

Rationelle Energienutzung

Klausur zur Diplom-Hauptprüfung, 12. September 2013

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: **8** nummerierte Seiten;

Das Skript und Ihre Mitschrift der Vorlesung „Rationelle Energienutzung“ und Lehrbücher sind als Hilfsmittel zugelassen.

Die Aufgaben 1 bis 3 bearbeiten Sie bitte auf separaten Papierbögen (werden ausgestellt).

Geben Sie diese Aufgabenstellung bitte zusammen mit Ihren Lösungsblättern ab. Füllen Sie die Angaben zu Ihrer Person aus und versehen Sie jedes Lösungsblatt mit Ihrem Namen.

Name:

Vorname:

Matrikelnummer:

Unterschrift:

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrekteur
1	12		
2	18		
3	21		
	Summe		
	Bewertung		

Aufgabe 1 (12 P)

Durch den Einsatz moderner Baumaterialien zur Wärmeisolierung von Wohnhäusern lässt sich bei einem Neubau im Vergleich zum Altbau ein großer Teil der Heizkosten einsparen. Für ein typisches Einfamilienhaus wurden für die gesamte Wandfläche A_W und die gesamte Fensterfläche A_F die folgenden Werte bestimmt:

$$\text{Wandfläche: } A_W = 362,5 \text{ m}^2 \quad \text{Fensterfläche: } A_F = 41,5 \text{ m}^2$$

Für die Wärmedurchgangskoeffizienten k_W der Wandfläche und k_F der Fensterfläche können folgende Werte angenommen werden:

<u>Altbau:</u>	<u>Neubau:</u>
$k_{W,alt} = 1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$k_{W,neu} = 0,25 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
$k_{F,alt} = 3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	$k_{F,neu} = 0,4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Die mittlere Innentemperatur θ_i beträgt im gesamten Wohnraum 20 °C.

- a) Berechnen Sie jeweils den Gesamtwärmestrom $\dot{Q}_{ges,alt}$ für den Altbau und $\dot{Q}_{ges,neu}$ für den Neubau, der bei einer Außentemperatur θ_a von -10 °C und 5 °C an die Umgebung abgegeben wird. (4 P)
- b) Geben Sie an, um wie viel Prozent sich der Wärmestrom $\dot{Q}_{ges,alt}$ des Altbaus durch moderne Bauweise (Neubau) reduzieren lässt. (1 P)
- c) Berechnen Sie für den Neubau den jährlichen Gesamtwärmebedarf $Q_{ges,neu}(\Delta t = 1 \text{ Jahr})$ in kWh der durch die Heizung gedeckt werden muss. Nehmen Sie dabei an, dass die Außentemperatur θ_a an 60 Tagen im Jahr im Mittel -10 °C und an 120 Tagen im Mittel 5 °C beträgt. An den restlichen Tagen ist die Außentemperatur im Mittel größer oder gleich der Innentemperatur (kein Beitrag zum Wärmebedarf). (2 P)
- d) Um weitere Heizkosten sparen zu können, soll der gesamte Wärmebedarf $Q_{ges,neu}$ des Neubaus (vgl. Aufgabenteil c)) durch Solarenergie gedeckt werden. Berechnen Sie die dafür erforderliche Kollektorfläche in ganzen Quadratmetern (m^2). Nehmen Sie folgenden Wert für die übers Jahr gemittelte, von der Sonne eingestrahelte Solarenergie pro Fläche q_{solar} an:

$$q_{solar} = 1034 \frac{kWh}{m^2}$$

Gehen Sie des Weiteren davon aus, dass nur 70 % der eingestrahelten Solarenergie tatsächlich eingesammelt werden können. (2 P)

e) Damit die vorwiegend im Sommer eingesammelte Solarenergie dann bereit steht wenn sie gebraucht wird (im Winter), muss sie gespeichert werden. Die Speicherung der Wärme wird durch das Aufschmelzen eines sogenannten *Phase Change Materials* (PCM) realisiert. Hierfür stehen zwei Materialien zur Auswahl: Wasser (Eis) und Salzhydrat.

Zum Aufschmelzen des PCM muss die Schmelzenthalpie des Materials aufgewendet werden. Folgende Werte können für die Schmelzenthalpie $\Delta h_{Schmelz}$ und die Dichte ρ der zur Verfügung stehenden Materialien angenommen werden:

Wasser:

$$\Delta h_{Schmelz,W} = 333 \frac{kJ}{kg}$$

$$\rho_W = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Salzhydrat:

$$\Delta h_{Schmelz,SH} = 240 \frac{kJ}{kg}$$

$$\rho_{SH} = 1300 \frac{kg}{m^3}$$

Berechnen Sie für beide Speichermaterialien die benötigte Masse m_W (Wasser) und m_{SH} (Salzhydrat) um die gesamte Wärmemenge (eingesammelte Solarenergie, vgl. Aufgabenteil d)) speichern zu können. Wie groß ist jeweils das Volumen V_W und V_{SH} der Wärmespeicher? (3 P)

Aufgabe 2 (18 P)

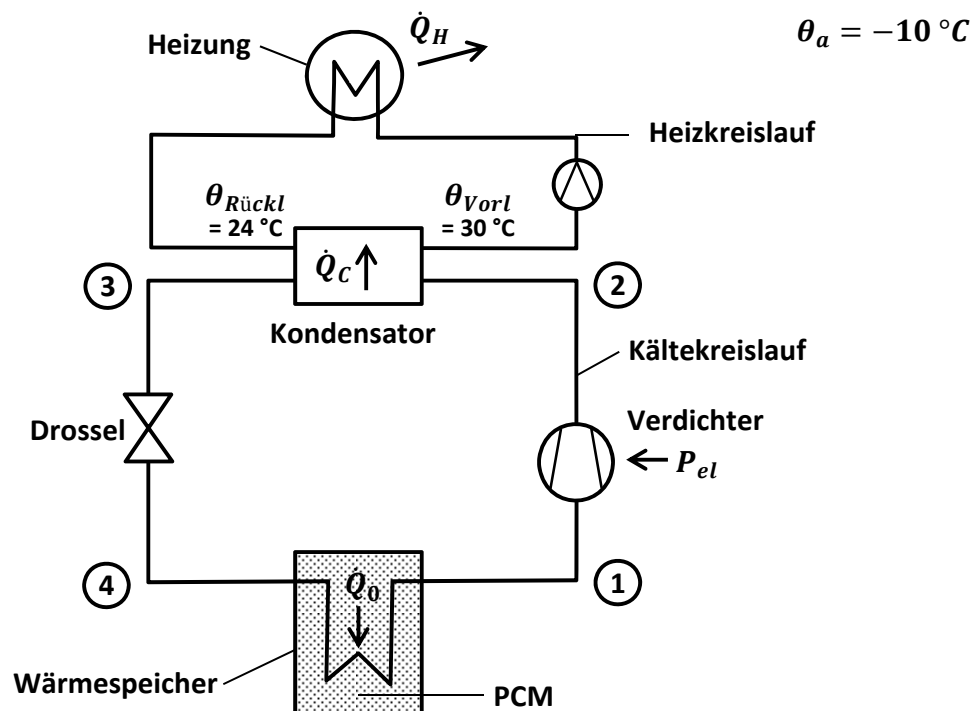
Der Wärmebedarf eines Wohnhauses soll im Winter durch eine Kombination aus Wärmepumpe und Wärmespeicher gedeckt werden. Das Kältemittel R134a der Wärmepumpe verdampft bei einer Temperatur θ_{KM} , die 3 Kelvin unter der Schmelztemperatur $\theta_{Schmelz,PCM}$ des eingesetzten *Phase Change Material* (PCM) des Wärmespeichers liegt. Das PCM gefriert und gibt dabei seine gespeicherte Wärme an den Kältekreislauf ab. Die Schmelztemperaturen der beiden zur Auswahl stehenden PCM's (Wasser, Salzhydrat) sind gegeben durch:

Wasser:

$$\theta_{Schmelz,W} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Salzhydrat:

$$\theta_{Schmelz,SH} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$$



Bei einer Kondensationstemperatur θ_c von $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ kondensiert das Kältemittel und gibt den Wärmestrom \dot{Q}_c an den Heizkreislauf ab. Die Umgebungstemperatur θ_a beträgt $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 1 \rightarrow 2: irreversibel adiabate Verdichtung vom Zustand 1 (gesättigter Dampf, nicht überhitzt).
- 2 \rightarrow 3: isobare Wärmeabfuhr in einem Kondensator bis zur Siedelinie (keine Unterkühlung). Dabei wird der Wärmestrom \dot{Q}_c vom Kältemittel an den Heizkreislauf übertragen.
- 3 \rightarrow 4: adiabate Drosselung auf den Druck $p_4 = p_1$.
- 4 \rightarrow 1: vollständige, isobare Verdampfung des Kältemittels durch Aufnahme des Wärmestroms \dot{Q}_0 aus dem Wärmespeicher.

Verwenden Sie zur Lösung der Aufgabenteile a) bis c) die in Tabelle 1 angegebenen Stoffdaten für das Kältemittel R134a. Für Aufgabenteil c) werden außerdem die in Tabelle 2 angegebenen Stoffdaten für Wasser benötigt.

a) Wie groß muss der Massenstrom $\dot{m}_{KM,W}$ des Kältemittels beim Einsatz von Wasser als PCM im Wärmespeicher sein, wenn die Wärmepumpe einen maximalen Wärmestrom von $\dot{Q}_C = 5 \text{ kW}$ bereitstellen soll und dafür eine Antriebsleistung von $P_{el} = 0,93 \text{ kW}$ im Verdichter aufgebracht werden muss? (3 P)

b) Bestimmen Sie die Leistungszahlen der Wärmepumpe $\epsilon_{WP,W}$ und $\epsilon_{WP,SH}$ für den Fall, dass Wasser bzw. Salzhydrat als PCM für den Wärmespeicher eingesetzt wird. Berücksichtigen Sie bei der Berechnung von $\epsilon_{WP,SH}$, dass beim Einsatz von Salzhydrat als PCM im Wärmespeicher ein höherer Kältemittelmassenstrom $\dot{m}_{KM,SH}$ aufgrund der reduzierten spezifischen Kondensationswärme q_C erforderlich ist um den gleichen Wärmestrom $\dot{Q}_C = 5 \text{ kW}$ realisieren zu können: (6 P)

$$\dot{m}_{KM,SH} = 0,02805 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

c) Wie groß ist in beiden Fällen (Wasser, Salzhydrat) der Exergieverluststrom $\Delta \dot{E}_V$ bei der Wärmeübertragung im Kondensator? Nehmen Sie folgende Werte für die spezifische Entropie des Kältemittels im Zustandspunkt 2 an: (3 P)

Wasser:

$$s_{2,W} = 1,76149 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Salzhydrat:

$$s_{2,SH} = 1,73944 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Im Heizkreislauf herrscht ein Druck von 1 bar. Die Heizung (Fußbodenheizung) kommt mit einer Vorlauftemperatur θ_{Vorl} von 30 °C aus. Die Rücklauftemperatur $\theta_{Rückl}$ der Heizung beträgt 24 °C. (7P)

d) Begründen Sie unter Verwendung der Gleichung:

$$d\dot{S}_{irr} = d\dot{S}_B + d\dot{S}_A = d\dot{S}_B - |d\dot{S}_A|$$

warum bei der Wärmeübertragung ein Exergieverlust unvermeidbar ist. (2 P)

Hinweis: $d\dot{S}_A$ und $d\dot{S}_B$ beschreiben die zeitliche Änderung der Entropie (Zu- bzw. Abnahme) von Stoffstrom A bzw. Stoffstrom B. Stoffstrom A überträgt in diesem Fall Wärme an Stoffstrom B (das bedeutet: $T_A > T_B$).

Tabelle 1: Stoffdaten von R134a im Zweiphasengebiet

θ °C	T K	p MPa	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kg K	s'' kJ/kg K
33	306,15	0,83878	246,08	416,26	1,1576	1,7135
30	303,15	0,77020	241,72	414,82	1,1435	1,7145
27	300,15	0,70592	237,40	413,34	1,1294	1,7155
24	297,15	0,64578	233,12	411,82	1,1152	1,7166
21	294,15	0,58959	228,88	410,27	1,1010	1,7177
18	291,15	0,53718	224,66	408,69	1,0867	1,7188
15	288,15	0,48837	220,48	407,07	1,0724	1,7200
12	285,15	0,44301	216,33	405,43	1,0581	1,7212
9	282,15	0,40094	212,21	403,76	1,0437	1,7226
6	279,15	0,36198	208,11	402,06	1,0292	1,7240
3	276,15	0,32598	204,04	400,34	1,0146	1,7255
0	273,15	0,29280	200,00	398,6	1,0000	1,7271
-3	270,15	0,26228	195,98	396,84	0,9853	1,7288

Tabelle 2: Stoffdaten von Wasser im homogenen Gebiet

θ °C	T K	p MPa	h kJ/kg	s kJ/kg K
30	303,15	0,1	125,82	0,43673
28	301,15	0,1	117,46	0,40906
26	299,15	0,1	109,10	0,38120
24	297,15	0,1	100,74	0,35315

Aufgabe 3 (20 P)

1) Treibhauseffekt

Erklären Sie den Treibhauseffekt. Wie kommt dieser zustande? Nennen Sie zwei Beispiele für Treibhausgase. Was ist eine Folge der Erhöhung der Konzentration von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre? (2P)

2) Exergie

Nennen Sie vier Konsequenzen, die aus dem Exergie-Konzept folgen (Richtlinien für die Gestaltung von Prozessen, Nutzung von Wärme und anderen Energieformen). (2P)

3) Brennwerttechnik

Was versteht man unter Brennwerttechnik? Erklären Sie wie dadurch der Wirkungsgrad einer Feuerungsanlage gesteigert werden kann. (1P)

4) Energieeinsparung

Nennen Sie jeweils zwei Beispiele für die Einsparung von Energie durch Kreislaufprozesse (nicht zu verwechseln mit Kreisprozessen) und Abwärmenutzung und erläutern diese. Nennen Sie für die gewählten Beispiele der Abwärmenutzung typische Anwendungsgebiete. Welche weiteren Möglichkeiten zum Energiesparen in der Industrie kennen Sie? (2P)

5) Wärmeübertrager

Nennen Sie drei mögliche Stromführungen von Wärmeübertragern. Worin besteht der Hauptvorteil von Plattenwärmeübertragern gegenüber Rohrbündelwärmeübertragern? Nennen Sie vier weitere Vorteile von Plattenwärmeübertragern. Warum bzw. wann werden Rohrbündelwärmeübertrager trotzdem eingesetzt? (2P)

6) Kraft-Wärme-Kopplung

Worin besteht die Grundidee der Kraft-Wärme-Kopplung? Was versteht man in diesem Zusammenhang unter einem „virtuellen Kraftwerk“? (2P)

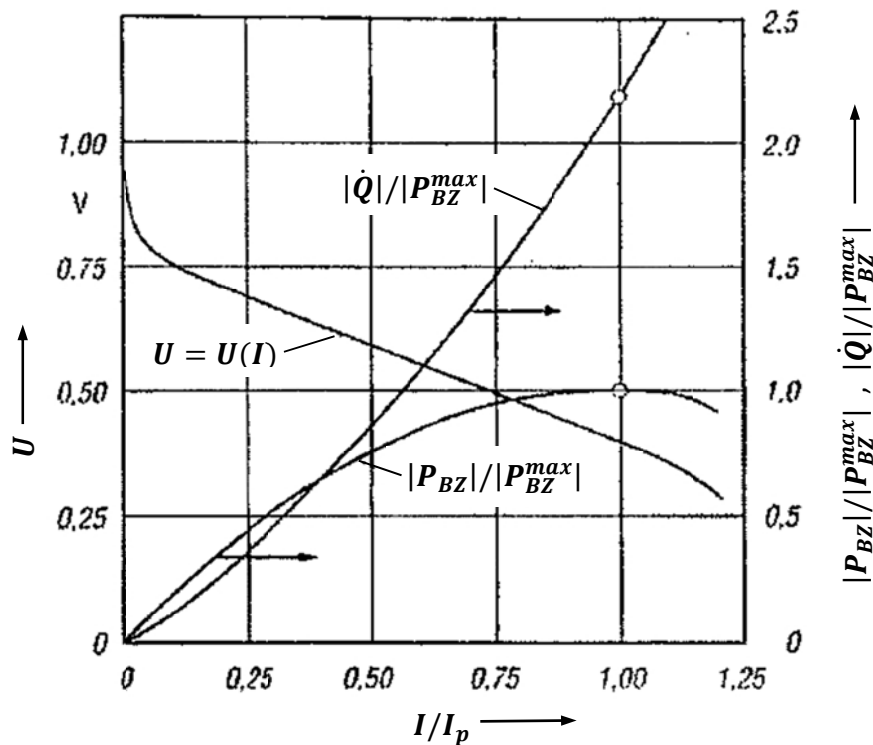
7) Solarenergie

Nennen Sie drei verschiedene Kollektortypen zum Sammeln von Solarenergie. Wovon hängt die Wahl eines geeigneten Kollektortyps für eine Anlage vorwiegend ab? (2P)

8) Brennstoffzellen

Welche Energieträger werden bei Brennstoffzellen in der Regel verwendet? Erläutern Sie mithilfe einer Skizze den Mechanismus einer Brennstoffzelle. (1P)

Erläutern Sie anhand des dargestellten Diagramms, warum sich das Betriebsverhalten einer Brennstoffzelle in Bezug zu ihrer effizienten Nutzung als ungünstig erweist. (1P)



Bewerten Sie die Brennstoffzelle als Zukunftstechnologie. Nennen Sie zwei Vorteile und zwei Nachteile von Brennstoffzellen. (1P)

9) Windkraft

Bei Windrändern unterscheidet man unter anderem zwischen Luv- und Leeläufern. Zeichnen Sie eine Skizze, die den Unterschied charakterisiert und nennen Sie für jeden der beiden Typen insgesamt drei Vor- und Nachteile. (2P)

Der Wirkungsgrad η_{WR} einer Windkraftanlage ist definiert als die produzierte elektrische Leistung P_{el} bezogen auf die in der kinetischen Energie des Windes enthaltene Leistung \dot{E}_{kin} .

$$\eta_{WR} = \frac{P_{el}}{\dot{E}_{kin}}$$

Zeigen Sie durch Herleitung der im Wind enthaltenen kinetischen Energie \dot{E}_{kin} , dass die bei gegebenem Wirkungsgrad η_{WR} erzeugte Leistung P_{el} von der 3. Potenz der Windgeschwindigkeit (c^3) und von der 2. Potenz des Rotorradius (r^2) abhängt. (2P)