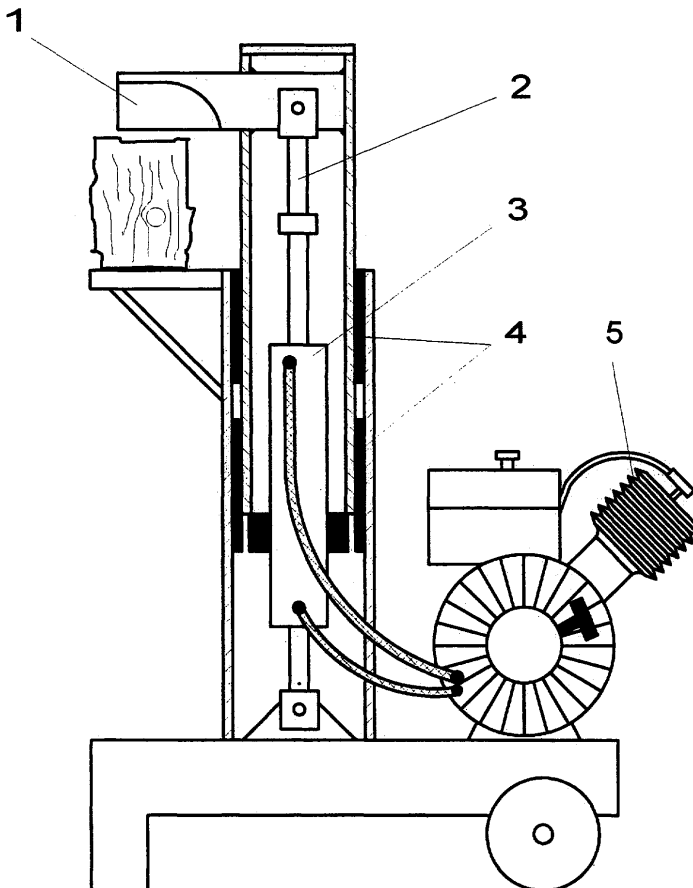


Brennholzspalter

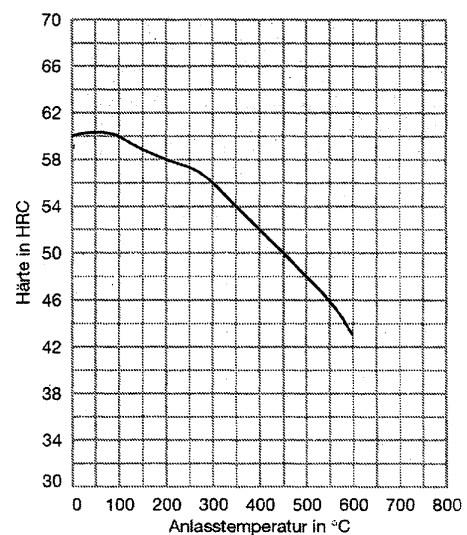
Der Spaltkeil (Pos. 1) wird von einem Hydraulikzylinder (Pos. 3) und der Zugstange (Pos. 2) in das zu spaltende Brennholz gezogen.

Der Antrieb der Hydraulikpumpe erfolgt durch einen Viertakt-Ottomotor (Pos. 5).



Pos	Bezeichnung	Werkstoff
1	Spaltkeil	60WCrV8
2	Zugstange	34CrMo4
3	Hydraulikzylinder	
4	Gleitlagerelemente	
5	Vier-Takt-Ottomotor	

Anlassschaubild 60WCrV8



Teilaufgaben:

Punkte

- 1 Der Brennholzspalter ist für eine Höchstzugkraft von 90 kN ausgelegt. Aus dem Werkstoff der Zugstange wurde ein kurzer Proportionalstab mit $d_0 = 20$ mm hergestellt. In einem Zugversuch wurden folgende Werte ermittelt:

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8
F in kN	33,0	66,0	132,0	166,5	188,5	202,6	212,1	218,3
ΔL in mm	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

- 1.1 Zeichnen Sie das zugehörige Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

4,5

- 1.2 Bestimmen Sie zeichnerisch für den Proportionalstab den Werkstoffkennwert $R_{p0,2}$. Berechnen Sie die Sicherheit gegen plastische Verformung bei einer Belastung mit der Höchstzugkraft $F_{\max} = 90 \text{ kN}$. 3,0
- 1.3 Berechnen Sie den E-Modul. Ermitteln Sie für die Höchstzugkraft $F_{\max} = 90 \text{ kN}$ die elastische Verlängerung der Zugstange mit $d_s = 20 \text{ mm}$ und $l_s = 400 \text{ mm}$. 3,5
- 2 Beim Spaltkeil wird eine Härte von 56 HRC gefordert.
- 2.1 Beschreiben Sie die Verfahrensschritte der Wärmebehandlung und bestimmen Sie die notwendige Anlasstemperatur. 2,5
- 2.2 Bei der anschließenden Härteprüfung wurde folgender Härtewert ermittelt:
610HV5/30.
Erklären Sie die einzelnen Angaben dieses Härtewertes und überprüfen Sie, ob die geforderte Härte erreicht wurde. 3,0
- 3 Der Holzspalter wird durch einen Viertakt-Ottomotor angetrieben. Folgende Daten sind bekannt:
- | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------------|
| Volumen | $V_1 =$ | 125 cm ³ |
| Umgebungstemperatur | $\vartheta_1 =$ | 20 °C |
| Druck der angesaugten Luft | $p_1 =$ | 1 bar |
| Druck | $p_2 =$ | 15 bar |
| Temperatur | $\vartheta_3 =$ | 2000 °C |
| Temperatur | $\vartheta_4 =$ | 777 °C |
| Drehzahl | $n =$ | 2500 1/min |
- 3.1 Skizzieren Sie den Kreisprozess im p-V-Diagramm. Nummerieren Sie die Eckpunkte und benennen Sie die einzelnen Zustandsänderungen. 3,0
- 3.2 Kennzeichnen Sie die umgesetzten Wärmemengen, die abgeführte Arbeit und die Nutzarbeit. 1,0
- 3.3 Ermitteln Sie die Zustandsgrößen V_2 , T_2 , p_3 . 3,0
- 3.4 Ermitteln Sie die zugeführte Wärmemenge Q_{23} und den Kraftstoffverbrauch des Motors in Liter pro Stunde, wenn der Motor mit der angegebenen Drehzahl läuft und $\vartheta_2 = 360^\circ\text{C}$ angenommen wird. 4,0

$\Sigma = 30,0$

Lösungsvorschlag

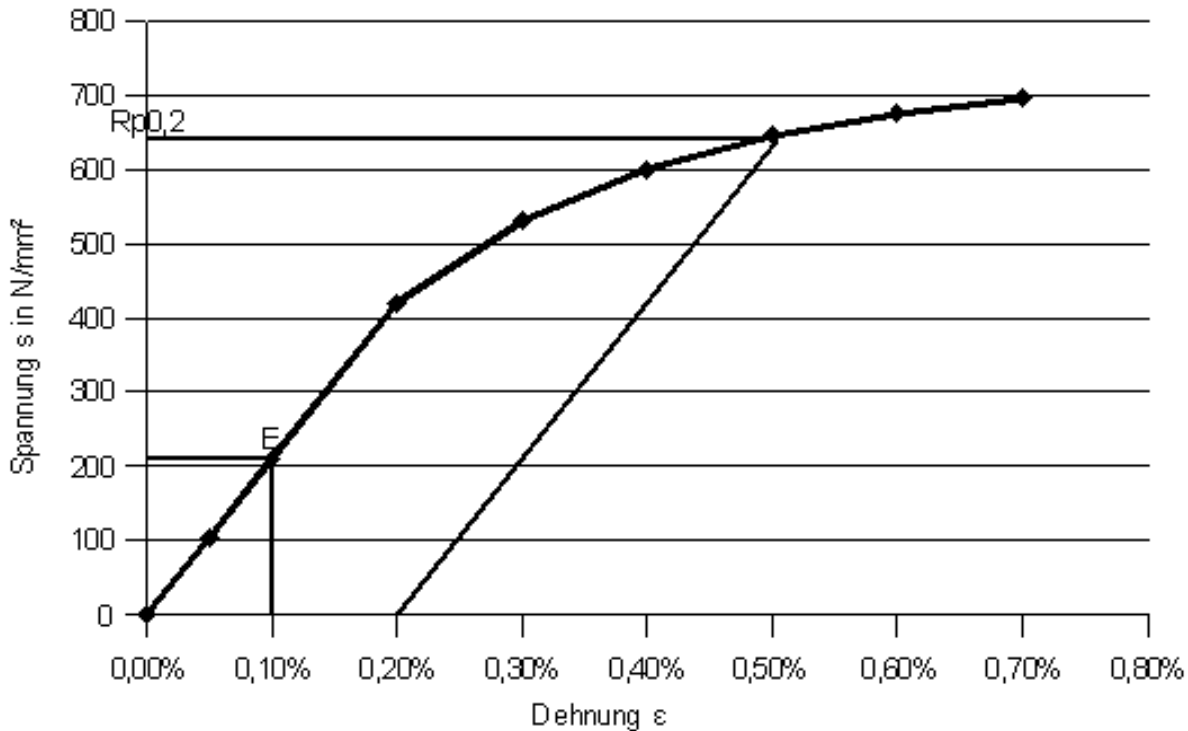
Teilaufgaben:

Punkte

1

1.1 Spannungs-Dehungs-Diagramm mit Eintragungen für die folgenden Aufgaben

4,5



Wertetabelle

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8
σ in N/mm ²	105	210	420	530	600	645	675	695
F in kN	33,0	66,0	132,0	166,5	188,5	202,6	212,1	218,3
ΔL in mm	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
ϵ in %	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70

Berechnungsbeispiel

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{S_0} = \frac{166,5 \text{ kN}}{314 \text{ mm}^2} = 530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_3 = \frac{\Delta L_3}{L_0} = \frac{0,30 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} \cdot 100 \% = 0,30 \%$$

mit

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2 \text{ mm}^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

$$L_0 = 5 \cdot d_0 = 5 \cdot 20 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

1.2 $R_{p0,2} = 640 \text{ N/mm}^2$ (abgelesen aus dem Diagramm)

3,0

Im Text zu 1. (im Original steht dieser Text vor 1.) wirkt die maximale Höchstzugkraft 90 kN auf die Zugstange, deren Maße nicht angegeben sind. In 1.2 ist nicht ausdrücklich angegeben, worauf die Höchstzugkraft $F_{\max} = 90 \text{ kN}$ wirken soll. Da man nur für die Zugprobe Maße hat, bleibt nichts anderes übrig, als F_{\max} auf $d_0 = 20 \text{ mm}$ zu beziehen.

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{S_0} = \frac{166,5 \text{ kN}}{314 \text{ mm}^2} = 530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_3 = \frac{\Delta L_3}{L_0} = 0,30 \frac{\text{mm}}{100 \text{ mm}} \cdot 100\% = 0,30\%$$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2 \text{ mm}^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

$$\frac{R_{p0,2}}{\nu} = \sigma_{\text{zzul}} > \sigma_z = \frac{F_{\text{Smax}}}{S_0} \rightarrow \nu = \frac{R_{p0,2} \cdot S_0}{F_{\text{Smax}}} = \frac{640 \text{ N/mm}^2 \cdot 314 \text{ mm}^2}{90 \text{ kN}} = 2,23$$

Das Rätsel wird erst in der folgenden Aufgabe aufgelöst. Zwar hatte ich mit dem Bezug auf die Zugprobe falsch geraten, aber die Rechnung kann stehen bleiben, weil es sich um denselben Durchmesser handelt.

1.3 Das E-Modul berechnet man mit einem Wertepaar σ und ϵ aus dem Bereich der hookeschen Geraden von Aufgabe 1.1.

3,5

$$\sigma = E \cdot \epsilon \rightarrow E = \frac{\sigma_3}{\epsilon_3} = \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,20\%} = 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

Die Verlängerung kann vollständig berechnet werden. Die Dehnung ϵ kann man auch aus dem Diagramm (Aufgabe 1.1) herauslesen.

$$S_S = \frac{\pi \cdot d_S^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2 \text{ mm}^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{S_S} = \frac{90 \text{ kN}}{314 \text{ mm}^2} = 286,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \rightarrow \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{286,5 \text{ N/mm}^2}{210 \text{ kN/mm}^2} = 0,00136$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l_S}{l_S} \rightarrow \Delta l_S = \epsilon \cdot l_S = 0,00136 \cdot 400 \text{ mm} = 0,546 \text{ mm}$$

2

2.1 Auf Härtemperatur bringen, Härtetemperatur halten, abschrecken und anlassen bei 300°C (aus Diagramm für 56HRC).

2,5

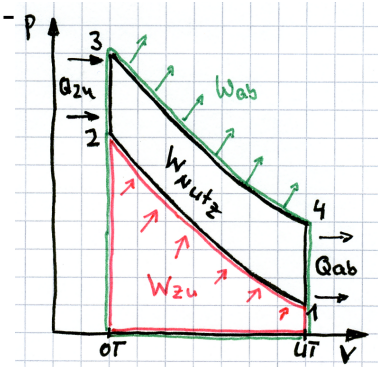
2.2 610 HV 5/30 bedeutet: Härte 610 nach dem Vickers-Verfahren mit der Prüfkraft $5 \times 9,81 \text{ N} = 49 \text{ N}$ (entspricht 5 kg) und der Einwirkdauer 30 Sekunden.

2,0

Nach der Umwertungstabelle sind 56 HRC und 610 HV vergleichbar, damit ist die geforderte Härte erreicht. (In älteren Ausgaben werden geringfügig abweichende Werte genannt)

3 Für Aufgabe 3 muss man den (vereinfachten) Kreisprozess eines Ottomotors auswendig kennen.

- 3.1 1-2: Verdichten (adiabat)
- 2-3: Verbrennen (isochor)
- 3-4: Arbeiten (adiabat)
- 4-1: Ausstoßen / Gaswechsel (isochor)



2,5

3.2 Die Kennzeichnung von w_{zu} ist nicht Teil der Aufgabe.

2,5

3.3 Adiabate Zustandsänderung 1-2

4,5

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1,005}{0,718} = 1,4$$

$$\left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1} \rightarrow V_2 = V_1 \cdot \left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{1}{\kappa}} = 125 \text{ cm}^3 \cdot \left[\frac{1 \text{ bar}}{15 \text{ bar}} \right]^{\frac{1}{1,4}} = 18,06 \text{ cm}^3$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left[\frac{p_2}{p_1} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = (20 + 273) \text{ K} \cdot \left[\frac{15 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} \right]^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 635,2 \text{ K}$$

Isochore Zustandsänderung 2-3

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \rightarrow p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 15 \text{ bar} \cdot \frac{(2000 + 273) \text{ K}}{635,2 \text{ K}} = 53,7 \text{ bar}$$

Da sogar ϑ_4 gegeben ist, könnten die Werte mit einem zusätzlichen Rechenschritt (p_4 aus p_1) auch „gegen den Uhrzeiger“ ermittelt werden.

3.4 Wärmebedarf je Takt

5,0

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T \rightarrow$$

$$m_{\text{Luft}} = \frac{P_1 \cdot V_1}{R_i \cdot T_1} = \frac{1 \text{ bar} \cdot 125 \text{ cm}^3}{0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (273 + 20) \text{ K}} = \frac{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 125 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{0,287 \frac{\text{J}}{\text{g}} \cdot 293} = 0,149 \text{ g}$$

$$Q_{23} = c_v \cdot m_{\text{Luft}} \cdot \Delta T = c_v \cdot m_{\text{Luft}} \cdot (T_3 - T_2) = 0,718 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 0,149 \text{ g} \cdot (2273 - 633) \text{ K} = 175 \text{ J}$$

Mit dem Heizwert H_u (aus dem Tabellenbuch) und der Dichte ρ von Benzin ergibt sich der Benzinbedarf je Takt:

$$H_u = \frac{Q}{m} \rightarrow m_{\text{Benzin pro Takt}} = \frac{Q_{23}}{H_u} = \frac{175 \text{ J}}{43 \text{ MJ/kg}} = 4,07 \text{ mg}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V_{\text{Benzin pro Takt}} = \frac{m_{\text{Benzin pro Takt}}}{\rho} = \frac{4,07 \text{ mg}}{0,75 \text{ kg/dm}^3} = 5,43 \text{ mm}^3$$

Da ein 4-Takt-Motor nur bei jeder 2. Kurbelwellen-Umdrehung Kraftstoff verbrennt, finden $n/2 = 1250/\text{min}$ Arbeitstakte pro Minute statt:

$$\dot{V}_{\text{Benzin}} = V_{\text{Benzin pro Takt}} \cdot \frac{n}{2} = 5,43 \text{ mm}^3 \cdot \frac{2500 \text{ Takte}}{2 \text{ min}} = 6,78 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 0,41 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

$\Sigma = 30,0$