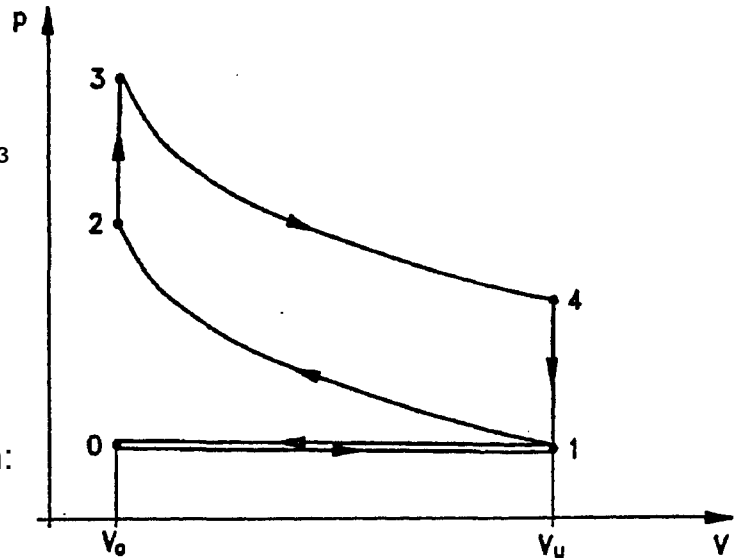


Ottomotor

Ein Ottomotor saugt ein Benzin-Luft-Gemisch ($\chi = 1,4$) mit einem Druck von $p_1 = 0,9 \text{ bar}$, $V_1 = 500 \text{ cm}^3$ und $\vartheta = 50^\circ\text{C}$ an. Dieses Gemisch wird auf $V_2 = 50 \text{ cm}^3$ verdichtet.

Das Vergleichsdiagramm besteht ab Zustand 1 aus zwei Adiabaten und zwei Isochoren.

Vergleichsdiagramm:



Teilaufgaben:	Punkte
1 Welche Masse m hat das Gemisch ($R_i = 0,287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$) ?	2,5
2 Berechnen Sie p_2 und T_2 .	3,0
3 Durch die Zündung und anschließende Verbrennung steigt die Temperatur von $T_2 = 811 \text{ K}$ auf $T_3 = 1973 \text{ K}$. Die Masse des Gemischs beträgt $m = 0,48 \text{ g}$	
3.1 Berechnen Sie die Drücke p_3 und p_4 , sowie die Temperatur T_4 .	4,5
3.2 Berechnen Sie die aufzuwendende Kompressionsarbeit und die Expansionsarbeit .	4,0
3.3 Bestimmen Sie die Nutzarbeit .	2,0
4 Beschreiben Sie den Vorgang zwischen den Punkten 0 und 1 im Vergleichsdiagramm .	2,0
5 Der Motor treibt eine Wasserpumpe an, die einen Hochbehälter füllt. Abgegebene Motorleistung: $P_M = 8 \text{ kW}$ Förderhöhe: $h = 15 \text{ m}$ Pumpenwirkungsgrad: $\eta_P = 0,7$ Wirkungsgrad der Leitungen: $\eta_L = 0,9$	
5.1 Berechnen Sie das maximal mögliche Fördervolumen pro Minute .	4,0
5.2 Der Behälter fasst ein Volumen von $V_H = 10 \text{ m}^3$. Berechnen Sie die Füllzeit.	1,0

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma = 22,5$

Lösungsvorschlag

Teilaufgaben: Punkte

1 $p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T \rightarrow$ 2,0

$$m = \frac{p_1 \cdot V_1}{R_i \cdot \vartheta} = \frac{0,9 \text{ bar} \cdot 500 \text{ cm}^3}{0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (273+50) \text{ K}} = \frac{0,9 \frac{10 \text{ N}}{\text{cm}^2} \cdot 500 \text{ cm}^3}{287 \text{ N m} \cdot 323} \cdot \text{kg} = \underline{0,485 \text{ g} = m}$$

2 für einen adiabaten Prozess gilt: 3,0

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa-1} \rightarrow$$

$$p_2 = p_1 \cdot \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{\kappa} = 0,9 \text{ bar} \cdot \left[\frac{500 \text{ cm}^3}{50 \text{ cm}^3} \right]^{1,4} = \underline{22,6 \text{ bar} = p_2}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{\kappa-1} = (273+50) \text{ K} \cdot \left[\frac{500 \text{ cm}^3}{50 \text{ cm}^3} \right]^{1,4-1} = \underline{811,3 \text{ K} = 538,2^\circ \text{ C} = T_2}$$

Hinweis: V_1 entspricht nicht dem Hubraum, sondern Hubraum plus Verdichtungsraum.

3

3.1 Wenn man die Teilaufgaben unabhängig lösen möchte, muss man p_3 mit dem idealen Gasgesetz berechnen: 4,5

$$p_3 \cdot V_3 = m \cdot R_i \cdot T_3 \rightarrow$$

$$p_3 = \frac{m \cdot R_i \cdot T_3}{V_3} = \frac{0,48 \text{ g} \cdot 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 1973 \text{ K}}{50 \text{ cm}^3} = 5,436 \frac{\text{Nm}}{\text{cm}^3} = 543,6 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = \underline{54,4 \text{ bar} = p_3}$$

Einfacher kann man p_3 mit dem Zwischenergebnis aus Aufgabe 2 und dem isochoren Prozess berechnen:

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \rightarrow p_3 = \frac{p_2 \cdot T_3}{T_2} = 22,6 \text{ bar} \cdot \frac{1973 \text{ K}}{811,3 \text{ K}} = \underline{55,0 \text{ bar} = p_3}$$

Hinweis: Die Ergebnisse unterscheiden sich etwas, weil die Zwischenergebnisse nicht ganz genau vorgegeben wurden. Beide Lösungen sind aber gleichwertig.

p_4 und T_4 berechnet man wieder mit der adiabaten Zustandsänderung

$$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{V_3 = V_2}{V_4 = V_1} \right)^{\kappa} = 54,4 (55,0) \text{ bar} \cdot \left(\frac{50 \text{ cm}^3}{500 \text{ cm}^3} \right)^{1,4} = \underline{2,2 \text{ bar} = p_4}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa-1} = 1973 \text{ K} \cdot \left(\frac{50 \text{ cm}^3}{500 \text{ cm}^3} \right)^{1,4-1} = \underline{785,5 \text{ K} = 512,3^\circ \text{ C} = T_4}$$

3.2 Kompressionsarbeit W_{12} :

4,0

$$W_{12} = -\frac{m \cdot R_i}{1-\kappa} \cdot [T_2 - T_1] = -\frac{0,48 \text{ g} \cdot 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}}{1-1,4} \cdot [811 \text{ K} - (273+50) \text{ K}] = \underline{+168,1 \text{ J} = W_{12}}$$

Expansionsarbeit W_{34} :

$$W_{34} = -\frac{m \cdot R_i}{1-\kappa} \cdot [T_3 - T_4] = -\frac{0,48 \text{ g} \cdot 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}}{1-1,4} \cdot [785,5 \text{ K} - 1973 \text{ K}] = \underline{-409,0 \text{ J} = W_{34}}$$

Der Weg über die Temperaturdifferenzen ist der jeweils Schnellste, aber es geht auch mit den Verhältnissen der Volumina oder der Drücke.

3.3 $W_{Nutz} = W_{12} + W_{34} = 168,1 \text{ J} - 409,0 \text{ J} = \underline{-240,9 \text{ J} = W_{Nutz}}$

2,0

4 Zwischen den Punkten 0 und 1 im Vergleichsdiagramm findet der Gaswechsel statt. Von 1 bis 0 wird das Abgas bei geöffnetem Auslassventil und geringem Überdruck hinaus geschoben. Von 0 bis 1 wird Frischgas bei geöffnetem Einlassventil und geringem Unterdruck angesogen.

2,0

5

5.1 Die Formel kann man aus der Grundgleichung für die Leistung herleiten:

4,0

$$P_{Pumpe} = P_M \cdot \eta_P \cdot \eta_L = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} \quad \text{mit} \quad F = m_{H_2O} \cdot g = V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g$$

Die Kraft F ist hier die Gewichtskraft des Wassers in den Leitungen.

Mit der Förderhöhe h für den Weg s und $N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ ergibt sich das mögliche Fördervolumen als Volumenstrom \dot{V} .

$$P_M \cdot \eta_P \cdot \eta_L = \frac{V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h}{t} \rightarrow$$

$$\dot{V} = \frac{V_{H_2O}}{t} = \frac{P_M \cdot \eta_P \cdot \eta_L}{\rho_{H_2O} \cdot g \cdot h} = \frac{8000 \text{ W} \cdot 0,7 \cdot 0,9}{1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 15 \text{ m}} = 33,6 \frac{\frac{\text{Nm}}{\text{s}}}{\frac{\text{N}}{\text{dm}^3} \cdot \text{m}} = 33,6 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 33,6 \cdot 60 \frac{\text{dm}^3}{60 \text{ s}} = 2016 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \approx 2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = \dot{V}$$

5.2 $\dot{V} = \frac{V_H}{t} \rightarrow t = \frac{V_H}{\dot{V}} = \frac{10 \text{ m}^3}{2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = \underline{5 \text{ min} = t}$

1,0

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma = 22,5$