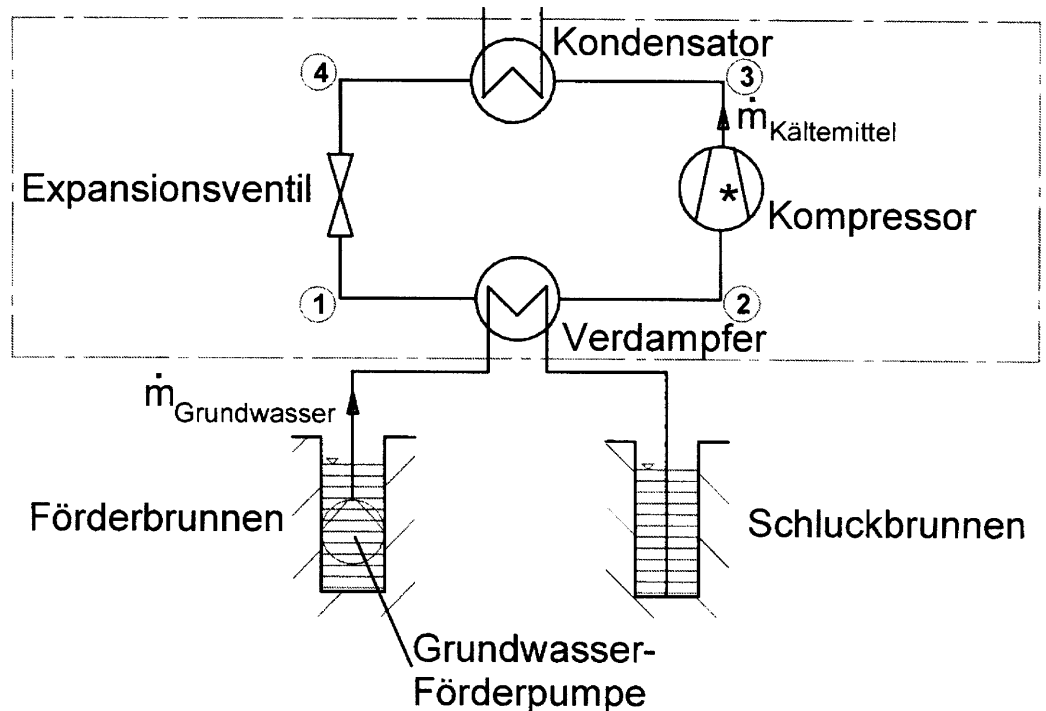




tgt HP 2007/08-2: Heizungsanlage

Ein Wohngebäude wird durch eine Warmwasserheizung beheizt und erfordert eine maximale Wärmeleistung von 50 kW.

Wärmepumpe



Anlagenschema

Stoffwerte für leichtes Heizöl:	Dichte:	$\rho = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$
	Heizwert:	$H_u = 11,83 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$

Teilaufgaben:		Punkte
1	<p>Ölheizung</p> <p>Wie viele Liter leichtes Heizöl müssen pro Stunde maximal verbrannt werden, wenn der Wirkungsgrad des Heizkessels 94% beträgt?</p>	2,5
2	<p>Wärmepumpenheizung</p> <p>Im Rahmen einer Modernisierungsmaßnahme soll die Ölheizung durch eine Wärmepumpe ersetzt werden. Die Wärmepumpe nutzt hierbei die Wärme des Grundwassers.</p>	
2.1	<p>Übertragen Sie die Punkte 1 bis 4 des Anlagenschemas in das T-s-Diagramm auf dem Arbeitsblatt.</p> <p>In der Wärmepumpe durchläuft das Kältemittel einen Prozess, der im Zustandsdiagramm auf dem Arbeitsblatt eingetragen ist.</p>	2,0
2.2	<p>Erläutern Sie, wie Wärme vom niedrigeren Temperaturniveau des Grundwassers zum höheren Temperaturniveau der Heizanlage „gepumpt“ wird.</p>	5,0
2.3	<p>Kennzeichnen Sie im T-s-Diagramm die vom Kältemittel dem Grundwasser entnommene spezifische Wärmemenge q_{verd} und die vom Kältemittel der Heizungsanlage zugeführte spezifische Wärmemenge q_{kond}.</p> <p>Ermitteln Sie näherungsweise q_{verd} und q_{kond}.</p>	2,5



- 2.4 Die Energiebilanz der Wärmepumpe ergab die folgenden Werte: 3,0
 Spezifische Wärmemenge Verdampfer:

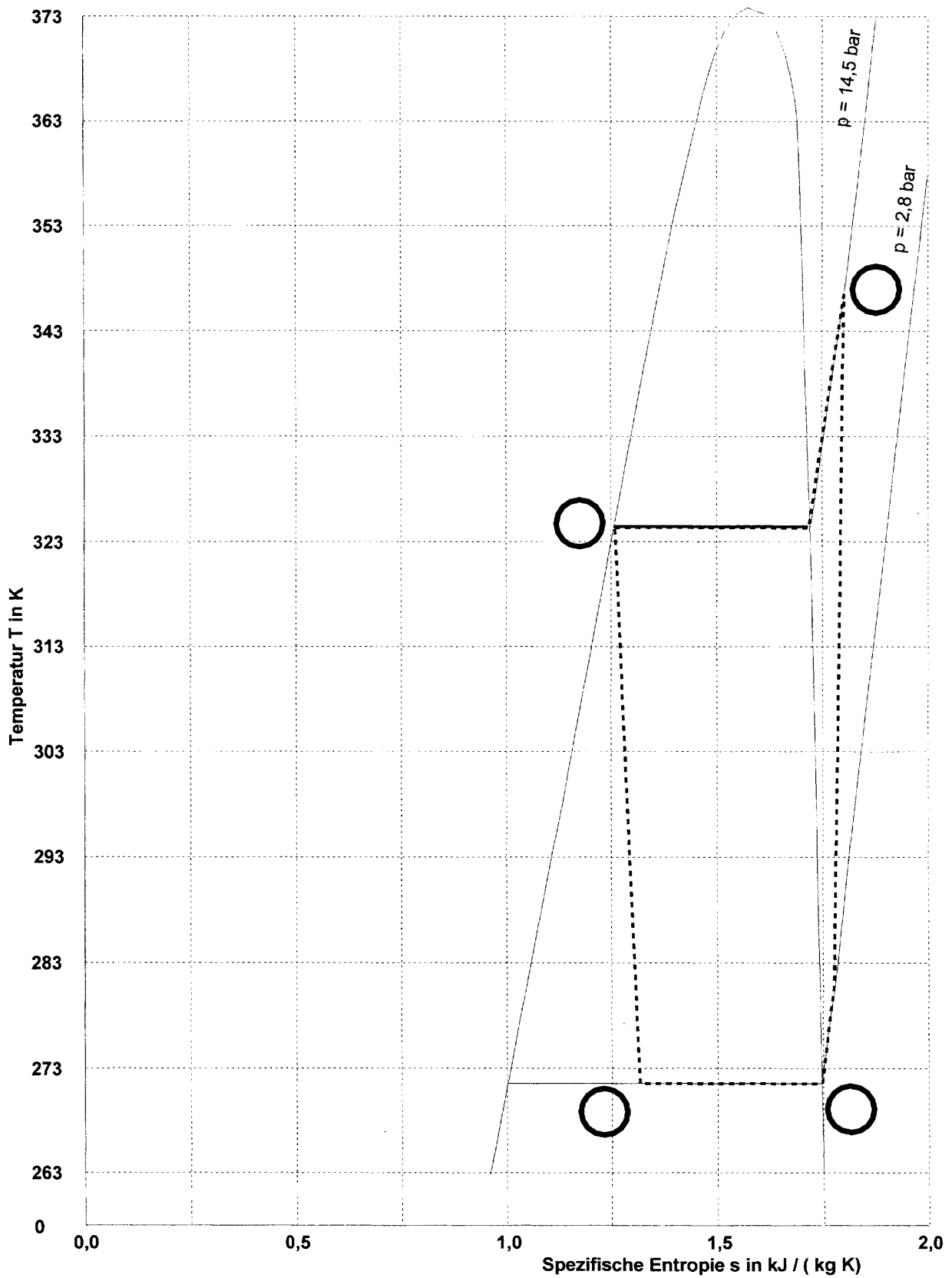
$$q_{\text{verd}} = +122 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$
 Spezifische Wärmemenge Kondensator:

$$q_{\text{kond}} = -176 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$
 Berechnen Sie die spezifische Arbeit, die dem Kompressor zugeführt werden muss.
- 2.5 Welche Masse an Kältemittel muss pro Stunde umgewälzt werden, um die 5,0
 Wärmeleistung von 50 kW zu erzeugen bei $|q_{\text{kond}}| = 176 \text{ kJ/kg}$? Welche Leistung
 gibt hierbei der Verdichter ab?
- 3 Stromerzeugung
 Die Wärmepumpenanlage nimmt 15 kW elektrische Leistung auf. Diese wird in
 einem Wärmekraftwerk mit einem Gesamtwirkungsgrad von 38% erzeugt. Auf dem
 Übertragungsweg zwischen Kraftwerk und Gebäude ist mit Gesamtverlusten in
 Höhe von 30 % zu rechnen.
- 3.1 Skizzieren Sie die Kette der einzelnen Baugruppen eines Wärmekraftwerks in Form 5,0
 eines Blockschaltbilds und geben Sie die dabei auftretenden Energieformen an.
- 3.2 Welche Wärmemenge muss pro Stunde im Kraftwerk für den Betrieb der 3,0
 Wärmepumpenanlage erzeugt werden?
- 3.3 Wie viele Liter leichtes Heizöl müssten hierzu pro Stunde verbrannt werden? 2,0
-
- $\Sigma = 30,0$



Arbeitsblatt zu 2.1 und 2.3

T-s-Diagramm des Kältemittels





Lösungsvorschlag

Teilaufgaben:

Punkte
2,5

1 Alle Berechnungen sind auf 1 Stunde bezogen.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \rightarrow P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta} = \frac{50 \text{ kW}}{94\%} = 53,19 \text{ kW}$$

$$W_{zu} = P_{zu} \cdot t = 53,19 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 53,19 \text{ kWh}$$

$$H_u = \frac{W}{m} \rightarrow m = \frac{W_{zu}}{H_u} = \frac{53,19 \text{ kWh}}{11,83 \text{ kg/dm}^3} = 4,50 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V_{öl} = \frac{m}{\rho} = \frac{4,50 \text{ kg}}{0,86 \text{ kg/dm}^3} = 5,2 \text{ l}$$

Es müssen 5,3 l leichtes Heizöl pro Stunde verbrannt werden, um die maximale Wärmeleistung zu liefern.

2

2.1 siehe Ausschnitt rechts

Dampfprozess im T,s-Diagramm (Kältemittel)

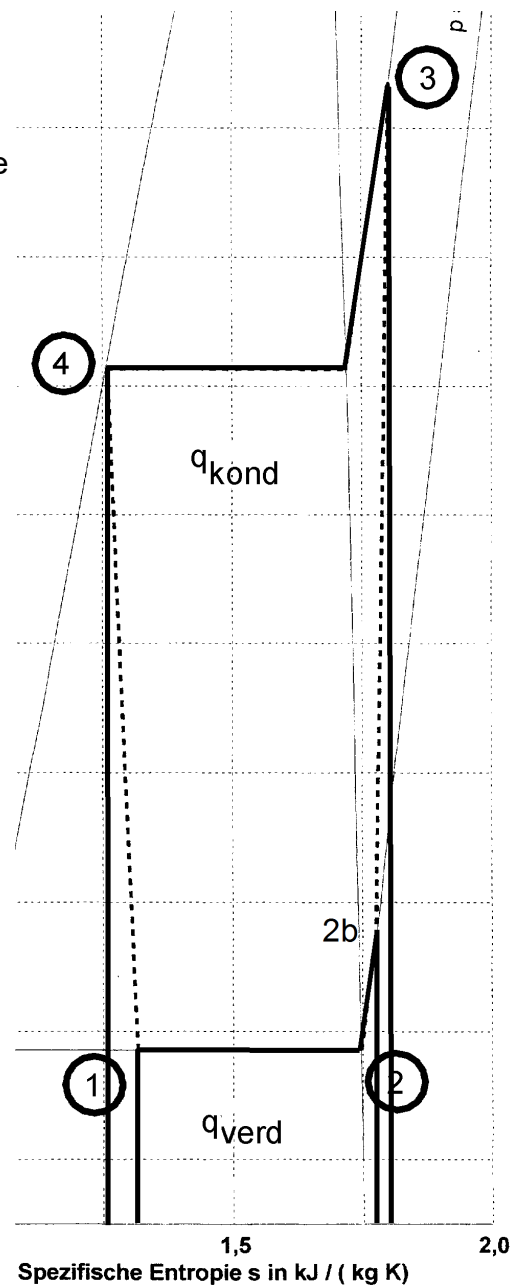
2.2 1 -> 2: Im Verdampfer nimmt das Kältemittel Wärme aus dem Grundwasser isobar auf, verdampft vollständig bei knapp 0°C und überhitzt.

2 -> 3: Das Kältemittel wird durch Pumpen verdichtet. Dabei steigt sein Druck auf 14,5 bar und seine Temperatur auf 345K (72°C)

3 -> 4: Im Kondensator gibt das Kältemittel Wärme isobar an die Umgebung ab und wird dabei wieder flüssig.

4 -> 1: Im Expansionsventil wird das Kältemittel entspannt. Dabei fällt die Temperatur wieder auf knapp 0°C und der Druck auf 2,8 bar.

Dampfprozess beschreiben (Kältemittel)



2,0

5,0



- 2.3 Auch nach dem Punkt 2 verläuft der Prozess bis zur Spitze 2b auf der Isobaren (2,8 bar). Da reine Verdichtung keine isobaren Zustandsänderungen erzeugen kann, muss der Abschnitt 2 – 2b durch Wärmezufuhr im Verdampfer bewirkt und zu q_{verd} (q_{zu}) gerechnet werden.

2,5

$$\begin{aligned}
 q_{\text{verd}} &= T_1 \cdot (s_2 - s_1) + \frac{T_2 + T_{2b}}{2} \cdot (s_{2b} - s_2) \\
 &= 271 \text{ K} \cdot (1,75 - 1,3) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} + \frac{271 + 280}{2} \text{ K} \cdot (1,8 - 1,75) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \\
 &= 135,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 q_{\text{kond}} &= \frac{T_3 + T_4}{2} \cdot (s_{3b} - s_3) + T_4 \cdot (s_4 - s_{3b}) \\
 &= \frac{346 + 325}{2} \text{ K} \cdot (1,7 - 1,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} + 325 \text{ K} \cdot (1,25 - 1,7) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \\
 &= -180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

Dampfprozess berechnen (Kältemittel)

2.4 $q_{\text{verd}} + q_{\text{kond}} + w_{\text{komp}} = 0 \rightarrow w_{\text{komp}} = -q_{\text{verd}} - q_{\text{kond}} = -122 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - (-176) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ 3,0

- 2.5 Alle Berechnungen sind auf 1 Stunde bezogen 5,0

$$W_{\text{ab}} = P_{\text{ab}} \cdot t = 50 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 50 \text{ kWh}$$

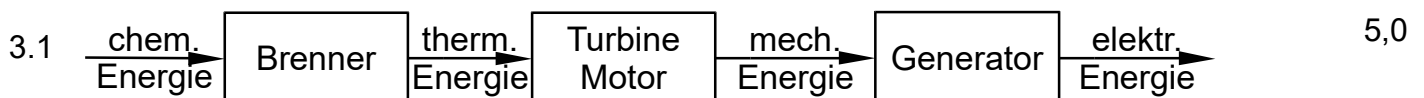
$$q_{\text{kond}} = \frac{W_{\text{ab}}}{m} \rightarrow m_{\text{Kältemittel}} = \frac{W_{\text{ab}}}{|q_{\text{kond}}|} = \frac{50 \text{ kWh}}{|-176 \text{ kJ/kg}|} = 1023 \text{ kg}$$

Es müssen ca. 1022 kg Kältemittel pro Stunde durch die Anlage gepumpt werden.

$$P_{\text{komp}} = \frac{w_{\text{komp}} \cdot m}{t} = \frac{54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 1023 \text{ kg}}{\text{h}} = 15,3 \text{ kW}$$

Dazu sind 15,3 kW Pumpenleistung erforderlich

3



- 3.2 Alle Berechnungen sind auf 1 Stunde bezogen 3,0

$$P_{\text{zu}} = \frac{P_{\text{ab}}}{\eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{15 \text{ kW}}{38\% \cdot (1 - 30\%)} = 56,4 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{zu}} = P_{\text{zu}} \cdot t = 56,4 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 56,4 \text{ kWh} = 56,4 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 203 \text{ MJ}$$

3.3 $Q_{\text{zu}} = H_u \cdot m \rightarrow m = \frac{Q_{\text{zu}}}{H_u} = \frac{203,04 \text{ MJ}}{40 \text{ MJ/kg}} = 5,076 \text{ kg}$ 2,0

$$V_{\text{öl}} = \frac{m}{\rho} = \frac{5,076 \text{ kg}}{0,83 \text{ kg/dm}^3} = 6,11 \text{ l}$$

Im Wärmekraftwerk müssen 6,1l leichtes Heizöl pro Stunde verbrannt werden.

$\Sigma = 30,0$