

Thermodynamik 2

Klausur

19. September 2012

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 5 nummerierte Seiten

Alle Unterlagen zu Vorlesung und Übung sowie Lehrbücher und Taschenrechner sind als Hilfsmittel zugelassen.

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	Korrektor
1	18		
2	17		
3	15		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (18 Punkte)

In einem Supermarkt wird zur Kühlung der Kühlregale und Kühlräume eine mit dem Propylen betriebene Kältemaschine eingesetzt. Das Kältemittel tritt mit einer Temperatur von -40 °C in den Verdampfer ein (Zustand 1) und nimmt eine Kälteleistung $\dot{Q}_0 = 80\text{ kW}$ auf. Das Kältemittel verlässt den Verdampfer überhitzt mit einer Temperatur von -20 °C (Zustand 2). Anschließend wird das Kältemittel im Verdichter 1 adiabat komprimiert und im Zwischenkühler mit Abluft aus dem Verkaufsraum auf 20 °C abgekühlt. Im Verdichter 2 wird das Arbeitsmedium wieder adiabat verdichtet. Das Druckverhältnis von beiden Verdichtern ist gleich groß ($p_5/p_4 = p_3/p_2$). Das Kältemittel tritt aus dem Kondensator im Siedezustand mit 50 °C aus und wird anschließend adiabat auf den Verdampferdruck gedrosselt.

Hinweise:

Der Kondensator, der Zwischenkühler und der Verdampfer arbeiten isobar.

Die Änderungen von kinetischer und potentieller Energie des Kältemittels können vernachlässigt werden. Es soll angenommen werden, dass die beiden Verdichter verlustfrei arbeiten. Die Umgebungstemperatur beträgt $t_u = 20\text{ °C}$.

- Zeichnen Sie die Anlagenschema. (2 P)
- Skizzieren Sie den Prozess in einem $\log(p)$ - h - und einem T - s -Diagramm. (4 P)
- Wie groß ist der notwendige Kältemittel-Massenstrom \dot{m}_{KM} ? (2 P)
- Berechnen Sie die Dichte des Kältemittels nach der Drosselung. (2 P)
- Wieviel Wärme wird dem Kältemittel bei der Zwischenkühlung (Zustandsänderung 3→4) entzogen? (3 P)
- Wie groß ist die Leistungszahl des Prozesses? (2 P)
- Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad der Kältemaschine. (3 P)

Stoffdaten für Propylen: $t_c = 91,06\text{ °C}$, $p_c = 45,55\text{ bar}$

Zweiphasengebiet:

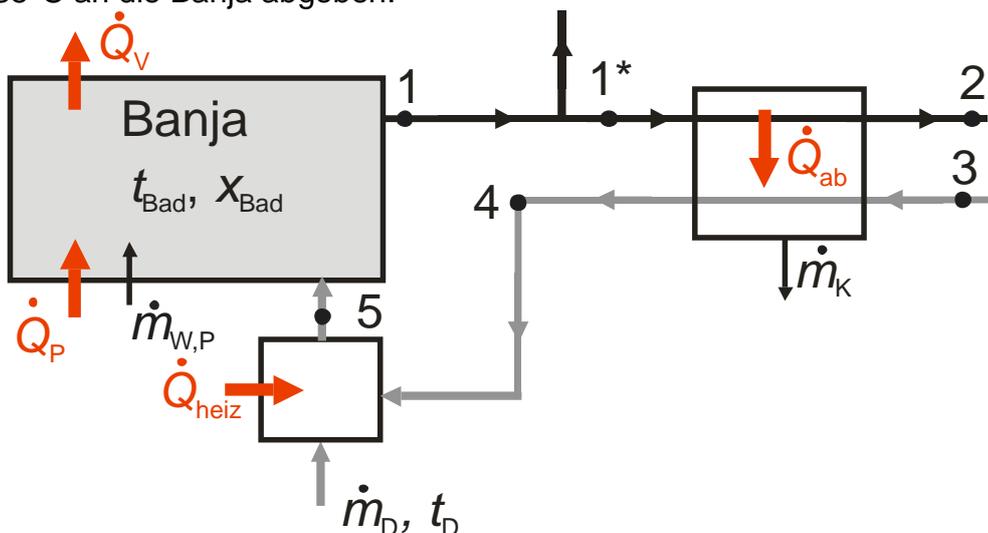
t °C	p bar	ρ' kg/m ³	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/kgK	s'' kJ/kgK
-40	1,42	600,52	3,22	106,93	537,19	0,6351	2,4805
-30	2,12	587,67	4,69	129,40	547,78	0,7289	2,4496
-20	3,06	574,38	6,63	152,35	558,09	0,8208	2,4236
-10	4,28	560,57	9,14	175,86	568,06	0,9110	2,4014
0	5,84	546,13	12,33	200,00	577,59	1,0000	2,3824
10	7,79	530,92	16,35	224,86	586,56	1,0881	2,3655
20	10,17	514,77	21,40	250,55	594,83	1,1756	2,3501
30	13,05	497,45	27,72	277,20	602,19	1,2631	2,3352
40	16,48	478,59	35,66	305,02	608,37	1,3511	2,3198
50	20,54	457,66	45,78	334,29	612,94	1,4404	2,3027

Homogenes Fluid:

t °C	p bar	ρ kg/m ³	h kJ/kg	s kJ/kgK
-20,00	1,42	2,9	565,15	2,5948
18,34	5,40	10,3	609,69	2,5100
20,00	5,40	10,2	612,43	2,5194
25,45	5,40	10,0	621,49	2,5500
34,51	5,40	9,6	636,65	2,6000
50,00	10,61	19,1	649,17	2,5194
80,99	20,54	36,5	683,01	2,5100
82,56	20,54	36,2	686,35	2,5194

Aufgabe 2 (17 Punkte):

„Banja“ ist die Bezeichnung für ein russisches Badehaus. Traditionell wird eine Banja mit einem Holzofen beheizt. Ihre Temperatur ist nicht so hoch wie in einer finnischen Sauna, dies wird jedoch durch eine höhere Luftfeuchtigkeit ausgeglichen. In der traditionellen russischen Banja beträgt die Temperatur 65 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von 100% . Im stationären Betrieb wird ein Volumenstrom $\dot{V}_1 = 180\text{ m}^3/\text{h}$ trockener Luft aus der hier betrachteten Banja abgesaugt, wovon ein Teilvolumenstrom \dot{V}_{1^*} trockener Luft in einer nach außen adiabaten Wärmerückgewinnungsanlage isobar auf $t_2 = 20\text{ °C}$ abgekühlt wird. Dabei fällt der Kondensatmassenstrom \dot{m}_K aus und wird mit der Temperatur 20 °C abgeschieden. Die austretende Luft ist gerade gesättigt. Aus der Umgebung ($t_3 = 10\text{ °C}$, $\varphi_3 = 50\%$) angesaugte Zuluft wird isobar in der Wärmerückgewinnungsanlage auf t_4 erwärmt. Durch Zumischung von gesättigtem Wasserdampf bei 100 °C und Erhitzung erreicht die Zuluft den Zustand 5 und wird der Banja zugeleitet. Der Wärmeverluststrom durch die Wände nach Außen beträgt 800 W . Für die Berechnung soll angenommen werden, dass sich in der Banja 5 Personen befinden, die durch das starke Schwitzen gemeinsam einen Wärmestrom $\dot{Q}_P = 300\text{ W}$ und eine flüssige Wassermenge von 2 kg/h mit $t_{w,P} = 35\text{ °C}$ an die Banja abgeben.



- Skizzieren Sie die Zustandspunkte 1 bis 5 in einem selbst gezeichneten h_{1+x}, x – Diagramm. (4 P)
- Bestimmen Sie den Massenstrom trockener Luft, der aus dem Dampfbad abgesaugt wird. (3 P)
- Wie groß ist der Teilvolumenstrom \dot{V}_{1^*} , wenn die angesaugte Umgebungsluft auf $t_4 = 60\text{ °C}$ vorgewärmt wird? (4 P)
- Bestimmen Sie den Kondensatmassenstrom \dot{m}_K . (2 P)
- Mit welchem Wassergehalt und welcher Temperatur wird die Zuluft (Zustand 5) der Banja zugeführt? (4 P)

Hinweise:

Alle Zustandsänderungen der feuchten Luft werden bei $p = 0,1 \text{ MPa}$ durchgeführt.
Feuchte Luft ist als Mischung idealer Gase zu behandeln.

Stoffdaten:

Spezifische Wärmekapazität:

$$c_{p,\text{Luft}} = 1,007 \text{ kJ}/(\text{kg K}),$$

$$c_{p,\text{Wasserdampf}} = 1,86 \text{ kJ}/(\text{kg K}),$$

$$c_{p,\text{Wasser}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K}),$$

Verdampfungsenthalpie des Wassers bei 0 °C : $\Delta h_v = 2500 \text{ kJ/kg}$,

Molmassen: Luft: $28,96 \text{ g/mol}$, Wasser: $18,015 \text{ g/mol}$,

$$R_m = 8,314472 \text{ J}/(\text{mol K})$$

Dampfdruckkurve von Wasserdampf über Wasser:

$$\ln(p) = 18,8314 - 3964,8072/(t+232,8977) \quad t \text{ in } \text{°C}, p \text{ in mbar}$$

Aufgabe 3 (15 Punkte):

In einem Biogasreaktor produzieren die Bakterien eine Gasmischung mit der Zusammensetzung: 50 mol-% CH₄, 42 mol-% CO₂, 4,5 mol-% H₂O, 2 mol-% N₂, 1 mol-% O₂ und 0,5 mol-% H₂S. Die Gasmischung kann als ideales Gas betrachtet werden. In einem Gasmotor wird das Biogas mit trockener Luft vollständig verbrannt, wobei das Luftverhältnis $\lambda = 1,2$ beträgt. Der gasförmige Brennstoff und die Luft werden bei 25 °C zugeführt. Die Abgase verlassen den Motor bei Umgebungsdruck mit $t_{\text{Abgas}} = 350$ °C.

- Bestimmen Sie den unteren Heizwert der Gasmischung. (3 P)
- Berechnen Sie den Mindestluftbedarf pro mol Gasmischung. (2 P)
- Bestimmen Sie für eine vollständige Verbrennung aller zugeführten Stoffe den Sauerstoff-Molanteil im Abgas bei dem Luftverhältnis von $\lambda = 1,2$.
(Annahme: es entsteht kein NO_x) (3 P)
- Der Gasverbrauch beträgt 400 m³/h (im Normzustand). Ermitteln Sie den nutzbaren Wärmestrom, der dem Gasmotor zugeführt wird. (4 P)
- Um die Brennstoffenergie besser auszunutzen, soll ein Teil der Abgasenthalpie in einem Wärmeübertrager an das Arbeitsmedium eines ORC-Prozesses übertragen werden. Ermitteln Sie für den im Punkt d) zugeführten Gasstrom den nutzbaren Wärmestrom bei einer Abkühlung auf 180 °C. (3 P)

Hinweise:

Alle Gase sind als ideal zu betrachten.

Der Gesamtdruck beträgt vor und nach dem Motor $p = 1,01325$ bar.

Die Zusammensetzung der Luft ist vereinfacht: 79 mol-% N₂, 21 mol-% O₂.

$$\lambda = \frac{\psi_{\text{O}_2, \text{Luft}}}{\psi_{\text{O}_2, \text{Stöchiometrisch}}}$$

Weitere Stoffeigenschaften:

	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	CH ₄	H ₂ S	SO ₂
$\Delta^B h_\theta$ [kJ/mol]	-	-	-393,5	-241,8	-74,8	-20,1	-296,8
M [g/mol]	32,00	28,01	44,01	18,02	16,04	34,0	64,0
$c_p _{25^\circ\text{C}}^{350^\circ\text{C}}$ [J/mol K]	30,738	29,516	43,118	34,932	-	-	45,160
$c_p _{25^\circ\text{C}}^{180^\circ\text{C}}$ [J/mol K]	29,929	29,223	40,331	34,144	-	-	42,601