

**Versuch:** Grundlagen des Zugversuchs (Sekundarstufe I)

**Moduli:** Mechanische Werkstoffeigenschaften

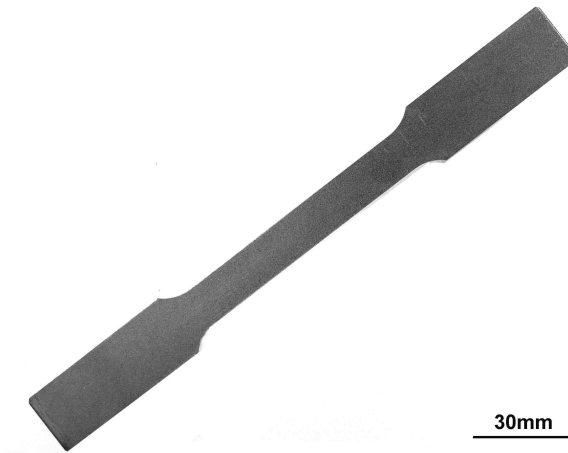


Abbildung 1: Flachzugprobe zur Ermittlung mechanischer Werkstoffkennwerte

## 1 Versuchsziel

Der Zugversuch bietet die Möglichkeit, mechanische Werkstoffkennwerte zu erfassen. Ein Kennwert, beziehungsweise eine Kenngröße, ist ein charakteristischer Wert für bestimmte Eigenschaften (z.B. chemisch oder physikalisch) eines Werkstoffs oder eines Bauteils. Aufgrund der unterschiedlichen Bestandteile verschiedener Werkstoffe, ihrer Herstellung und Verarbeitung, ihrem inneren Aussehen (Mikrostruktur) und den beim Versuch realisierten Bedingungen (z.B. Geschwindigkeit) ergeben sich variierende Festigkeiten, Verformungen und Brucharten. An verschiedenen Werkstoffen (Stahl, Aluminium, Messing, Kunststoffe) sollen Zugversuche durchgeführt und bezüglich der Kenngrößen ausgewertet werden. Das selbständige Vermessen der Proben und Bedienen der Maschine soll helfen, die Arbeitsfolge zu verstehen. Das zu erstellende Protokoll umfasst Berechnungen und Fragen, welche mathematische und physikalische Kenntnisse erfordern. Gezielte Fragen im Auswertungsteil sollen helfen, den technischen Nutzen der Werkstoffprüfung zu verstehen.

## 2 Hintergrund

Jeder Gegenstand (zum Beispiel Maschinen, Schmuck, Möbel) beziehungsweise jedes Bauteil (z.B. aus einem Auto oder Flugzeug) wird aus bestimmten Werkstoffen hergestellt (z.B. Stahl, Aluminium, Holz usw.). Diese Werkstoffe können sowohl durch äußere Kraft (mechanisch), durch Umgebungsbedingungen wie Temperatur (thermisch) oder bestimmte Stoffe wie z.B. Säuren (korrosiv), aber auch im Zusammenspiel mit anderen Bauteilen wie beispielsweise bei einer Bremse (Verschleiß) beansprucht werden. Oft ist eine Kombination solcher Beanspruchungen in der Realität der Fall. Eine große Aufgabe ist der Werkstoffprüfung beizumessen, zu deren Aufgaben auch die Ermittlung mechanischer Werkstoffkennwerte gehört. Diese Werte braucht man zur Berechnung und Auslegung vieler Konstruktionen, z.B. Autos, Häuser oder Maschinen. Der klassische Prüfaufbau zur Ermittlung solcher Kennwerte ist der Zugversuch, an dem sich bereits um 1500 Leonardo da Vinci versuchte. Dabei wird eine längliche Probe (z.B. wie in Abbildung 1) eingespannt und mit steigender Kraft belastet. Man misst die Verlängerung der Probe, also den Weg, den die Maschine verfährt. Aus diesen beiden Messgrößen lassen sich Festigkeits- und Verformungskennwerte berechnen. Unter Festigkeit versteht man eine Spannung, also eine Kraft bezogen auf einen bestimmten Querschnitt, die der Werkstoff ertragen kann, bis er sich dauerhaft (plastisch) verformt oder zerreißt. Plastische Verformung meint eine Veränderung, die nicht rückgängig gemacht werden kann, etwa wie beim Verbiegen von Metallen. Verformungskennwerte belegen die Verformbarkeit (auch Zähigkeit genannt) eines Werkstoffs. Das kennzeichnet die Fähigkeit nicht einfach zu brechen (Sprödbbruch), sondern die hohen Kräfte bzw. Spannungen teilweise durch Verformung abzubauen. Man misst also die Längenänderung der Probe  $\Delta L$  und die Kraft  $F$ , und rechnet dies in Spannung  $\sigma$  (Sigma) und prozentuale Dehnung  $\varepsilon$  (Epsilon) um:

$$\sigma = F/S_0 \quad \text{und} \quad \varepsilon = \Delta L/L_0 * 100\%$$

Rechenbeispiel: quadratische Probe mit  $a = 2 \text{ mm}$  Kantenlänge. Die Ausgangsmesslänge  $L_0$  beträgt  $50 \text{ mm}$ , die aktuelle Kraft  $1000 \text{ N}$  und die aktuelle Verlängerung  $\Delta L$   $1 \text{ mm}$ .

$$S_0 = a \cdot a = 4\text{mm}^2$$

$$\sigma = F/S_0 = 1000\text{N}/4\text{mm}^2 = 250\text{MPa}$$

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 * 100\% = 1\text{mm}/50\text{mm} * 100\% = 2\%$$

Wie vielleicht aus dem Physikunterricht bekannt ist, gibt es zeitlich begrenzte (elastische) und dauerhafte (plastische) Formänderungen. Elastische Verformungen und Dehnungen gehen nach Wegnahme der Beanspruchung zurück, auch beim Zugversuch. Es bleibt die plastische Verformung, welche nicht rückgängig gemacht werden kann.

In Abbildung 2 sind die Versuchskurven von unterschiedlichen Werkstoffen zu erkennen. Der gerade Bereich zu Beginn kennzeichnet elastisches Verhalten, während der anschließende gekrümmte Verlauf dauerhafte Verformung zeigt. Je höher eine Kurve im Diagramm liegt, desto fester ist der Werkstoff, das heißt umso mehr Kraft wurde benötigt.

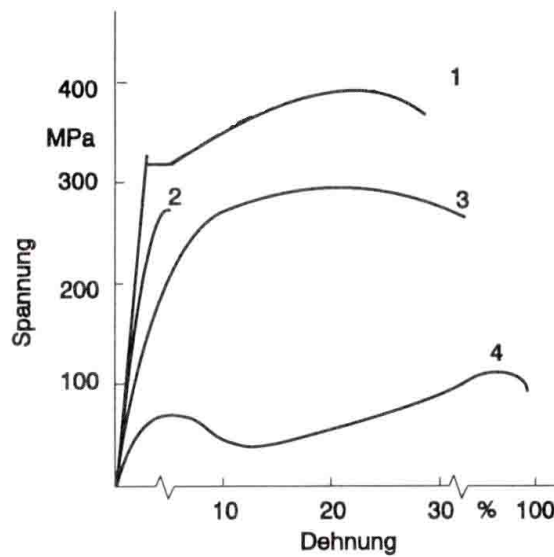


Abbildung 2: Spannungs-Dehnungs-Kurven unterschiedlicher Werkstoffe: 1-Baustahl, 2-Grauguss, 3-Aluminiumlegierung, 4-thermoplastischer Kunststoff [1]

**Interpretation der Kurve 3 - Aluminiumlegierung** Der stark ansteigende Bereich zu Beginn beschreibt den elastischen Bereich der Verformung und gleicht im Idealfall einer Gerade. Sobald der Verlauf von der Geradenform abweicht beginnt die plastische (dauerhafte) Verformung. Dieser Übergang ist oft fließend und wird deshalb bei 0,2 % Dehnung definiert, der Spannungswert an dieser Stelle wird als Dehngrenze  $R_{p0,2}$  bezeichnet. Im weiteren Verlauf steigt die Spannung weiter an, bis am höchsten Punkt die Maximalkraft  $F_{max}$  erreicht wird. Der zugehörige Spannungswert wird Zugfestigkeit  $R_m$  ( $\sigma_B$  bei Kunststoffen) genannt. Dies ist die maximale Festigkeit, die der Werkstoff verkraften kann, bevor er zerreißt. Danach fällt die Kurve ab, das heißt die Spannung wird geringer. Die Probe verformt sich jedoch weiter, deshalb wächst die Dehnung weiter an. Schließlich bricht die Probe und die Kurve endet. Die bleibende Dehnung, welche am Kurvenende erreicht wurde, wird als Bruchdehnung  $A$  bezeichnet. Eine Übersicht einiger Kennwerte des Zugversuchs mit einer Erklärung findet man in Tabelle 1.

Tabelle 1: Kennwerte des Zugversuchs mit Symbol, Einheit und Erklärung

Kennwert	Einheit	Bezeichnung	Erklärung
$E$	$GPa[kN/mm^2]$	Elastizitätsmodul	Steifigkeit des Werkstoffs, $E_{Aluminium} \ll E_{Stahl}$ , Aluminiumstab knickt leichter
$R_{p0,2}$	$MPa[N/mm^2]$	Dehngrenze	Spannung beim Übergang von elastischer zu plastischer Verformung, bei 0,2 % Dehnung definiert
$F_{max}$	$N$	Maximalkraft	Probe beginnt sich einzuschnüren
$R_m/\sigma_B$	$MPa[N/mm^2]$	Zugfestigkeit	Maximale Spannung, bei welcher der Werkstoff zerreißt
$A$	%	Bruchdehnung	Gesamtdehnung bis zum Bruch

### 3 Versuchsmaterialien und Geräte

Die Versuche werden an einer Universalprüfmaschine inspekt desk 10 kN durchgeführt, welche auch die Möglichkeit zu Druck- und Biegeversuchen bietet. Der momentane Versuchsaufbau (Abbildung 3(a)) ist jedoch für Zugversuche ausgerichtet. Die Kraft wird über die Verformung einer Feder ermittelt, mit Hilfe der Federkonstante lässt sich aus deren Verformung die Kraft berechnen. Die Geschwindigkeit wird über einen Schrittmotor geregelt, der die Traverse verfährt. Aus der Anzahl der Umdrehungen lässt sich der zurückgelegte Weg berechnen, aus dem dann die Dehnung bestimmt wird.

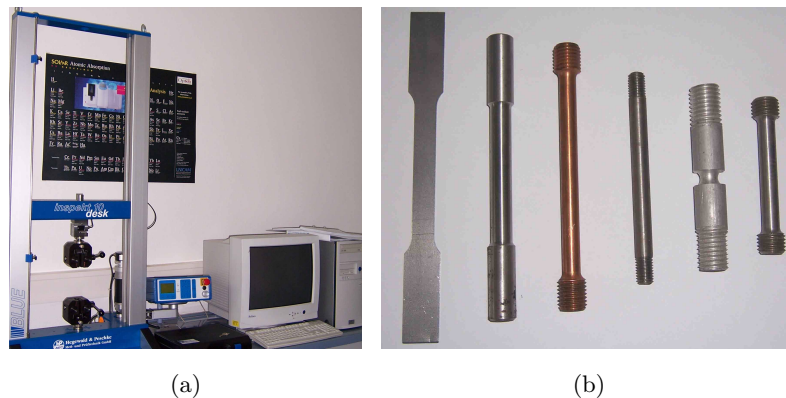


Abbildung 3: Prüfaufbau (a) sowie unterschiedliche Probenformen (b)

Abbildung 3(b) zeigt mögliche normgerechte Probenformen für den Zugversuch. Es wird jeweils eine Probe Messing, Aluminium, Stahl, Polypropylen und PVC geprüft.

## 4 Versuchsablauf

Zu Beginn sind die Prüfmaschine und der Rechner einzuschalten. Danach sind die Proben zu kennzeichnen und ihr Querschnitt zu vermessen. Weiterhin kann man manuell einen Messbereich von 50 mm markieren. Nachdem die richtige Vorlage und Messreihe in der Software geladen ist, ist die Probe einzuspannen. Danach muss der Betreuer die richtigen Prüfparameter und -geschwindigkeiten einstellen. Nachdem die Probenbezeichnung und die Probenabmessungen eingegeben wurden, kann der Versuch begonnen werden. Jetzt kann der Verlauf des Versuches verfolgt und im Anschluss die Probe entnommen und vermessen werden.

## Literatur

- [1] Blumenauer, Horst, „Werkstoffprüfung“, 6. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1994, S. 114