.2.3.3 Temperatur

Die Messsonden zur Messung der Temperatur des Metallsockels des Probekörpers müssen eine Fehlergrenze von $0,1^\circ\text{C}$ haben. Es muss ein System zur Erfassung der gemessenen Temperaturen vorhanden sein.

B.3 Probekörpervorbereitung

B.3.1 Sägen

Die Probekörper müssen die Form von Vierkantsäulen und die in Tabelle B.1 angegebenen Maße haben. Sie müssen entweder aus Platten, die nach EN 12697-33 im Labor hergestellt wurden, gesägt werden oder aus mindestens 40 mm dicken Platten oder aus Bohrkernen mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm, die aus Fahrbahnbefestigungen entnommen wurden, hergestellt werden. Die Längsachse der Platte muss parallel zur Verdichtungsachse sein.

Tabelle B.1 — Probekörpermaße (B)

Probekörpermaße mm	Art des Asphalts	
	$D \leq 22$ mm	$D \geq 22$ mm
<i>B</i>	40 ± 1	80 ± 1
<i>E</i>	40 ± 1	80 ± 1
<i>H</i>	160 ± 1	320 ± 1

B.3.2 Eigenschaften der Probekörper

Die Probekörper müssen auf 0,1 mm gemessen werden. Die Standardabweichung von v_i % muss $\leq 0,5$ % sein. Falls der Variationskoeffizient der Probekörpergeometrie $K_{\sigma i} \leq 1$ % ist, muss die je Zugspannungsstufe auf den Kopf des Probekörpers ausgeübte Verschiebung für alle Zugspannungsstufen gleich sein.

B.3.3 Verkleben der Enden

Während des Einbaus in die Prüfmaschine muss jeder Probekörper mit der Oberseite nach unten auf die mindestens 20 mm dicke Metallgrundplatte der Prüfmaschine geklebt werden.

ANMERKUNG Die Verschiebung wird an einer auf den Kopf des Probekörpers geklebten Abdeckung aufgebracht.

B.4 Durchführung

B.4.1 Vorbereitung der Prüfeinrichtung

Die thermostatisch geregelte Prüfkammer und das zur Lastaufbringung verwendete Gerät müssen auf die Prüftemperatur gebracht werden. Die Stromversorgung des elektrodynamischen Schwingers muss entsprechend der Kalibrierungskurve für die vorgesehene Verschiebung des Kopfes eingestellt werden. Die Ermüdungsprüfung darf erst dann begonnen werden, wenn zum Erreichen des Temperaturgleichgewichts mindestens 1 h verstrichen ist oder wenn nachgewiesen wurde, dass der Probekörper die Prüftemperatur erreicht hat (falls notwendig, mit Hilfe eines Blindprobekörpers).

B.4.2 Durchführung der Ermüdungsprüfung

B.4.2.1 Der Kopf des Probekörpers muss sinusförmig mit der vorgesehenen Verschiebungsamplitude bewegt werden.

ANMERKUNG 1 Die Amplitude entspricht der vorgesehenen Zugspannung und ist nach folgender Gleichung zu berechnen.

$$P_{ij} = \frac{\sigma_{j \max}}{K_{\sigma i}} \quad (B.1)$$

Dabei ist

- P_{ij} die Amplitude der auf den Kopf aufgetragenen Kraft, in Newton (N);
- $\sigma_{j \max}$ die größte relative Zugspannung im Probekörper, entspricht der auf den Kopf aufgetragenen Kraft;
- $K_{\sigma i}$ die Konstante für die Betrachtung der Probekörpergeometrie bei konstanter Kraft.

ANMERKUNG 2 Der Anfangswert der Verschiebung ist definiert als die Abszisse einer linearen Regression des linearen Teils der Kurve, die man erhält, wenn die Verschiebung auf die Zyklen eingestellt wird.

B.4.2.2 Die Prüfung muss beendet werden, sobald die Verschiebungsamplitude 280 μm übersteigt.

B.4.3 Auswahl der Zugspannung

Die Prüfung muss bei mindestens 3 Zugspannungsstufen mit mindestens 6 Wiederholungen je Stufe durchgeführt werden. Die Zugspannungsstufen müssen materialabhängig so gewählt werden, dass der Mittelwert der Dauerhaltbarkeit der betreffenden Reihe für mindestens zwei Stufen zwischen 10^4 Zyklen und 10^6 Zyklen und für mindestens eine Stufe zwischen 10^6 Zyklen und 10^7 Zyklen liegt.

B.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

B.5.1 Die Ermüdungskurve muss auf Grundlage der Ergebnisse, die die Dauerhaltbarkeit N_{ij} für die gewählte Zugspannungsstufe $\sigma_{i \max}$ repräsentieren, durch eine lineare Regression zwischen den natürlichen Logarithmen von $\sigma_{i \max}$ repräsentieren, durch eine lineare Regression zwischen den natürlichen Logarithmen von $\sigma_{i \max}$ in folgender Form zu erstellen:

$$\ln(N_{ij}) = A_0 + A_1 \times \ln(\sigma_{j \max}) \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

- N_{ij} die Dauerhaltbarkeit des Probekörpers i bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{i \max}$;
- $A_{\varepsilon 0}, A_{\sigma 0}$ die Teile der Achsen der Ermüdungskurve bei konstanter Kraft;
- $A_{\varepsilon 1}, A_{\sigma 1}$ der Anstieg der Ermüdungskurve bei konstanter Kraft.

B.5.2 Es müssen folgende Eigenschaften berechnet werden:

- Schätzwert von $A_{\sigma 0}$, zu bestimmen als $\hat{A}_{\sigma 0}$;
- Schätzwert von $A_{\sigma 1}$, zu bestimmen als $\hat{A}_{\sigma 1}$;
- Korrelationskoeffizient der Regression r_{σ} ;
- Anstieg $p_{\sigma} = 1/\hat{A}_{\sigma 0}$;

- Schätzwert der Standardabweichung $\sigma_{\sigma_{x/y}}$, zu bestimmen als $s_{\sigma_{x/y}}$:

$$s_{\sigma_{x/y}} = s_N \times \sqrt{\frac{(1-r_\sigma^2) \times (N-1)}{N-2}} \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

s_N der Schätzwert der Standardabweichung von N_{ij} ;

r_σ, r_σ der Korrelationskoeffizient der Regression;

N die Anzahl der Einzelprüfungen.

- Schätzwert der Spannung bei 10^6 Zyklen:

$$\hat{\sigma}_6 = e^{\frac{-A_{\sigma 0} + \ln(10^6)}{A_{\sigma 1}}} \quad (\text{B.4})$$

- Vertrauensbereich von $\hat{\sigma}_6$ für eine Wahrscheinlichkeit von 95 %, zu bestimmen als $\Delta\hat{\sigma}_6$:

$$\Delta\hat{\sigma}_6 = \hat{\sigma}_6 \times (-1 + e^{-2p_\sigma \times s_{\sigma 0}}) \quad (\text{B.5})$$

mit

$$s_{\sigma 0} = s_{\sigma_{x/y}} \times \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(\ln(\hat{\sigma}_6) - \ln(\sigma))^2}{(N-1) \times s_\sigma^2}} \quad (\text{B.6})$$

Dabei ist

$\hat{\sigma}_6$ die Zugspannung, entspricht 10^6 Zyklen;

σ die Zugspannung an einem mittigen Punkt;

s_σ der Schätzwert der Standardabweichung von $\sigma_{j \max}$;

N die Anzahl der Einzelprüfungen.

- Schätzwert der Standardabweichung von $\sigma_{j \max}$, gegeben durch:

$$s_\sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^n \left(\frac{(\ln(\sigma_{j \max}) - \ln(\sigma))}{(N-1)} \right)^2} \quad (\text{B.7})$$

Dabei ist

$\sigma_{j \max}$ die größte relative Zugspannung im Probekörper, entspricht der auf den Kopf aufgetragenen Kraft;

σ die Zugspannung an einem mittigen Punkt;

l die Anzahl der Zugspannungsstufen $\sigma_{j \max}$;

n die Anzahl der Probekörper bei den Zugspannungsstufen $\sigma_{j \max}$;

N die Anzahl der Einzelprüfungen.

— Zugspannung an einem mittigen Punkt, gegeben durch:

$$\sigma = e^{\frac{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^n \ln(\sigma_{j \max})}{N}} \quad (\text{B.8})$$

Dabei ist

- $\sigma_{j \max}$ die größte relative Zugspannung im Probekörper, entspricht der auf den Kopf aufgetragenen Kraft;
- l die Anzahl der Zugspannungsstufen $\sigma_{j \max}$;
- n die Anzahl der Probekörper bei den Zugspannungsstufen $\sigma_{j \max}$;
- N die Anzahl der Einzelprüfungen.

— Schätzwert der Standardabweichung von $\ln(N_i)$ s_N :

$$s_N = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^n \left[\ln(N_{ij}) - \left(\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^n \frac{\ln(N_{ij})}{N} \right) \right]^2}{N-1}} \quad (\text{B.9})$$

Dabei ist

- N_{ij} die Dauerhaltbarkeit des Probekörpers i bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j \max}$;
- l die Anzahl der Zugspannungsstufen $\sigma_{j \max}$;
- n die Anzahl der Probekörper bei der Zugspannungsstufe $\sigma_{j \max}$;
- N die Anzahl der Einzelprüfungen.

B.6 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die in Abschnitt 9 aufgeführten Angaben sowie folgende Angaben enthalten:

- ausgewählte geregelte Prüfkraft;
- mittlere Zyklenanzahl und für jede Zugspannungsstufe ermittelte Standardabweichung;
- 10^6 Zyklen entsprechende Zugspannung $\hat{\sigma}_6$;
- Vertrauensbereich von $\hat{\sigma}_6$ für eine Wahrscheinlichkeit von 95 %;
- Anstieg p ;
- Schätzwert der Rest-Standardabweichung $s_{x/y}$.

ANMERKUNG Ein Prüfergebnis umfasst die Messungen an mindestens 18 Einzelprobekörpern.

B.7 Präzision

Die Präzision dieses Prüfverfahrens wurde noch nicht ermittelt.

Anhang C (normativ)

Dreipunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern

C.1 Kurzbeschreibung

C.1.1 Allgemeines

Mit diesem Verfahren lässt sich das Verhalten von Asphalt charakterisieren, der in Form prismatischer, balkenförmiger Probekörper mit kontrollierter Verschiebung einer Dreipunkt-Biegebelastung bis zur Ermüdung unterzogen wird. Das Verhalten wird durch Bestimmung des Ermüdungsgesetzes in Bezug auf die Dehnung (Relation zwischen der Dehnung und der Anzahl der bis zum Ausfall durchlaufenen Lastzyklen) und des zugehörigen Energiegesetzes charakterisiert. Dieses Verfahren kann auf Asphalt-Probekörper mit einer maximalen Korngröße der Gesteinskörnung von 22 mm oder auf Probekörper angewendet werden, die aus einer mindestens 50 mm dicken Fahrbahnbefestigungsschicht entnommen wurden. Für eine gegebene Frequenz der sinusförmigen Verschiebung erfordert das Verfahren die Durchführung mehrerer Einzelprüfungen bei geregelter Temperatur.

C.1.2 Einzelprüfung

Eine Einzelprüfung besteht darin, einen mittigen Punkt eines balkenförmigen und an beiden Enden aufgelagerten Probekörpers einer sinusförmigen Verschiebung mit konstanter Amplitude zu unterziehen. Das Ergebnis muss anhand der Korrelation der anfänglichen Höchstdehnung im mittigen Bereich des Probekörpers und der Anzahl der Zyklen berechnet werden, die durchlaufen werden müssen, bis sich die Steifigkeit des Probekörpers auf die Hälfte ihres Ausgangswertes verringert hat. Während der gesamten Einzelprüfung muss die Dehnung im mittigen Bereich des Probekörpers regelmäßig als Funktion der Zyklenanzahl aufgezeichnet werden.

C.1.3 Ermüdungskurve

Die Einzelprüfungen müssen an Probekörpern durchgeführt werden, die bei verschiedenen Verschiebungsamplituden aus einer homogenen Gruppe entnommen wurden. Die Ermüdungskurve des zu prüfenden Asphalts muss durch eine Näherung der Ergebnisse der Einzelprüfung erstellt werden.

C.2 Prüfeinrichtung

C.2.1 Prüfmaschine

Eine servohydraulisch gesteuerte Presse beliebigen Typs, die in der Lage ist, in sinusförmigen Zyklen Lasten mit der geforderten Frequenz und Amplitude aufzubringen.

C.2.2 Kraftmessdose

Kraftmessdose, die zur Messung der dynamischen Last mit einem Messbereich von $\pm 2,5$ kN verwendet wird mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 0,002$ kN (Genauigkeitsklasse 0,2).

C.2.3 Extensometer und Verschiebungsmessfühler

Der zur Messung der Dehnung im mittigen Bereich des Probekörpers verwendete Extensometer muss einen Messbereich zwischen $\pm 0,2$ mm und $\pm 0,5$ mm und eine bessere Ablesegenauigkeit als $\pm 0,025$ μ m haben. Der Messfühler, mit dem die Verschiebung durch die die Last aufbringende Kolbenstange gemessen wird, muss einen Bereich größer oder gleich $\pm 2,0$ mm und eine bessere Ablesegenauigkeit als $\pm 5,0$ μ m haben (Genauigkeitsklasse 0,2).

C.2.4 Klemmvorrichtung

Eine Vorrichtung, mit der ein Probekörper (Balken) im Biegerahmen so eingespannt werden kann, dass an allen Auflagerungen freie Rotation und Translation in der Horizontalen sichergestellt ist. Der umgerechnete Steifigkeitsmodul eines Bezugsbalkens mit bekanntem Steifigkeitsmodul muss für den Modul innerhalb von 2 % und für die Phasenverzögerung innerhalb von $0,5^\circ$ liegen.

C.2.5 Ausrüstung zur Datenerfassung

Ein automatisches Datenerfassungssystem, das aus einem Computer und einem Analog- oder Digital-Wandler bestehen muss. Der Wandler muss in der Lage sein, sowohl die Last- als auch die Dehnungsmessgerät-Signalfunktionen aufzuzeichnen, und dessen Auflösung muss ausreichend gut sein, so dass der durch den Signalumwandlungsvorgang verursachte Fehler kleiner oder gleich der Ablesegenauigkeit der Kraftmessdose und des Extensometers ist.

C.2.6 Thermostatisch geregelte Prüfkammer

Eine Prüfkammer, die den Probekörper und die Klemmvorrichtungen aufnehmen kann und in der Lage ist, eine konstante Temperatur von $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ aufrechtzuerhalten.

C.3 Probekörpervorbereitung

C.3.1 Herstellung und Sägen

Die balkenförmigen Probekörper müssen aus nach EN 12967-33 hergestellten Proben entnommen hergestellt werden. Die Maße der balkenförmigen Probekörper müssen $(300 \pm 10) \text{ mm} \times (50 \pm 3) \text{ mm} \times (50 \pm 3) \text{ mm}$ betragen. Um die Ermüdungskurve des betreffenden Materials zu bestimmen, müssen mindestens 10 balkenförmige Probekörper aus demselben Material hergestellt werden.

C.3.2 Vorbereitung der Klemmvorrichtungen

Die balkenförmigen Probekörper müssen zwei einander gegenüberliegende gesägte Seiten haben, deren Maße $(300 \pm 10) \text{ mm} \times (50 \pm 3) \text{ mm}$ betragen. Der balkenförmige Probekörper muss mit drei Rohrstücken mit quadratischem Querschnitt in den Trägermechanismus (C.2.4) geklemmt werden. Das erste Rohrstück muss in gleichem Abstand zu beiden Enden an eine der gesägten Stirnseiten des Probekörpers geklebt werden. Die beiden anderen Rohrstücke müssen an die gegenüberliegende gesägte Seite geklebt werden. Sie müssen so angeordnet werden, dass die Positionen der Rohrstücke den in A.4.1 beschriebenen einfachen Auflagerungen entsprechen. Die Mitte jedes Rohrstücks muss denselben Abstand zur Mitte des auf der gegenüberliegenden Seite des Balkens angeklebten Rohrstücks haben.

C.4 Durchführung

C.4.1 Vorbereitung der Prüfeinrichtung

C.4.1.1 Der Probekörper muss mit den beiden auf der einen Seite angeklebten Rohrstücken am Trägermechanismus und mit dem auf der gegenüberliegenden Seite angeklebten Rohrstück an der Kolbenstange befestigt werden. Die Rohrstücke müssen mit Hilfe von Hebern oder anderen geeigneten Vorrichtungen sowohl an den Auflagerungen als auch an der Kolbenstange befestigt werden. Die Achsen des Trägermechanismus müssen beweglich und neig- bzw. kippbar sein.

ANMERKUNG Die Beweglichkeit und Kippbarkeit sind notwendig, um zu verhindern, dass der Probekörper durch während des Prozesses auftretende Biege- oder Drehwirkungen gespannt wird. Derartige Spannungen können das Verhalten während der Prüfung verändern.

C.4.1.2 Der Extensometer muss an der Seite des Balkens, an der die beiden Metallrohrstücke angeklebt sind, und im geometrischen Mittelpunkt der Seite befestigt werden. Die thermostatisch geregelte Prüfkammer und das zur Lastaufbringung verwendete Gerät müssen auf die Prüftemperatur gebracht werden.

C.4.2 Durchführung der Ermüdungsprüfung

Sobald der Probekörper und der Extensometer eingebaut sind und auf die Prüftemperatur gebracht wurden, muss die Kolbenstange entsprechend der folgenden sinusförmigen Funktion zyklisch bewegt werden:

$$D_C = D_0 \times \sin(2 \times f \times t) \quad (D.1)$$

Dabei ist

- D_C die Verschiebung zum Zeitpunkt t , in Mikrometer (μm);
- $2D_0$ die Gesamtamplitude der Verschiebungsfunktion, in Mikrometer (μm);
- f die Wellenfrequenz, in Hertz (Hz);
- t die Zeit, in Sekunden (s).

Die Wellenfrequenz muss 10 Hz betragen, während die Gesamtamplitude $2D_0$ von Prüfung zu Prüfung variieren muss. Die Belastung muss fortgesetzt werden, bis das konventionelle Ausfallkriterium (3.1.1) erreicht ist.

ANMERKUNG Die Werte der Gesamtamplitude hängen vom betreffenden Asphalt ab und liegen üblicherweise im Bereich von 80 μm bis 350 μm .

C.4.3 Aufzeichnung der Lastfunktion, der Funktion des Extensometersignals und der Verschiebungsfunktion

C.4.3.1 Die Funktionen müssen beginnend beim 100. Zyklus und anschließend jeweils nach 500 Zyklen aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG 1 Folglich werden die Ablesungen beim 100., 600., 1 100. und 1 600. Zyklus usw. ausgelöst und für einen ganzen Zyklus aufgezeichnet.

ANMERKUNG 2 Für eine präzisere Bestimmung der Spannung und der Dehnung werden vorzugsweise 5 Zyklen oder 10 Zyklen aufgezeichnet und als Mittelwert berechnet.

C.4.3.2 Die Lastfunktion, die Funktion des Extensometersignals und die Verschiebungsfunktion müssen bei jedem Zyklus durch mindestens 50 im gleichen zeitlichen Abstand liegende Punkte definiert werden. Die Ablesefrequenz muss für jede Funktion größer als $50 F$ sein, wobei F die Frequenz der angewendeten Verschiebungswelle ist.

C.4.4 Ende der Prüfung

Die Amplitude der dynamischen Last muss nach dem vorangegangenen Zyklus und vor dem folgenden Zyklus als die Differenz zwischen den Höchst- und Mindestwerten der im Verlauf des betrachteten Zyklus aufgezeichneten Last berechnet werden. Die Prüfung muss beendet werden, wenn die berechnete Amplitude der für den Zyklus N berechneten zyklischen Last auf die Hälfte der für den 100. Zyklus berechneten Amplitude der berechneten zyklischen Last gesunken ist, d. h. das Ausfallkriterium erreicht ist.

C.5 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

C.5.1 Berechnung der Spannungs- und der Dehnungsfunktion für einen Zyklus

C.5.1.1 Die Spannung des Asphalts muss anhand der Spannung am Mittelpunkt der Spannweite der Seite des Probekörpers mit den beiden Auflagerungen beurteilt werden. Die Spannung muss für jeden Zyklus nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\sigma = P \times \frac{3(L-20)}{2(b \times e^2)} \quad (\text{C.2})$$

Dabei ist

- σ die momentane Spannung, in Megapascal (MPa);
- P die momentane Last, in Megapascal (MPa);
- L der Abstand zwischen den Auflagerungen, in Millimeter (mm);
- b die Probekörperbreite, in Millimeter (mm);
- e die Probekörperdicke, in Millimeter (mm).

ANMERKUNG Die Spannung steht senkrecht zu einer Ebene, die im rechten Winkel zur Ebene der aufgelagerten Seite steht.

C.5.1.2 Die Dehnung des Probekörpers muss anhand der am selben Punkt wie bei der Spannungsrechnung berechneten Zugdehnung beurteilt werden. Die Dehnung muss für jeden Zyklus nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\varepsilon = \frac{2EXT \times (L-20)}{2B \times L - B^2 - 400} \quad (\text{C.3})$$

Dabei ist

- ε die momentane Dehnung;
- EXT das momentane Extensometersignal, in Millimeter (mm);
- B die Messgrundlänge des Extensometers, in Millimeter (mm);
- L der Abstand zwischen den Auflagerungen, in Millimeter (mm).

ANMERKUNG Die Dehnung erfolgt senkrecht zu einer Ebene, die im rechten Winkel zur Ebene der aufgelagerten Seite steht.

C.5.2 Berechnung des dynamischen Moduls, des Phasenverschiebungswinkels und der Dichte der im Verlauf eines Zyklus abgegebenen Energie

C.5.2.1 Der dynamische Modul muss für jeden Zyklus nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$MD = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} \quad (\text{C.4})$$

Dabei ist

- MD der dynamische Modul, in Megapascal (MPa);
- σ_c die Zyklusamplitude der Spannung, in Megapascal (MPa);
- ε_c die Zyklusamplitude der Dehnung.

ANMERKUNG Der dynamische Modul über einen Zyklus ist als der Quotient der Zyklusamplitude der Spannung und der Zyklusamplitude der Dehnung definiert. Die Zyklusamplitude einer dieser Funktionen über einen Zyklus ist der Absolutwert der Differenz zwischen dem im Verlauf dieses Zyklus erreichten Höchst- und Mindestwert.

C.5.2.2 Die Phasenverschiebung zwischen der Spannungs- und der Dehnungsfunktion muss nach den folgenden beiden Gleichungen durch eine Näherung nach der Methode der kleinsten Quadrate sowohl für die Spannung als auch für die Dehnung (durch mindestens 50 im gleichen zeitlichen Abstand liegende Punkte definiert) bestimmt werden:

$$\sigma_a = A_t \times \sin(2\pi \times F \times t + B_t) + K_t \quad (C.5)$$

$$\varepsilon_a = A_\varepsilon \times \sin(2\pi \times F \times t + B_\varepsilon) + K_\varepsilon \quad (C.6)$$

Dabei ist bzw. sind

- σ_a der Wert der Spannungs-Näherungsfunktion; in Megapascal (MPa);
- ε_a der Wert der Dehnungs-Näherungsfunktion, in Meter je Meter (-);
- A_t die Amplitude der Spannungs-Näherungsfunktion, in Megapascal (MPa);
- A_ε die Amplitude der Dehnungs-Näherungsfunktion, in Meter je Meter (-);
- F die Frequenz der Lastwelle, in Hertz (Hz);
- B_t der Phasenwinkel der Spannungs-Näherungsfunktion, im Bogenmaß (rad);
- B_ε der Phasenwinkel der Dehnungs-Näherungsfunktion, im Bogenmaß (rad);
- K_t, K_ε Konstanten.

C.5.2.3 Der Phasenverschiebungswinkel muss nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\Phi = (B_\varepsilon - B_t) \times \frac{180}{\pi} \quad (C.7)$$

Dabei ist

- Φ der Phasenverschiebungswinkel, in Grad.

ANMERKUNG Der Phasenwinkel ist als die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und der Dehnung definiert.

C.5.2.4 Die Dichte der abgegebenen Energie muss nach folgender Gleichung anhand der berechneten Zyklusamplituden der Spannung und der Dehnung und des Phasenverschiebungswinkels bestimmt werden:

$$DDE = T_c \times \varepsilon_c \times \sin(\phi) \times 0,25 \pi \quad (C.8)$$

Dabei ist

DDE die Dichte der abgegebenen Energie, in Megapascal (MPa) oder Megajoule je Kubikmeter (MJ/m³).

ANMERKUNG Die Dichte der abgegebenen Energie ergibt sich aus dem Asphalt an dem Punkt, für den die Spannung und die Dehnung berechnet werden.

C.5.2.5 Die Zyklusamplitude der Verschiebung muss auf die gleiche Weise bestimmt werden wie die Zyklusamplituden von Spannung und Dehnung und muss während der gesamten Prüfung konstant bleiben.

C.5.2.6 Die Gesamtdichte der im Verlauf der gesamten Prüfung abgegebenen Energie muss nach folgender Näherungsgleichung anhand der Dichte der im Verlauf jedes der aufgezeichneten Zyklen abgegebenen Energie berechnet werden:

$$DDE(ges) = 100DDE(100) + 500 \sum_{i=1}^m [DDE(100 + 500i)] \quad (C.9)$$

Dabei ist

DE(ges) die Gesamtdichte der im Verlauf der gesamten Prüfung abgegebenen Energie, in Megajoule je Kubikmeter (MJ/m³);

DDE(x) die Dichte der bei Zyklus *x* abgegebenen Energie, in Megajoule je Kubikmeter (MJ/m³);

N die Anzahl der bei Beendigung der Prüfung durchlaufenen Zyklen;

m $(N - 100)/500$.

C.5.3 Bestimmung des Ermüdungsgesetzes und des Energiegesetzes

Das für die kontrollierte Verschiebung geltende Ermüdungsgesetz und das entsprechende Energiegesetz müssen anhand der Ergebnisse von mindestens 10 Einzelprüfungen bestimmt werden. Das Ermüdungsgesetz und das Energiegesetz müssen nach folgenden Gleichungen durch eine Näherung des Wertepaarsatzes nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt werden:

$$\varepsilon = k_1 \times N^{k_2} \quad (C.10)$$

$$W = k_3 \times N^{k_4} \quad (C.11)$$

$$\varepsilon_6 = k_1 \times N^{6k_2} \quad (C.12)$$

Dabei ist bzw. sind

ε_6 die Dehnung bei 10⁶ Zyklen;

ε die Amplitude einer Halbperiode der Dehnungsfunktion beim 100. Zyklus;

W die Gesamtdichte der im Verlauf der gesamten Prüfung abgegebenen Energie, in Megajoule je Kubikmeter (MJ/m³);