

DIN EN ISO 26203-1



ICS 77.040.10

Entwurf

Einsprüche bis 2024-10-16
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 26203-1:2018-07

**Metallische Werkstoffe –
Zugversuch bei hohen Dehngeschwindigkeiten –
Teil 1: Elastische Stoßwellentechnik (ISO/DIS 26203-1:2024);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 26203-1:2024**

Metallic materials –
Tensile testing at high strain rates –
Part 1: Elastic-bar-type systems (ISO/DIS 26203-1:2024);
German and English version prEN ISO 26203-1:2024

Matériaux métalliques –
Essai de traction à vitesses de déformation élevées –
Partie 1: Systèmes de type à barre élastique (ISO/DIS 26203-1:2024);
Version allemande et anglaise prEN ISO 26203-1:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-08-16 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 79 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN ISO 26203-1:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164 „Mechanical testing of metals“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 459 „ECISS — Europäisches Komitee für Eisen- und Stahlnormung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-42 AA „Zug- und Duktilitätsprüfung für Metalle“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

DIN EN 26203 besteht unter dem allgemeinen Titel *Metallische Werkstoffe — Zugversuch bei hohen Dehngeschwindigkeiten* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: *Elastische Stoßwellentechnik*
- Teil 2: *Servohydraulische und andere Systeme*

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

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

ISO 6892-1	siehe	DIN EN ISO 6892-1
ISO 7500-1	siehe	DIN EN ISO 7500-1
ISO 26203-2	siehe	DIN EN ISO 26203-2

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 26203-1:2018-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Anmerkung in 7.1 „Form, Größe und Vorbereitung der Proben“ präzisiert;
- b) Abschnitt A.6 „Proben“ überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

DIN EN ISO 7500-1, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung und Überprüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen — Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen — Kalibrierung und Überprüfung der Kraftmesseinrichtung*

DIN EN ISO 26203-2, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch bei hohen Dehngeschwindigkeiten — Teil 2: Servohydraulische und andere Systeme*

– Leerseite –

August 2024

prEN ISO 26203-1

**Metallische Werkstoffe – Zugversuch bei hohen Dehngeschwindigkeiten – Teil 1:
Elastische Stoßwellentechnik (ISO/DIS 26203-1:2024)**

Metallic materials – Tensile testing at high strain rates – Part 1: Elastic-bar-type systems (ISO/DIS 26203-1:2024)

Matériaux métalliques – Essai de traction à vitesses de déformation élevées – Partie 1: Systèmes de type à barre élastique (ISO/DIS 26203-1:2024)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Bezeichnungen	8
5 Kurzbeschreibung	10
6 Prüfeinrichtung	10
7 Probe	12
7.1 Form, Größe und Vorbereitung der Proben	12
7.2 Übliche Proben	15
8 Kalibrierung der Prüfeinrichtung	16
8.1 Allgemeines	16
8.2 Einrichtung für die Wegmessung	16
9 Durchführung	16
9.1 Allgemeines	16
9.2 Einbau der Probe	16
9.3 Krafteinleitung	16
9.4 Messen und Aufzeichnen	16
10 Auswertung des Versuchsergebnisses	18
11 Prüfbericht	20
Anhang A (informativ) Quasistatischer Zugversuch	21
A.1 Allgemeines	21
A.2 Beanspruchungsverfahren/Prüfmaschinenarten	21
A.3 Verfahren zur Probeneinspannung	21
A.4 Kraftmessverfahren	21
A.5 Wegmessverfahren	21
A.6 Probe	21
A.7 Durchführung	22
A.7.1 Probenanordnung	22
A.7.2 Dehnung	22
A.7.3 Messung und Aufzeichnung	22
Anhang B (informativ) Beispiel für das One-Bar-Verfahren	23
B.1 Kurzbeschreibung des One-Bar-Verfahrens	23
B.2 Beanspruchungsverfahren/Prüfmaschinenarten	24
B.3 Verfahren zur Probeneinspannung	24
B.4 Kraftmessverfahren	24
B.5 Wegmessverfahren	25
B.6 Prüfverfahren	26
B.6.1 Kalibrierung und Verifizierung der Kraftmessung	26
B.6.2 Verfahren der Probeneinspannung	27
B.6.3 Einleitung der Verformung	27
B.6.4 Messung und Aufzeichnung	27
B.7 Beispiel für einen Zugversuch bei hoher Dehngeschwindigkeit unter Anwendung des One-Bar-Verfahrens	27
Anhang C (informativ) Beispiel für das Split-Hopkinson-Bar-Verfahren (SHB-Verfahren)	30
C.1 Kurzbeschreibung des SHB-Verfahrens	30
C.2 Beanspruchungsverfahren	32
C.3 Verfahren zur Probeneinspannung	33
C.4 Spannungsmessverfahren	34

C.5	Dehnmessverfahren	34
C.6	Beispiel für einen Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit nach dem SHB-Verfahren	34
C.7	Verfahren zur Festlegung der Konstanten	36
C.7.1	Allgemeines	36
C.7.2	Dichte	36
C.7.3	Elastizitätsmodul	36
C.7.4	Ausbreitungsgeschwindigkeit von Longitudinalwellen	37
	Literaturhinweise	38

Bilder

Bild 1	— Probenform A	14
Bild 2	— Probenform B	14
Bild 3	— Übliche Maße für Probenform A	15
Bild 4	— Übliche Maße für Probenform B	15
Bild 5	— Beispiel für ein Messproblem beim Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit	19
Bild B.1	— Schematische Darstellung einer Zugprüfmaschine für den Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit unter Anwendung des One-Bar-Verfahrens	23
Bild B.2	— Probe für das One-Bar-Verfahren	24
Bild B.3	— Beispiel für die Kalibrierung der Kraftmessung beim One-Bar-Verfahren	27
Bild B.4	— Beispiel für einen Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit unter Anwendung des One-Bar-Verfahrens (unlegierter Stahl)	28
Bild B.5	— Beispiel für einen Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit unter Anwendung des One-Bar-Verfahrens (hochfester Stahl)	29
Bild C.1	— Auftreffen, Reflexion und Übertragung der Dehnungswellen in der Eingangs- und der Ausgangsstange	30
Bild C.2	— Beanspruchungsverfahren beim SHB-Verfahren	33
Bild C.3	— Einspannverfahren für die Probe beim SHB-Verfahren	34
Bild C.4	— Beispiel für ein mit einer SHB-Prüfmaschine ermitteltes Ergebnis	36

Tabellen

Tabelle 1	— Symbole und Bezeichnungen	8
-----------	-----------------------------	---

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 26203-1:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164 „Mechanical testing of metals“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 459 „ECISS — Europäisches Komitee für Eisen- und Stahlnormung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 26203-1:2018 ersetzen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 26203-1:2024 wurde von CEN als prEN ISO 26203-1:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164, *Mechanical testing of metals*, Unterkomitee SC 1, *Uniaxial testing*, erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 26203-1:2018), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- Änderung des Satzes hinsichtlich Anhang A in Abschnitt 5;
- Änderung der ANMERKUNG in Unterabschnitt 7.1;
- Änderung von Anhang A (siehe A.6).

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 26203 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Der Zugversuch mit hohen Dehngeschwindigkeiten für Bleche aus metallischen Werkstoffen hat eine große Bedeutung für die zuverlässige Auswertung von Crashesicherheitstests an Fahrzeugen erlangt. Bei einem Crash werden häufig maximale Dehngeschwindigkeiten von 10^3 s^{-1} erreicht, die in einigen metallischen Werkstoffen zu beträchtlich höheren Spannungen als unter quasistatischen Bedingungen führen können. Die Verlässlichkeit einer Crashsimulation hängt somit wesentlich von der Genauigkeit der Eingangsdaten ab, weil durch sie der Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf den zu untersuchenden Werkstoff festgelegt wird.

Obwohl es zahlreiche Verfahren zur Durchführung von Versuchen mit hoher Dehngeschwindigkeit gibt, sind drei signifikante Probleme zu lösen.

Das erste Problem sind Störungen, die beim Messen der Kraft auftreten.

- Die Prüfkraft wird im Allgemeinen mit einer Kraftmessdose bestimmt, die an einem bestimmten Messpunkt angebracht ist, der sich in einer gewissen Entfernung von der Probe befindet.
- Außerdem wird die elastische Welle, die den Messpunkt bereits passiert hat, am Ende der Kraftmessdose reflektiert. Falls die Versuchsdauer und die Dauer, während der sich die Welle durch die Kraftmessdose ausbreitet, vergleichbare Werte haben, kann die Spannungs-Dehnungs-Kurve wegen der Überlagerung direkter und indirekter Wellen große Oszillationen aufweisen. Bei der quasistatischen Prüfung ist im Gegensatz dazu die Versuchsdauer ausreichend lang, um zahllose Durchläufe der elastischen Wellen zu ermöglichen. Dadurch erreicht die Kraft eine Sättigung und ein Gleichgewicht für alle Punkte der Kraftmessdose.
- Für dieses Problem gibt es zwei konträre Lösungen.
- Die erste Lösung ist, eine besonders kurze Kraftmessdose anzuwenden, die zulässt, dass der Sättigungszustand rasch zu erreichen ist. Diese Herangehensweise wird häufig in servohydraulischen Systemen angewendet.
- Die zweite Lösung ist die Anwendung einer sehr langen Kraftmessdose, die zulässt, dass der Versuch beendet ist, bevor die reflektierte Welle den Messpunkt erreicht. Die elastische Stoßwellentechnik basiert auf dem letztgenannten Ansatz.

Das zweite Problem besteht in der Notwendigkeit einer schnellen und genauen Messung der Verschiebung oder Probenverlängerung.

- Herkömmliche Extensometer sind aufgrund ihrer großen Trägheit nicht geeignet. Berührungslos arbeitende Methoden, wie optische und laserbasierte Geräte, sollten eingesetzt werden. Es ist ebenso zulässig, die Verschiebungen unter Verwendung der Theorie der elastischen Wellenausbreitung in einer entsprechend ausgelegten Vorrichtung zu messen, für die Beispiele in diesem Dokument diskutiert werden.
- Die Verschiebung des Endes einer Stange (en: bar) kann auf einfache Weise aus den gleichen Messwerten, die für die Kraftmessung verwendet werden, d. h. aus dem Dehnungsverlauf an einer bekannten Stelle auf der Stange, berechnet werden. Somit ist für Systeme, die auf der Stoßwellentechnik basieren, keine Bewertung der Maschinensteifigkeit erforderlich.

Das letzte Problem ist, dass die Kraft entlang der Probe ungleichmäßig verteilt ist.

- Bei der quasistatischen Prüfung wird die Anwendung von Proben mit einer großen parallelen Länge und großen Übergangsradien empfohlen, um im Messquerschnitt einen homogenen einachsigen Spannungszustand zu erreichen. Um einen gültigen Versuch mit Kräftegleichgewicht während des dynamischen Versuchs zu erreichen, muss die Probenform unterschiedlich zur üblichen quasistatischen Probenform ausgelegt werden. Es ist vorgesehen, dass dynamische Proben grundsätzlich kleinere Maße parallel zur Belastungsrichtung haben als Proben, die üblicherweise für quasistatische Prüfungen verwendet werden.

Die Stoßwellentechnik kann somit Lösungen für dynamische Versuche bieten, und sie wird verbreitet angewendet, um bei Dehngeschwindigkeiten von etwa 10^3 s^{-1} exakte Spannungs-Dehnungs-Kurven zu erhalten. Das internationale Eisen- und Stahl-Institut hat „Empfehlungen für den dynamischen Zugversuch von Stahlblech“ auf der Grundlage von Erfahrungen mit verschiedenen Verfahren erarbeitet, die bei einem Ringversuch unter Beteiligung mehrerer Laboratorien gewonnen wurden. Die Ringversuchsergebnisse zeigen, dass mit der Stoßwellentechnik Daten in einer guten Qualität erhalten werden. Die mit der Stoßwellentechnik erworbenen Erfahrungen werden in diesem Dokument zusammengefasst; ISO 26203-2 behandelt servohydraulische sowie andere Prüfsysteme für den Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Prüfverfahren für Bleche aus metallischen Werkstoffen fest, um Kennwerte aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm bei Anwendung hoher Dehngeschwindigkeiten zu bestimmen. Dieses Dokument behandelt die Anwendung der Stoßwellentechnik.

Basierend auf Versuchen und Berechnungen zur Crashesicherheit, z. B. der Finite-Elemente-Analyse (FEA), ist für Crashtests an Fahrzeugen der Dehngeschwindigkeitsbereich zwischen 10^{-3} s^{-1} und 10^3 s^{-1} am wichtigsten.

Um eine exakte Bewertung der Crashesicherheit eines Fahrzeugs zu ermöglichen, ist die zuverlässige Charakterisierung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens metallischer Werkstoffe bei Dehngeschwindigkeiten über 10^{-3} s^{-1} essenziell.

Das hier beschriebene Prüfverfahren behandelt Dehngeschwindigkeiten oberhalb von 10^2 s^{-1} .

ANMERKUNG 1 Bei Dehngeschwindigkeiten unter 10^{-1} s^{-1} kann eine quasistatische Zugprüfmaschine angewendet werden, die in ISO 7500-1 und ISO 6892-1 festgelegt ist.

ANMERKUNG 2 Dieses Prüfverfahren ist auch auf Zugproben anwendbar, die andere Maße als die hier betrachteten Flachzugproben haben.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

3.1

Stoßwellentechnik

Messsystem, in dem eine Kraftmessdose verwendet wird, die in axialer Richtung verlängert ist, um eine Beeinflussung der Kraftmessung durch Wellen zu vermeiden, die an den Enden der Messanordnung reflektiert werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die englische Bezeichnung „elastic-bar-type system“ (Stoßwellentechnik) kommt daher, dass zur Kraftmessung üblicherweise ein Messgerät verwendet wird, das eine lange elastische Stange („bar“) enthält.

4 Symbole und Bezeichnungen

Die Symbole und die zugehörigen Bezeichnungen werden in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Symbole und Bezeichnungen

Symbol	Einheit	Bezeichnung
Probe		
a_0	mm	Anfangsdicke der Flachzugprobe

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Bezeichnung
b_o	mm	Anfangsbreite der parallelen Länge einer Flachzugprobe
b_g	mm	Breite(n) der Probe im Einspannbereich
L_o	mm	Anfangsmesslänge [siehe 7.1 e)]
L_c	mm	parallele Länge
L_{total}	mm	Gesamtlänge, bestehend aus paralleler Länge und Übergangsradien
L_u	mm	Endmesslänge nach dem Bruch
r	mm	Übergangsradius
S_o	mm ²	Anfangsquerschnittsfläche der parallelen Länge
S_b	mm ²	Querschnittsfläche der elastischen Stange
Zeit		
t	s	Zeit
Dehnung		
A	%	Bruchdehnung in Prozent ANMERKUNG Bei nicht-proportionalen Proben wird das Symbol A durch einen Index ergänzt, der die ursprünglich gemessene Anfangsmesslänge in Millimeter anzeigt, z. B. A_{20mm} = Bruchdehnung in Prozent für eine Anfangsmesslänge $L_o = 20$ mm.
A_u	%	für die mittlere Dehngeschwindigkeit festgelegter oberer Grenzwert der prozentualen Dehnung
Verschiebung		
u	mm	Verschiebung durch die elastische Welle
u_1	mm	Verschiebung an einem Ende der Anfangsmesslänge
u_2	mm	Verschiebung an einem Ende der Anfangsmesslänge
$u_B(t)$	mm	Verschiebung des Endes der elastischen Stange zum Zeitpunkt t
Dehnung		
e	—	technische Dehnung
e_s	—	gewünschte technische Dehnung vor Erreichung des Gleichgewichts
ε	—	elastische Dehnung
ε_B	—	elastische Dehnung am Ende der elastischen Stange (siehe Anhang B)
ε_g	—	elastische Dehnung im Querschnitt C (siehe Anhang B)
Dehngeschwindigkeit		
$\dot{e}$	s ⁻¹	technische Dehngeschwindigkeit
$\bar{\dot{e}}$	s ⁻¹	mittlere technische Dehngeschwindigkeit
Kraft		
F	N	Kraft
F_m	N	Höchstkraft (Höchstzugkraft)
Spannung		
R	MPa	technische Spannung
R_m	MPa	Zugfestigkeit
R_t	MPa	Dehngrenze bei gesamter Dehnung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Bezeichnung
Elastizitätsmodul		
E	MPa	Elastizitätsmodul
E_b	MPa	Elastizitätsmodul der Stange
Wellengeschwindigkeit		
c_0	mm s^{-1}	Wellenausbreitungsgeschwindigkeit in der elastischen Stange
c	mm s^{-1}	Ausbreitungsgeschwindigkeit der elastischen Welle in der Probe
Geschwindigkeit		
$v_A(t)$	mm s^{-1}	Geschwindigkeit des Impact-Blocks (siehe Anhang B)
v	mm s^{-1}	Partikelgeschwindigkeit an einem beliebigen Punkt in der Stange (siehe Anhang C)
v_i	mm s^{-1}	Geschwindigkeit des auftreffenden Partikels (siehe Anhang C)
v_r	mm s^{-1}	Geschwindigkeit des reflektierten Partikels (siehe Anhang C)
v_t	mm s^{-1}	Geschwindigkeit des übertragenen Partikels (siehe Anhang C)
Signal		
U_A	V	verstärktes Signal

5 Kurzbeschreibung

Es wird das Spannungs-Dehnungs-Verhalten von metallischen Werkstoffen bei hoher Dehngeschwindigkeit ausgewertet.

Dabei wird in der Kraftmessdose des quasistatischen Versuchs eine elastische Stoßwelle mehrmals reflektiert. Bei Dehngeschwindigkeiten höher als 10 s^{-1} wird das Signal der Stoßkraft durch den mehrfachen Durchgang der Welle empfindlich gestört. Für die Kraftmessung sind daher spezielle Techniken erforderlich. Dies kann auf zwei unterschiedliche Weisen geschehen:

- eine besteht darin, die Messdose in Richtung der Stoßrichtung zu verlängern, um die Messung rechtzeitig zu beenden, bevor die elastische Welle vom anderen Ende zurückgeworfen wird (Stoßwellentechniken);
- ein anderer Weg ist, die Messdose zu verkürzen, um das dynamische Gleichgewichts innerhalb der Messdose durch Erhöhen deren Eigenfrequenz schneller zu erreichen (servohydraulische Systeme).

Prüfungen mit niedrigen Dehngeschwindigkeiten (unter 10^{-1} s^{-1}) können mit einer quasistatischen Zugversuchseinrichtung ausgeführt werden. Für Prüfungen mit außergewöhnlich hohen Dehngeschwindigkeiten sind jedoch spezielle Vorrichtungen erforderlich. Dann ist es notwendig, speziell für hohe Dehngeschwindigkeiten vorbereitete Proben zu verwenden. Siehe Anhang A für Einzelheiten über die Durchführung dieser Prüfverfahren.

6 Prüfeinrichtung

6.1 Elastische Stange. Durch Verwendung der Stoßwellentechnik, d. h. durch Anwendung einer langen elastischen Stange, sollte das Versuchsende erreicht werden, bevor die elastische Welle von dem der Probe gegenüberliegenden Ende der Stange reflektiert wird. Dadurch kann die Kraft ohne Beeinträchtigung durch reflektierte Wellen gemessen werden. Bei diesem Verfahren werden üblicherweise One-Bar-Prüfmaschinen oder Prüfmaschinen auf Basis der Split-Hopkinson-Bar-Technik (SHB-Prüfmaschine) angewendet (siehe Anhang B und Anhang C).

6.2 Krafteinleitungseinrichtung. Die Einleitungsverfahren werden üblicherweise in Open-Loop-Beanspruchung (ungeregelte Versuchsführung) angewendet. Die obere Grenze der Beanspruchungsgeschwindigkeit liegt etwa bei 20 m s^{-1} . Bei der SHB-Prüfmaschine wird die Kraft mithilfe eines mit hoher Geschwindigkeit aufschlagenden Rohrs oder Stabs (Impact-Rohr oder Impact-Stab) aufgebracht. Bei der One-Bar-Prüfmaschine erfolgt die Beanspruchung üblicherweise mithilfe eines aufschlagenden Hammers.

6.3 Einspannvorrichtung. Eine geeignete Einspannvorrichtung (Vorrichtung zur Verbindung der Probe und der elastischen Stange) ist ein für die Qualität der Daten kritischer Einflussfaktor (siehe Anhang B und Anhang C).

Bei der SHB- oder der One-Bar-Prüfmaschine werden die Einspannvorrichtungen direkt an den elastischen Stangen angebracht. Die Einspannvorrichtungen sollten aus dem gleichen Werkstoff bestehen wie die elastische Stangen und den gleichen Durchmesser haben, um eine minimale Impedanzänderung bei Ausbreitung der Spannungswelle durch den Kraftstrang sicherzustellen. Werden unterschiedliche Werkstoffe oder Größen angewendet, sollte das bei der Bewertung von Spannung und Dehnung in geeigneter Weise berücksichtigt werden.

6.4 Kraftmesseinrichtung. Zur Kraftmessung sollten Dehnungsmessstreifen mit einer geeignet kurzen Messlänge, üblicherweise 2 mm, an den elastischen Stangen appliziert werden, die jeweils direkt mit der Probe verbunden sind.

Die Dehnungsmessstreifen sollten in einem Bereich angeordnet werden, in dem die elastische Welle nicht durch Endeneffekte beeinflusst wird. Um eine sich eindimensional ausbreitende elastische Welle zu messen, müssen die Dehnungsmessstreifen in einem Abstand von den Enden der Stange angebracht werden, der mindestens dem fünffachen Stangendurchmesser entspricht (siehe Anhang B und Anhang C).

ANMERKUNG Die nach diesem Verfahren messbare Dehngeschwindigkeit beträgt 10^2 s^{-1} oder mehr. Es ist nicht zweckmäßig, eine Prüfmaschine für Dehngeschwindigkeiten unter 10^2 s^{-1} zu konstruieren, weil dann eine Stangenlänge von mehreren zehn Metern erforderlich wäre.

Zur Sicherung der Gültigkeit der Spannungs-Dehnungs-Kurven ist die Geradheit der elastischen Stangen entscheidend. Deshalb sind für die elastische Stange unbedingt geeignete Lager oder Führungen vorzusehen.

6.5 Wegmesseinrichtung. Beim Zugversuch wird die Dehnung durch das Verhältnis aus dem relativen Verschiebungsweg von zwei innerhalb der Messlänge liegenden Messmarken repräsentiert, z. B. die Anfangsmesslänge und die Endmesslänge der Probe.

Im Allgemeinen ist beim quasistatischen Zugversuch eine exakte Messung mit einem Extensometer durchzuführen, das innerhalb der Messlänge der Probe angebracht wird. Bei hohen Dehngeschwindigkeiten ist dieses Verfahren jedoch wegen der Trägheitseffekte des Extensometers nicht anwendbar. Daher müssen bei hohen Dehngeschwindigkeiten zur Messung des Weges oder der Probenverlängerung nur ein berührungsloses Dehnungsmessgerät oder Dehnungsmessstreifen auf elastischen Stangen angewendet werden.

In 6.5.1 bis 6.5.3 werden Messeinrichtungen beschrieben, die für die Messung des Weges in Systemen, die auf der elastischen Stoßwellentechnik basieren, angewendet werden können. Diese Messeinrichtungen werden für Dehngeschwindigkeiten bis 10^3 s^{-1} empfohlen, und die gemessenen Wege sollten während der Versuchsdauer aufgezeichnet werden. Diese Geräte dürfen miteinander kombiniert angewendet werden. Bei der Kombination von z. B. Gerät 6.5.1 und Gerät 6.5.3 wird der Weg an einem Ende der Anfangsmesslänge (L_0) der Probe mit einem berührungslosen Wegmessgerät (6.5.1) gemessen, und am anderen Ende erfolgt die Messung mit einem Dehnungsmessstreifen (6.5.3), der an der Oberfläche der Stange angebracht ist.

6.5.1 Berührungsloses Wegmessgerät. An einem Ende der Anfangsmesslänge (L_0) wird der Weg mithilfe eines Lasers, eines optischen Geräts oder einer ähnlichen Einrichtung gemessen und aufgezeichnet.

Durch Anwendung von zwei Geräten des Typs 6.5.1 oder eines Geräts des Typs 6.5.1 und eines Geräts des Typs 6.5.3 kann die Änderung der in Bild 1 dargestellten Gesamtlänge L_{total} (Probenform A in Abschnitt 7) über der Zeit gemessen und die Verlängerung (und damit die Dehnung) berechnet werden.

6.5.2 Berührungsloses Dehnmessgerät. Hochgeschwindigkeitskameras, Laser-Doppler- oder Laser-Extensometer oder andere berührungslos arbeitende Geräte können zum Messen der Änderung der in Bild 2 dargestellten parallelen Länge L_c (Probenform B in Abschnitt 7) angewendet werden.

6.5.3 Dehnmessstreifen. Die zeitabhängige Änderung des Verschiebungsweges des Endes der elastischen Stange sollte nach Gleichung (1) aus dem Dehnungsverlauf berechnet werden, der mit einem an der elastischen Stange angebrachten Dehnmessstreifen ermittelt wird.

$$u_B(t) = c_0 \int_0^t \varepsilon_B(t) dt \quad (1)$$

Dabei ist

$u_B(t)$ die Verschiebung des Endes der elastischen Stange zum Zeitpunkt t ;

ε_B die elastische Dehnung am Ende der elastischen Stange (siehe Anhang B);

c_0 die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit in der elastischen Stange.

6.6 Datenerfassungsgeräte. Zur Auswertung der aus den Rohdaten erstellten Spannungs-Dehnungs-Kurven werden Verstärker und Datenaufzeichnungsgeräte angewendet, z. B. Speicheroszilloskope. Alle Geräte sollten eine ausreichend hohe obere Grenzfrequenz haben. Die obere Grenzfrequenz aller Geräte in der elektronischen Messkette muss so gewählt werden, dass sichergestellt wird, dass alle aufgezeichneten Daten nicht negativ von der Grenzfrequenz einer Einzelkomponente beeinflusst werden. Üblicherweise muss diese obere Grenzfrequenz mindestens in der Größenordnung von 500 kHz liegen. Digitale Datenaufzeichnungsgeräte sollten eine Mindestauflösung für die gemessenen Daten von 10 Bit haben.

7 Probe

7.1 Form, Größe und Vorbereitung der Proben

Die Probenform wird durch folgende Anforderungen bestimmt:

- Die geforderte maximale Dehngeschwindigkeit legt die parallele Länge (den parallelen Teil der Probe) fest. Eine Probe mit einer kürzeren parallelen Länge kann höhere Dehngeschwindigkeiten erreichen. Die parallele Länge sollte bei einem vorgegebenen Dehngeschwindigkeitsbereich kurz genug sein, um in der Probe ein Kräftegleichgewicht zu erreichen.
- Um ein Kräftegleichgewicht bei Dehngeschwindigkeiten bis 10^3 s^{-1} sicherzustellen, beträgt die vorzugsweise anzuwendende parallele Länge weniger als 20 mm.

Eine homogene Verformung im Bereich der parallelen Länge der Probe erfordert, dass die Kraft an beiden Enden der Probe ausgeglichen sein sollte. Die Kraft breitet sich in Form einer elastischen Welle aus. Um ein Gleichgewicht zu erreichen, sollte mindestens die folgende Ungleichung [siehe Gleichung (2)] erfüllt sein:

$$\frac{L_c}{c} \leq \frac{e_s}{\dot{e}} \quad (2)$$

Dabei ist

L_c die parallele Länge der Probe;

c die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elastischen Welle in der Probe;

e_s die vor Erreichen des Gleichgewichts gewünschte technische Dehnung;

$\dot{e}$ die Dehngeschwindigkeit beim Zugversuch.

- c) Die Breite der Probe sollte so bestimmt werden, dass ein einachsiger Spannungszustand während des Versuchs erreicht wird. Die folgende Regel, die in Gleichung (3) und Gleichung (4) dargestellt ist, sollte eingehalten werden.

$$\frac{L_0}{b_0} \geq 2 \quad (3)$$

$$\frac{b_0}{a_0} \geq 2 \quad (4)$$

Dabei ist

a_0 die Anfangsdicke einer Flachzugprobe;

b_0 die Anfangsbreite einer Flachzugprobe im Bereich der parallelen Länge;

L_0 die Anfangsmesslänge.

ANMERKUNG Mithilfe niedrigerer Grenzwerte aus Gleichung (3) kann $L_0/b_0 = 2$ bei der Prüfung von sehr hochfesten und kaltverfestigten Werkstoffen, wie Ti-6Al-4V, sowie hochfestem Stahl zu einer ungleichmäßigen Dehnung führen. Deshalb wird für Werkstoffe dieser Art ein L_0/b_0 -Verhältnis von größer als 2 verwendet.

- d) Im Allgemeinen sollte die Probendicke der Gesamtdicke des Werkstoffs entsprechen, sofern dies handhabbar und notwendig ist und die verwendeten Prüfeinrichtungen das erlauben.
- e) Für die Probenform A (siehe Bild 1) sollte der Übergangsradius zwischen paralleler Länge und den Probenden klein genug sein, so dass die Gesamtlänge L_{total} als die Anfangsmesslänge (L_0) angesehen wird. Für die Probenform B (siehe Bild 2) sollte der Übergangsradius zwischen paralleler Länge und Einspannkopf groß genug sein, so dass die parallele Länge L_c als die Anfangsmesslänge (L_0) angesehen wird.

Bei den Probenformen A und B treten Unsicherheiten beim einachsigen Zugversuch bei der auf der Verschiebung der Stange basierenden Berechnung auf. Diese Unsicherheiten sind auf Ungleichmäßigkeiten der axialen Dehnung innerhalb der Anfangsmesslänge zurückzuführen, welche hier als Referenzmesslänge für die Dehnungsberechnung verwendet wird. Zur Bewertung der möglichen Einflüsse einer ungleichmäßigen Dehnung wird empfohlen, dass zwei Datensätze für die quasistatische wahre Spannung über der wahren Dehnung verglichen werden, d. h.

- 1) ein Satz, erhalten aus Dehnungsmessungen, die auf den Verschiebungswegen der Stange basieren (d. h. den Verschiebungen an den Stangenendenpositionen auf der Probe) und als L_{total} oder L_0 bezeichnet werden, für die gewählte Probengeometrie für hohe Dehngeschwindigkeiten, und
- 2) der andere Satz, erhalten aus Dehnungsmessungen, die mit einem Extensometer ermittelt werden, das im mittleren Bereich der parallelen Länge einer herkömmlichen Zugprobe nach ISO 6892-1 angebracht wird.

Das Ergebnis dieses Vergleiches sollte im Prüfbericht angegeben werden, um den potentiellen Anwendern eine Möglichkeit zur Bewertung der Daten aus dem Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit, die nach diesem Dokument erhalten werden, zu bieten. Wenn die Differenz nicht dem vom Anwender und Prüfer vereinbarten Wert entspricht, sollten lokale Dehnungsmessungen innerhalb der Messlänge durchgeführt werden.

- f) Um sicherzustellen, dass die Verformung im Einspannbereich vernachlässigbar ist und definitiv keine bleibende Verformung auftritt, sollte im Bereich der Probeneinspannungen ein wesentlich größerer Querschnitt vorhanden sein als im Bereich der parallelen Länge. Weil die Dicke der Probe im Allgemeinen im Einspannbereich und im Bereich der Messlänge gleich ist, muss das Verhältnis der Breiten im Einspann- und im Messlängenbereich die folgende Bedingung, wie in Gleichung (5) dargestellt, erfüllen:

$$\frac{b_o}{b_g} < \frac{R_t}{R_m} \quad (5)$$

Dabei ist

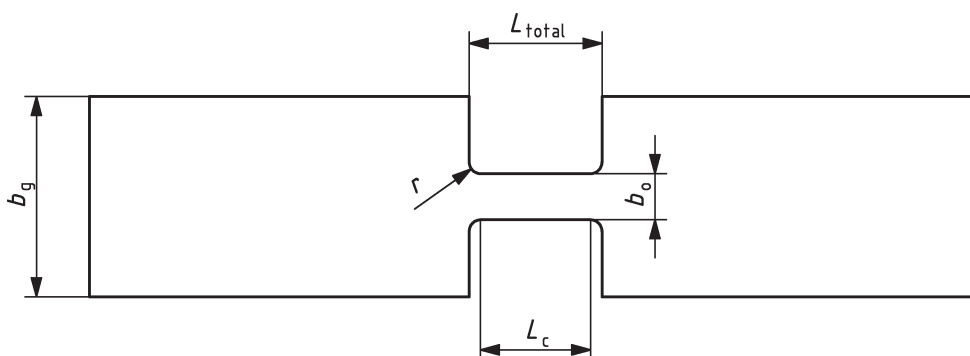
b_o die Anfangsbreite einer Flachzugprobe im Bereich der parallelen Länge;

b_g die Breite der Zugprobe im Einspannbereich;

R_m die Zugfestigkeit;

R_t die Dehngrenze bei gesamter Dehnung.

- g) Die Oberfläche der bearbeiteten Probe sollte frei von Kaltverfestigung, Rissen, Kerben und anderen Oberflächenfehlern sein, die eine lokale Spannkonzentration bewirken können.



Legende

b_o Anfangsbreite der parallelen Länge

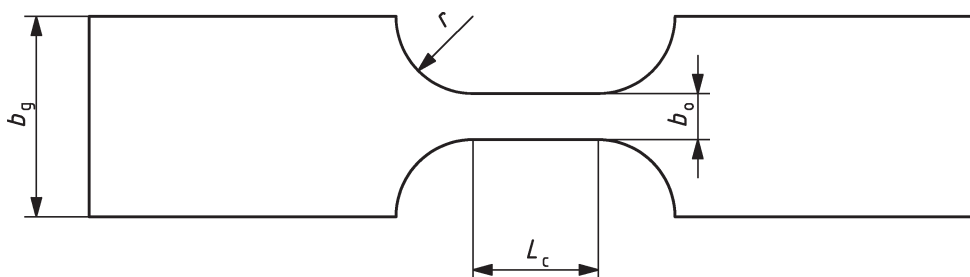
b_g Breite im Einspannbereich

L_c parallele Länge

L_{total} Gesamtlänge, bestehend aus paralleler Länge und Übergangsradien

r Übergangsradius

Bild 1 — Probenform A



Legende

b_o Anfangsbreite der parallelen Länge

b_g Breite im Einspannbereich

L_c parallele Länge

r Übergangsradius

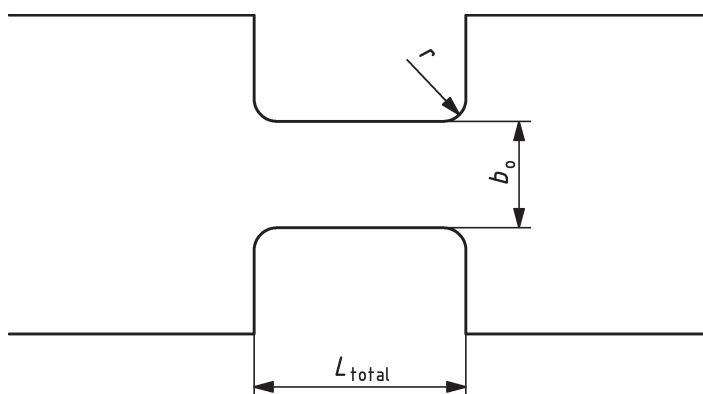
Bild 2 — Probenform B

7.2 Übliche Proben

Empfohlene Probenmaße werden in Bild 3 und Bild 4 angegeben. Das Verhältnis zwischen den Breiten im Einspann- und im Messbereich ist üblicherweise größer 2.

In Abhängigkeit von den Prüfverfahren und/oder dem Ziel des Versuchs können auch andere Probenformen verwendet werden.

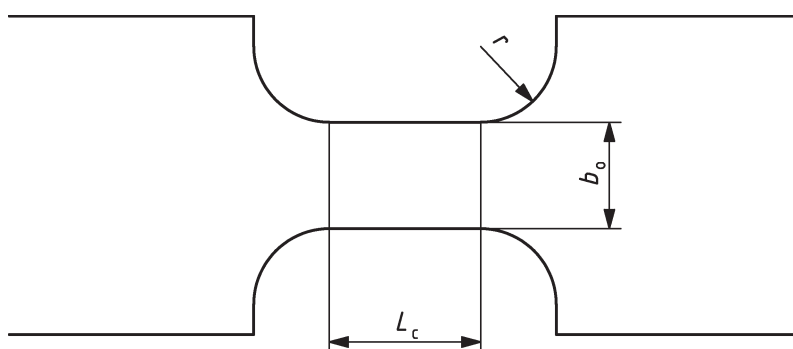
Die üblichen Proben in Bild 3 und Bild 4 sind geeignet, wenn die maximale gemessene Dehngeschwindigkeit bis 10^3 s^{-1} beträgt und wenn ein Vergleich der bei mehreren Dehngeschwindigkeiten ermittelten Versuchsergebnisse gefordert wird. Im Bereich der Gleichmaßdehnung wäre der Einfluss der Probengröße gering. Weil jedoch die nach erfolgter Gleichmaßdehnung gemessenen Eigenschaften von der Probengröße abhängen, wird empfohlen, dass alle zur Ermittlung eines einzelnen Datensatzes verwendeten Proben übereinstimmende Formen und Maße haben sollten, auch für Versuche bei niedrigen Dehngeschwindigkeiten.



Maße in Millimeter

b_0	maximal 5
L_{total}	10
r	1,5

Bild 3 — Übliche Maße für Probenform A



Maße in Millimeter

b_0	maximal 5
L_c	10
r	5,0

Bild 4 — Übliche Maße für Probenform B

8 Kalibrierung der Prüfeinrichtung

8.1 Allgemeines

Das Ausgangssignal des Dehnungsmessstreifens sollte kalibriert werden, indem eine bekannte statische Kraft auf die DMS-instrumentierte elastische Stange aufgebracht wird. Bild B.1 zeigt ein Beispiel für eine One-Bar-Prüfmaschine.

Bei einer SHB-Prüfmaschine können Spannung und Dehnung berechnet werden, indem die theoretische Gleichung angewendet wird, die die Dichte, den Elastizitätsmodul und die Übertragungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen in der elastischen Stange verknüpft. In diesem Fall müssen die Prüfungen durchgeführt werden, nachdem alle physikalischen Eigenschaften exakt gemessen und ihre Konsistenz sichergestellt wurden. Einzelheiten werden in Anhang C angegeben.

8.2 Einrichtung für die Wegmessung

Für die Wegmessgeräte muss eine geeignete Kalibrierung unter statischen Bedingungen durchgeführt werden.

9 Durchführung

9.1 Allgemeines

Unter Anwendung der Krafteinleitungseinrichtung (6.2) wird die Probe in Richtung ihrer Längsachse durch eine hohe Dehngeschwindigkeit beansprucht. Die auf die Probe aufgebrachte Kraft wird mit der Kraftmesseinrichtung (6.4) gemessen. Gleichzeitig wird mit der Wegmesseinrichtung (6.5) auch die Änderung der Probenlänge L_{total} , L_c oder L_0 gemessen.

Die Probenform sollte in Abhängigkeit vom angegebenen Dehngeschwindigkeitsbereich, der Krafteinleitungseinrichtung (6.2), der Kraftmesseinrichtung (6.4) und der Wegmesseinrichtung (6.5) ausgewählt werden.

Sofern nicht anders festgelegt, wird die Prüfung bei Raumtemperatur zwischen 10 °C und 35 °C durchgeführt. Die Prüftemperatur darf, sofern erforderlich, aufgezeichnet werden. Für Prüfungen unter kontrollierten Bedingungen sollte eine Temperatur von (23 ± 5) °C angewendet werden.

9.2 Einbau der Probe

Beim Einbau der Probe in die Spanneinrichtung wird eine exakte Ausrichtung sichergestellt, damit nur axiale Kräfte aufgebracht werden. Außerdem sollten die Probe und die elastische Stange sorgfältig verbunden werden, um eine gute Ausrichtung sicherzustellen.

Bei Verwendung der Probenform A sollte die Probe so eingebaut werden, dass die freie Länge zwischen den Enden der Spannzeuge L_{total} entspricht (siehe Bild 1) und der reduzierte Messquerschnitt der Probe mittig in diesem Bereich angeordnet ist (siehe Bild C.3).

9.3 Krafteinleitung

Die Kraft wird nach den in 6.2 beschriebenen Verfahren aufgebracht. Um die Soll-Dehngeschwindigkeit zu erreichen, sollte die Geschwindigkeit des Impact-Rohres, der Impact-Stange oder des Hammers zuvor festgelegt werden.

ANMERKUNG Richtlinien zur Hammergeschwindigkeit für das One-Bar-Verfahren und die Geschwindigkeit des Impact-Rohres bzw. der Impact-Stange (des Strikers) beim SHB-Verfahren werden in B.2 bzw. C.2 angegeben.

9.4 Messen und Aufzeichnen

Die Kraftmesseinrichtungen (6.4) messen die zeitabhängige Änderung der elastischen Dehnung, und die Wegmesseinrichtungen (6.5) messen die zeitabhängige Änderung des Verschiebungswegs der Grenzflächen zwi-

schen den elastischen Stangen und der Probe oder den beiden Endpunkten von L_0 . Diese Messwerte müssen aufgezeichnet werden.

a) Technische Dehnung und technische Dehngeschwindigkeit (e , $\dot{e}$)

Die technische Dehnung (e) und die technische Dehngeschwindigkeit ($\dot{e}$) sollten aus den nach 6.5 für den Weg ermittelten Daten berechnet werden. Zur Berechnung sollten Gleichung (6) und Gleichung (7) angewendet werden.

$$e = (u_1 - u_2)/L_0 \quad (6)$$

$$\dot{e} = \frac{e_{n+1} - e_n}{\Delta t} \quad (7)$$

Dabei ist/sind

u_1, u_2 die Verschiebungen an den Enden der Anfangsmesslänge;

e_{n+1} die technische Dehnung beim Schritt $n+1$;

e_n die technische Dehnung beim Schritt n ;

Δt das Zeitintervall zwischen den Schritten n und $n+1$.

b) Technische Spannung (R)

Unter Anwendung der nach 6.4 gemessenen Kraft wird die technische Spannung nach Gleichung (8) berechnet.

$$R = F/S_0 \quad (8)$$

Dabei ist

R die technische Spannung;

F die Kraft;

S_0 die Anfangsquerschnittsfläche der parallelen Länge.

c) Bruchdehnung (A) in Prozent

Die Bruchdehnung in Prozent sollte nach Gleichung (9) und Gleichung (10), je nach Probenform, bestimmt werden.

Für Probenform A,

$$A = \frac{L_u - L_{\text{total}}}{L_{\text{total}}} \quad (9)$$

Dabei ist

A die Bruchdehnung in Prozent;

L_u die Messlänge nach dem Bruch;

L_{total} die Anfangsmesslänge für Probenform A.

Für Probenform B,

$$A = \frac{L_u - L_c}{L_c} \quad (10)$$

Dabei ist

A die Bruchdehnung in Prozent;

L_u die Messlänge nach dem Bruch;

L_c die Anfangsmesslänge für Probenform B.

d) Mittlere Dehngeschwindigkeit ($\bar{\epsilon}$)

Der Mittelwert für die Dehngeschwindigkeit wird durch Bildung des Mittelwerts aus Dehnungen bei 1 % (0,01) und 10 % (0,1) bestimmt, wie in Gleichung (11) gezeigt:

$$\bar{\epsilon} = \frac{(0,1 - 0,01)}{t_{10} - t_1} \quad (11)$$

Dabei ist

$\bar{\epsilon}$ die mittlere Dehngeschwindigkeit (s^{-1});

t_1 der Zeitpunkt, zu dem eine Dehnung von 1 % erreicht ist;

t_{10} der Zeitpunkt, zu dem eine Dehnung von 10 % erreicht ist.

Wenn die Bruchdehnung kleiner als 10 % ist, wird die mittlere Dehngeschwindigkeit aus dem Mittelwert der Dehnung von 1 % und der gemessenen Bruchdehnung berechnet.

Nach Vereinbarung kann der obere Grenzwert des Dehnbereichs von 10 % auf einen anderen festgelegten Wert geändert werden, z. B. auf die bei der Höchstkraft auftretende Dehnung.

Wenn ein anderer festgelegter Wert als oberer Grenzwert für die prozentuale Dehnung angewendet wird, sollte das folgende Symbol angewendet werden:

$$\bar{\epsilon}_{1-A_u}$$

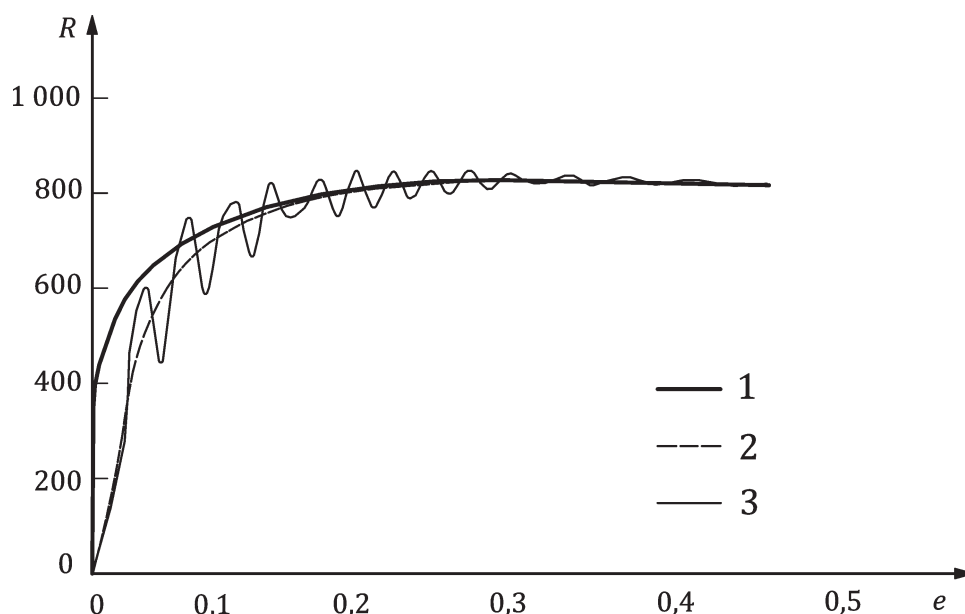
Dabei ist A_u der für die mittlere Dehngeschwindigkeit festgelegte obere Grenzwert der prozentualen Dehnung.

10 Auswertung des Versuchsergebnisses

In folgenden Fällen sollte wegen Problemen bei der Bewertung der Werkstoffkennwerte die Durchführung einer Nachprüfung oder einer geeigneten Bewertung der Versuchsergebnisse erwogen werden:

- a) der Bruch der Probe erfolgt außerhalb eines Bereichs um die Probenmitte, der jeweils einem Viertel der Messlänge entspricht;
- b) das Spannungssignal zeigt starke Oszillationen (siehe Bild 5);
- c) die mittlere Dehngeschwindigkeit unterscheidet sich deutlich von der Soll-Dehngeschwindigkeit, und der anfängliche Anstieg der Dehngeschwindigkeit liegt nicht im vereinbarten Dehnbereich (z. B. innerhalb einer Dehnung von 5 %);

- d) die Schwankung der Dehngeschwindigkeit um die mittlere Dehngeschwindigkeit ist in dem vereinbarten Dehnungsbereich größer als $\pm 30\%$;
- e) der Anstieg der Spannungs-Dehnungs-Kurve im elastischen Bereich unter dynamischen Bedingungen unterscheidet sich beträchtlich von dem erwarteten Anstieg (unregelmäßiger Anstieg, Bild 5).



Legende

- 1 Daten ohne Messprobleme
- 2 unregelmäßiger Anstieg
- 3 unregelmäßiger Anstieg + Oszillationen
- R technische Spannung (MPa)
- e technische Dehnung

Bild 5 — Beispiel für ein Messproblem beim Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit

Für den Zugversuch mit hoher Dehngeschwindigkeit gelten zwei wesentliche Qualitätskriterien: 1) die Schwingungen des Kraftsignals und 2) der unregelmäßige Anstieg der Spannungs-Dehnungs-Kurve im elastischen Bereich.

Das erste Kriterium betrifft ein Problem im Kraftmesssystem. Schwingungen des Kraftsignals treten auf, wenn die Prüfmaschine oder Elemente des Laststrangs nicht ordnungsgemäß ausgerichtet sind (z. B. ungerade oder falsch ausgerichtete elastische Stange). Dieses Problem kann gelöst werden durch eine sorgfältige Neujustierung der Prüfmaschinenkonfiguration und/oder eine erneute Ausrichtung der Lager oder Führungen der elastischen Stangen.

Das zweite Kriterium betrifft einen unregelmäßigen Anstieg der Spannungs-Dehnungs-Kurve im elastischen Bereich. Dies kann durch zusätzliche Verformungen von Elementen des Kraftstrangs außerhalb des Messbereiches der Probe hervorgerufen werden. Im Allgemeinen tritt dieses Problem bei Anwendung der Stoßwellentechnik selten auf, weil der Verschiebungsweg des Endes der Stange mittels der Theorie der Ausbreitung elastischer Wellen ermittelt werden kann. Ungeachtet dessen kann ein unregelmäßiger Anstieg jedoch auftreten, wenn die Spannkraft bzw. Verbindungsfestigkeit zwischen Probe und Einspannung (siehe Bild B.2 und Bild B.3) unzureichend ist und/oder wenn sich die Positionen des Endes der Probe (d. h. des Endes der Gesamtlänge L_{total}) und des Endes der Stange signifikant unterscheiden.

In diesen Fällen sollte die Prüfkonfiguration neu ausgerichtet werden.

11 Prüfbericht

Nach Vereinbarung zwischen den Beteiligten sollten im Prüfbericht folgende Angaben enthalten sein:

- a) eine Verweisung auf dieses Dokument, d. h. ISO 26203-1:2018;
- b) festgelegte Werkstoffe, sofern bekannt;
- c) das Prüfverfahren (Kraftmessverfahren, Wegmessverfahren und Art der Kraftmesseinrichtung usw.);
- d) die Kennzeichnung der Probe;
- e) die Form und die Maße der entnommenen Probe;
- f) die Lage und die Ausrichtung der Probe;
- g) die gemessenen Eigenschaften und die Versuchsergebnisse, d. h. die Spannungs-Dehnungs-Kurve mit Dehngeschwindigkeit, die mittlere Dehngeschwindigkeit, die größte Zugspannung/Zugdehnung, die Bruchdehnung in Prozent usw.