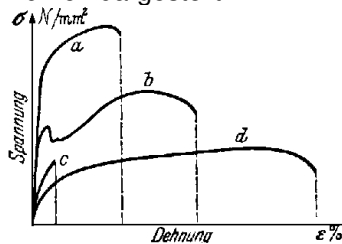




**Aufgaben**

- 1 Ein Überlastschutz aus S275 ( $\varnothing 5\text{mm}$ ) wird mit einer Zugkraft von 12000 N belastet. Reißt der Stab ?
- 2 Ein Zugstab mit der Anfangsmesslänge 130 mm wird unter Belastung mit 145 mm gemessen. Wie groß ist die Dehnung  $\epsilon$  ?
- 3 Warum werden hochbeanspruchte Teile poliert?
- 4 Beschreiben Sie eine Zugprobe DIN 50125-B14\*70.
- 5 Im Diagramm sind 4 Spannungs-Dehnungs-Kurven dargestellt.



Welche Kurve zeigt die höchste

- ..... Zugfestigkeit
- ..... plastische Verformbarkeit
- ..... Zähigkeit
- ..... Härte

Ordnen Sie die Kurven den Werkstoffen zu:

- ..... Grauguss (fast ohne plastische Verformung)
- ..... Stahl höherer Festigkeit
- ..... weicher Stahl mit deutlicher Streckgrenze
- ..... weichgeglühtes Kupfer

- 6 Dargestellt ist das Kraft-Verlängerungs-Diagramm einer Zugprobe mit  $L_0 = 60 \text{ mm}$  und  $d = 4 \text{ mm}$ . Ermitteln Sie Zugfestigkeit, Streckgrenze, E-Modul und Bruchdehnung.

- 7 Welchen Vorteil hat das Spannungs-Dehnungs-Diagramm gegenüber dem Kraft-Verlängerungs-Diagramm ?
- 8 Eine Welle aus Stahl ( $l = 100\text{mm}$ ,  $d = 10\text{mm}$ ) wird spielfrei in 2 Festlagern gelagert und dann um  $10^\circ\text{C}$  erwärmt. Welche Druckkräfte entstehen in der Welle ?
- 9 Abitur 87/88; Aufgabe 4  
Beim Materialeingang einer Werkzeugmaschinenfabrik geht eine Lieferung von einem Stahlgroßhändler ein. Durch Stichprobenkontrolle sollen mit Hilfe des Zugversuchs die Festigkeitswerte von drei Stahlsorten ermittelt werden.

9.a Werkstoff 1

Dieser wird als blankgewalztes Blech mit einer Dicke von 5 mm angeliefert. Bestimmen Sie die Probenbreite der Rechteckprobe im Bereich der Messlänge von  $L_0 = 60 \text{ mm}$ , wenn sie einem kurzen Proportionalstab entsprechen und an der Dicke des Bleches nichts verändert werden soll. Dabei soll der Prüfquerschnitt der Rechteckprobe gleich sein dem des Proportionalstabes.

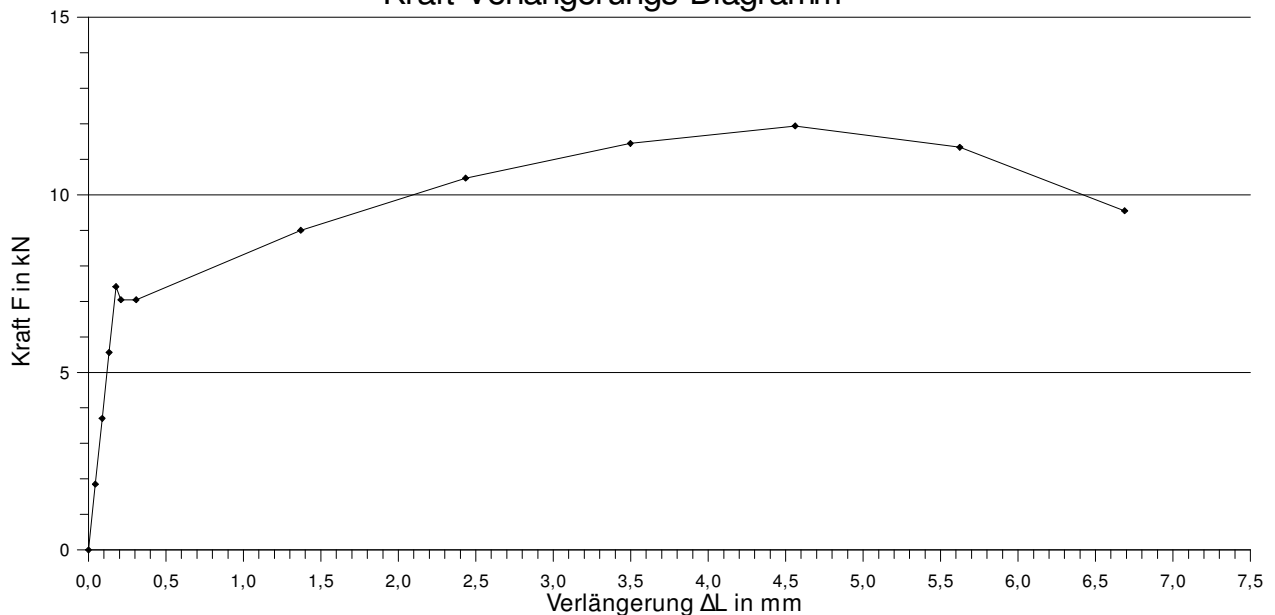
9.b Werkstoff 2

Von der Zugprüfmaschine wurde vom Werkstoff 2 das Kraft-Verlängerungs-Diagramm - siehe hinten - aufgezeichnet. Dazu wurde ein kurzer Proportionalstab (Rundprobe) mit  $L_0 = 60 \text{ mm}$  als genommene Messlänge verwendet. Das aus diesem Werkstoff gefertigte Bauteil hat eine Zugspannung von  $\sigma_z = 128 \text{ N/mm}^2$  aufzunehmen.

Ermitteln Sie

- die Sicherheit gegen bleibende Verformung,
- die Sicherheit gegen Bruch,
- die Messlänge  $L_u$  nach dem Bruch und die Bruchdehnung  $A_5$ .

**Kraft-Verlängerungs-Diagramm**

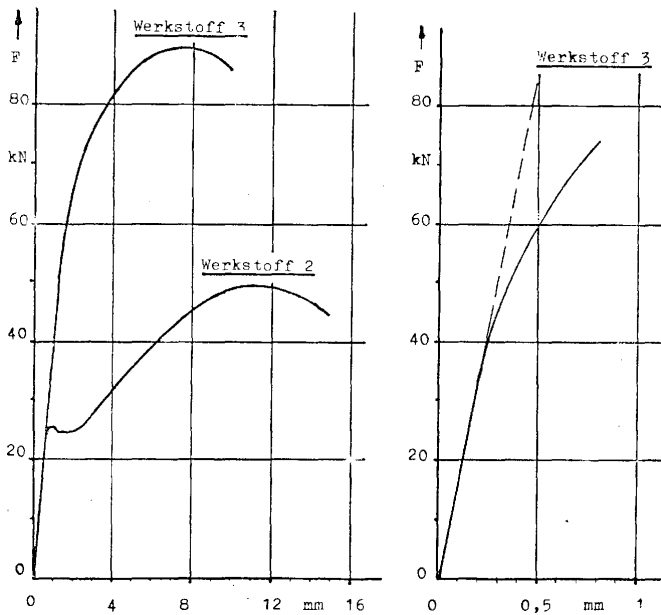


9.c Werkstoff 3

Auch vom Werkstoff 3 wurde das Kraft-Verlängerungs-Diagramm aufgezeichnet. Es ist auf unten zweimal dargestellt. Bei dem dabei verwendeten kurzen Proportionalstab (Rundprobe) betrug die Messlänge  $L_0 = 60$  mm.

Ermitteln Sie

- die 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$
- die Zugfestigkeit  $R_m$
- die Brucheinschnürung  $Z$  bei 9,5 mm Probendurchmesser an der Bruchstelle
- mit Hilfe von Werkstofftabellen für die Werkstoffe 2 und 3 aus dem Bereich der allgemeinen Baustähle oder der unlegierten Vergütungsstähle je einen zugehörigen genormten Werkstoff



10 Abitur 87/88; Aufgabe 4

10.a Zur Kontrolle der unter 4.2 vorgenommenen Wärmebehandlung wurde ein kurzer Proportionalstab mit 8 mm Durchmesser als Probestück mitbehandelt und anschließend im Zugversuch geprüft. Dabei ergaben sich die in der Tabelle aufgeführten Messwerte.

Zeichnen Sie das Spannungs-Dehnungs-Schaubild unter Berücksichtigung der folgenden Maßstäbe:

Spannung : 1 cm = 100 N/mm<sup>2</sup>

Dehnung : 1 cm = 1%

Bestimmen Sie  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  sowie  $A_5$ .

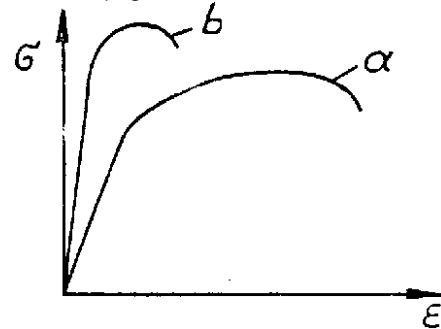
Um welches Maß hat sich der Probestab bei  $F_{max}$  plastisch verformt?

Kraft in kN	Längenzunahme in mm
20,10	0,076
25,13	0,095
32,67	0,20
35,18	0,40
40,20	1,12
42,72	2,20
40,20	3,40
34,66	4,40
0 (Bruch)	4,27 (bleibende Verlängerung)

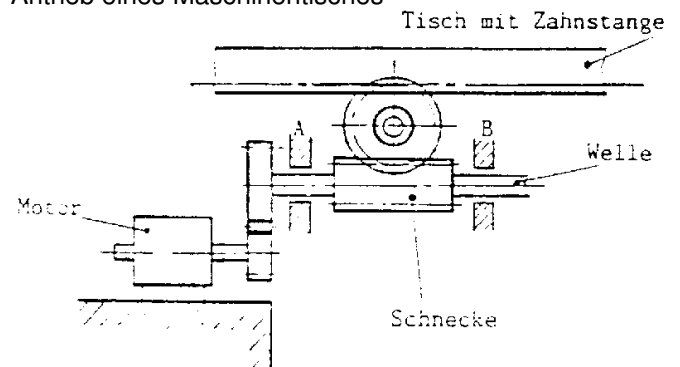
10.b Erläutern Sie die Kennwerte eines Zugversuchs, die Aussagen über hohe Umformbarkeit eines Werkstoffs zulassen.

10.c Nehmen Sie kritisch Stellung zu Fehlern im nebenstehenden Spannungs-Dehnungs-Diagramm (C45).

Kurve a): vergüteter Zustand  
Kurve b): gehärteter Zustand



11 Abitur 88/89; Aufgabe 3  
Antrieb eines Maschinentisches



Aus der Konstruktionsabteilung sind folgende Mindestanforderungen an den Wellenwerkstoff bekannt:

- Mindestzugfestigkeit: 950 N/mm<sup>2</sup>
- Dehngrenze: 600 N/mm<sup>2</sup>

11.a Aus einer zu Bruch gegangenen Welle wurde ein kurzer Proportionalstab mit  $d_0=6$ mm gedreht. Der Zugversuch ergab folgende Messwerte:

Kraftanzeige	Längenzunahme
9,73 kN	0,05 mm
13,0 kN	0,067 mm
17,0 kN	0,30 mm
25,5 kN (Maximalwert)	3,0 mm
24,0 kN	3,9 mm

Erstellen Sie das zugehörige Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

Begründen Sie an Hand der ermittelten Werte, ob der Wellenwerkstoff den oben genannten Anforderungen entspricht.

12 Denksportaufgabe:

Eine Zugprobe 1 wird mit der Kraft  $F$  innerhalb des elastischen Bereiches belastet, dabei werden Spannung, Dehnung und E-Modul ermittelt. Eine Zugprobe 2, die gegenüber der Zugprobe 1 die doppelte Länge und den doppelten Durchmesser hat, wird mit der gleichen Kraft  $F$  belastet. Wie verhalten sich Spannung, Dehnung und E-Modul der 2. Zugprobe im Vergleich zur 1. Zugprobe? Begründen Sie Ihre Antwort.

## Lösungen

$$1 \quad \sigma = \frac{F}{S_0} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{12 \text{ kN} \cdot 4}{\pi \cdot 5^2 \text{ mm}^2} = 611 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Die Spannung ist größer als  $R_m$  (S775 = alt St-44) = 410.560 N/mm<sup>2</sup>, deshalb bricht das Teil.

$$2 \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{15 \text{ mm}}{130 \text{ mm}} = 11,5 \%$$

3 Eine glatte Oberfläche erhöht die Festigkeit, weil Brüche bevorzugt von vorhandenen Fehlern (Oberflächenrisse) ausgehen, insbesondere bei dynamischer Last.

4 Es handelt sich um eine runde Zugprobe mit Gewindeköpfen (B) mit einem Anfangsdurchmesser von 14 mm und einer Anfangsmesslänge von 70 mm (kurzer Proportionalstab) (→ Tab B)

5 Welche Kurve zeigt die höchste ...a... Zugfestigkeit  
 ...d... plastische Verformbarkeit  
 ...b?... Zähigkeit (nicht eindeutig)  
 ...?... Härte ist nicht ablesbar  
 Ordnen Sie die Kurven den Werkstoffen zu:  
 ...c... Grauguss (fast ohne plastische Verformung)  
 ...a... Stahl höherer Festigkeit  
 ...b... weicher Stahl mit deutlicher Streckgrenze  
 ...d... weichgeglühtes Kupfer

$$6 \quad \text{Ermitteln Sie} \quad S_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2 \text{ mm}^2}{4} = 12,57 \text{ mm}^2$$

Zugfestigkeit:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{12 \text{ kN}}{12,57 \text{ mm}^2} = 955 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Streckgrenze

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} = \frac{7,5 \text{ kN}}{12,57 \text{ mm}^2} = 597 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

E-Modul

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{F_e}{S_0}}{\frac{\Delta L_e}{L_0}} = \frac{\frac{7,5 \text{ kN}}{12,57 \text{ mm}^2}}{\frac{0,175 \text{ mm}}{60 \text{ mm}}} = \frac{597 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}}{0,00292} = 205 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

Bruchdehnung

$$A = \frac{\Delta L_{\text{Bruch}}}{L_0} = \frac{6,45 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 10,75 \%$$

7 Spannungs-Dehnungs-Werte sind unabhängig von der Probengröße, während Kraft und Verlängerung immer auf die Probengröße bezogen werden müssen.

8 Annahme: Die erwärmte Welle hat sich ausgedehnt und muss jetzt durch eine Druckkraft wieder auf die ursprüngliche Länge gestaucht werden. Dies ist die Druckkraft, die auch in der eingeklemmten Welle entsteht.

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 100 \text{ mm} \cdot 0,000115 / \text{K} \cdot 10 \text{ K} = 0,015 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \cdot \epsilon \rightarrow F = E \cdot \epsilon \cdot S_0 = E \cdot \frac{\Delta l}{l_1} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \\ = 200 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0,015 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2 \text{ mm}^2}{4} = 2,4 \text{ kN}$$

9 Abitur 87/88; Aufgabe 3

9.a Werkstoff 1

$$\frac{L_0}{d_0} = 5 \quad (\text{kurzer Proportionalstab}) \rightarrow$$

$$d_0 = \frac{L_0}{5} = \frac{60 \text{ mm}}{5} = 12 \text{ mm}$$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2 \text{ mm}^2}{4} = 113,1 \text{ mm}^2$$

$$S_0 = a_0 \cdot b_0 \rightarrow b_0 = \frac{S_0}{a_0} = \frac{113,1 \text{ mm}^2}{5 \text{ mm}} = 22,6 \text{ mm}$$

9.b Werkstoff 2

Sicherheit gegen bleibende Verformung:

$L_0 = 60 \text{ mm}$ , kurzer Proportionalstab  $\Rightarrow$   
 $d_0 = 12 \text{ mm}$ ,  $S_0 = 113,1 \text{ mm}^2$

$\sigma_z = 128 \text{ N/mm}^2$

Aus Diagramm:  $F_{re} = 26 \text{ kN}$

$\Rightarrow R_e = F_{re} / S_0 = 26 \text{ kN} / 113,1 \text{ mm}^2 = 230 \text{ N/mm}^2$

$v = R_e / \sigma_z = 230 \text{ N/mm}^2 / 128 \text{ N/mm}^2 = 1,8$

Sicherheit gegen Bruch,

Aus Diagramm:  $F_m = 50 \text{ kN}$

$\Rightarrow R_m = F_m / S_0 = 50 \text{ kN} / 113,1 \text{ mm}^2 = 442 \text{ N/mm}^2$

$v = R_m / \sigma_z = 442 \text{ N/mm}^2 / 128 \text{ N/mm}^2 = 3,4$

Messlänge  $L_u$  nach dem Bruch

Aus Diagramm:  $\Delta L_u = 14 \text{ mm}$

$\Rightarrow L_u = L_0 + \Delta L_u = 60 \text{ mm} + 14 \text{ mm} = 74 \text{ mm}$

Bruchdehnung  $A_5$

$A_5 = \Delta L_u / L_0 = 14 \text{ mm} / 60 \text{ mm} = 23 \%$

9.c Werkstoff 3

0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$

$L_0 = 60 \text{ mm}$ , kurzer Proportionalstab  $\Rightarrow d_0 = 12 \text{ mm}$ ,  $S_0 = 113,1 \text{ mm}^2$

Für  $\epsilon = 0,2 \%$  ( $\Delta L_u = 12 \text{ mm}$ ) aus Diagramm:  $F_{Rp0,2} = 56 \text{ kN}$

$\Rightarrow R_{p0,2} = 495,1 \text{ N/mm}^2$

Zugfestigkeit  $R_m$

Aus Diagramm  $F_m = 90 \text{ kN} \Rightarrow R_m = F_m / S_0 = 796 \text{ N/mm}^2$

Brucheinschnürung  $Z$

$Z = \Delta S / S_0 = (12^2 - 2,5^2) / 12^2 = 37,3 \%$

( $\pi/4$  und Einheiten gekürzt)

zugehörige genormten Werkstoff

Werkstoff 2: z.B. S235 (früher St37)

Werkstoff 3: z.B. 1 C 60 (früher C 60)

10 Abitur 87/88; Aufgabe 4:

10.a Lösungen siehe

[www.ulrich-rapp.de/klassen/tg/abi](http://www.ulrich-rapp.de/klassen/tg/abi)

10.b Umformung findet im Bereich zwischen der Dehn-/Streckgrenze und der Zugfestigkeit statt, weil dort plastische Verformung noch ohne Bruch erfolgt. Dehn-/Streckgrenze müssen deshalb

möglichst klein, Zugfestigkeit möglichst groß sein.  
Man drückt dieses auch im Streckgrenzenverhältnis  $R_e / R_m$  aus, das für eine gute Umformbarkeit möglichst klein sein soll.

- 10.c Das Diagramm enthält folgende Fehler:  
Der E-Modul von Stahl wird durch Härten nicht verändert. Die Hookesche Gerade des vergüteten Stahls und des gehärteten Stahls verlaufen deshalb auf einer Linie.  
Der gehärtete Stahl hat höhere Festigkeitswerte (Faktor 2 bis 3) als der vergütete Stahl.  
Gehärtete Stähle sind nicht umformbar, der plastische Bereich geht gegen Null.
- 11 Abitur 88/89; Aufgabe 3: Lösungen siehe [www.ulrich-rapp.de/klassen/tg/abi](http://www.ulrich-rapp.de/klassen/tg/abi)
- 12 Die Spannung  $\sigma$  wird 4x kleiner wegen des 4x größeren Querschnitts  $S_0$  ( $\sigma = F / S_0$ )  
Die Dehnung  $\epsilon$  wird 4x kleiner wegen der kleineren Spannung. Die Länge spielt keine Rolle, weil die Dehnung prozentual zur Länge ist.  
Der (!) Elastizitäts-Modul  $E$  ist ein Werkstoffkennwert und ändert sich nicht mit den Abmessungen des Teiles. ( $E = \sigma / \epsilon$ ,  $\sigma$  und  $\epsilon$  ändern sich proportional).