

DIN EN 2002-002

ICS 49.025.05; 49.025.15

**Luft- und Raumfahrt –
Metallische Werkstoffe –
Prüfverfahren – Teil 2: Zugversuch bei Hochtemperatur;
Deutsche und Englische Fassung EN 2002-002:2005**

Aerospace series –

Metallic materials –

Test methods – Part 2: Tensile testing at elevated temperature;

German and English version EN 2002-002:2005

Série aérospatiale –

Matériaux métalliques –

Méthodes d'essais applicables – Partie 2: Essais de traction à température élevée;

Version allemande et anglaise EN 2002-002:2005

Gesamtumfang 53 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

Nationales Vorwort

Die Europäische Vereinigung der Hersteller von Luft- und Raumfahrtgerät (AECMA) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde AECMA Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Die vorliegende Norm EN 2002-002:2005 wurde von AECMA-STAN Fachbereich Metallische Werkstoffe unter Mitwirkung deutscher Experten des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt erarbeitet.

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieser EN-Norm die Englische Fassung hinzugefügt.

ICS 49.025.05; 49.025.15

Deutsche Fassung

Luft- und Raumfahrt —
Metallische Werkstoffe —
Prüfverfahren —
Teil 2: Zugversuch bei Hochtemperatur

Aerospace series —
Metallic materials —
Test methods —
Part 2: Tensile testing at elevated temperature

Série aérospatiale —
Matériaux métalliques —
Méthodes d'essais applicables —
Partie 2: Essais de traction à température élevée

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 19. September 2005 angenommen.

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

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

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



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe und Symbole.....	5
4 Arbeits- und Gesundheitsschutz	8
5 Kurzbeschreibung	8
6 Prüfungsanforderungen.....	8
7 Prüfbericht.....	15
Anhang A (normativ) Arten von Prüflingen zur Verwendung in Blechen und Bändern mit einer Dicke ≤ 8 mm.....	18
Anhang B (normativ) Arten von nicht spanend herausgearbeiteten Prüflingen zur Verwendung bei Stangen, Profilen und Draht mit einem Durchmesser oder einer Dicke ≤ 8 mm.....	20
Anhang C (normativ) Arten von spanend herausgearbeiteten Prüflingen zur Verwendung bei Stangen, Profilen, Platten und Draht mit einem Durchmesser oder einer Dicke > 8 mm sowie bei Schmiedestücken und Gussstücken.....	21
Anhang D (normativ) Arten von Prüflingen zur Verwendung bei Rohren.....	24

Vorwort

Dieses Dokument (EN 2002-002:2005) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (AECMA-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat diese Norm die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer der AECMA erhalten, bevor sie CEN vorgelegt wurde.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2006 zurückgezogen werden.

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

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

Einleitung

Diese Norm ist Teil einer Reihe von EN-Normen für metallische Werkstoffe für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt. Die allgemeine Gliederung dieser Reihe ist in EN 4258 beschrieben.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die Anforderungen für den Zugversuch bei Hochtemperatur von metallischen Werkstoffen für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt fest.

Diese Norm ist anzuwenden, wenn in den technischen Lieferbedingungen einer EN-Norm oder in einer EN-Werkstoffnorm darauf verwiesen wird, sofern nicht anders in der Zeichnung, Auftrags- oder Prüfliste festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

EN 4258, *Luft- und Raumfahrt — Metallische Werkstoffe — Allgemeine Gliederung der Normung — Verknüpfung der Arten von EN-Normen und ihre Anwendung*

EN 4259, *Luft- und Raumfahrt — Metallische Werkstoffe — Definition allgemeiner Begriffe*¹⁾

EN 60584-2, *Thermopaare — Teil 2: Grenzabweichungen der Thermospannungen*

ASTM E-1012, *Standard practice for verification of specimen alignment under tensile loading*²⁾

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe und Symbole nach EN 4259 und nach Tabelle 1.

1) Veröffentlicht als AECMA-Vornorm zum Zeitpunkt der Herausgabe dieser Norm.

2) Herausgegeben durch: American Society for Testing and Materials (ASTM), 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA.

Tabelle 1 — Begriffe und Symbole

Symbol	Einheit	Begriff	Definition
—	—	Prüfling	Der Anteil der Probe, mit der der Zugversuch durchgeführt wird
—	—	Proportionalprüflinge	Prüfling, dessen Anfangsmesslänge (L_0) in einem vorgegebenen Verhältnis zur Quadratwurzel der Querschnittsfläche (S_0) steht. Bei Prüflingen mit kreisförmigem Querschnitt hat der Proportionalitätsfaktor K den international anerkannten Wert 5,65. Somit ist die Messlänge eines Proportionalprüflings gleich $5,65\sqrt{S_0}$. Bestimmte Werkstoffnormen verwenden Proportionalprüflinge mit einem anderen Proportionalitätsfaktor als 5,65. In diesem Fall siehe A_x für das verwendete Symbol für Bruchdehnung.
—	—	Nichtproportionaler Prüfling	Prüfling, dessen Anfangsmesslänge unabhängig vom Querschnitt ist
—	mm	Dehnung	Die Zunahme der Gerätemesslänge (L_e) des Dehnungsmessers zu jedem Zeitpunkt des Versuchs
—	MPa	Proportionalitätsgrenze	Spannung, bei der das Verhältnis von Spannung zur Dehnung (oder Kraft zur Dehnung) von einer Geraden abweicht
A	%	Bruchdehnung (Proportionalprüfling) ANMERKUNG Bei nicht genormtem Proportionalprüfling siehe A_x .	Als Prozentsatz angegebene Bruchdehnung der Anfangsmesslänge (L_0) eines Proportionalprüflings mit einer Anfangsmesslänge $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$. $A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100$
A_{L0}	%	Bruchdehnung (nichtproportionaler Prüfling)	Als Prozentsatz angegebene Bruchdehnung der Anfangslänge (L_0) eines nichtproportionalen Prüflings mit einer Anfangsmesslänge L_0. Bei einem nichtproportionalen Prüfling wird die Anfangsmesslänge in Millimeter angegeben, z. B. $A_{50 \text{ mm}}$. $A_{L0} = \frac{L_u - L_0}{L_0}$
A_x	%	Bruchdehnung (nicht genormter Proportionalprüfling)	Als Prozentsatz angegebene Bruchdehnung der Anfangslänge (L_0) eines nicht genormten Proportionalprüflings mit einer Anfangsmesslänge $L_0 = x$ (z. B.: A_{4D}). Bei einem nicht genormten Proportionalprüfling hat der Proportionalitätsfaktor einen anderen Wert als 5,65. In dem vorstehenden Beispiel ist die Messlänge das Vierfache des Durchmessers, was einem Proportionalitätsfaktor von 4,51 entspricht.
a	mm	Dicke von Prüflingen	Dicke eines Prüflings mit rechteckigem Querschnitt oder Wanddicke eines Rohres
b	mm	Breite von Prüflingen	Breite von Prüflingen mit rechteckigem Querschnitt, Durchschnittsbreite des einem Rohr entnommenen Längsstreifens oder Breite eines Flachdrahtes
D	mm	Außendurchmesser von Rohren	Außendurchmesser eines Rohres
d	mm	Durchmesser von Prüflingen	Durchmesser der Versuchslänge eines Prüflings mit kreisförmigem Querschnitt oder Durchmesser von Runddraht oder Innendurchmesser eines Rohres

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Begriff	Definition
E	GPa	Elastizitätsmodul	Quotient aus der Spannungszunahme und der entsprechenden Dehnungszunahme für den geraden Teil des Spannungs-Dehnungs-Diagramms (oder Kraft-Dehnungs-Diagramms)
F_m	N	Höchstkraft	Die größte Kraft, der der Prüfling während des Versuchs standhält
L	mm	Messlänge	Die Länge des zylindrischen oder prismatischen Teils des Prüflings, an dem die Längenänderung ermittelt wird
L_c	mm	Versuchslänge	Die Länge des querschnittsreduzierten Bereichs des parallelen Teils des Prüflings. Bei nicht spanend bearbeiteten Prüflingen wird der Begriff parallele Länge durch den Begriff Abstand zwischen den Spannbacken ersetzt.
L_e	mm	Gerätemesslänge	Die Länge des parallelen Teils des Prüflings, die zu jedem Zeitpunkt des Versuchs zum Messen der Dehnung mit Hilfe eines Dehnungsmessers verwendet wird. Diese Länge kann von L_0 abweichen, sie kann aber einen beliebigen Wert größer b , d oder D (siehe vorstehend) haben, muss jedoch kleiner als die Versuchslänge (L_c) sein. Es wird empfohlen, dass die Gerätemesslänge so groß wie möglich ist.
L_0	mm	Anfangsmesslänge	Die Messlänge vor dem Aufbringen der Kraft
L_t	mm	Länge des Prüflings	Gesamtlänge des Prüflings
L_u	mm	Messlänge nach dem Bruch	Messlänge nach dem Bruch des Prüflings
$L_u - L_0$	mm	Längenänderung nach dem Bruch	Längenänderung nach dem Bruch. Die bleibende Vergrößerung der Anfangsmesslänge (L_0) nach dem Bruch.
R_m	MPa	Zugfestigkeit	Quotient aus der Höchstkraft (F_m) und dem Anfangsquerschnitt (S_0) des Prüflings
R_p	MPa	Dehngrenze	Die Spannung, bei der eine nichtproportionale Dehnung einem vorgegebenen Prozentsatz der Gerätemesslänge (L_e) entspricht (siehe Bild 1). Dem verwendeten Symbol folgt ein tiefgestellter Index, der den vorgeschriebenen Prozentsatz der Anfangsmesslänge angibt, z. B.: $R_{p0,2}$.
r	mm	Übergangsradius des Prüflings	Radius an den Enden der Versuchslänge
R_1	mm	Übergangsradius an der Rippe	Radius an der Rippe
S_0	mm ²	Anfangsquerschnitt	Anfangsquerschnitt der Versuchslänge
S_u	mm ²	Kleinster Querschnitt	Kleinster Querschnitt des Prüflings nach dem Bruch
Z	%	Brucheinschnürung	Als Prozentsatz angegebene größte Querschnittsverringering ($S_0 - S_u$) des Anfangsquerschnitts (S_0), d. h. $Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100$
ε	—	Dehnung	Quotient aus der Dehnung zu jedem Zeitpunkt des Versuchs und der Anfangsmesslänge (L_0) des Prüflings
σ	MPa	Spannung	Quotient aus der Kraft zu jedem Zeitpunkt des Versuchs und dem Anfangsquerschnitt (S_0) des Prüflings
θ	°C	Festgelegte Temperatur	Temperatur, bei der der Versuch auszuführen ist
θ_1	°C	Angegebene Temperatur	Auf der Oberfläche der Versuchslänge des Prüflings gemessene Temperatur

4 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Ressourcen, Prüflinge, Proben, Prüfwerkstoffe, Prüfausrüstung und Prüfwerkzeuge müssen den geltenden Arbeits- und Gesundheitsschutzbestimmungen/-gesetzen der Länder entsprechen, in denen der Versuch durchgeführt wird.

Dort, wo Werkstoffe und/oder Reagenzien als möglicherweise gesundheitsschädigend eingestuft sind, müssen geeignete Vorschriften in Übereinstimmung mit örtlichen Regelungen und/oder Gesetzen getroffen werden.

5 Kurzbeschreibung

Der Versuch besteht darin, einen Prüfling bei Hochtemperatur durch Zugkraft bis zum Bruch zu dehnen, um eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften zu bestimmen: Elastizitätsmodul, Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Brucheinschnürung.

6 Prüfungsanforderungen

6.1 Ressourcen

6.1.1 Ausrüstung/Anlage

6.1.1.1 Prüfmaschine

Die Genauigkeit der Prüfmaschine ist in Abständen von höchstens 12 Monaten nach EN ISO 7500-1 zu überprüfen und muss nachweislich Klasse 1 oder besser sein.

Die Konstruktion der Prüfmaschine muss eine automatische Kraftausrichtung ermöglichen. Sonst muss das Kraftausrichtungssystem mindestens jährlich anhand eines mit einem Dehnungsmessgerät vermessenen Prüflings überprüft werden. Der Unterschied zwischen der aufgezeichneten höchsten und geringsten Dehnung darf bei einer angemessenen Überprüfungskraft hinsichtlich der während einer Reihe von aufeinander folgenden Prüfungen zu erwartenden Kräfte 10 % der mittleren Dehnung nicht überschreiten. Als Überprüfungsverfahren kann ASTM E 1012 herangezogen werden.

Die Prüfmaschine ist möglicherweise rechnergesteuert und kann Werte des Elastizitätsmoduls, der Dehngrenze, der Zugfestigkeit und Längenänderung nach dem Bruch automatisch berechnen und aufzeichnen.

6.1.1.2 Dehnungsmesser

Der Dehnungsmesser muss für die Verwendung bei Hochtemperatur geeignet sein.

Die Genauigkeit des Dehnungsmessers ist in Abständen von höchstens 12 Monaten nach EN ISO 9513 zu überprüfen und muss für die Bestimmung:

- des Elastizitätsmoduls nach Klasse 0,5 oder besser und eines Typs, der die Dehnung an beiden Seiten des Prüflings messen kann und eine Mittelwertbestimmung der Messwerte ermöglicht;
- der Dehngrenze nach Klasse 1 oder besser

überprüft werden.

6.1.1.3 Spannbacken

Die Spannbacken müssen aus Schraubhalterungen, Schulterhalterungen, Keilstücken, Gelenkspannzeugen oder anderen Spannzeugen bestehen, so dass die Zugprüfkraft axial aufgebracht wird.

Die Verwendung von Schraubhalterungen wird empfohlen und ist in Schiedsfällen zwingend vorgeschrieben.

Spannbacken für Rohre können zusätzlich mit Stopfen versehen werden, die:

- einen geeigneten Durchmesser haben müssen, um an beiden Enden eingespannt zu werden zu können;
- mindestens so lang wie die Spannbacke sein müssen und höchstens um eine Länge gleich dem Rohraußendurchmesser über die Spannbacken hinausragen dürfen;
- eine Form haben müssen, die sich nicht auf die Verformung der Messlänge auswirkt.

6.1.1.4 Erwärmungseinrichtung

Die Erwärmungseinrichtung für den Prüfling:

- muss so gestaltet sein, dass der Prüfling auf die festgelegte Temperatur (θ) gebracht werden kann;
- muss fähig sein, die angegebene Prüftemperatur (θ) zu erhalten, die zu keinem Zeitpunkt des Versuchs und an keiner Stelle innerhalb der Messlänge um mehr als die in Tabelle 2 angegebenen Werte der festgelegten Temperatur (θ) abweichen darf.

Tabelle 2 — Toleranzen bei Prüftemperaturen

Prüftemperatur	Toleranz
$\theta \leq 600 \text{ °C}$	$\pm 3 \text{ °C}$
$600 \text{ °C} < \theta \leq 800 \text{ °C}$	$\pm 4 \text{ °C}$
$800 \text{ °C} < \theta \leq 1\,000 \text{ °C}$	$\pm 5 \text{ °C}$
$\theta > 1\,000 \text{ °C}$	$\pm 1 \text{ %}$

Die zulässige Temperaturabweichung entlang der Anfangsmesslänge (L_0) muss mindestens mit dem vorstehenden Toleranzwerten übereinstimmen, bis der Punkt erreicht ist, der der Dehngrenze der nicht proportionalen Bruchdehnung entspricht.

Die Heizeigenschaften des Ofens und das Temperaturkontrollsystem müssen verhindern, dass die vorstehenden festgelegten Grenzen bei der Erwärmung des Prüflings überschritten werden.

6.1.1.5 Temperaturmessungen

Es müssen Thermopaare aus Platin/Platin-Rhodium vom Typ R oder Typ S der Klasse 1 nach EN 60584-2 verwendet werden. Sie sind in Zeitabständen von höchstens 12 Monaten über den Betriebstemperaturbereich nach einem Verfahren zu überprüfen, das auf der Temperatureinheit des Internationalen Einheitssystems (SI) beruht.

6.1.1.6 Aufzeichnung

Ein Aufzeichnungsgerät/Datenaufzeichnungsgerät mit einer Genauigkeit von $\pm 1,0 \text{ °C}$ und mit einer Auflösung von $0,5 \text{ °C}$ muss in Zeitabständen von höchstens 12 Monaten überprüft werden.

Die Überprüfung ist mit Hilfe einer Mess-/Simulationsvorrichtung für Thermopaare durchzuführen, die eine Genauigkeit von $\pm 0,5\text{ °C}$ und eine Auflösung von $0,2\text{ °C}$ hat, dieses Gerät ist in Zeitabständen von höchstens 12 Monaten zu überprüfen.

Fehler bei der Überprüfung sind in einem Bericht aufzuzeichnen.

6.1.2 Werkstoffe/Reagenzien

Werkstoffe/Reagenzien können aus Folgendem bestehen:

- Entfettungsflüssigkeiten;
- Aufzeichnungspapier;
- Mittel für die elektronische Aufzeichnung, falls zutreffend;
- Markierfarben;
- feuerfeste Werkstoffe.

6.1.3 Qualifikation des Personals

Die Prüfung nach den Anforderungen dieses Prüfverfahrens darf nur von Personal, das seine Fähigkeiten durch entsprechende Ausbildung oder geeignete Schulung und Erfahrung bewiesen hat, übernommen und/oder überwacht werden. Diese Fähigkeiten müssen in geeigneter Form dokumentiert sein.

6.2 Proben/Prüflinge

6.2.1 Form und Maße

Form und Maße des Prüflings hängen von Form und Maßen des metallischen Erzeugnisses und den mechanischen Eigenschaften ab, die zu bestimmen sind.

Wenn eine ausreichende Menge an Werkstoff vorhanden ist, muss der Prüfling durch spanendes Herausarbeiten einer Probe aus dem Erzeugnis nach Anhang A, C oder D gewonnen werden. Erzeugnisse mit gleichförmigem Querschnitt (Profile, Stangen, und Draht nach Anhang B) können jedoch ohne Bearbeiten geprüft werden.

Bei einem spanend herausgearbeiteten Prüfling muss zwischen den Einspannenden und der Versuchslänge bei unterschiedlicher Größe ein Übergangsradius vorhanden sein. Maße und Grenzabmaße und der Übergangsradius eines Prüflings müssen dem jeweiligen Anhang entsprechen (siehe 6.2.2).

Die Einspannenden können in Anpassung an die Spannbacken der Prüfmaschine beliebig geformt sein (siehe 6.3.3). Die Versuchslänge (L_C) oder die freie Länge zwischen den Spannbacken bei einem Prüfling ohne Übergangsradius muss immer größer als die Anfangsmesslänge (L_0) sein.

6.2.2 Arten

Die wichtigsten Arten von Prüflingen sind entsprechend Erzeugnisform und -art nach Tabelle 2 in den Anhängen A bis D angegeben.

Tabelle 3 — Erzeugnisarten

Erzeugnisart	Entsprechender Anhang
Bleche und Bänder ≤ 8 mm	A
Stangen, Profile und Draht mit einem Durchmesser oder einer Dicke ≤ 8 mm	B
Stangen, Profile, Platten und Draht mit einem Durchmesser oder einer Dicke > 8 mm sowie Schmiedestücke und Gussstücke	C
Rohre	D

6.2.3 Herstellung der Prüflinge

Falls erforderlich, muss die maschinelle Bearbeitung bei Raumtemperatur nach einem schriftlich festgelegten Bearbeitungsverfahren erfolgen. Es sind Vorkehrungen zu treffen, um eine Kaltverfestigung der Oberfläche, eine deutliche Erwärmung des Teiles oder Oberflächenunregelmäßigkeiten, die die Prüfergebnisse beeinträchtigen könnten, auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Die Oberfläche der Versuchslänge darf keinen R_a -Wert haben, der $0,8 \mu\text{m}$ überschreitet, eine Messeinrichtung zur Messung der Rauheit mit einer Grenzwellenlänge von $0,08$ mm ist zu verwenden. Die Versuchslänge muss frei von allen sichtbaren Kratzern sein, besonders von umlaufenden Markierungen.

Bei Werkstoffen mit einer in einer Werkstoffnorm festgelegten Dehnung von weniger als 10 % müssen die Ränder von Zugversuch-Prüflingen mit nichtkreisförmigem Querschnitt entlang der Versuchslänge sowie entlang der Übergangsradien leicht abgerundet und in Längsrichtung geschliffen sein. Die Querschnittsverminderung infolge einer solchen Behandlung muss vernachlässigbar sein. Bis zum Versuchsbeginn sind die Prüflinge vor Beschädigung oder Verunreinigung zu schützen.

6.3 Prüfablauf

6.3.1 Bestimmung der Querschnittsfläche

6.3.1.1 Bestimmung des Anfangsquerschnitts (S_0)

Der Anfangsquerschnitt ist anhand von Messungen der entsprechenden Maße mit einer Genauigkeit von 0,2 % oder $0,005$ mm – je nachdem, welches der größere Wert ist – zu berechnen.

Der Anfangsquerschnitt (S_0) von Rohrabchnitten ist wie folgt zu berechnen:

$$S_0 = \pi a (D - a)$$

Der Anfangsquerschnitt eines in Form eines Längsstreifens aus einem Rohr herausgearbeiteten Prüflings ist nach einer der folgenden Gleichungen zu berechnen:

$$\text{Wenn } 0,17 \leq \frac{b}{D} < 0,25 \quad S_0 = ab \left(1 + \frac{b^2}{6D(D - 2a)} \right)$$

$$\text{Wenn } \frac{b}{D} < 0,17 \quad S_0 = ab$$

6.3.1.2 Bestimmung des kleinsten Querschnitts des Prüflings nach dem Bruch (S_U)

Die Maße des Prüflings sind an der Bruchstelle mit einer Genauigkeit von 0,01 mm zu bestimmen und dann zur Berechnung des kleinsten Querschnitts des Prüflings nach dem Bruch heranzuziehen.

Bei einem Rohrabschnitt oder einem in Form eines Längsstreifens aus dem Rohr herausgearbeiteten Prüflings muss der kleinste Querschnitt des Prüflings nach dem Bruch nach den Gleichungen in 6.3.1.1 berechnet werden.

6.3.2 Kennzeichnung der Anfangsmesslänge (L_0)

Bei Proportionalprüflingen ist der errechnete Wert der Anfangsmesslänge auf 1 mm zu runden. Die Anfangsmesslänge ist zu kennzeichnen oder mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \%$ zu messen.

Die Anfangsmesslänge ist an jedem Ende durch eine dünne Anreißlinie oder eine feine Markierung zu kennzeichnen.

Bei Werkstoffen mit geringer Dehnbarkeit dürfen keine eingeritzten Markierungen verwendet werden, da derartige Markierungen vorzeitigen Bruch verursachen können.

Bei einem Prüfling mit Rippen können die Rippen als L_0 verwendet werden.

Ist die Versuchslänge (L_c) erheblich größer als die Anfangsmesslänge, z. B. bei unbearbeiteten Prüflingen, ist eine Reihe von sich überlappenden Anfangsmesslängen zu kennzeichnen; einige dieser Längen können bis zu den Spannbacken reichen.

6.3.3 Einspannverfahren

Die Spannbacken müssen einem Typ nach 6.1.1.3 entsprechen.

Bei Dehngrenzenbestimmungen wird empfohlen, für alle Flachprüflinge Gelenkspannzeuge zu verwenden, sofern der Prüfling nicht zu schmal ist.

Die Enden eines in Form eines Längsstreifens aus dem Rohr herausgearbeiteten Prüflings dürfen zum leichteren Einspannen flachgedrückt sein, vorausgesetzt, dass dieses Flachdrücken die Versuchslänge nicht beeinträchtigt.

6.3.4 Dehnungsmesser

Der Dehnungsmesser ist so an der Versuchslänge anzubringen, dass er die Dehnung ohne Beschädigung der Messlänge genau misst.

Bei Stangen, Profilen, Platten und Draht mit einem Durchmesser oder einer Dicke gleich oder größer 8 mm sowie bei Schmiede- und Gussstücken kann das in Anhang C (C.6) angegebene Verfahren angewandt werden.

Alle Teile des Dehnungsmessers, die aus dem Ofen herausragen, sind so zu gestalten oder gegen Zugluft zu schützen, dass sich Raumtemperaturschwankungen nur geringfügig auf die Ablesung auswirken. Es empfiehlt sich, eine ausreichende Konstanz der Temperatur und der Geschwindigkeit der Umgebungsluft an der Prüfmaschine aufrechtzuerhalten.

6.3.5 Befestigen der Thermopaare

Drei in gleichen Abständen über die Versuchslänge des Prüflings verteilte Thermopaare reichen üblicherweise aus, um die Gleichmäßigkeit der Temperatur des Prüflings anzuzeigen. Diese Anzahl kann möglicherweise verringert werden, wenn die allgemeine Anordnung des Ofens und des Prüflings derartig ist, dass die Temperaturschwankung des Prüflings die in 6.1.1.4 festgelegten zulässigen Abweichungen nicht überschreitet. Die Verbindungen der Thermopaare müssen einen Thermokontakt mit der Oberfläche des Prüflings haben und auf geeignete Weise gegen direkte Strahlung der Ofenwand geschützt werden.

6.3.6 Prüftemperatur

6.3.6.1 Temperatur

Die Prüfung ist bei der in der Werkstoffnorm festgelegten Temperatur durchzuführen.

6.3.6.2 Erwärmen

Die Erwärmungsgeschwindigkeit muss so hoch wie möglich sein und Überschwüngen dürfen vor dem Versuch die in 6.1.1.4 festgelegten Grenzen nicht überschreiten, der Prüfling muss mindestens 30 min auf der festgelegten Temperatur gehalten werden. Die gesamte Erwärmungszeit, einschließlich der Prüftemperatur vor Beginn der Prüfung, muss auf ein Mindestmaß verringert werden. Während des Erwärmens darf keine Kraft auf den Prüfling aufgebracht werden.

6.3.7 Prüfgeschwindigkeit

6.3.7.1 Elastizitätsmodul (E)

Der Versuch muss mit der in 6.3.7.2 angegebenen Geschwindigkeit durchgeführt werden.

6.3.7.2 Dehngrenze (R_p)

Die Prüfung muss mit einer kontrollierten Dehngeschwindigkeit von:

0,003 bis 0,007 (0,3 % bis 0,7 %) je Minute durchgeführt werden: vorzugsweise ist eine Dehngeschwindigkeit von 0,005 (0,5 %) je Minute zu wählen.

Bei speziellen Anwendungen oder Werkstoffen, z. B. bei der Bestimmung der Fähigkeit der superplastischen Umformung, können andere Prüfgeschwindigkeiten gelten und müssen in der Werkstoff- oder technischen Norm oder auf der Zeichnung, Auftrags- oder Prüfliste festgelegt werden.

6.3.7.3 Zugfestigkeit (R_m)

Wird die Prüfung bis zum Bruch durchgeführt, kann die Dehngeschwindigkeit der Versuchslänge über die Dehngrenze hinaus erhöht werden, sie darf jedoch einen Wert von 0,1 (10 %) je Minute nicht überschreiten.

6.3.8 Elastizitätsmodul (E), Auswahl des Prüfverfahrens

Der Elastizitätsmodul muss durch eins der drei Verfahren bestimmt werden, wobei Verfahren 1 das genaueste und Verfahren 3 das ungenaueste Verfahren ist. Verfahren 3 ist nur anzuwenden, wenn weder Verfahren 1 noch Verfahren 2 verwendet werden kann. In Schiedsfällen ist Verfahren 1 anzuwenden.

Verfahren 1

Der Prüfling ist bis zu einer Spannung unterhalb der Proportionalitätsgrenze zu belasten und zu entlasten. Der Vorgang ist zweimal zu wiederholen. Der Elastizitätsmodul muss als Mittelwert der drei Werte genommen werden. Es wird empfohlen, die Lage des Dehnungsmessers bei jeder nachfolgenden Bestimmung zu verändern.

Der Anfang der Spannungs-Dehnungs-Linie (oder Kraft-Dehnungs-Linie) kann weggelassen werden, um eine eventuelle Nichtlinearität zu Beginn der Prüfung zu kompensieren.

Verfahren 2

Der Prüfling ist bis zu einer Spannung unterhalb der Proportionalitätsgrenze zu belasten und die Belastung muss ohne Unterbrechung fortgesetzt werden, um die erforderliche Dehngrenze zu bestimmen.

Der Anfang der Spannungs-Dehnungs-Linie (oder Kraft-Dehnungs-Linie) kann weggelassen werden, um eine eventuelle Nichtlinearität zu Beginn der Prüfung zu kompensieren.

Verfahren 3

Der Prüfling ist ohne Unterbrechung zu belasten, um die erforderliche Dehngrenze zu bestimmen, danach muss er bis auf 10 % der Dehngrenze entlastet werden und dann erneut bis unmittelbar oberhalb der Dehngrenze belastet werden, um eine Hystereseschleife zu erzeugen. Der Elastizitätsmodul muss aus der Geraden bestimmt werden, die durch die Schnittpunkte der Hysteresese verläuft.

6.4 Bestimmung und Auswertung der Ergebnisse

6.4.1 Bestimmung des Elastizitätsmoduls (E)

Rechnergesteuerte Maschinen können den Elastizitätsmodul automatisch berechnen, obwohl in diesem Fall das Zeichnen eines Spannungs-Dehnungs-Diagramms (oder eines Kraft-Dehnungs-Diagramms) empfohlen wird, ist es nicht verbindlich vorgeschrieben. Andernfalls ist der Elastizitätsmodul durch Bestimmen des Anstiegs des geraden Teils der Kurve auf dem Diagramm zu berechnen. Wenn die Spannungs-Dehnungs-Daten (oder Kraft-Dehnungs-Daten) in numerischer Form gewonnen werden, kann die beste Anpassung an den Anstieg des geraden Teils der Kurve mit statistischen Verfahrensweisen bestimmt werden.

Der Wert des Elastizitätsmoduls muss in GPa angegeben werden, sofern nicht anders festgelegt und sein Verfahren zur Bestimmung muss angegeben werden.

6.4.2 Bestimmung der Dehngrenze (R_p)

Rechnergesteuerte Maschinen können die Dehngrenze automatisch berechnen, obwohl in diesem Fall das Zeichnen eines Spannungs-Dehnungs-Diagramms (oder ein Kraft-Dehnungs-Diagramms) empfohlen wird, ist es nicht verbindlich vorgeschrieben. Anderenfalls ist/sind die Dehngrenze (oder die -grenzen) von der im Diagramm genau gezeichneten Kurve zu bestimmen.

Eine Gerade wird parallel zum geraden Teil der Kurve in einem Abstand gezeichnet, der einer Dehnungszunahme entsprechend dem geforderten nichtproportionalen Betrag, z. B. 0,2 % entspricht. Der Schnittpunkt dieser Gerade mit der Kurve ergibt die geforderte Dehngrenze (siehe Bild 1) oder die Dehngrenze muss durch Dividieren der Kraft bei festgelegter Dehnung durch den Anfangsquerschnitt (S_0) bestimmt werden. Die Dehngrenze muss in MPa angegeben werden, sofern nicht anders festgelegt.

Bei Angabe oder Zitieren eines Wertes für die Dehngrenze muss die geforderte prozentuale Dehnung angegeben werden, z. B. 0,2 %-Dehngrenze ($R_{p0,2}$).

Wenn der Werkstoff keine Spannungs-Dehnungs-Kurve (oder Kraft-Dehnungs-Kurve) ergibt, die einen geradlinigen Teil enthält, der ausreichend definiert ist, um das Zeichnen einer genauen Parallele zu erlauben, muss die Gerade parallel zur Mittellinie der Hystereseschleife gezeichnet werden, die erzeugt wird durch das Aufbringen einer Kraft, die den Wert der Dehngrenze übersteigt, das Verringern der Kraft auf 10 % dieses Wertes und einem erneuten Aufbringen der Kraft (als Beispiel siehe Bild 2). Der Prüfbericht muss diese Angabe enthalten, wenn diese Verfahrensweise angewandt wurde.

6.4.3 Bestimmung der Zugfestigkeit (R_m)

Die Zugfestigkeit ist zu bestimmen, indem die während des Versuchs erreichte Höchstkraft (F_m) durch den Anfangsquerschnitt (S_0) dividiert wird. Sofern nicht anders festgelegt, ist sie in MPa anzugeben.

6.4.4 Bestimmung der Bruchdehnung (A oder A_{L0})

6.4.4.1 Die Bruchdehnung ist anhand der bleibenden Längenänderung nach dem Bruch zu ermitteln, ausgedrückt in Prozent der Anfangsmesslänge. Zu diesem Zweck werden die beiden Bruchstücke des Prüflings sorgfältig wieder so zusammengelegt, dass ihre Achsen eine Gerade bilden. Es ist besonders darauf zu achten, dass beim Messen der Messlänge nach dem Bruch die beiden Bruchstücke gut ineinander passen. Dies ist insbesondere bei Prüflingen mit kleinem Querschnitt und bei Prüflingen mit geringen Bruchdehnungswerten wichtig.

ANMERKUNG Zur Erleichterung der Messung könnte eine einfache Vorrichtung verwendet werden, die ein axiales Zusammenfügen der Bruchstücke ermöglicht.