

DIN EN ISO 6892-1



ICS 77.040.10

Entwurf

Einsprüche bis 2019-10-30
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 6892-1:2017-02

**Metallische Werkstoffe –
Zugversuch –
Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO/FDIS 6892-1:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 6892-1:2019**

Metallic materials –
Tensile testing –
Part 1: Method of test at room temperature (ISO/FDIS 6892-1:2019);
German and English version prEN ISO 6892-1:2019

Matériaux métalliques –
Essai de traction –
Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante (ISO/FDIS 6892-1:2019);
Version allemande et anglaise prEN ISO 6892-1:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-08-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an 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, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 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 176 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6892-1:2019) 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.

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

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

DIN EN ISO 6892 besteht unter dem allgemeinen Titel *Metallische Werkstoffe — Zugversuch* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur
- Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur
- Teil 3: Prüfverfahren bei tiefen Temperaturen

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

ISO 377	siehe DIN EN ISO 377
ISO 2566-1	siehe DIN EN ISO 2566-1
ISO 2566-2	siehe DIN EN ISO 2566-2
ISO	siehe DIN EN ISO
ISO 3183	siehe DIN EN ISO 3183
ISO 7500-1	siehe DIN EN ISO 7500-1
ISO 9513	siehe DIN EN ISO 9513
ISO 11960	siehe DIN EN ISO 11960
ISO 80000-1	siehe DIN EN ISO 80000-1

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 6892-1:2017-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Korrektur eines Titels einer Norm im Abschnitt 2 „Normative Verweisungen“;
- b) Korrektur des Begriffs „coefficient of correlation“ in „coefficient of determination“;
- c) überarbeitete Formulierungen in 10.3.2.1;
- d) überarbeitete Formulierungen in der Legende zu Bild 9;
- e) überarbeitete Formulierungen in Tabelle B.2;
- f) überarbeitete Formulierungen in Tabelle D.3;
- g) Korrektur der Literaturhinweise.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 377, *Stahl und Stahlerzeugnisse — Lage und Vorbereitung von Probenabschnitten und Proben für mechanische Prüfungen*

DIN EN ISO 2566-1, *Stahl — Umrechnung von Bruchdehnungswerten — Teil 1: Unlegierte und niedrig legierte Stähle*

DIN EN ISO 2566-2, *Stahl — Umrechnung von Bruchdehnungswerten — Teil 2: Austenitische Stähle*

DIN EN ISO 3183, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Stahlrohre für Rohrleitungstransportsysteme*

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 9513, *Metallische Werkstoffe — Kalibrierung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung*

DIN EN ISO 11960, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Stahlrohre zur Verwendung als Futter- oder Steigrohre für Bohrungen*

DIN EN ISO 80000-1, *Größen und Einheiten — Teil 1: Allgemeines*

— Leerseite —

Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO/FDIS 6892-1:2019)

Matériaux métalliques — Essai de traction — Partie 1 : Méthode d'essai à température ambiante (ISO/FDIS 6892-1:2019)

Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature (ISO/FDIS 6892-1:2019)

ICS:

Deskriptoren:

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

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Formelzeichen	12
5 Kurzbeschreibung	15
6 Proben	15
6.1 Form und Maße	15
6.1.1 Allgemeines	15
6.1.2 Bearbeitete Proben	16
6.1.3 Unbearbeitete Proben	16
6.2 Arten	16
6.3 Herstellung der Proben	17
7 Bestimmung des Anfangsquerschnitts	17
8 Anfangsmesslänge und Extensometer-Messlänge	17
8.1 Festlegung der Anfangsmesslänge	17
8.2 Kennzeichnung der Anfangsmesslänge	17
8.3 Festlegung der Extensometer-Messlänge	18
9 Genauigkeit der Prüfeinrichtungen	18
10 Prüfbedingungen	18
10.1 Einstellung des Kraftnullpunktes	18
10.2 Einspannverfahren	18
10.3 Prüfgeschwindigkeiten	18
10.3.1 Allgemeine Informationen zu den Prüfgeschwindigkeiten	18
10.3.2 Prüfgeschwindigkeit basierend auf Dehngeschwindigkeit (Verfahren A)	19
10.3.3 Prüfgeschwindigkeit basierend auf Spannungsgeschwindigkeit (Verfahren B)	21
10.3.4 Dokumentation der gewählten Prüfbedingungen	23
11 Bestimmung der oberen Streckgrenze	23
12 Bestimmung der unteren Streckgrenze	23
13 Bestimmung der Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung	24
14 Bestimmung der Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung	24
15 Verfahren zum Nachweis des Grenzwertes der Spannung für eine vorgegebene bleibende Dehnung	25
16 Bestimmung der Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung	25
17 Bestimmung der plastischen Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft	25
18 Bestimmung der gesamten Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft	26

19	Bestimmung der gesamten Extensometer-Dehnung beim Bruch	26
20	Bruchdehnung	26
21	Bestimmung der Brucheinschnürung.....	27
22	Prüfbericht.....	28
23	Messunsicherheit	28
23.1	Allgemeines	28
23.2	Prüfbedingungen	28
23.3	Prüfergebnisse	29
Anhang A (informativ) Empfehlungen für die Anwendung rechnergestützter Zugprüfmaschinen		42
Anhang B (normativ) Probenarten für Flacherzeugnisse mit einer Dicke zwischen 0,1 mm und 3 mm: Bleche, Bänder und flache Walzprodukte.....		49
Anhang C (normativ) Probenarten für Draht, Stäbe und Profile mit einem Durchmesser oder einer Dicke unter 4 mm		52
Anhang D (normativ) Probenarten für Flacherzeugnisse mit einer Dicke gleich oder größer als 3 mm und Draht, Stäbe und Profile mit einem Durchmesser oder einer Dicke gleich oder größer als 4 mm		53
Anhang E (normativ) Probenarten bei Rohren		57
Anhang F (informativ) Abschätzung der Traversengeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Steifigkeit (bzw. Nachgiebigkeit) des Prüfaufbaus		59
Anhang G (normativ) Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Metallen im uniaxialen Zugversuch.....		61
Anhang H (informativ) Messung der Bruchdehnung, wenn der vorgeschriebene Wert kleiner als 5 % ist		70
Anhang I (informativ) Bestimmung der Bruchdehnung bei Unterteilung der Anfangsmesslänge.....		71
Anhang J (informativ) Bestimmung der plastischen Dehnung ohne Einschnürung (Gleichmaßdehnung) A_{wn} für Langprodukte wie Stäbe, Drähte und Stangen.....		73
Anhang K (informativ) Abschätzung der Messunsicherheit.....		74
Anhang L (informativ) Präzision von Zugversuchen — Ergebnisse von Ringversuchen.....		79
Literaturhinweise.....		85

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6892-1:2019) 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 6892-1:2016 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/FDIS 6892-1:2019 wurde von CEN als prEN ISO 6892-1:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

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

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

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 6892-1:2016), die geringfügig geändert wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Korrektur eines Normentitels in Abschnitt 2;
- Korrektur der Bezeichnung „Bestimmtheitsmaß“ („Bestimmtheitsmaß“ anstelle von „Korrelationskoeffizient“);
- Korrektur von Gleichung (1);
- Formulierung in 10.3.2.1;
- Formulierung in der Legende von Bild 9;
- Formulierung in Tabelle B.2;
- Formulierung in Tabelle D.3;
- Korrektur der normativen Verweisungen.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 6892 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

In Diskussionen über die Prüfgeschwindigkeiten während der Vorbereitung von ISO 6892 wurde entschieden, in zukünftigen Ausgaben die Durchführung dehngeschwindigkeits geregelter Versuche zu empfehlen.

In diesem Dokument sind zwei Verfahren bezüglich der Prüfgeschwindigkeit einsetzbar. Das erste, das Verfahren A, basiert auf den Dehngeschwindigkeiten (inklusive der Querhauptgeschwindigkeit) und das zweite, das Verfahren B, basiert auf den Spannungsgeschwindigkeiten. Verfahren A ist – wenn dehngeschwindigkeitsabhängige Kennwerte bestimmt werden – zur Minimierung von Unterschieden in den Prüfgeschwindigkeiten und zur Minimierung der Messunsicherheit der Prüfergebnisse geeignet. Aufgrund dessen – und aufgrund der Tatsache, dass oftmals die Dehngeschwindigkeitsempfindlichkeit des Materials nicht bekannt ist – wird die Anwendung von Verfahren A dringend empfohlen.

ANMERKUNG Im Folgenden werden die Benennungen „Kraft“ und „Spannung“ bzw. „Verlängerung (der Extensometer-Messlänge)“ und „Extensometer-Dehnung“ an unterschiedlichen Stellen verwendet (siehe Achsenbezeichnungen in Bildern oder Erklärungen zur Bestimmung verschiedener Kennwerte). Für die grundsätzliche Beschreibung oder den Punkt in einer Kurve können die Benennungen „Kraft“ und „Spannung“ bzw. „Verlängerung (der Extensometer-Messlänge)“ und „Extensometer-Dehnung“ ausgetauscht werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt das Verfahren für den Zugversuch an metallischen Werkstoffen fest und definiert die mechanischen Kennwerte, die bei Raumtemperatur bestimmt werden können.

ANMERKUNG Anhang A enthält zusätzliche Empfehlungen für die Anwendung rechnergestützter Zugprüfmaschinen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 7500-1, *Metallic materials — Calibration and verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Verification and calibration of the force-measuring system*

ISO 9513, *Metallic materials — Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing*

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 <http://www.iso.org/obp>

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

3.1

Messlänge

L

Länge des parallelen Teils der Probe, an dem zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Versuchs die Verlängerung gemessen wird

3.1.1

Anfangsmesslänge

L_0

Länge zwischen den Marken zur Kennzeichnung der *Messlänge* (3.1) auf der Probe, die vor dem Versuch bei Raumtemperatur gemessen wird

3.1.2

Messlänge nach dem Bruch

L_u

Länge zwischen den Marken zur Kennzeichnung der *Messlänge* (3.1) auf der Probe, die nach dem Bruch bei Raumtemperatur gemessen wird, nachdem die beiden Probenbruchstücke sorgfältig so zusammengefügt wurden, dass ihre Achsen in einer Geraden liegen

3.2

parallele Länge

L_c

Länge des parallelen reduzierten Querschnitts der Probe

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei unbearbeiteten Proben tritt an die Stelle der parallelen Länge der Abstand zwischen den Einspannungen.

3.3

Verlängerung

Zunahme der *Anfangsmesslänge* (3.1.1) zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Versuchs

3.4

Dehnung

Verlängerung (3.3), angegeben in Prozent, bezogen auf die *Anfangsmesslänge* (3.1.1)

3.4.1

bleibende Dehnung

Zunahme der *Anfangsmesslänge* (3.1.1) einer Probe nach Wegnahme einer festgelegten Zugspannung, angegeben in Prozent, bezogen auf die *Anfangsmesslänge* (3.1.1)

3.4.2

Bruchdehnung

A

bleibende *Verlängerung* (3.3) der Messlänge nach dem Bruch ($L_u - L_0$), angegeben in Prozent, bezogen auf die *Anfangsmesslänge* (3.1.1)

Anmerkung 1 zum Begriff: Für weitere Informationen siehe 8.1.

3.5

Extensometer-Messlänge

L_e

Anfangsmesslänge der Längenmesseinrichtung (Extensometer), die zum Messen der *Verlängerung* (3.6) benutzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Bestimmung mehrerer Eigenschaften, die (teilweise oder vollständig) von der Verlängerung abhängig sind, z. B. R_p , A_e oder A_g , ist die Verwendung eines Extensometers zwingend erforderlich.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für weitere Informationen siehe 8.3.

3.6

Verlängerung (der Extensometer-Messlänge)

Zunahme der *Extensometer-Messlänge* (3.5) zu einem beliebigen Zeitpunkt des Versuchs

3.6.1

Extensometer-Dehnung

Dehnung

e

in Prozent angegebene *Verlängerung* (3.6) der *Extensometer-Messlänge* (3.5)

Anmerkung 1 zum Begriff: e wird oftmals auch als technische Dehnung bezeichnet.

3.6.2

bleibende Extensometer-Dehnung

Vergrößerung der *Extensometer-Messlänge* (3.5) nach Wegnahme einer festgelegten, auf die Probe aufgetragenen *Zugspannung* (3.10), angegeben in Prozent, bezogen auf die Extensometer-Messlänge

3.6.3

Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung

A_e

<für Werkstoffe, die ein diskontinuierliches Fließen zeigen> *Verlängerung* (3.6) der Extensometer-Messlänge zwischen dem Beginn örtlichen Fließens und dem Einsetzen gleichmäßiger Verfestigung, angegeben in Prozent, bezogen auf die *Extensometer-Messlänge* (3.5)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 7.

3.6.4

gesamte Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft

A_{gt}

gesamte *Verlängerung* (3.6) (elastische plus plastische Verlängerung) der Extensometer-Messlänge bei Höchstkraft, angegeben in Prozent, bezogen auf die *Extensometer-Messlänge* (3.5)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.6.5

plastische Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft

A_g

plastische *Verlängerung* (3.6) der Extensometer-Messlänge bei Höchstkraft, angegeben in Prozent, bezogen auf die *Extensometer-Messlänge* (3.5)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.6.6

gesamte Extensometer-Dehnung beim Bruch

A_t

gesamte *Verlängerung* (3.6) (elastische plus plastische Verlängerung) der Extensometer-Messlänge beim Bruch, angegeben in Prozent, bezogen auf die *Extensometer-Messlänge* (3.5)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.7

Prüfgeschwindigkeit

während der Prüfung verwendete Geschwindigkeit(en)

3.7.1

Dehngeschwindigkeit

$\dot{\epsilon}_{Le}$

Zunahme der mit einem Extensometer in der *Extensometer-Messlänge* (3.5) gemessenen *Dehnung* (3.6.1) je Zeiteinheit

3.7.2

abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge

$\dot{\epsilon}_{Lc}$

Zunahme der *Dehnung* (3.6.1) über die *parallele Länge* (3.2) der Probe je Zeiteinheit, basierend auf der *Traversengeschwindigkeit* (3.7.3) und der parallelen Länge der Probe

3.7.3

Traversengeschwindigkeit

v_c

Traversenweg je Zeiteinheit

3.7.4

Spannungsgeschwindigkeit

$\dot{R}$

Zunahme der *Spannung* (3.10) je Zeiteinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spannungsgeschwindigkeit wird nur im elastischen Bereich des Versuchs (Verfahren B) verwendet (siehe auch 10.3.3).

3.8

Brucheinschnürung

Z

größte während des Versuchs aufgetretene Änderung des Querschnitts ($S_0 - S_u$), angegeben in Prozent, bezogen auf den Anfangsquerschnitt S_0 :

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100$$

3.9 Höchstkraft

3.9.1

Höchstkraft

F_m

<für Werkstoffe, die kein diskontinuierliches Fließen zeigen> größte Kraft, der die Probe während des Versuchs standhält

3.9.2

Höchstkraft

F_m

<für Werkstoffe, die ein diskontinuierliches Fließen zeigen> größte Kraft, der die Probe während des Versuchs nach dem Beginn der Verfestigung standhält

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Werkstoffe, die ein diskontinuierliches Fließen zeigen, aber keine Verfestigung erzielt werden kann, ist F_m nicht in diesem Dokument definiert [siehe Fußnote zu Bild 8 c)].

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 8 a) und Bild 8 b).

3.10

Spannung

R

Kraft zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Versuchs dividiert durch den Anfangsquerschnitt (S_0) der Probe

Anmerkung 1 zum Begriff: Mit dem Begriff Spannung ist in diesem Dokument die Ingenieur-Spannung (technische Spannung) gemeint.

3.10.1

Zugfestigkeit

R_m

Spannung (3.10), die der *Höchstkraft* (3.9.2) entspricht

3.10.2

Streckgrenze

wenn der metallische Werkstoff diese Eigenschaft aufweist, erfolgt zu einem bestimmten Zeitpunkt während des Versuchs durch *Spannung* (3.10) eine plastische Verformung ohne Zunahme der Kraft

3.10.2.1

obere Streckgrenze

R_{eH}

höchste *Spannung* (3.10), bevor der erste deutliche Kraftabfall auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.

3.10.2.2

untere Streckgrenze

R_{eL}

kleinste *Spannung* (3.10) während des plastischen Fließens, wobei Einschwingerscheinungen nicht berücksichtigt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.

3.10.3

Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung

R_p

Spannung (3.10), bei der die plastische *Extensometer-Dehnung* (3.6) einem vorgegebenen Prozentanteil der *Extensometer-Messlänge* (3.5) entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: „Dehngrenze bei nicht proportionaler Extensometer-Dehnung“ nach ISO/TR 25679:2005.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Index wird durch den Zahlenwert ergänzt, der den vorgegebenen Zahlenwert der plastischen Extensometer-Dehnung in Prozent angibt, z. B. $R_{p0,2}$.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 3.

3.10.4

Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung

R_t

Spannung (3.10), bei der die gesamte *Extensometer-Dehnung* (3.6) (elastische und plastische Extensometer-Dehnung) einem vorgegebenen Prozentanteil der *Extensometer-Messlänge* (3.5) entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Index wird durch den Zahlenwert ergänzt, der den vorgegebenen Zahlenwert der gesamten Extensometer-Dehnung in Prozent angibt, z. B. $R_{t0,5}$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 4.

3.10.5

Grenzwert der Spannung für eine vorgegebene bleibende Dehnung

R_r

Spannung (3.10), bei der nach Wegnahme der Kraft eine vorgegebene bleibende *Dehnung* (3.3) oder *Extensometer-Dehnung* (3.6), angegeben jeweils als Prozentanteil der *Anfangsmesslänge* (3.1.1) oder der *Extensometer-Messlänge* (3.5), nicht überschritten wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Index wird durch den Zahlenwert ergänzt, der den vorgegebenen Prozentanteil der Anfangsmesslänge L_0 oder der Extensometer-Messlänge L_e angibt, z. B. $R_{r0,2}$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 5.

3.11

Bruch

Zustand, wenn die Probe vollständig geteilt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Kriterien für den Bruch beim rechnergesteuerten Versuch sind in Bild A.2 dargestellt.

3.12

rechnergestützte Zugprüfmaschinen

Maschine, bei der die Regelung und Überwachung des Versuches, die Messungen und die Datenverarbeitung von einem Computer durchgeführt werden

3.13

Elastizitätsmodul

E

Quotient der Änderung der Spannung ΔR und Änderung der prozentualen Dehnung Δe in dem untersuchten Bereich multipliziert mit 100 %

$$E = \frac{\Delta R}{\Delta e} \cdot 100 \%$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird empfohlen, den Wert in GPa, gerundet auf 0,1 GPa, und nach ISO 80000-1 anzugeben.

3.14

Vorgabewerte

unterer oder oberer Wert für die *Spannung* (3.10) beziehungsweise *Dehnung* (3.6.1), der für die Beschreibung des Bereichs, in dem der *Elastizitätsmodul* (3.13) berechnet wird, benutzt wird

3.15

Bestimmtheitsmaß

R^2

zusätzliches Ergebnis der linearen Regression, welches die Qualität der Spannungs-Dehnungskurve in dem untersuchten Bereich beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Das verwendete Symbol R^2 ist eine mathematische Darstellung der Regression und ist kein Ausdruck für einen quadrierten Spannungswert.

3.16

Standardabweichung der Steigung

S_m

zusätzliches Ergebnis der linearen Regression, welches den Unterschied der *Spannungswerte* (3.10) von der Ausgleichsgeraden für die gegebenen *Dehnungswerte* (3.6) in dem untersuchten Bereich beschreibt

3.17

relative Standardabweichung der Steigung

$S_{m(\text{rel})}$

Quotient der *Standardabweichung der Steigung* (3.16) und der Steigung im untersuchten Bereich multipliziert mit 100 %

$$S_{m(\text{rel})} = \frac{S_m}{E} \cdot 100 \%$$

4 Formelzeichen

Die Formelzeichen, die in diesem Dokument verwendet werden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 — Formelzeichen und Benennungen

Formelzeichen	Einheit	Benennung
Probe		
a_o, T^a	mm	(Anfangs-)Dicke einer Flachprobe oder Wanddicke eines Rohres
b_o	mm	(Anfangs-)Breite einer Flachprobe in der parallelen Länge oder mittlere Breite einer Rohrstreifenprobe oder eines Profildrahtes
d_o	mm	(Anfangs-)Probendurchmesser in der parallelen Länge einer Rundprobe oder Durchmesser eines Drahtes mit Kreisquerschnitt oder Innendurchmesser eines Rohres
D_o	mm	(Anfangs-)Außendurchmesser eines Rohres
L_o	mm	Anfangsmesslänge
L'_o	mm	Anfangsmesslänge zur Bestimmung von A_{wn} (siehe Anhang J)
L_c	mm	parallele Länge
L_e	mm	Extensometer-Messlänge
L_t	mm	Gesamtlänge der Probe
L_u	mm	Messlänge nach dem Bruch
L'_u	mm	Messlänge nach dem Bruch zur Bestimmung von A_{wn} (siehe Anhang J)
S_o	mm ²	Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge
S_u	mm ²	kleinster Probenquerschnitt nach dem Bruch
k	—	Proportionalitätsfaktor (siehe 6.1.1)
Z	%	Brucheinschnürung
Dehnung		
A	%	Bruchdehnung (siehe 3.4.2)
A_{wn}	%	prozentuale plastische Dehnung ohne Einschnürung (Gleichmaßdehnung) (siehe Anhang J)
Extensometer-Dehnung		
e	%	Extensometer-Dehnung
A_e	%	Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung
A_g	%	plastische Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft F_m
A_{gt}	%	gesamte Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft F_m
A_t	%	gesamte Extensometer-Dehnung beim Bruch
ΔL_m	mm	(gesamte) Verlängerung (der Extensometer-Messlänge) bei Höchstkraft
ΔL_f	mm	(gesamte) Verlängerung (der Extensometer-Messlänge) beim Bruch

Formel- zeichen	Einheit	Benennung
Geschwindigkeiten		
$\dot{\epsilon}_{Le}$	s^{-1}	Dehngeschwindigkeit
$\dot{\epsilon}_{Lc}$	s^{-1}	abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge
$\dot{R}$	$MPa\ s^{-1}$	Spannungsgeschwindigkeit
v_c	$mm\ s^{-1}$	Traversengeschwindigkeit
Kraft		
F_m	N	Höchstkraft
Streckgrenze — Dehngrenze — Zugfestigkeit		
R	MPa^b	Spannung
R_{eH}	MPa	obere Streckgrenze
R_{eL}	MPa	untere Streckgrenze
R_m	MPa	Zugfestigkeit
R_p	MPa	Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung
R_r	MPa	Grenzwert der Spannung für eine vorgegebene bleibende Dehnung
R_t	MPa	Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung
Elastizitätsmodul — Steigung der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve		
E	GPa	Elastizitätsmodul (E-Modul) ^c
m	MPa	Steigung der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve zu einem bestimmten Zeitpunkt des Versuches
m_E	MPa	Steigung des elastischen Teils der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve ^d
R_1	MPa	unterer Spannungswert
R_2	MPa	oberer Spannungswert
e_1	%	unterer Dehnungswert
e_2	%	oberer Dehnungswert
R^2	—	Bestimmtheitsmaß
S_m	MPa	Standardabweichung der Steigung
$S_{m(rel)}$	%	relative Standardabweichung der Steigung
<p>^a Dieses Formelzeichen wird auch in Produktnormen für Stahlrohre angewendet.</p> <p>^b $1\ MPa = 1\ mm^{-2}$.</p> <p>^c Die Berechnung des Elastizitätsmoduls wird in Anhang G beschrieben. Es ist nicht notwendig, den Anhang G zur Bestimmung der Steigung des elastischen Teils der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve für die Bestimmung der Dehngrenze zu verwenden.</p> <p>^d Der Wert der Steigung des elastischen Teils der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve braucht nicht notwendigerweise mit dem Elastizitätsmodul übereinstimmen. Beim Vorliegen von optimalen Prüfbedingungen (siehe Anhang G) kann dieser Wert dem des Elastizitätsmoduls jedoch recht nahe kommen.</p> <p>ACHTUNG — Bei Verwendung von Werten in Prozent ist der Faktor 100 erforderlich.</p>		

5 Kurzbeschreibung

Der Versuch besteht darin, eine Probe durch eine Zugbeanspruchung im Allgemeinen bis zum Bruch zu dehnen, um eine oder mehrere der in Abschnitt 3 definierten mechanischen Kennwerte zu bestimmen.

Sofern nicht anders festgelegt, muss der Versuch bei Raumtemperatur zwischen 10 °C und 35 °C durchgeführt werden. Bei Laborumgebungen außerhalb der festgelegten Bedingungen liegt es in der Verantwortung des Prüflabors, die Auswirkungen dieser Umgebungsbedingungen auf die Prüf- und/oder Kalibrierdaten zu bewerten, die mit und für die Prüfmaschinen, die in diesen Umgebungen verwendet wurden, erstellt wurden. Wenn die Prüfung und Kalibrierung außerhalb der Temperaturgrenzen von 10 °C und 35 °C durchgeführt werden, ist die Temperatur aufzuzeichnen und anzugeben. Wenn signifikante Temperaturgradienten während der Prüfung und/oder Kalibrierung vorhanden sind, kann die Messunsicherheit zunehmen. Darüber hinaus können weitere Prüfbedingungen außerhalb der Toleranzen liegen.

Versuche unter kontrollierten Bedingungen müssen bei einer Temperatur von (23 ± 5) °C durchgeführt werden.

Wenn die Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zugversuch gefordert wird, dann muss diese in Übereinstimmung mit Anhang G geschehen.

6 Proben

6.1 Form und Maße

6.1.1 Allgemeines

Form und Maße der Proben können von der Form und den Maßen der Erzeugnisse aus metallischen Werkstoffen abhängen, von denen Proben entnommen werden.

Die Probe wird üblicherweise aus dem Erzeugnis oder einem gepressten oder gegossenen Rohteil herausgearbeitet. Erzeugnisse mit gleichbleibendem Querschnitt (Profile, Stäbe, Drähte usw.) sowie gegossene Probestücke (z. B. Gusseisen, Nichteisen-Legierungen) dürfen ohne Bearbeitung geprüft werden.

Der Probenquerschnitt darf kreisförmig, quadratisch, rechteckig oder ringförmig sein oder in besonderen Fällen auch einen anderen einheitlichen Querschnitt haben.

Die zu bevorzugenden Proben besitzen ein Verhältnis von Anfangsmesslänge L_0 zum Anfangsquerschnitt S_0 , welches durch die Gleichung $L_0 = k\sqrt{S_0}$ ausgedrückt wird, wobei k ein Proportionalitätsfaktor ist. Diese Proben werden als proportionale Proben bezeichnet. Der international festgelegte Wert für k ist 5,65. Die Anfangsmesslänge darf nicht kleiner als 15 mm sein. Wenn der Probenquerschnitt zu klein ist, um diese Bedingung bei $k = 5,65$ zu erfüllen, darf ein größerer Faktor (vorzugsweise $k = 11,3$) vorgesehen oder eine nichtproportionale Probe angewendet werden.

ANMERKUNG Bei Verwendung von kleineren Anfangsmesslängen als 20 mm erhöht sich die Unsicherheit des Kennwertes „Bruchdehnung“.

Bei nichtproportionalen Proben ist die Anfangsmesslänge L_0 unabhängig vom Anfangsquerschnitt S_0 .

Die Maße und Toleranzen der Proben müssen den Angaben in den Anhängen B bis E entsprechen (siehe 6.2).

Weitere Proben, wie die in entsprechenden Produktnormen oder nationalen Normen festgelegten, dürfen in Abstimmung mit dem Vertragspartner verwendet werden, z. B. ISO 3183 [1] (API 5L), ISO 11960 [2] (API 5CT), ASTM A370 [6], ASTM E8M [7], DIN 50125 [10], IACS W2 [13] und JIS Z 2241 [14].

6.1.2 Bearbeitete Proben

Bearbeitete Proben müssen einen stetigen Übergangsradius zwischen den Probenköpfen und der parallelen Länge haben, wenn deren Querschnitte unterschiedlich sind. Die Größe des zugehörigen Übergangsradius ist wichtig und es wird empfohlen, ihn in der Werkstoffspezifikation festzulegen, falls er nicht im entsprechenden Anhang aufgeführt ist (siehe 6.2).

Die Form der Probenköpfe darf beliebig sein und ist der Spanneinrichtung der Zugprüfmaschine entsprechend anzupassen. Die Längsachse der Probe muss mit der Kraftwirkungslinie übereinstimmen.

Die parallele Länge L_c muss immer größer sein als die Anfangsmesslänge L_0 . Bei Proben ohne Übergangsradien muss die freie Länge zwischen den Einspannungen immer größer sein als die Anfangsmesslänge L_0 .

6.1.3 Unbearbeitete Proben

Wenn die Probe aus einem unbearbeiteten Erzeugnisabschnitt oder aus einem unbearbeiteten Probestück besteht, muss die freie Länge zwischen den Einspannungen so groß sein, dass alle Messmarken in ausreichendem Abstand von diesen Einspannungen angebracht werden können (siehe Anhänge B bis E).

Gegossene Proben müssen einen Übergangsradius zwischen den Probenköpfen und der parallelen Länge haben. Die Größe dieses Übergangsradius ist wichtig und es wird empfohlen, dass er in der Produktnorm festgelegt wird. Die Form der Probenköpfe darf beliebig sein und ist der Spanneinrichtung der Zugprüfmaschine entsprechend anzupassen unter der Voraussetzung, dass die Mittellinie der Probe und die Kraftwirkungslinie übereinstimmen. Die parallele Länge L_c muss immer größer als die Anfangsmesslänge L_0 sein.

6.2 Arten

Die gebräuchlichsten Probenarten sind in den Anhängen B bis E für die verschiedenen Erzeugnisformen nach Tabelle 2 beschrieben. Andere Probenarten können in Produktnormen festgelegt sein.

Tabelle 2 — Gebräuchliche Probenarten und Erzeugnisformen

Maße in Millimeter

Erzeugnisformen		Entsprechender Anhang
Feinblech — Grobblech — Flachstäbe	Draht — Stäbe — Profile	
	  	
Dicke a	Durchmesser oder Seitenlänge	
$0,1 \leq a < 3$	—	B
—	< 4	C
$a \geq 3$	≥ 4	D
Rohre		E

6.3 Herstellung der Proben

Die Proben müssen entsprechend den Anforderungen der Internationalen Normen für die unterschiedlichen Werkstoffe entnommen und hergestellt werden (z. B. ISO 377).

7 Bestimmung des Anfangsquerschnitts

Die relevanten Maße der Probe sollten an mehreren Querschnittsebenen rechtwinklig zur Längsachse im mittleren Bereich der parallelen Länge der Probe gemessen werden.

Empfohlen werden Messungen an mindestens drei Querschnittsebenen.

Als Anfangsquerschnitt S_0 wird der mittlere Querschnitt verwendet. Er ist aus den Messwerten der entsprechenden Maße zu berechnen.

Die Genauigkeit dieser Bestimmung hängt von der Beschaffenheit und der Probenart ab. In den Anhängen B bis E sind Verfahren zur Bestimmung von S_0 für verschiedene Probenarten beschrieben und Festlegungen über die Messgenauigkeit enthalten.

Alle zur Bestimmung des Anfangsquerschnittes benutzten Messgeräte müssen mit entsprechenden Normalen kalibriert sein, die auf nationale Normale rückführbar sind.

8 Anfangsmesslänge und Extensometer-Messlänge

8.1 Festlegung der Anfangsmesslänge

Ist bei einer proportionalen Probe die Anfangsmesslänge nicht gleich $5,65\sqrt{S_0}$, wobei S_0 der Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge ist, sollte das Formelzeichen A durch einen Index ergänzt werden, der den zugrunde liegenden Proportionalitätsfaktor angibt, wobei z. B. $A_{11,3}$ die Dehnung der Anfangsmesslänge L_0 entsprechend Gleichung (1) angibt:

$$L_0 = 11,3\sqrt{S_0} \quad (1)$$

ANMERKUNG $5,65\sqrt{S_0} = 5\sqrt{4S_0/\pi}$.

Bei nichtproportionalen Proben (siehe Anhang B und Anhang D) sollte das Formelzeichen A durch einen Index ergänzt werden, der die zugrunde liegende Anfangsmesslänge in Millimeter angibt, wobei z. B. $A_{80\text{ mm}}$ die Dehnung einer Anfangsmesslänge L_0 von 80 mm angibt.

8.2 Kennzeichnung der Anfangsmesslänge

Zur manuellen Bestimmung der Bruchdehnung A muss die Anfangsmesslänge L_0 durch feine Messmarken, Farbstriche oder Einprägungen gekennzeichnet werden, wobei diese Marken nicht zu einem vorzeitigen Bruch führen dürfen. Die Anfangsmesslänge ist mit einer Unsicherheit von höchstens $\pm 1\%$ zu kennzeichnen.

Bei proportionalen Proben darf der berechnete Wert der Anfangsmesslänge auf das nächste Vielfache von 5 mm gerundet werden, sofern der Unterschied zwischen der berechneten und der gekennzeichneten Anfangsmesslänge weniger als 10 % von L_0 beträgt.

Überschreitet die parallele Länge L_c die Anfangsmesslänge beträchtlich, z. B. bei unbearbeiteten Proben, darf eine Reihe von sich überlappenden Anfangsmesslängen markiert werden.

In manchen Fällen kann es vorteilhaft sein, eine Parallele zur Längsachse der Probe zu zeichnen, auf der die Messmarken aufgetragen werden.

8.3 Festlegung der Extensometer-Messlänge

Zur Messung von Streck- und Dehngrenzenparametern sollte die Extensometer-Messlänge L_e den größten Teil der parallelen Länge erfassen. Idealerweise sollte L_e größer als der Minimalwert $0,50 L_0$, aber nicht größer als etwa $0,9 L_c$ sein. Dieses sollte sicherstellen, dass das Extensometer alle in der Probe vorkommenden Fließeffekte erfasst. Weiterhin sollte L_e ungefähr gleich L_0 sein, wenn Kennwerte „bei“ oder „nach Erreichen“ der Höchstkraft bestimmt werden.

9 Genauigkeit der Prüfeinrichtungen

Die Kraftmesseinrichtung der Zugprüfmaschine muss mindestens der Klasse 1 nach ISO 7500-1 entsprechen.

Zur Bestimmung der Dehngrenzen (plastische oder gesamte Extensometer-Dehnung) muss die Längenänderungs-Messeinrichtung im relevanten Bereich mindestens der Klasse 1 nach ISO 9513 entsprechen. Für die Bestimmung anderer Kennwerte (mit Extensometer-Dehnungen größer als 5 %) darf im relevanten Bereich eine Längenänderungs-Messeinrichtung der Klasse 2 nach ISO 9513 benutzt werden.

10 Prüfbedingungen

10.1 Einstellung des Kraftnullpunktes

Nach der Komplettierung des Kraftstranges, aber vor der Einspannung der Probe an beiden Enden ist das Kraftmesssystem auf null zu stellen. Nachdem die Kraft auf null gestellt wurde, darf das Kraftmesssystem während des Versuchs nicht in irgendeiner Weise mehr verändert werden.

ANMERKUNG Durch Anwendung dieses Verfahrens wird sichergestellt, dass einerseits die Masse des Einspannsystems in der Kraftmessung kompensiert ist und andererseits eine durch das Einspannen der Probe bedingte Kraft die Messung nicht beeinflusst.

10.2 Einspannverfahren

Die Proben müssen mit geeigneten Einrichtungen, z. B. Keilspannzeugen, Gewindestücken, Parallelspannzeugen oder Schulterhalterungen eingespannt werden.

Dabei sollte alles darangesetzt werden, die Proben so einzuspannen, dass die Kraft so axial wie möglich wirkt, um den Biegeeinfluss zu minimieren (weitere Informationen siehe z. B. ASTM E1012 [8]). Dies ist besonders beim Zugversuch an spröden Werkstoffen wichtig oder bei der Bestimmung der Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung oder der Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung oder bei der Bestimmung der Streckgrenze.

Um ein Ausrichten der Probe in der Einspannvorrichtung zu erreichen, darf eine Vorkraft aufgebracht werden, die 5 % des spezifizierten oder zu erwartenden Streckgrenzenwertes nicht überschreitet. Eine Korrektur der Dehnung sollte unter Berücksichtigung der Vorkraft vorgenommen werden.

10.3 Prüfgeschwindigkeiten

10.3.1 Allgemeine Informationen zu den Prüfgeschwindigkeiten

Wenn nicht anders festgelegt, unterliegt die Wahl des Verfahrens (A1, A2 oder B) und der Prüfgeschwindigkeiten dem Hersteller oder dem von ihm beauftragten Prüflabor, vorausgesetzt, die Festlegungen dieses Dokuments werden eingehalten.

ANMERKUNG 1 Der Unterschied zwischen Verfahren A und Verfahren B besteht darin, dass die notwendige Prüfgeschwindigkeit bei Verfahren A beim interessierenden Punkt, an dem der Kennwert, z. B. $R_{p0,2}$, bestimmt werden soll, definiert ist, wohingegen bei Verfahren B die notwendige Prüfgeschwindigkeit im elastischen Bereich, d. h. bevor der Kennwert (z. B. $R_{p0,2}$) bestimmt werden soll, eingestellt wird.

Bei Verwendung von Verfahren B kann unter bestimmten Bedingungen (so z. B. für einige Stähle bei einer Spannungsgeschwindigkeit im elastischen Bereich von etwa 30 MPa/s, bei Verwendung einer Prüfmaschine und eines Einspannsystems mit hoher Steifigkeit und einer Probengeometrie nach Anhang B, Tabelle B.1, Probenform 2) eine Dehngeschwindigkeit nahe des Bereichs 2 von Verfahren A beobachtet werden.

ANMERKUNG 2 In Produktnormen und einschlägigen Prüfnormen (z. B. Luftfahrtnormen) können Prüfgeschwindigkeiten festgelegt sein, die von denen in diesem Dokument abweichen.

10.3.2 Prüfgeschwindigkeit basierend auf Dehngeschwindigkeit (Verfahren A)

10.3.2.1 Allgemeines

Mit Verfahren A ist beabsichtigt, Unterschiede in den Prüfgeschwindigkeiten in den Bereichen der Kennwertbestimmung, insbesondere bei dehngeschwindigkeitsabhängigen Kennwerten, zu minimieren und die Messunsicherheit der Prüfergebnisse zu minimieren.

Zwei unterschiedliche Arten der Dehngeschwindigkeitsregelung sind in diesem Unterabschnitt beschrieben.

- Verfahren A1 „geschlossener Regelkreis“ (en: closed loop) bezeichnet die Regelung der Dehngeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{Le}$, die auf dem Signal des Dehnungsaufnehmers basiert.
- Verfahren A2 „offener Regelkreis“ (en: open loop) bezeichnet die Regelung der abgeschätzten Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge $\dot{\epsilon}_{Lc}$, die durch Verwendung einer Traversengeschwindigkeit entsprechend dem Produkt aus der gewünschten Dehngeschwindigkeit und der parallelen Länge realisiert wird [siehe Gleichung (2)].

ANMERKUNG Eine präzisere Dehngeschwindigkeitsabschätzung für Verfahren A2 wird in Anhang F beschrieben.

Wenn das Material kein inhomogenes Fließen zeigt und die Kraft dabei nahezu konstant bleibt, sind die Dehngeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{Le}$ und die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge $\dot{\epsilon}_{Lc}$ nahezu gleich. Unterschiede bestehen, wenn das Material inhomogenes oder „gezacktes“ Fließen zeigt (z. B. wie bei einigen Stählen und Al-Mg-Legierungen im Bereich der Streckgrenzendeformation oder Materialien, die „gezacktes Fließen“ durch den Portevin-Le-Chatelier-Effekt zeigen) oder wenn die Probe einschnürt. Wenn die Kraft zunimmt, kann die Dehngeschwindigkeit [wenn die Traversengeschwindigkeit nach Gleichung (2) berechnet wurde] bedingt durch die Nachgiebigkeit der Prüfmaschine niedriger sein als die gewünschte Dehngeschwindigkeit.

Die Prüfgeschwindigkeit muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) Wenn nicht anders festgelegt, darf jede geeignete Prüfgeschwindigkeit bis zu einer Spannung verwendet werden, die der Hälfte der erwarteten Streckgrenze entspricht. Oberhalb dieses Bereiches und zur Bestimmung von R_{eH} , R_p oder R_t ist die festgelegte Dehngeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{Le}$ (oder für Verfahren A2 die Traversengeschwindigkeit v_c) zu verwenden. Um den Einfluss der Nachgiebigkeit der Zugprüfmaschine zu eliminieren und eine genaue Regelung der Dehngeschwindigkeit in diesem Bereich sicherzustellen, ist die Verwendung eines Dehnungsaufnehmers zur Messung der Verlängerung der Probe notwendig. Bei Prüfmaschinen, die nicht die Dehngeschwindigkeit regeln können, darf das Verfahren A2 angewandt werden.

- b) Im Bereich des inhomogenen Fließens sollte die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge $\dot{\epsilon}_{L_c}$ (siehe 3.7.2) verwendet werden. In diesem Bereich ist eine Regelung der Dehngeschwindigkeit mit einem an die Probe angesetzten Dehnungsaufnehmer nicht möglich, da lokales Fließen außerhalb der Extensometer-Messlänge stattfinden kann. Die notwendige abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge kann in diesem Bereich hinreichend genau erreicht werden, indem eine konstante Traversengeschwindigkeit v_c (siehe 3.7.3) (offener Regelkreis, en: open loop) verwendet wird.

$$v_c = L_c \dot{\epsilon}_{L_c} \quad (2)$$

Dabei ist

$\dot{\epsilon}_{L_c}$ die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge;

L_c die parallele Länge.

- c) In dem Bereich nach R_p oder R_t oder nach Ende des Fließens (siehe 3.7.2) kann $\dot{\epsilon}_{L_e}$ oder $\dot{\epsilon}_{L_c}$ verwendet werden. Die Verwendung von $\dot{\epsilon}_{L_c}$ wird empfohlen, um Regelungsprobleme zu verhindern, die durch lokale Einschnürung außerhalb der Extensometer-Messlänge auftreten können.

Die in 10.3.2.2 bis 10.3.2.4 festgelegten Dehngeschwindigkeiten sind während der Bestimmung der relevanten Kennwerte einzuhalten (siehe auch Bild 9).

Während des Umschaltens auf eine andere Dehngeschwindigkeit oder auf eine andere Regelung sollten keine Unstetigkeiten in der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve auftreten, welche die Werte für R_m , A_g oder A_{gt} (siehe Bild 10) beeinflussen. Diese Unstetigkeit kann durch eine sanfte Umschaltung zwischen den Geschwindigkeiten verkleinert werden.

Die Form der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve kann im Verfestigungsbereich ebenfalls durch die Dehngeschwindigkeit beeinflusst werden. Die verwendete Dehngeschwindigkeit sollte daher dokumentiert werden (siehe 10.3.4).

10.3.2.2 Dehngeschwindigkeit zur Bestimmung der oberen Streckgrenze R_{eH} oder der Dehngrenzen R_p und R_t

Die Dehngeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{L_e}$ ist so konstant wie möglich bis zu und während der Bestimmung von R_{eH} oder R_p oder R_t zu halten. Während der Bestimmung dieser Kennwerte muss die Dehngeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{L_e}$ in einem der beiden folgenden festgelegten Bereiche liegen (siehe auch Bild 9):

Bereich 1: $\dot{\epsilon}_{L_e} = 0,000\,07\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\,\%$.

Bereich 2: $\dot{\epsilon}_{L_e} = 0,000\,25\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\,\%$ (empfohlen, wenn nicht anders festgelegt).

Wenn die Prüfmaschine nicht in der Lage ist, die Dehngeschwindigkeit direkt zu regeln, muss das Verfahren A2 angewendet werden.

10.3.2.3 Dehngeschwindigkeit zur Bestimmung der unteren Streckgrenze R_{eL} und der Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung A_e

Nach der Bestimmung der oberen Streckgrenze (siehe A.3.2) ist die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge $\dot{e}_{Lc}$ bis zum Ende des diskontinuierlichen Fließens in einem der zwei folgenden festgelegten Bereiche zu halten (siehe Bild 9).

Bereich 2: $\dot{e}_{Lc} = 0,000\,25\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$ (empfohlen, wenn R_{eL} zu bestimmen ist).

Bereich 3: $\dot{e}_{Lc} = 0,002\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$.

10.3.2.4 Dehngeschwindigkeit zur Bestimmung der Zugfestigkeit R_m , der Bruchdehnung A , der gesamten Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_{gt} , der plastischen Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_g und der Brucheinschnürung Z

Nach Bestimmung der geforderten Streck-/Dehngrenzen muss die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge $\dot{e}_{Lc}$ in einen der folgenden festgelegten Bereiche verändert werden (siehe Bild 9).

Bereich 2: $\dot{e}_{Lc} = 0,000\,25\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$.

Bereich 3: $\dot{e}_{Lc} = 0,002\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$.

Bereich 4: $\dot{e}_{Lc} = 0,006\,7\,s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$ (entspricht $0,4\,min^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$) (empfohlen, wenn nicht anders festgelegt).

Wenn nur die Zugfestigkeit bestimmt wird, darf während des gesamten Versuchs die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die parallele Länge entsprechend Bereich 3 oder 4 verwendet werden.

10.3.3 Prüfgeschwindigkeit basierend auf Spannungsgeschwindigkeit (Verfahren B)

10.3.3.1 Allgemeines

Die Prüfgeschwindigkeiten müssen den folgenden Festlegungen, die vom Werkstoff abhängen, entsprechen. Wenn nicht anders festgelegt, darf jede geeignete Prüfgeschwindigkeit bis zu einer Spannung verwendet werden, die der Hälfte der spezifizierten Streckgrenze entspricht. Die Prüfgeschwindigkeiten oberhalb dieses Punktes sind nachfolgend festgelegt.

ANMERKUNG Ziel ist es nicht bei Verfahren B, während der Bestimmung der Streckgrenzen eine konstante Spannungsgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten oder die Spannungsgeschwindigkeit im geschlossenen Regelkreis über eine Kraftregelung zu steuern, sondern nur über die Einstellung einer Traversengeschwindigkeit eine definierte Spannungsgeschwindigkeit im elastischen Bereich zu erhalten (siehe Tabelle 3). Wenn eine Probe bei der Prüfung anfängt zu fließen, reduziert sich die Spannungsgeschwindigkeit oder kann sogar negativ werden, wenn die Probe diskontinuierliches Fließen zeigt. Der Versuch, während des Fließens eine konstante Spannungsgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten, erfordert von der Prüfmaschine extrem hohe Prüfgeschwindigkeiten. Dieses ist in den meisten Fällen weder praktikabel noch gewünscht.

10.3.3.2 Streck- und Dehngrenzen

10.3.3.2.1 Obere Streckgrenze R_{eH}

Die Traversengeschwindigkeit muss so konstant wie möglich und innerhalb der Grenzen gehalten werden, die den in Tabelle 3 angegebenen Spannungsgeschwindigkeiten entsprechen.

ANMERKUNG Zur Information: Typische Werkstoffe mit einem Elastizitätsmodul kleiner als 150 000 MPa sind Magnesium, Aluminiumlegierungen, Messing und Titan. Typische Werkstoffe mit einem Elastizitätsmodul größer als 150 000 MPa sind Schmiedeeisen, Stahl, Wolfram und Nickelbasislegierungen.

Tabelle 3 — Spannungsgeschwindigkeit

Elastizitätsmodul des Werkstoffs E MPa	Spannungsgeschwindigkeit $\dot{R}$ MPa s ⁻¹	
	min.	max.
< 150 000	2	20
≥ 150 000	6	60

10.3.3.2.2 Untere Streckgrenze R_{eL}

Wenn nur die untere Streckgrenze zu bestimmen ist, so muss die Dehngeschwindigkeit im Bereich der parallelen Länge während des Fließens zwischen 0,000 25 s⁻¹ und 0,002 5 s⁻¹ liegen. Die Dehngeschwindigkeit im Bereich der parallelen Länge ist so konstant wie möglich zu halten. Wenn diese Dehngeschwindigkeit nicht direkt eingestellt werden kann, ist kurz vor dem Fließbeginn die entsprechende Spannungsgeschwindigkeit einzustellen. Diese Einstellung darf nicht mehr verändert werden, bis das Fließen beendet ist.

In keinem Fall darf die Spannungsgeschwindigkeit im elastischen Bereich die in Tabelle 3 angegebenen Höchstwerte übersteigen.

10.3.3.2.3 Obere und untere Streckgrenze R_{eH} und R_{eL}

Werden die obere und untere Streckgrenze im selben Versuch bestimmt, gelten die Bedingungen zur Bestimmung der unteren Streckgrenze (siehe 10.3.3.2.2).

10.3.3.2.4 Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung und Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung R_p und R_t

Innerhalb des elastischen Bereiches muss die Traversengeschwindigkeit so konstant wie möglich und innerhalb der Grenzen gehalten werden, die den in Tabelle 3 angegebenen Spannungsgeschwindigkeiten entsprechen. Diese Traversengeschwindigkeit muss bis zur Dehngrenze (plastische oder gesamte Extensometer-Dehnung) beibehalten werden. Keinesfalls darf die Dehngeschwindigkeit größer sein als 0,002 5 s⁻¹.

10.3.3.2.5 Traversengeschwindigkeit

Wenn die Prüfmaschine nicht in der Lage ist, die Dehngeschwindigkeit zu messen oder zu kontrollieren, ist bis zur Beendigung des Fließens eine Traversengeschwindigkeit zu verwenden, die der in Tabelle 3 angegebenen Spannungsgeschwindigkeit entspricht.

10.3.3.3 Zugfestigkeit R_m , Bruchdehnung A , gesamte Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_{gt} , plastische Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_g und Brucheinschnürung Z

Nach der Bestimmung der geforderten Streck- und Dehngrenzwerte darf die Prüfgeschwindigkeit bis auf eine Dehngeschwindigkeit (oder entsprechende Traversengeschwindigkeit) von maximal $0,008 \text{ s}^{-1}$ erhöht werden.

Wenn nur die Zugfestigkeit des Werkstoffes bestimmt wird, kann eine Dehngeschwindigkeit verwendet werden, die während des gesamten Versuchs $0,008 \text{ s}^{-1}$ nicht überschreiten darf.

10.3.4 Dokumentation der gewählten Prüfbedingungen

Zur Dokumentation der Art der Prüfgeschwindigkeitsregelung und der Prüfgeschwindigkeit in einer verkürzten Form kann folgendes System von Abkürzungen verwendet werden:

ISO 6892-1 Annn oder ISO 6892-1 Bn

wobei „A“ das verwendete Verfahren A (basierend auf der Dehngeschwindigkeit) und „B“ das verwendete Verfahren B (basierend auf der Spannungsgeschwindigkeit) symbolisiert. Die Symbole „nnn“ stellen eine Serie von bis zu 3 Zeichen dar, die sich auf die Geschwindigkeiten während jeder Phase des Versuchs wie in Bild 9 dargestellt beziehen. „n“ kann zur Dokumentation der Spannungsgeschwindigkeit (in MPa s^{-1}) im elastischen Bereich angehängt werden.

BEISPIEL 1 ISO 6892-1:2019 A224 beschreibt einen dehngeschwindigkeitsbasierenden Versuch mit Verwendung der Bereiche 2, 2 und 4.

BEISPIEL 2 ISO 6892-1:2019 B30 beschreibt einen spannungsgeschwindigkeitsbasierenden Versuch, durchgeführt mit einer nominalen Spannungsgeschwindigkeit von 30 MPa s^{-1} .

BEISPIEL 3 ISO 6892-1:2019 B beschreibt einen spannungsgeschwindigkeitsbasierenden Versuch, durchgeführt mit einer nominalen Spannungsgeschwindigkeit nach Tabelle 3.

11 Bestimmung der oberen Streckgrenze

R_{eH} darf aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve oder einer Schleppzeiger-Kraftanzeige bestimmt werden und ist definiert als die Spannung in dem Moment, bevor der erste deutliche Kraftabfall auftritt. Der Kennwert wird durch Division dieser Kraft durch den Anfangsquerschnitt der Probe S_0 berechnet (siehe Bild 2).

12 Bestimmung der unteren Streckgrenze

R_{eL} wird aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve bestimmt und ist definiert als der niedrigste Wert der Spannung während des plastischen Fließens, wobei Einschwingerscheinungen unberücksichtigt bleiben. Der Kennwert wird durch Division dieser Kraft durch den Anfangsquerschnitt der Probe S_0 berechnet (siehe Bild 2).

Im Falle von Werkstoffen mit einem ausgeprägten Fließverhalten und wenn A_e nicht bestimmt wird: Zur Verkürzung der Versuchsdauer darf R_{eL} als die niedrigste Spannung innerhalb einer Extensometer-Dehnung von 0,25 % nach R_{eH} angenommen werden, wobei Einschwingerscheinungen unberücksichtigt bleiben. Nach Bestimmung von R_{eL} nach diesem Verfahren darf die Prüfgeschwindigkeit entsprechend 10.3.2.4 oder 10.3.3.3 erhöht werden. Die Anwendung dieses (zeitlich) kürzeren Verfahrens sollte im Prüfbericht angegeben werden.

13 Bestimmung der Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung

13.1 R_p wird aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve bestimmt, indem eine Parallele zum geraden Teil der Kurve in einem Abstand gezeichnet wird, der der vorgeschriebenen plastischen Dehnung entspricht, z. B. 0,2 %. Die Ordinate des Schnittpunktes dieser Parallelen mit der Kurve ergibt die der gewünschten Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung entsprechende Kraft. Die Dehngrenze wird durch Dividieren dieser Kraft durch den Anfangsquerschnitt der Probe S_0 errechnet (siehe Bild 3).

Ist der gerade Abschnitt der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve nicht genügend ausgeprägt und kann folglich die Parallele nicht mit ausreichender Genauigkeit gezogen werden, wird das nachstehende Verfahren empfohlen (siehe Bild 6).

Ist die erwartete Dehngrenze überschritten, wird die Kraft auf etwa 10 % des vorherigen Wertes vermindert. Die Kraft wird dann wieder erhöht, bis der ursprüngliche Wert überschritten ist. Zur Bestimmung der gesuchten Dehngrenze wird die Mittellinie durch die Hystereseschleife gezogen. Dann wird eine Parallele zu dieser Geraden in dem Abstand vom korrigierten Kurvenursprung (an der Abszisse gemessen) gezogen, der dem vorgegebenen Wert der plastischen Extensometer-Dehnung entspricht. Die Ordinate des Schnittpunktes dieser Parallelen mit der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve ergibt die der Dehngrenze entsprechende Kraft. Die Dehngrenze wird durch Dividieren dieser Kraft durch den Anfangsquerschnitt der Probe S_0 berechnet (siehe Bild 6).

ANMERKUNG Für die Bestimmung des korrigierten Nullpunktes der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve können verschiedene Verfahren angewendet werden. Ein Verfahren, das angewendet werden kann, ist das Zeichnen einer Geraden parallel zu der durch die Hystereseschleife festgelegten Geraden als Tangente an die Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Abszisse ergibt den tatsächlichen Nullpunkt der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve (siehe Bild 6).

Es sollte darauf geachtet werden, dass die Hysterese nach dem Erreichen der letzten Dehngrenze, aber bei einer möglichst kleinen Extensometer-Dehnung gestartet wird, da ansonsten nachteilige Effekte auf die Steigung beobachtet werden können.

Es ist unüblich, Dehngrenzen während oder nach lokalem Fließen zu bestimmen, wenn nicht in der Produktnorm festgelegt oder zwischen den Vertragspartnern vereinbart.

13.2 Diese Kenngröße darf bei automatischen Auswertesystemen (z. B. Mikroprozessor usw.) auch ohne Zeichnen der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve bestimmt werden (siehe Anhang A).

ANMERKUNG Ein anderes mögliches Verfahren ist in GB/T 228 [12] beschrieben.

14 Bestimmung der Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung

14.1 Die Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung R_t wird aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve unter Berücksichtigung von 10.2 bestimmt, indem eine Parallele zur Ordinatenachse (Kraft-Achse) in dem Abstand gezogen wird, der der vorgegebenen gesamten Extensometer-Dehnung entspricht. Die Ordinate des Schnittpunktes dieser Geraden mit der Kurve ergibt die der gewünschten Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung entsprechende Kraft. Die Dehngrenze wird durch Dividieren dieser Kraft durch den Anfangsquerschnitt der Probe S_0 berechnet (siehe Bild 4).

14.2 Diese Kenngröße darf bei automatischen Auswertesystemen auch ohne Zeichnen der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve bestimmt werden (siehe Anhang A).

15 Verfahren zum Nachweis des Grenzwertes der Spannung für eine vorgegebene bleibende Dehnung

Die Probe wird 10 s bis 12 s einer Kraft ausgesetzt, die der vorgegebenen Spannung entspricht. Diese Kraft wird durch Multiplikation der vorgegebenen Spannung mit dem Anfangsquerschnitt der Probe S_0 erhalten. Nach Wegnahme der Kraft wird nachgewiesen, dass die bleibende Dehnung oder Extensometer-Dehnung nicht größer ist als der für die Anfangsmesslänge vorgegebene prozentuale Wert, siehe Bild 5.

ANMERKUNG Dieser Versuch ist ein „erfüllt/nicht erfüllt“-Versuch und wird normalerweise nicht als ein Teil des Zugversuchs durchgeführt. Die auf die Probe wirkende Spannung und die zulässige bleibende Dehnung oder Extensometer-Dehnung sind entweder durch die Produktspezifikation oder durch den Auftraggeber festzulegen. Beispiel: Das Ergebnis „ $R_{r0,5} = 750$ MPa erfüllt“ bedeutet, dass eine Spannung von 750 MPa auf die Probe aufgebracht wurde und die resultierende bleibende festgelegte Dehnung (oder Extensometer-Dehnung) kleiner oder gleich 0,5 % war.

16 Bestimmung der Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung

Für Werkstoffe, die diskontinuierliches Fließen zeigen, wird A_e aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve durch Subtraktion der Extensometer-Dehnung bei R_{eH} von der Extensometer-Dehnung beim Start der Verfestigung berechnet. Die Extensometer-Dehnung beim Start der Verfestigung ist definiert durch den Schnittpunkt einer horizontalen Linie durch das letzte lokale Minimum oder einer Regressionsgeraden im Bereich des Fließens vor dem Beginn der Verfestigung und einer der größten Steigung der Kurve entsprechenden Geraden bei Beginn der Verfestigung (siehe Bild 7). Die Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung wird als prozentualer Wert der Extensometer-Messlänge L_e angegeben.

Das verwendete Verfahren [siehe Bild 7 a) oder Bild 7 b)] sollte im Prüfbericht angegeben werden.

17 Bestimmung der plastischen Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft

Das Verfahren besteht in der Bestimmung der Verlängerung der Extensometer-Messlänge bei Höchstkraft aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve, die mit einem Dehnungsaufnehmer gemessen wurde, und der Subtraktion der elastischen Dehnung.

Die plastische Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_g wird nach Gleichung (3) berechnet:

$$A_g = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Dabei ist

- ΔL_m die Verlängerung (der Extensometer-Messlänge) bei Höchstkraft;
- L_e die Extensometer-Messlänge;
- R_m die Zugfestigkeit;
- m_E die Steigung im elastischen Teil der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve.

ANMERKUNG Für Werkstoffe, die im Bereich der Höchstkraft ein Plateau zeigen, wird die plastische Extensometer-Dehnung am Mittelpunkt dieses Plateaus bestimmt (siehe Bild 1).

18 Bestimmung der gesamten Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft

Das Verfahren besteht aus der Bestimmung der Verlängerung der Extensometer-Messlänge bei Höchstkraft aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve, die mit einem Dehnungsaufnehmer gemessen wurde.

Die gesamte Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_{gt} wird nach Gleichung (4) berechnet:

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \cdot 100 \quad (4)$$

Dabei ist

ΔL_m die Verlängerung (der Extensometer-Messlänge) bei Höchstkraft;

L_e die Extensometer-Messlänge.

ANMERKUNG Für Werkstoffe, die im Bereich der Höchstkraft ein Plateau zeigen, wird die plastische Extensometer-Dehnung am Mittelpunkt dieses Plateaus bestimmt (siehe Bild 1).

19 Bestimmung der gesamten Extensometer-Dehnung beim Bruch

Das Verfahren besteht aus der Bestimmung der Verlängerung der Extensometer-Messlänge beim Bruch aus der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve, die mit einem Dehnungsaufnehmer gemessen wurde.

Die gesamte Extensometer-Dehnung beim Bruch A_t wird nach Gleichung (5) berechnet:

$$A_t = \frac{\Delta L_f}{L_e} \cdot 100 \quad (5)$$

Dabei ist

ΔL_f die Verlängerung (der Extensometer-Messlänge) beim Bruch;

L_e die Extensometer-Messlänge.

20 Bruchdehnung

20.1 Die Bruchdehnung muss nach der in 3.4.2 angegebenen Definition bestimmt werden.

Zu diesem Zweck sind die beiden Bruchstücke der Probe sorgfältig so zusammenzulegen, dass ihre Achsen eine Gerade bilden.

Es ist insbesondere darauf zu achten, dass die Bruchflächen der beiden Bruchstücke der Probe bei der Messung der Messlänge nach dem Bruch möglichst gut ineinander passen. Dies ist insbesondere bei Proben mit kleinem Probenquerschnitt und bei Proben mit geringer Bruchdehnung wichtig.

Die Bruchdehnung A wird nach Gleichung (6) berechnet:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 \quad (6)$$

Dabei ist

L_u die Messlänge nach dem Bruch;

L_o die Anfangsmesslänge.

Die Verlängerung nach dem Bruch $L_u - L_0$ muss auf mindestens 0,25 mm genau bestimmt werden unter Benutzung einer Messeinrichtung mit einer ausreichenden Auflösung.

Liegt der geforderte Mindestwert der Bruchdehnung unter 5 %, wird empfohlen, besondere Vorkehrungen bei der Bestimmung der Bruchdehnung zu treffen (siehe Anhang H). Das Ergebnis der Bestimmung der Bruchdehnung ist nur dann gültig, wenn der Abstand zwischen der Bruchstelle und der nächsten Messmarke mindestens $L_0/3$ beträgt. Die Bruchdehnung ist jedoch ungeachtet der Lage des Bruches gültig, wenn sie mindestens den geforderten Wert erreicht. Um zu vermeiden, dass Proben, bei denen der Abstand zwischen der Bruchstelle und der nächsten Messmarke kleiner als $L_0/3$ ist, verworfen werden müssen, darf nach Vereinbarung das in Anhang I beschriebene Verfahren angewendet werden.

20.2 Bei Verwendung von Dehnungsaufnehmern zur Messung der Verlängerung beim Bruch sind Messmarken nicht erforderlich. Da es sich bei der gemessenen Verlängerung um die gesamte Verlängerung handelt, muss, um die Bruchdehnung zu erhalten, die elastische Verlängerung subtrahiert werden. Um mit der manuellen Methode vergleichbare Werte zu erhalten, können zusätzliche Maßnahmen notwendig sein (z. B. ausreichende Dynamik und Frequenz-Bandweite des Dehnungsaufnehmers) (siehe A.2.2).

Das Ergebnis der Messung ist nur dann gültig, wenn der Bruch und die Einschnürdehnung innerhalb der Extensometer-Messlänge L_e auftreten. Die Bruchdehnung ist jedoch darüber hinaus ungeachtet der Lage des Bruches gültig, wenn sie mindestens den geforderten Wert erreicht. Wenn in einer Produktnorm die Bestimmung der Bruchdehnung bei einer bestimmten Messlänge festgelegt ist, dann sollte die Extensometer-Messlänge gleich dieser Messlänge sein.

20.3 Die Verlängerung kann an einer festen Messlänge gemessen und unter Verwendung von Gleichungen oder Tabellen auf die proportionale Messlänge umgewertet werden, wenn dies vor Beginn des Versuchs vereinbart wurde (z. B. nach ISO 2566-1 und ISO 2566-2).

ANMERKUNG Vergleiche der Bruchdehnung sind nur möglich, wenn die Messlänge oder die Extensometer-Messlänge sowie die Form und Querschnittsfläche gleich sind oder der Proportionalitätsfaktor k gleich ist.

21 Bestimmung der Brucheinschnürung

Die Brucheinschnürung muss nach der Definition in 3.8 bestimmt werden.

Wenn notwendig, sind die zwei gebrochenen Teilstücke der Probe sorgfältig zusammenzufügen, so dass ihre Achsen eine Gerade bilden.

Bei Rundproben sollten die Messungen im Minimum des Einschnürbereichs in 2 um 90° verdrehten Ebenen durchgeführt und der Mittelwert für die Berechnung von Z verwendet werden.

Es sollte darauf geachtet werden, dass sich die Bruchflächen nicht während der Messung verschieben.

Die Brucheinschnürung Z wird nach Gleichung (7) berechnet:

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100 \quad (7)$$

Dabei ist

S_o die Anfangsquerschnittsfläche in der Parallellänge;

S_u der kleinste Querschnitt nach dem Bruch.

Es wird empfohlen, S_u mit einer Messunsicherheit von ± 2 % zu messen (siehe Bild 13).

Die Bestimmung von S_u mit einer Messunsicherheit von ± 2 % ist an Rundproben mit kleinem Durchmesser oder an Proben mit anderen Geometrien gegebenenfalls nicht möglich.

22 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss, wenn zwischen den beteiligten Partnern nicht anders vereinbart, mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- a) Hinweis auf dieses Dokument, erweitert mit Informationen zu den Prüfbedingungen entsprechend den Festlegungen in 10.3.4, z. B. ISO 6892-1:2019 A224;
- b) Kennzeichnung der Probe;
- c) Werkstoff, falls bekannt;
- d) Art der Probe;
- e) Probenlage und -richtung, wenn bekannt;
- f) Regelungsart(en) des Versuchs und Prüfgeschwindigkeit(en) oder Prüfgeschwindigkeitsbereich(e) (siehe 10.3.1.), wenn abweichend von den empfohlenen Regelungsarten und von den in 10.3.2 und 10.3.3 angegebenen Werten;
- g) Prüfergebnisse:
 - falls in Produktnormen nicht anders spezifiziert, sollten die Prüfergebnisse (nach ISO 80000-1) zur Angabe mit mindestens der folgenden Präzision gerundet werden: Festigkeitswerte in Megapascal auf die nächste ganze Zahl;
 - Werte für die Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung A_e auf 0,1 %;
 - alle anderen Dehnungs- und Extensometer-Dehnungswerte auf 0,5 %;
 - Brucheinschnürung Z auf 1 %.

23 Messunsicherheit

23.1 Allgemeines

Die Betrachtung der Messunsicherheit ist geeignet, die Plausibilität von Messwerten zu beurteilen.

Produktnormen und Werkstoffdatenblätter, die auf diesem Dokument und früheren Versionen von ISO 6892 basieren, berücksichtigen bereits ausreichend die Aspekte der Messunsicherheit. Weitere Annahmen zur Messunsicherheit sind daher ungeeignet, da sie zur Ablehnung von Produkten, die vereinbarten Konformitätserklärungen entsprechen, führen können. Aus diesem Grund ist die Abschätzung der Unsicherheit nach diesem Verfahren nur informativ.

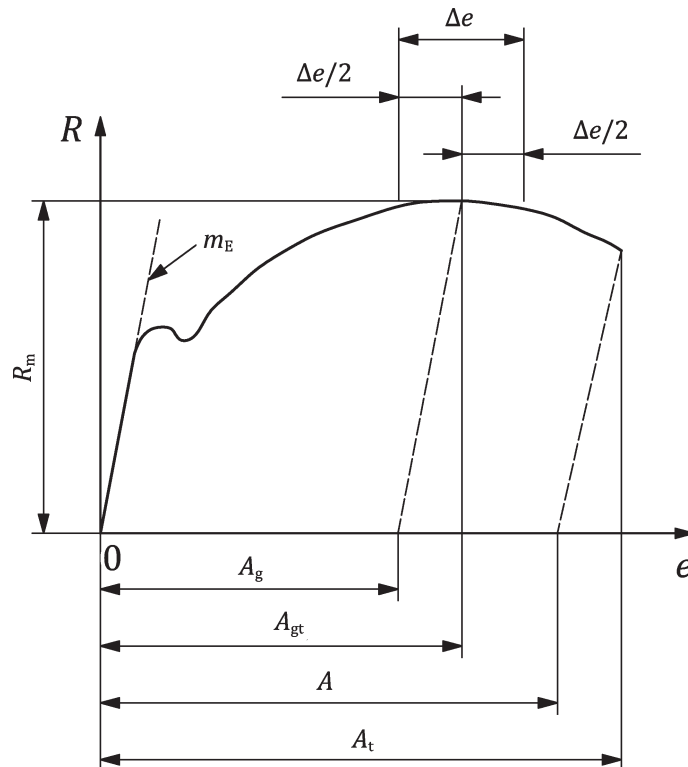
23.2 Prüfbedingungen

Es ist unzulässig, die in diesem Dokument festgelegten Prüfbedingungen und Grenzen, um den Wert der Messunsicherheit zu korrigieren.

23.3 Prüfergebnisse

Die Abschätzung der Messunsicherheit darf nicht mit Messergebnissen kombiniert werden, um daraus die Übereinstimmung von Produktspezifikationen zu beurteilen.

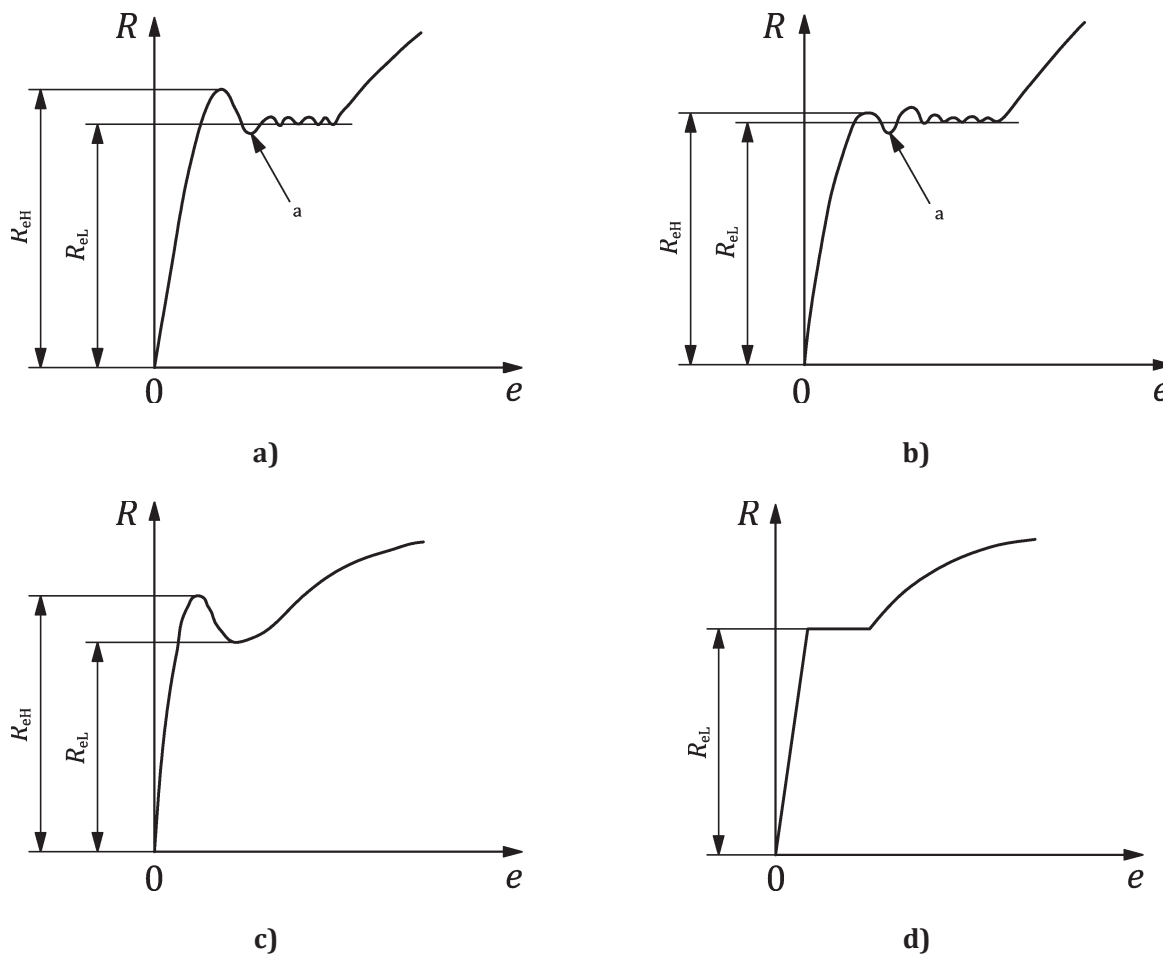
Zur Betrachtung der Messunsicherheit sind in den Anhängen K und L Anleitungen zur Bestimmung der Unsicherheit basierend auf den Messgrößen beschrieben und Daten aus Ringversuchen an Stählen und Aluminiumlegierungen dokumentiert.



Legende

- A Bruchdehnung [mit einem Dehnungsaufnehmer oder direkt an der Probe bestimmt (siehe 20.1)]
- A_g plastische Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft
- A_{gt} gesamte Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft
- A_t gesamte Extensometer-Dehnung beim Bruch
- e Extensometer-Dehnung
- m_E Steigung des elastischen Teils der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve
- R Spannung
- R_m Zugfestigkeit
- Δe Plateaubereich (für die Bestimmung von A_g siehe Abschnitt 17, für die Bestimmung von A_{gt} siehe Abschnitt 18)

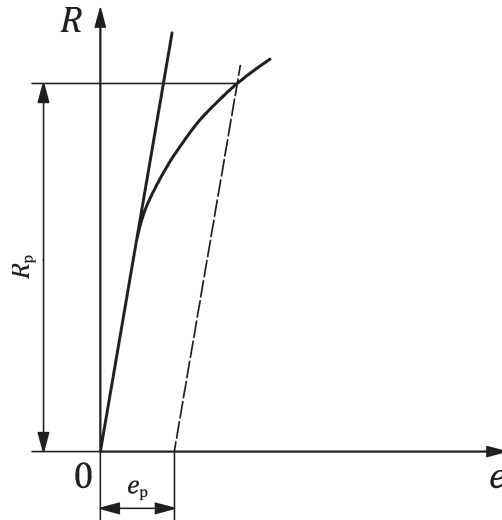
Bild 1 — Definitionen der Extensometer-Dehnungen



Legende

- e Extensometer-Dehnung
- R Spannung
- R_{eH} obere Streckgrenze
- R_{eL} untere Streckgrenze
- a Einschwingerscheinung

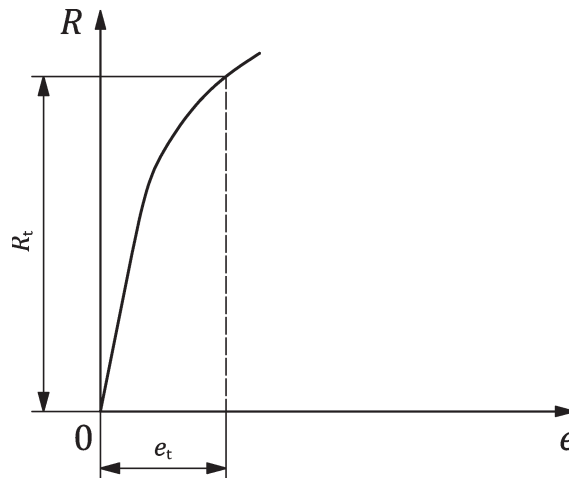
Bild 2 — Beispiele für die obere und untere Streckgrenze bei unterschiedlichen Formen der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve



Legende

- e Extensometer-Dehnung
- e_p vorgegebene plastische Extensometer-Dehnung
- R Spannung
- R_p Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung

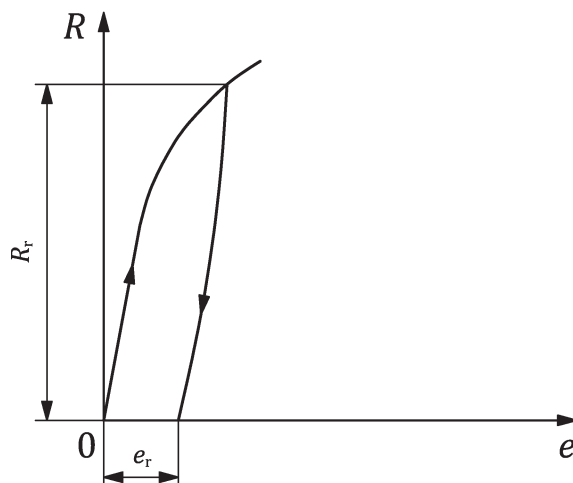
Bild 3 — Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung R_p (siehe 13.1)



Legende

- e Extensometer-Dehnung
- e_t gesamte Extensometer-Dehnung
- R Spannung
- R_t Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung

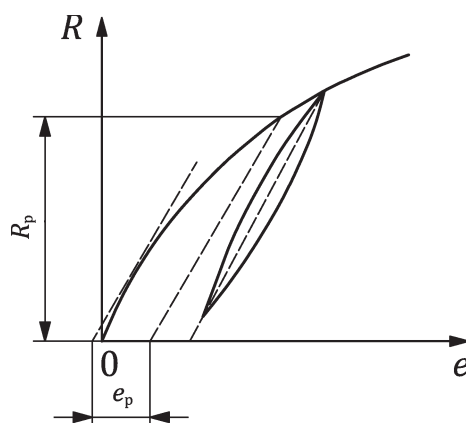
Bild 4 — Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung R_t



Legende

- e Dehnung oder Extensometer-Dehnung
- e_r bleibende Extensometer-Dehnung oder bleibende Dehnung
- R Spannung
- R_r Grenzwert der Spannung für eine vorgegebene bleibende Dehnung

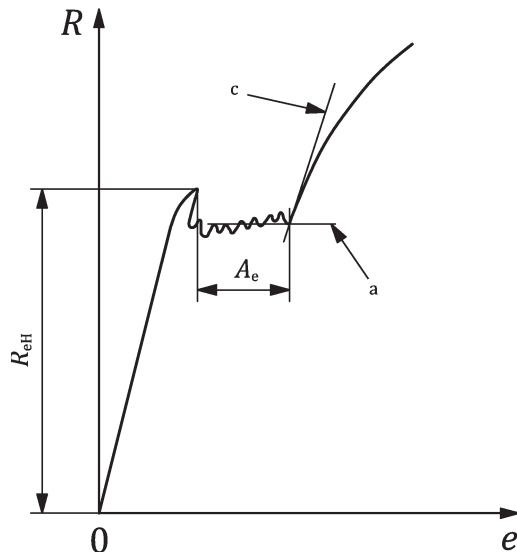
Bild 5 — Grenzwert der Spannung für eine vorgegebene bleibende Dehnung R_r



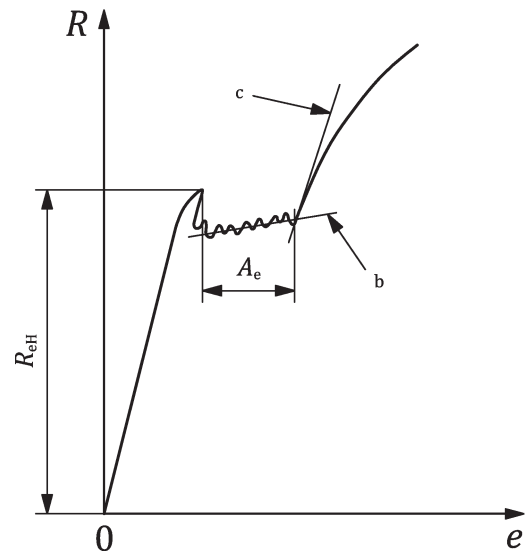
Legende

- e Extensometer-Dehnung
- e_p vorgegebene plastische Extensometer-Dehnung
- R Spannung
- R_p Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung

Bild 6 — Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung R_p , alternatives Verfahren (siehe 13.1)



a) Verfahren mit horizontaler Linie



b) Regressionsverfahren

Legende

A_e Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung

e Extensometer-Dehnung

R Spannung

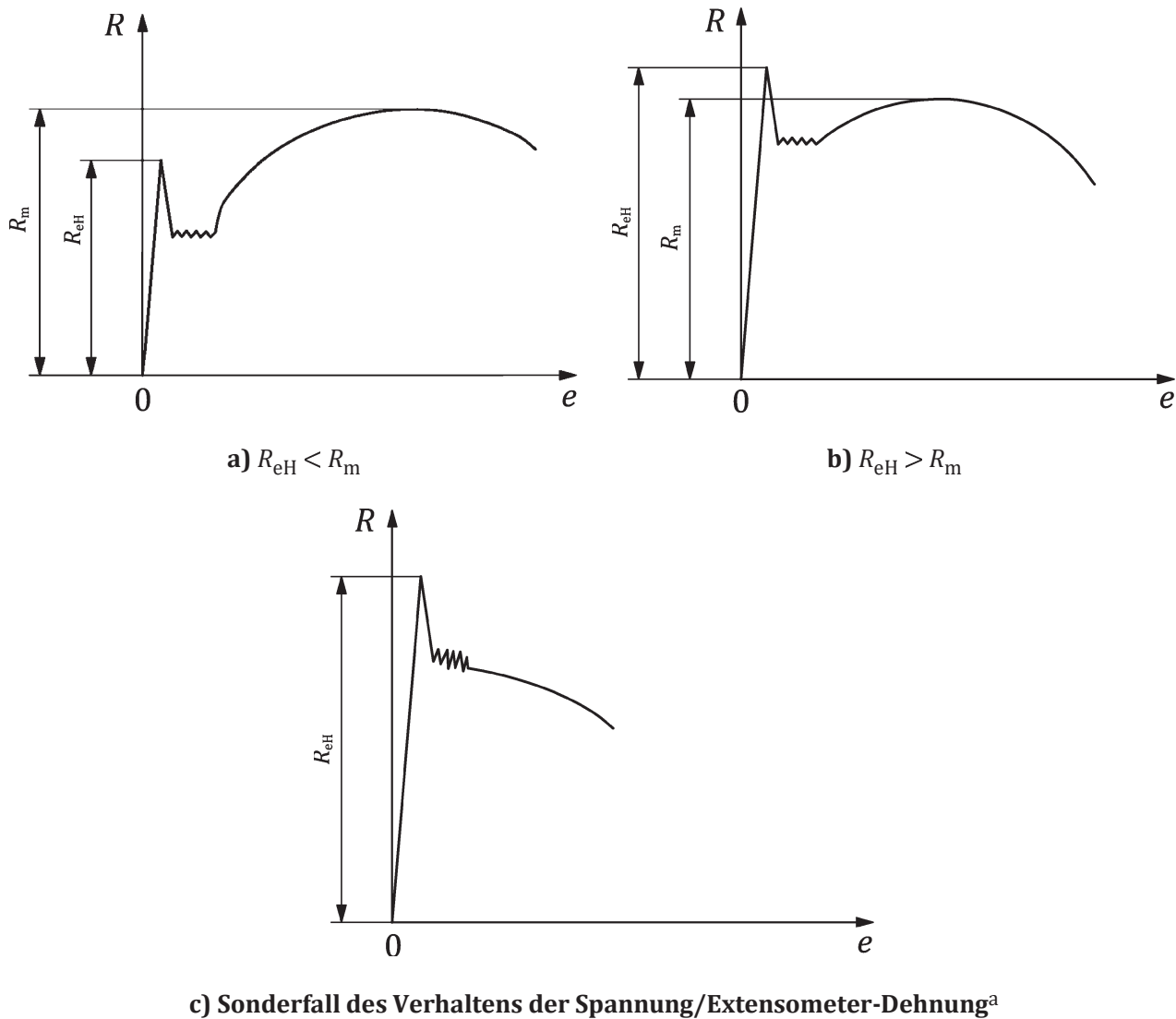
R_{eH} obere Streckgrenze

a Horizontale Linie durch das letzte lokale Minimum bis zur Verfestigung

b Regressionsgerade im Bereich des Fließens bis zur Verfestigung

c Der größten Steigung der Kurve entsprechende Gerade bei Beginn der Verfestigung

Bild 7 — Unterschiedliche Auswerteverfahren zur Bestimmung der Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung A_e

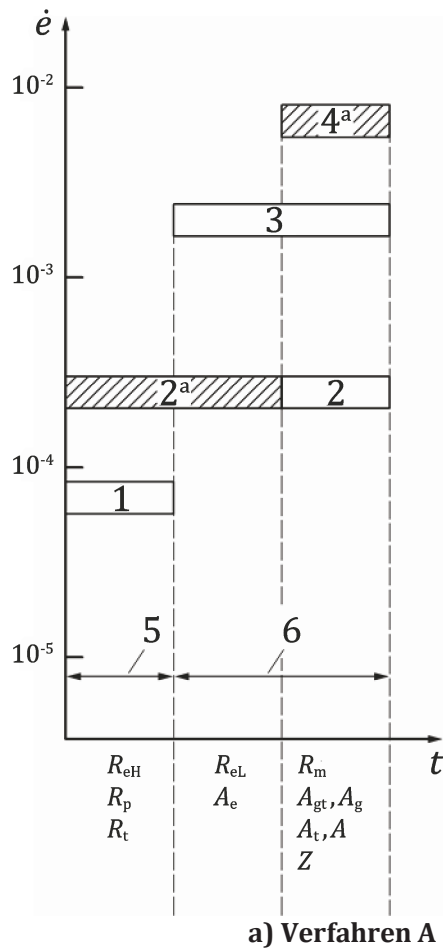
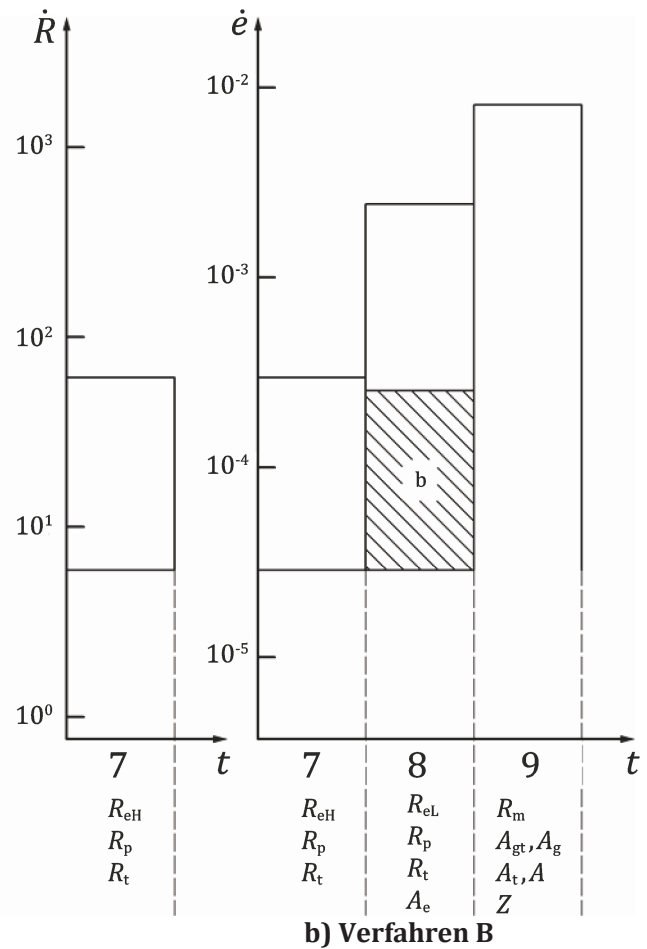


Legende

- e Extensometer-Dehnung
- R Spannung
- R_{eH} obere Streckgrenze
- R_m Zugfestigkeit

^a Für Werkstoffe, die dieses Spannungs-Dehnungs-Verhalten zeigen, ist keine Zugfestigkeit entsprechend diesem Dokument festgelegt. Sofern notwendig, können gesonderte Vereinbarungen dafür zwischen den Beteiligten getroffen werden

Bild 8 — Unterschiedliche Formen von Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurven zur Bestimmung der Zugfestigkeit R_m



Legende

$\dot{\epsilon}$ Dehngeschwindigkeit, in s^{-1}

$\dot{R}$ Spannungsgeschwindigkeit, in $MPa s^{-1}$

t Zeit

1 Bereich 1: $\dot{\epsilon} = 0,000\,07\,s^{-1}$, mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$

2 Bereich 2: $\dot{\epsilon} = 0,000\,25\,s^{-1}$, mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$

3 Bereich 3: $\dot{\epsilon} = 0,002\,s^{-1}$, mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$

4 Bereich 4: $\dot{\epsilon} = 0,006\,7\,s^{-1}$, mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$ ($0,4\,min^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\%$)

5 Regelungsart: dehngeschwindigkeitsgeregelt (Verfahren A1 „geschlossener Regelkreis“) oder traversenweggeregelt (Verfahren A2 „offener Regelkreis“)

ANMERKUNG 1 Formelzeichen siehe Tabelle 1.

ANMERKUNG 2 Für Verfahren B wird die Dehngeschwindigkeit im elastischen Bereich aus der Spannungsgeschwindigkeit unter Verwendung des Elastizitätsmoduls von 210 000 MPa (Stahl) berechnet.

6 Regelungsart: traversenweggeregelt (Verfahren A2 „offener Regelkreis“)

7 elastischer Bereich des Versuchs

8 plastischer Bereich für die Bestimmung von R_{eL} , R_p , R_t , A_e

9 maximale Dehngeschwindigkeit für die Bestimmung von R_m , A_{gt} , A_g , A_t , A , Z

a Empfohlen

b Erweiterter Bereich zu geringeren Prüfgeschwindigkeiten, wenn die Prüfmaschine nicht in der Lage ist, die Dehngeschwindigkeit zu messen oder zu kontrollieren (siehe 10.3.3.2.5)

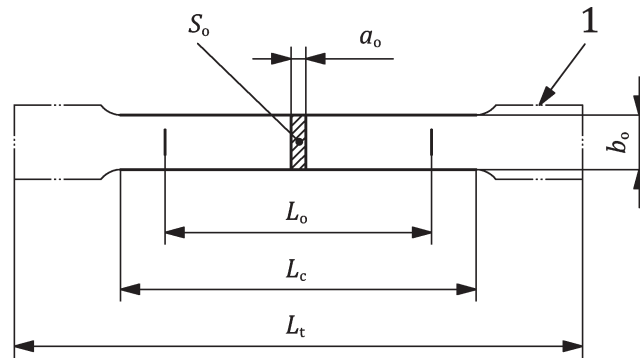
Bild 9 — Darstellung der anzuwendenden Dehngeschwindigkeiten im Zugversuch, wenn R_{eH} , R_{eL} , R_p , R_t , R_m , A_e , A_g , A_{gt} , A , A_t und Z zu bestimmen sind



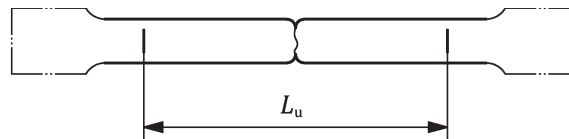
R	Spannung
-----	----------

^b Spannung/Dehnung-Verhalten, wenn die Dehngeschwindigkeit plötzlich zunimmt

Bild 10 — Darstellung einer unzulässigen Unstetigkeit in der Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve



a) Vor dem Versuch



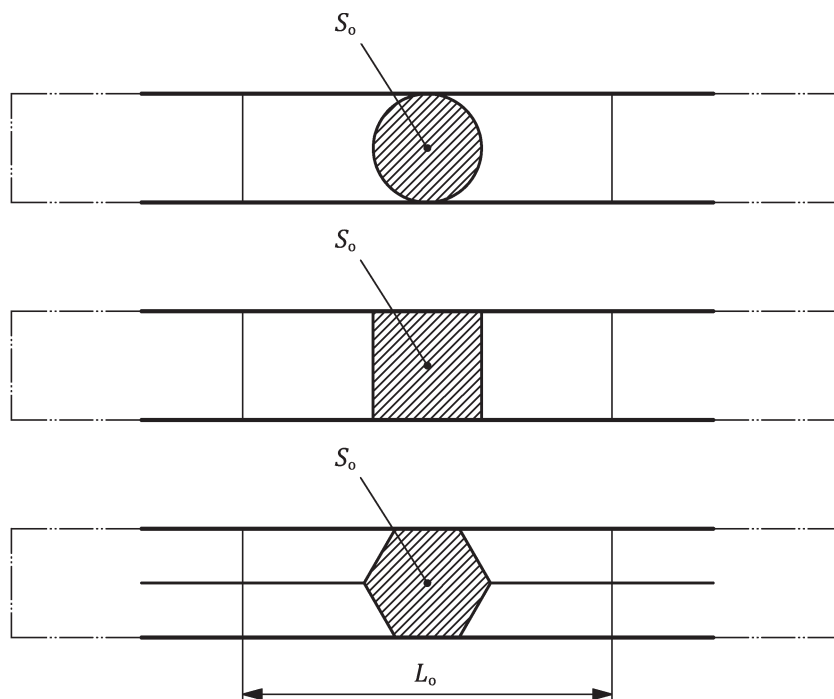
b) Nach dem Versuch

Legende

- a_o (Anfangs-)Dicke einer Flachprobe oder Wanddicke eines Rohres
 b_o (Anfangs-)Breite einer Flachprobe in der parallelen Länge
 L_c parallele Länge
 L_o Anfangsmesslänge
 L_t Gesamtlänge der Probe
 L_u Messlänge nach dem Bruch
 S_o Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge
1 Probenköpfe

ANMERKUNG Die gezeichnete Form der Probenköpfe ist als Beispiel zu verstehen.

Bild 11 — Bearbeitete Proben mit rechteckigem Querschnitt (siehe Anhänge B und D)

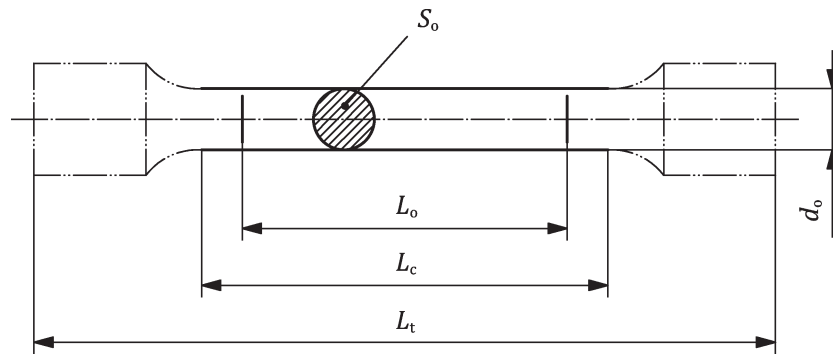


Legende

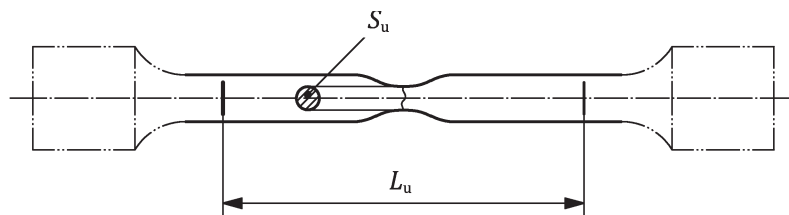
L_o Anfangsmesslänge

S_o Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge

**Bild 12 — Aus einem unbearbeiteten Abschnitt des Erzeugnisses bestehende Proben
(siehe Anhang C)**



a) Vor dem Versuch



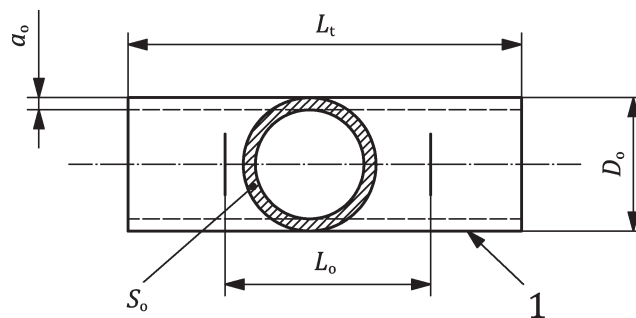
b) Nach dem Versuch

Legende

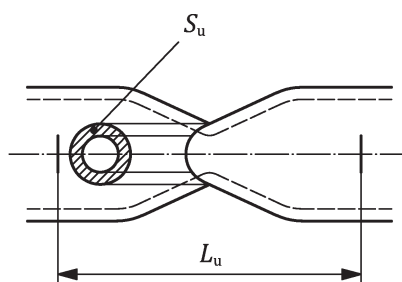
- d_o Anfangsdurchmesser einer kreisförmigen Probe in der parallelen Länge
 L_c parallele Länge
 L_o Anfangsmesslänge
 L_t Gesamtlänge der Probe
 L_u Messlänge nach dem Bruch
 S_o Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge
 S_u kleinster Probenquerschnitt nach dem Bruch

ANMERKUNG Die gezeichnete Form der Probenköpfe ist als Beispiel zu verstehen.

Bild 13 — Bearbeitete Proben mit rundem Querschnitt (siehe Anhang D)



a) Vor dem Versuch

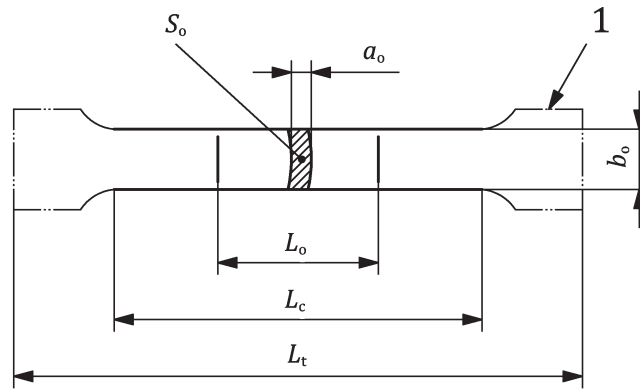


b) Nach dem Versuch

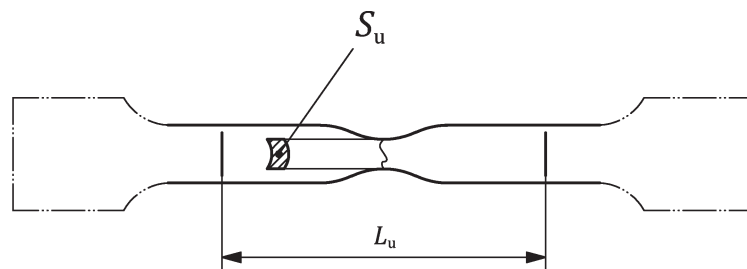
Legende

- a_o (Anfangs-)Wanddicke eines Rohres
- D_o (Anfangs-)Außendurchmesser eines Rohres
- L_o Anfangsmesslänge
- L_t Gesamtlänge der Probe
- L_u Messlänge nach dem Bruch
- S_o Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge
- S_u kleinster Probenquerschnitt nach dem Bruch
- 1 Probenköpfe

Bild 14 — Aus einem Rohrabschnitt bestehende Probe (siehe Anhang E)



a) Vor dem Versuch



b) Nach dem Versuch

Legende

- a_o (Anfangs-)Wanddicke eines Rohres
- b_o mittlere Anfangsbreite einer Rohrstreifenprobe
- L_c parallele Länge
- L_o Anfangsmesslänge
- L_t Gesamtlänge der Probe
- L_u Messlänge nach dem Bruch
- S_o Anfangsquerschnitt innerhalb der parallelen Länge
- S_u kleinster Probenquerschnitt nach dem Bruch
- 1 Probenköpfe

ANMERKUNG Die gezeichnete Form der Probenköpfe ist als Beispiel zu verstehen.

Bild 15 — Längsstreifenprobe aus einem Rohr (siehe Anhang E)

Anhang A (informativ)

Empfehlungen für die Anwendung rechnergestützter Zugprüfmaschinen

A.1 Allgemeines

Dieser Anhang enthält Empfehlungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften bei Verwendung einer rechnergestützten Zugprüfmaschine. Insbesondere enthält dieser Empfehlungen, die für die Software und für die Prüfbedingungen beachtet werden sollten.

Diese Empfehlungen beziehen sich auf die Ausrüstung der Maschine, die Software und ihre Prüfung (Validierung) sowie die Prüfbedingungen des Zugversuchs.

A.2 Zugprüfmaschine

A.2.1 Ausrüstung

Die Prüfmaschine sollte mit einer analogen Messwertausgabe, die nicht durch die Software beeinflusst wird, ausgerüstet sein. Ist eine solche Ausgabe nicht vorgesehen, sollten digitale Rohdaten ausgegeben werden können. Der Prüfmaschinenhersteller sollte Auskunft über die Erzeugung der digitalen Rohdaten und ihre Verarbeitung durch die Software geben. Die Rohdaten sollten in SI-Einheiten angegeben werden und sich auf die Kraft, die Verlängerung (der Extensometer-Messlänge), den Traversenweg, die Zeit und die Probenmaße beziehen. Ein Beispiel eines geeigneten Datenformats ist in Bild A.1 dargestellt.

A {
"Reference";"ISO 6892"
"Identification";"TENSTAND"
"Material";"DC 04 Steel"
"Extensometer to crosshead transition";0.00;"%"
"Specimen geometry";"flat"
"Specimen thickness = ao"
"Specimen width = bo"
"Cross-sectional area = So"
"Extensometer gauge length = Le"
"Extensometer output in mm"
"Parallel length = Lc"
"Data acquisition rate 50Hz"
"Data row for start force reduction (Hysteresis) = Hs"
"Data row for end force reduction (Hysteresis) = He"
"Data row for switch to crosshead = Cs"
"File length N data rows"
"File width M data columns"
.
.
.
B {
"ao";0.711;"mm"
"bo";19.93;"mm"
"So";14.17;"mm2"
"Le";80.00;"mm"
"Lc";120.00;"mm"
"N";2912
"M";4
"Hs";0
"He";0
"Cs";0
.
.
C {
"time";"crosshead";"extensometer";"force"
"s";"mm";"mm";"kN"
.
.
0.40;0.0012;0.0000;0.12694
0.42;0.0016;0.0000;0.12992
0.44;0.0020;0.0001;0.13334
0.46;0.0024;0.0002;0.13699
0.48;0.0029;0.0003;0.14114
0.50;0.0035;0.0004;0.14620
0.52;0.0041;0.0006;0.15124
0.54;0.0047;0.0007;0.15669
0.56;0.0054;0.0008;0.16247
0.58;0.0060;0.0009;0.16794
0.60;0.0067;0.0012;0.17370
0.62;0.0074;0.0013;0.17980
0.64;0.0082;0.0014;0.18628
.
.

Legende

- A Protokollkopf (Header)
- B Prüfparameter und Probenmaße
- C Daten

Bild A.1 — Beispiel eines geeigneten Datenformats

A.2.2 Messwerterfassungsfrequenz

Die Frequenz-Bandweite jedes Messkanals sowie die Messwerterfassungsfrequenz sollten ausreichend hoch sein, damit die zu bestimmenden Werkstoffkenngrößen aufgezeichnet werden können. So kann z. B. bei Ermittlung von R_{eH} die Gleichung (A.1) zur Bestimmung der in 1/Sekunde angegebenen Mindestmesswerterfassungsgrenze $f_{\min}$ verwendet werden:

$$f_{\min} = \frac{\dot{\epsilon} \cdot E}{R_{eH} \cdot q} \cdot 100 \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

- $\dot{\epsilon}$ die Dehngeschwindigkeit, in s^{-1} ;
- E der Elastizitätsmodul (E-Modul), in MPa;
- R_{eH} die obere Streckgrenze, in MPa;
- q die relative Anzeigeabweichung der Kraftmessvorrichtung der Prüfmaschine (nach ISO 7500-1), in %.

Die Auswahl von R_{eH} für die Gleichung (A.1) erfolgte, weil es der von der Einlesefrequenz am stärksten beeinflusste Messwert der Prüfung ist. Bei der Prüfung von Werkstoffen, die keine ausgeprägte Streckgrenze haben, sollte der Wert der Dehngrenze $R_{p0,2}$ benutzt werden. Die empfohlene Mindestmesswerterfassungsfrequenz kann halbiert werden.

Wenn Verfahren B (basierend auf Spannungsgeschwindigkeit) angewendet wird, sollte die Mindestmesswerterfassungsgrenze nach Gleichung (A.2) berechnet werden:

$$f_{\min} = \frac{\dot{R}}{R_{eH} \cdot q} \cdot 100 \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist $\dot{R}$ die Spannungsgeschwindigkeit, in MPa s^{-1} .

A.3 Bestimmung der mechanischen Eigenschaften

A.3.1 Allgemeines

Die folgenden Anforderungen sollten von der Software der Prüfmaschine erfüllt werden.

A.3.2 Obere Streckgrenze

R_{eH} (3.10.2.1) sollte als die Spannung betrachtet werden, die dem höchsten Kraftwert vor einer Kraftabnahme von mindestens 0,5 % entspricht, wobei im nachfolgenden Dehnungsbereich von mindestens 0,05 % die vorherige Maximalkraft nicht überschritten werden sollte.

A.3.3 Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung und Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung

R_p (3.10.3) und R_t (3.10.4) können durch Interpolation zwischen zwei benachbarten Punkten der Kurve bestimmt werden.

A.3.4 Gesamte Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft

Der A_{gt} -Wert (siehe 3.6.4 und Bild 1) sollte als die gesamte Extensometer-Dehnung betrachtet werden, die der Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft entspricht.

Für einige Werkstoffe ist es notwendig, die Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve zu glätten, wobei eine Regression auf der Grundlage eines Polynoms empfohlen wird. Der Bereich, über den die Kurve geglättet wird, kann das Ergebnis beeinflussen. Die geglättete Kurve sollte den wichtigen Bereich der originalen Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve sinnvoll darstellen.

A.3.5 Plastische Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft

Der A_g -Wert (siehe 3.6.5 und Bild 1) sollte als die plastische Extensometer-Dehnung betrachtet werden, die der Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft entspricht.

Für einige Werkstoffe ist es notwendig, die Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve zu glätten, wobei eine Regression auf der Grundlage eines Polynoms empfohlen wird. Der Bereich, über den die Kurve geglättet wird, kann das Ergebnis beeinflussen. Die geglättete Kurve sollte den wichtigen Bereich der originalen Spannung/Extensometer-Dehnung-Kurve sinnvoll darstellen.

A.3.6 Gesamte Dehnung beim Bruch

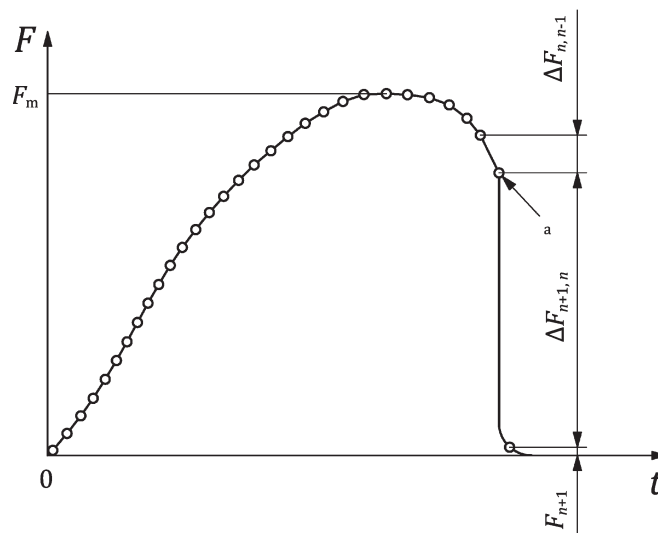
A.3.6.1 Die Bestimmung von A_t ist unter Bezug auf die in Bild A.2 dargestellte Definition des Probenbruchs durchzuführen.

Als Probenbruch wird der Punkt angenommen, nach welchem die Kraft zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messpunkten abfällt:

- a) um mindestens fünfmal mehr als zwischen den beiden vorherigen Messpunkten, gefolgt von einem Abfall auf kleiner 2 % der maximalen Zugkraft, und
- b) auf kleiner 2 % der maximalen Zugkraft (bei weichen Werkstoffen).

Eine erhöhte Messwerterfassungsfrequenz und/oder die Filterung des Kraftsignals können den nach dieser Methode bestimmten Punkt des Probenbruchs beeinflussen.

Ein weiteres Verfahren zur Erkennung des Probenbruchs ist die Aufzeichnung der elektrischen Spannung oder des elektrischen Stroms, den man durch die Probe fließen lässt. Bei diesem Verfahren sind die Messwerte vor dem plötzlichen Abfall des Stromes als Probenbruch definiert.



Legende

F	Kraft	a	Bruch
F_m	Höchstkraft	$\circ$	Messpunkte
F_{n+1}	Kraft am Messpunkt $n + 1$	Bruchkriterien:	
$\Delta F_{n,n-1}$	Kraftdifferenz zwischen den Messpunkten n und $n - 1$	$ \Delta F_{n+1,n} > 5 \Delta F_{n,n-1} $ und/oder	
$\Delta F_{n+1,n}$	Kraftdifferenz zwischen den Messpunkten $n + 1$ und n	$F_{n+1} < 0,02 F_m$	
t	Zeit		

Bild A.2 — Schematische Darstellung der Definition des Probenbruchs

A.3.6.2 Bleibt der Dehnungsaufnehmer bis zum Bruch an der Probe und wird die Verlängerung bis zum Probenbruch gemessen, ist der Wert am Punkt 1 in Bild A.2 als Probenbruch auszuwerten.

A.3.6.3 Wird der Dehnungsaufnehmer vor dem Probenbruch, aber nach der Höchstkraft F_m entfernt oder wird die Verlängerungsmessung vor dem Probenbruch, aber nach der Höchstkraft F_m unterbrochen, dann ist es erlaubt, den Traversenweg zur Bestimmung der zusätzlichen Längenänderung zwischen dem Entfernen des Längenänderungsaufnehmers und dem Bruch zu benutzen. Das verwendete Verfahren sollte überprüfbar sein.

A.3.7 Messung des Kurvenanstiegs im elastischen Bereich

Um eine allgemeine Gültigkeit bei Proben unbekannter Eigenschaften sicherzustellen, sollte sich das angewandte Verfahren nicht auf festgelegte Spannungsgrenzen stützen, es sei denn, dies ist in der Produktnorm festgelegt oder zwischen den am Versuch beteiligten Partnern vereinbart.

Verfahren, die auf der Grundlage der Verschiebung von Kurvensegmenten arbeiten, sind besonders geeignet. Die Parameter sind folgende:

- die Länge der Kurvensegmente (Anzahl der benutzten Punkte);
- die zur Bestimmung der Kurvensteigung ausgewählte Gleichung.

ANMERKUNG Ist der gerade Teil der Kraft/Extensometer-Dehnung-Kurve nicht genügend ausgeprägt, siehe 13.1.