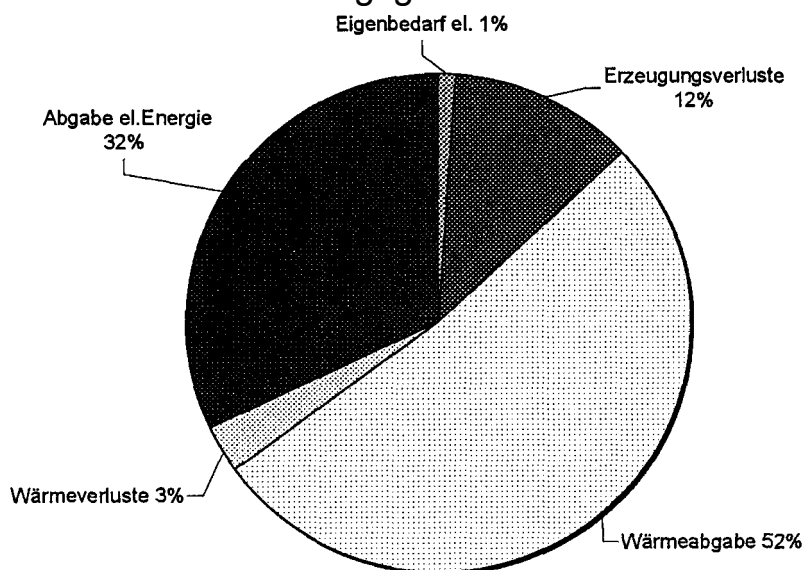


Versorgung einer Stadt mit Energie

Die Stadtwerke einer süddeutschen Kleinstadt mit 22000 Einwohnern und meist kleineren Gewerbebetrieben verkaufen insgesamt jährlich 74 Mio kWh elektrische Energie. Sie kaufen den größten Teil davon auf dem internationalen Strommarkt ein. Die Stadtwerke betreiben auch ein erdgasbetriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) und eine Photovoltaikanlage.

- | Teilaufgaben | Punkte |
|--|--------|
| <p>1 Wie viele Liter Öl müssten insgesamt und je Einwohner verbrannt werden, wenn die gesamte verkaufte Energiemenge in einem ölbeheizten Großkraftwerk erzeugt würde. Der Wirkungsgrad des Kraftwerks betrage 33 %, die Transportverluste 4 % sowie der Eigenbedarf 2 %.</p> <p>Der Heizwert für das Öl beträgt 37 MJ/kg, seine Dichte 0,9 kg/dm³.</p> | 3,5 |
| <p>2 Die Photovoltaikanlage hat eine wirksame Fläche von 300 m². Die Sonne scheint durchschnittlich 1100 Stunden pro Jahr mit einer Strahlungsleistung von 1000 W/m². Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage beträgt 11 %. Wie viel Prozent trägt die Photovoltaikanlage zur gesamten verbrauchten Energiemenge bei ?</p> | 2,5 |
| <p>3 Die Stadtwerke haben für ihr Blockheizkraftwerk das unten dargestellte Diagramm veröffentlicht. Erstellen Sie daraus ein Energieflussschaubild und beschriften Sie dieses. Stellen Sie darin die Primärenergie und die Nutzenergie dar. Geben Sie den Gesamtwirkungsgrad des BHKWs an.</p> | 3,0 |



- | | |
|--|-----|
| 4 Erläutern Sie Vor- und Nachteile von Blockheizkraftwerken. | 2,5 |
|--|-----|

- 5 Das Blockheizkraftwerk besteht aus fünf baugleichen Erdgasmotoren.
 Daten je Motor:
- | | |
|--|----------------------|
| Verfahren: | 4-Takt-Otto |
| maximales Gasvolumen je Zylinder: | 1902 cm ³ |
| Verdichtungsverhältnis ε : | 12,5 |
| Temperatur der angesaugten Luft: | 40 °C |
| höchste Gastemperatur: | 1755 K |
| Druck nach der Verdichtung: | 34,3 bar |
| Höchstdruck: | 70 bar |
| Druck nach der Expansion: | 2 bar |
| elektrische Leistung: | 180 kW |
| Jahresauslastung: | 43 % |

Das angesaugte Gas-Luft-Gemisch soll die gleichen Eigenschaften wie reine Luft haben.

- 5.1 Der idealisierte Otto-Kreisprozess (Vergleichsprozess) besteht aus zwei Adiabaten und zwei Isochoren. 4,5
 Zeichnen Sie das p,V-Diagramm maßstäblich unter Berücksichtigung der oben gegebenen Daten.
 Nummerieren Sie die Eckpunkte in der Reihenfolge des Kreisprozesses beginnend mit dem Kompressionsvorgang.
 Kennzeichnen Sie die Wärmezufuhr und -abfuhr sowie die Nutzarbeit.
- 5.2 Berechnen Sie die Gastemperatur am Ende des Verdichtungsstaktes. 2,0
- 5.3 Ermitteln Sie die aufzuwendende spezifische Arbeit in kJ/kg beim Kompressionsvorgang, wenn dabei eine Temperatur von 860 K erreicht wird. Berechnen Sie die abgegebene spezifische Arbeit beim Arbeitstakt und die spezifische Nutzarbeit in kJ/kg. 4,5

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

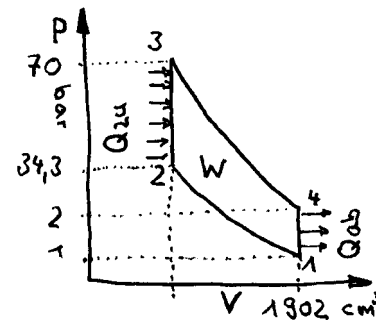
22,5

Lösungsvorschlag

Teilaufgaben	Punkte
<p>1</p> $\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 33\% \cdot (1 - 4\%) \cdot (1 - 2\%) = 0,33 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 0,31$ $\eta_{ges} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} \rightarrow \frac{74 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{0,31} = 238 \cdot 10^6 \text{ kWh}$ $W_{zu} = m_{ges} \cdot H = \rho \cdot V_{ges} \cdot H \rightarrow$ $V_{ges} = \frac{W_{zu}}{\rho \cdot H} = \frac{238 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 3600 \text{ s}}{0,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 37 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = \frac{238 \cdot 10^6 \cdot 3600 \text{ kWs}}{0,9 \cdot 37000 \text{ kJ}} \text{ dm}^3 = 25,8 \cdot 10^6 \text{ dm}^3$ $V_{Einw} = \frac{V_{ges}}{n_{Einw}} = \frac{25,8 \cdot 10^6 \text{ dm}^3}{22000} = 1173 \text{ l Öl pro Einwohner und Jahr}$	3,5
<p>2</p> $P_{zu} = \frac{P_{Sonne}}{\text{Fläche}} \cdot \text{Kollektorfläche} = \frac{1000 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot 300 \text{ m}^2 = 300 \text{ kW}$ $W_{zu} = P_{zu} \cdot t = 300 \text{ kW} \cdot 1100 \text{ h} = 330 \text{ MWh}$ $W_{Solarstrom} = W_{zu} \cdot \eta = 330 \text{ MWh} \cdot 11,11\% = 36,3 \text{ MWh}$ $\text{Anteil} = \frac{W_{Solarstrom}}{W_{ges}} = \frac{36,3 \text{ MWh}}{74 \cdot 10^6 \text{ kWh}} = 0,00049 = 0,049\%$	2,5
<p>3</p>	3,0
<p>4</p> <p>Blockheizkraftwerke erreichen einen hohen Gesamtwirkungsgrad, weil die Abwärme genutzt wird, z.B. zur Heizung oder für Industrieprozesse.</p> <p>Um die Verluste beim Wärmetransport gering zu halten, liegen BHKW meist in der Nähe der Wärmenutzer. Dadurch können sie die Nutzer durch Emissionen beeinträchtigen und sind in ihrer Größe begrenzt. Kleine dezentrale Kraftwerke haben den Vorteil, dass sie wenig Kapital erfordern, dass von ihnen geringere Gefahren ausgehen und dass ihr Ausfall leicht kompensiert werden kann.</p>	2,5

5

5.1 $\epsilon = \frac{V_{max}}{V_{min}} \rightarrow V_{min} = \frac{V_{max}}{\epsilon} = \frac{1902 \text{ cm}^3}{12,5} = 152,16 \text{ cm}^3$



4,5

5.2 $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow$

$T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot V_1} = (273 + 40) \text{ K} \cdot \frac{34,3 \text{ bar} \cdot 152,16 \text{ cm}^3}{1 \text{ bar} \cdot 1902 \text{ cm}^3} = 859 \text{ K} = 586 \text{ }^\circ\text{C}$

2,0

5.3

$w_{12} = \frac{W_{12}}{m} = -\frac{m \cdot R_i \cdot T_1}{m \cdot (1 - \kappa)} \cdot \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa - 1} - 1 \right] = -\frac{R_i \cdot T_1}{1 - \kappa} \cdot [\epsilon^{\kappa - 1} - 1]$
 $= -\frac{0,287 \text{ kJ/kgK} \cdot (40 + 273) \text{ K}}{1 - 1,4} \cdot [12,5^{1,4 - 1} - 1] = 392 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = w_{12}$

4,5

$w_{34} = \frac{W_{34}}{m} = -\frac{m \cdot R_i \cdot T_3}{m \cdot (1 - \kappa)} \cdot \left[\left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa - 1} - 1 \right] = -\frac{R_i \cdot T_3}{1 - \kappa} \cdot \left[\left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{\kappa - 1} - 1 \right]$
 $= -\frac{0,287 \text{ kJ/kgK} \cdot 1755 \text{ K}}{1 - 1,4} \cdot \left[\left(\frac{1}{12,5} \right)^{1,4 - 1} - 1 \right] = -801 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = w_{34}$

$w_{Nutz} = w_{12} + w_{34} = 392 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 801 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -409 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = w_{Nutz}$

Andere Formeln sind möglich, können aber leicht abweichende Ergebnisse liefern.

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

22,5