

## Versuch: Zugversuch

### 1 Versuchsziel und Anwendung

Beim Zugversuch werden eine oder mehrere Festigkeits- oder Verformungskenngrößen bestimmt. Er dient zur Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei einachsiger, gleichmäßig über den Querschnitt verteilter Zugbeanspruchung. Dazu wird eine Zugprobe gleichmäßig und stoßfrei gestreckt, bis der Bruch eintritt und dabei Belastung und Verlängerung der Probe laufend gemessen. DIN EN 10 002 gilt für den Zugversuch an allen metallischen Werkstoffen mit und ohne Feindehnmessung.

### 2 Grundlagen und Formelzeichen

Der Zugversuch erlaubt quantitative Aussagen über die Verlängerung von Probestäben unter Einwirkung einer momentfrei und monoton ansteigenden Zugbeanspruchung. Die mit Hilfe des Zugversuches ermittelten Werkstoffwiderstandsgrößen sind die Grundlage für die Dimensionierung statisch beanspruchter Bauteile.

#### Begriffe und Formelzeichen

Werkstoffkennwert	Formelzeichen	Einheit	Berechnung
Zugfestigkeit	$R_m$	MPa	$R_m = F_m / S_0$
Streckgrenze	$R_e$	MPa	$R_e = F_s / S_0$
Maximalkraft	$F_m$	N	
Kraft an der Streckgrenze	$F_s$	N	
0,2-Dehngrenze	$R_{p0.2}$	MPa	$R_{p0.2} = F_{0.2} / S_0$
Nennspannung	$\sigma_z$	MPa	$\sigma_z = F / S_0$
Elastizitätsmodul	$E$	MPa	$E = \sigma_z / \epsilon_{el}$
Bruchdehnung	$A_5 ; A_{10}$	%	$A = \Delta L / L_0 * 100 \%$
Brucheinschnürung	$Z$	%	$Z = \Delta S / S_0 * 100 \%$

Anfangsmesslänge	$L_0$	mm	
Messlänge nach Bruch	$L_u$	mm	
bleibende Verlängerung	$\Delta L$	mm	$\Delta L = L_u - L_0$
Anfangsquerschnitt	$S_0$	$\text{mm}^2$	
kleinster Querschnitt	$S_u$	$\text{mm}^2$	
Querschnittsänderung	$\Delta S$	$\text{mm}^2$	$\Delta S = S_0 - S_u$

Weitere Formelzeichen und Benennungen sind der DIN EN 10 002 Seite 8/ 9 zu entnehmen.

Darstellung eines Spannungs-Dehnungs-Diagramms für einen weichen Stahl

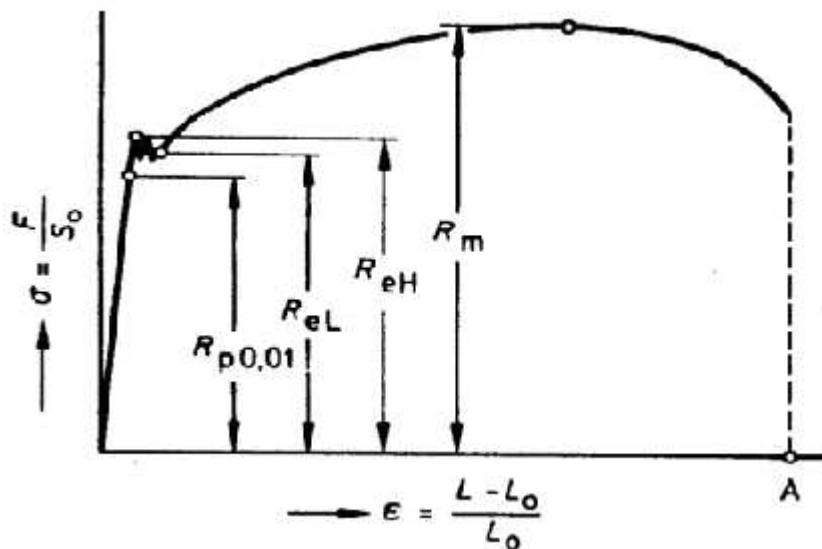


Bild 1:  $\sigma$ - $\epsilon$ -Diagramm von weichem Stahl (Dehnung im rein elastischen Bereich übertrieben dargestellt)

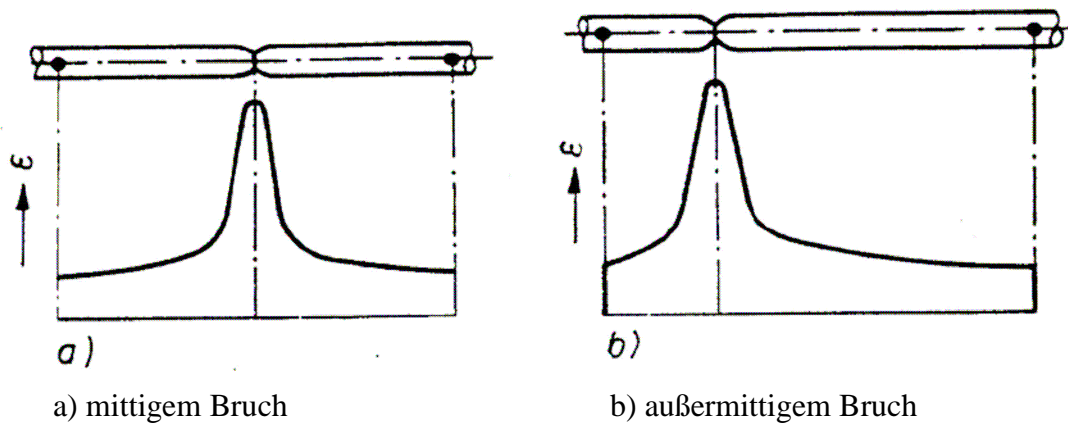
Vorausgesetzt werden Kenntnisse zu den Begriffen:

Zugfestigkeit, Streckgrenze, Elastizitätsgrenze, Bruchdehnung, Brucheinschnürung, Gleichmaßdehnung, Einschnürungsdehnung, Elastizitätsmodul, sowie Standardbezeichnungen von Stählen, Gusswerkstoffen und Nichteisenmetallen.

### Bruchverlegung

Für die Bruchdehnung ergibt sich nur dann ein brauchbarer Wert, wenn bei kurzen Proportionalstäben der Abstand zur nächsten Endmarke mindestens 1/3 und bei langen Proportionalstäben 1/5 der Messlänge nach dem Bruch beträgt. Bei Brüchen in der Mitte der Messlänge sind die Werte am höchsten, da die Verformung der beiden Probenhälften vollkommen gleichmäßig ist (vgl. Bild 2).

Bild 2: Verlauf der Dehnung über die Probe mit



Um auch für Proben, die außerhalb der angeführten Grenzen zu Bruch gehen, die Bruchdehnung noch bestimmen zu können, lässt sich folgendes Verfahren anwenden:

Vor dem Versuch wird die Messlänge  $L_0$  in  $N$  (10 oder 20) gleiche Teile eingeteilt (Bild 3).

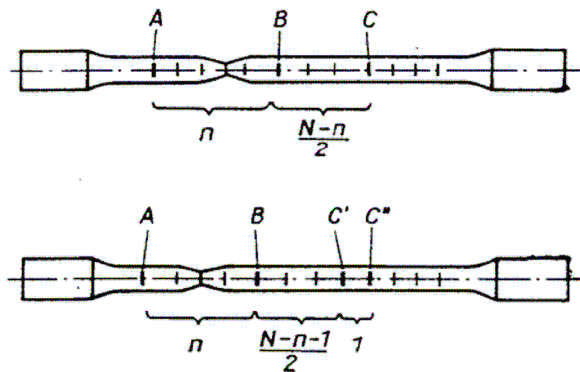


Bild 3: Ermittlung der Bruchdehnung bei außermittigem Bruch

Nach dem Versuch bezeichnet man den letzten Teilstrich des kürzeren Stückes mit A und auf dem längeren Stück den Teilstrich in der möglichst gleichen Entfernung zur Bruchstelle mit B.

Wenn  $n$  die Anzahl der Unterteilungen zwischen A und B ist, kann die Bruchdehnung wie folgt berechnet werden:

a)  **$N - n$  ist eine gerade Zahl**

$$A = \frac{\overline{AB} + 2\overline{BC} - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \text{in \%}$$

b)  **$N - n$  ist eine ungerade Zahl**

$$A = \frac{\overline{AB} + \overline{BC'} + \overline{BC''} - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \text{in \%}$$

## Bruchaussehen

Das Bruchaussehen richtet sich nach der Art des Werkstoffs (Bild 4). Ein nicht plastisch verformbarer, d.h. spröder Werkstoff bricht, sobald die Normalspannung die Trennfestigkeit erreicht, senkrecht zur Stabachse. Man spricht dann vom Trennbruch. Dagegen zeigt ein plastisch verformbarer, zäher Werkstoff, der sich vor dem Bruch einschnürt, einen gemischten Bruch und zwar am Rand einen Krater (Gleiten unter  $45^\circ$  bis zur Zerstörung), in der Mitte eine Trennung. Als Erklärung hierfür wird angegeben, dass sich infolge der Spannungsumlenkung in der Einschnürung ein mehrachsiger Spannungszustand ausbildet. Da zur Mitte hin die Axial-, Radial- und Tangentialspannung etwa die gleiche Größe annehmen, kommt es hier zur vollständigen Fließbehinderung, so dass in der Mitte bereits die Trennung erfolgen kann, während die fließende Randzone noch zusammenhängt.

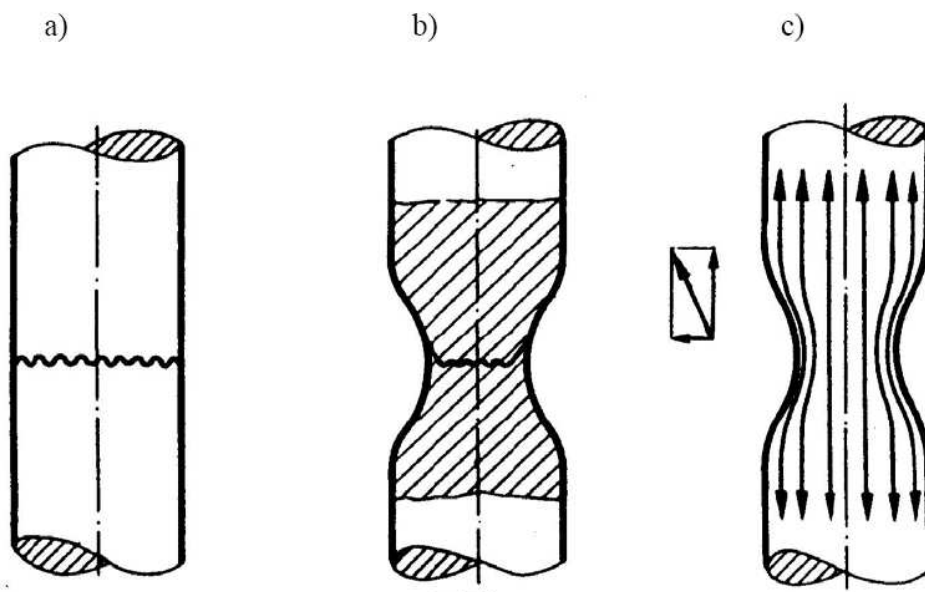


Bild 4: Bruchausbildung im spröden (a) und im zähen (b) Werkstoff; mehrachsiger Spannungszustand in der Einschnürung (c)

### 3 Einflussgrößen, auf das Aussehen der Spannungs-Dehnungs-Diagramme

#### 3.1 Werkstoff und Wärmebehandlung

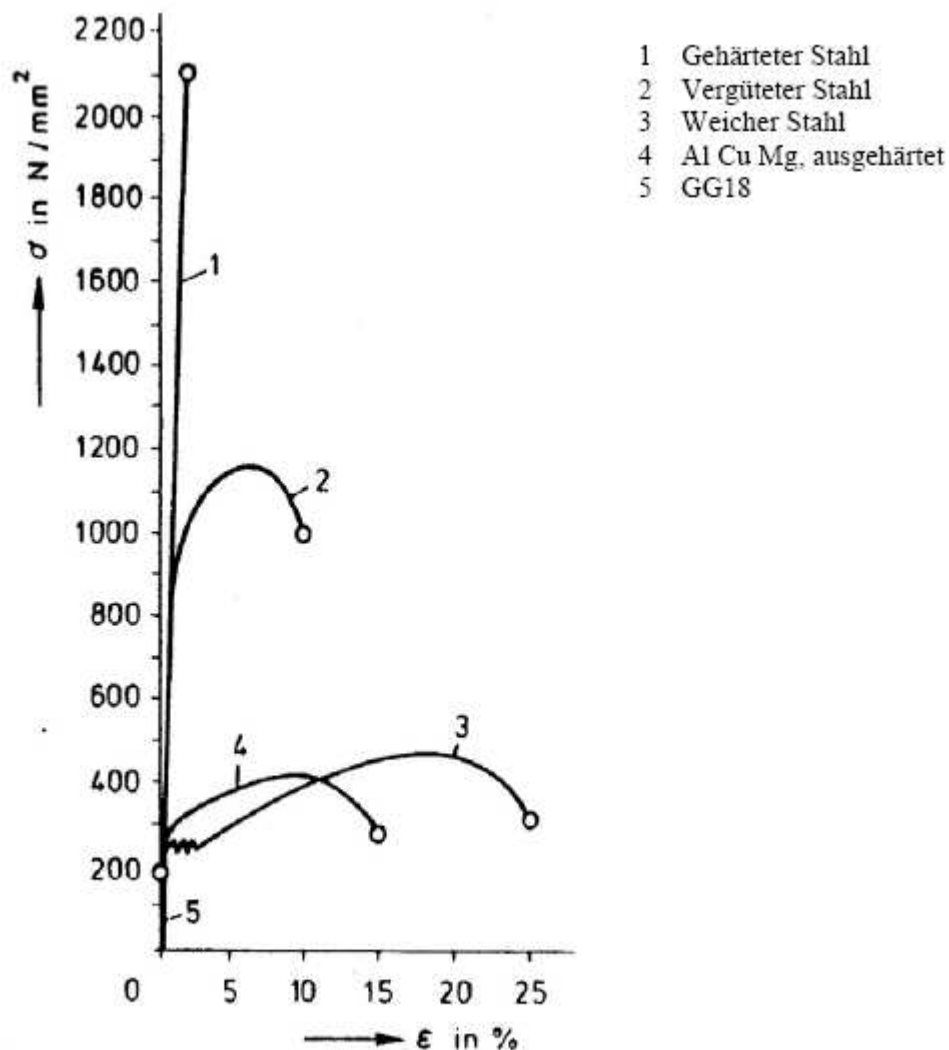


Bild 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramme von Stahl, Aluminium, Grauguss und verschiedene Wärmebehandlungen

#### 3.2 Belastungsgeschwindigkeit

Für die obere Streckgrenze wird bei erhöhter Belastungsgeschwindigkeit ein zu hoher Wert ermittelt. Bei Stahl darf bei Raumtemperatur bis zum Erreichen der oberen Streckgrenze die Belastungsgeschwindigkeit  $30 \text{ (N/mm}^2\text{) / s}$  und bis zum Erreichen der unteren Streckgrenze die Dehngeschwindigkeit  $15 \text{ \% / min}$  nicht überschreiten.

### 3.3 Temperatur

Bild 6 zeigt die Veränderungen im Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines Baustahles mit steigender Temperatur und Bild 7 von Titan bei tiefen Temperaturen.

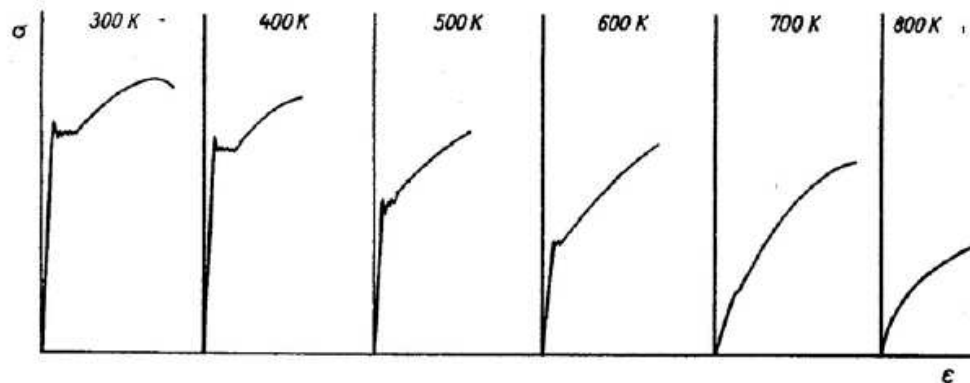


Bild 6: Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Baustahl bei höheren Temperaturen

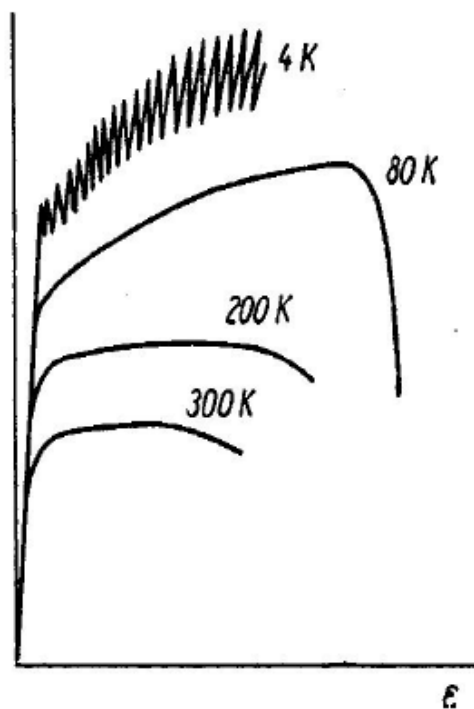


Bild 7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Titan bei tiefen Temperaturen

## 4 Versuchsaufbau

Es werden Prüfmaschinen nach DIN 51 220 DIN EN ISO 7500-1; 2004-11 verwendet. (siehe auch DIN 51 200 – „Werkstoffprüfmaschinen; Gestalten und Anwenden von Aufnahmeeinrichtungen für Proben in Härteprüfgeräten“)

## 5 Versuchsdurchführung

### 5.1 Zugproben (nach DIN EN 10 002 Teil 1)

A	Rundproben mit Zylinder	
B	Rundproben mit Gewindeköpfen	$l_0 = 5 * d_0$ oder $10 * d_0$
C	Rundproben mit Schulterköpfen	
D	Rundproben mit Kegelköpfen	
E	Flachproben mit Normalköpfen	$l_0 = 5,65 * \sqrt{F_0}$ oder $l_0 = 11,3 * \sqrt{F_0}$
F	Rundproben (unbearbeitet)	$l_0 = 5 * d_0$ oder $l_0 = 10 * d_0$
G	Rechteck- oder andere Profile	$l_0 = 5,65 * \sqrt{F_0}$ oder $11,3 * \sqrt{F_0}$

### 5.2 Versuchsablauf



Die vorbereitete Probe wird biegunsfrei in die Einspannvorrichtung der Zugprüfmaschine eingesetzt und durch eine steigende Zugkraft so lange gedehnt, bis der Bruch eintritt. Dabei ist auf die Belastungsgeschwindigkeit zu achten. (siehe auch DIN EN 10 002-5; 1992-01)

## 6 Versuchsauswertung

Mit Hilfe der am Messgerät abgelesenen und mit den Messgeräten ermittelten Werte sind zu bestimmen:

### a) Festigkeitswerte

$R_m$	- Zugfestigkeit
$R_{eH}$	- obere Streckgrenze
$R_{p0.2}$	- 0,2 % - Dehngrenze

### b) Verformungskennwerte

A	- Bruchdehnung
Z	- Brucheinschnürung

Die Werte sind zu diskutieren, mit ihrer Hilfe sind Beispielwerkstoffe nach DIN anzugeben! Für diese Beispielwerkstoffe sind Einsatzmöglichkeiten zu nennen. Das Bruchaussehen ist zu diskutieren!

## 7 Kontrollfragen

- 7.1 Wie ermittelt man die 0,2 %-Dehngrenze graphisch?
- 7.2 Wie sieht das Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines geglühten, gehärteten und vergüteten Stahles aus?
- 7.3 Wie würden sich Festigkeitskennwerte bei beträchtlich überhöhter Belastungsgeschwindigkeit im elastischen Bereich verändern?
- 7.4 Was ist unter dem „Verlegen des Bruches“ bei Zugproben zu verstehen?
- 7.5 Diskutieren Sie die Abschnitte eines Spannungs-Dehnungs-Diagramms am Beispiel eines weichen Stahles!
- 7.6 Was versteht man unter der wahren Spannung?  
Ist diese für den Konstrukteur von Interesse?

## 8 Standards

DIN EN 10 002-1 2001-12:	Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur
DIN 50 125; 2004-01:	Prüfung metallischer Werkstoffe – Zugproben (für 208-10 => Entwurf)
DIN 51 220; 1985-10:	Werkstoffprüfmaschinen – Allgemeines zu Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung
DIN EN ISO 7500-1 2004-11:	Metallische Werkstoffe – Prüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen – Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen – Prüfung und Kalibrierung und Kraftmesseinrichtung

## 9 Literatur

Weißbach:	Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung Vieweg Verlag
Dietrich u.a.:	Mechanische Werkstoffprüfung Expert Verlag
Blumenauer:	Werkstoffprüfung
Friedrich:	Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik Dümmler Verlag
Macherauch:	Praktikum Werkstoffkunde Vieweg Verlag
Domke:	Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung Cornelsen Verlagsgesellschaft