

Thermodynamik 2

Klausur

22. Februar 2013

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: _____

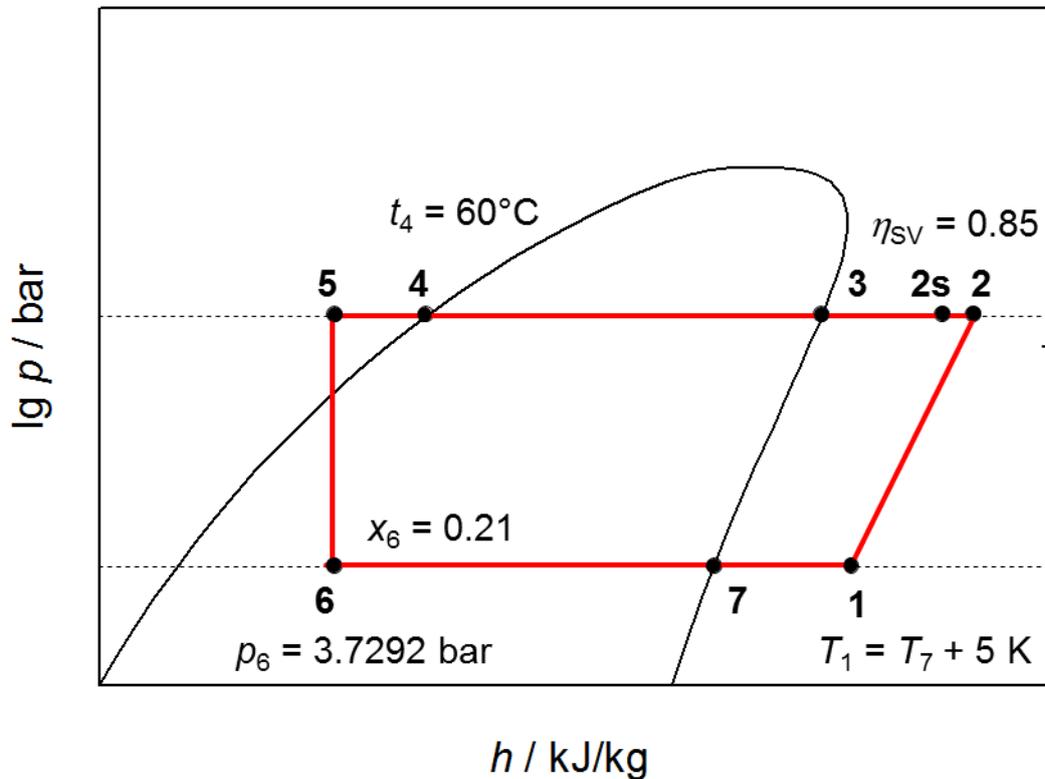
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	20		
2	14		
3	16		
Zwischensumme			
Bonuspunkte		-----	
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (20 Punkte)

In einer Industrie-Kompressionskältemaschine mit dem Kältemittel R1234yf werden die im untenstehenden $\lg p, h$ -Diagramm skizzierten Zustandsänderungen durchlaufen.



Der Ansaugvolumenstrom des Kompressors beträgt $\dot{V}_1 = 200 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Beschreiben Sie die sieben Zustandsänderungen in Worten.
Geben Sie hierbei so viele Informationen wie möglich.
(Bsp.: $7 \rightarrow 1$: Isobare Überhitzung um 5 K beim Verdampfungsdruck) (2 P)
- Zeichnen Sie das Anlagenschema. (2 P)
- Wie groß ist die Temperatur t_2 im Zustand 2? (4 P)
- Wie groß ist der zugeführte Wärmestrom \dot{Q}_{zu} und die Leistungszahl ε_{KM} ? (4 P)
- Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad η_{ex} des Kälteprozesses. (4 P)
- Wie groß ist der Exergieverluststrom \dot{E}_v bei der Kompression? (3 P)
- Wie könnte der Wirkungsgrad vergrößert werden? (1 P)

Stoffdaten: siehe nächste Seite

Stoffdaten für R1234yf

Zweiphasiger Zustand

t	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''
°C	Mpa	kg/m ³	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
7	2.04454	883.23	132.33	138.80	235.15	0.46691	0.74769
65	1.83480	913.73	114.68	130.30	234.03	0.44265	0.74942
60	1.64188	941.34	99.75	122.10	232.51	0.41885	0.75025
55	1.46471	966.73	86.96	114.16	230.66	0.39539	0.75042
50	1.30232	990.38	75.88	106.43	228.56	0.37216	0.75009
45	1.15383	1012.65	66.22	98.87	226.24	0.34907	0.74940
40	1.01839	1033.78	57.75	91.48	223.75	0.32606	0.74843
35	0.89521	1053.95	50.30	84.22	221.10	0.30307	0.74727
30	0.78351	1073.30	43.73	77.09	218.33	0.28009	0.74599
25	0.68258	1091.91	37.92	70.08	215.44	0.25707	0.74463
20	0.59172	1109.86	32.80	63.17	212.47	0.23400	0.74327
15	0.51025	1127.22	28.27	56.38	209.41	0.21086	0.74194
10	0.43753	1144.04	24.27	49.68	206.28	0.18764	0.74071
5	0.37292	1160.38	20.74	43.08	203.10	0.16433	0.73962
0	0.31582	1176.29	17.65	36.58	199.87	0.14091	0.73872

Einphasiger Zustand

t	p	ρ	h	s
°C	Mpa	kg/m ³	kJ/kg	kJ/(kg K)
70	1.64188	90.20	246.07	0.79038
68	1.64188	91.82	243.46	0.78276
66	1.64188	93.56	240.81	0.77496
64	1.64188	95.44	238.11	0.76697
62	1.64188	97.49	235.35	0.75875
60	1.64188	99.75	232.51	0.75025
60	1.64188	941.34	122.10	0.41885
55	1.64188	969.60	114.01	0.39438
50	1.64188	995.02	106.22	0.37046
45	1.64188	1018.38	98.66	0.34690
40	1.64188	1040.17	91.30	0.32356
35	1.64188	1060.72	84.09	0.30035
30	1.64188	1080.23	77.01	0.27721
25	1.64188	1098.87	70.06	0.25409
20	1.64188	1116.76	63.23	0.23097
15	1.64188	1133.98	56.50	0.20781
20	0.37292	19.22	217.35	0.78954
15	0.37292	19.69	212.59	0.77315
10	0.37292	20.20	207.84	0.75652
5	0.37292	20.74	203.10	0.73962

Weitere Angaben

Umgebungstemperatur: $t_U = 15^\circ\text{C}$

Aufgabe 2 (14 Punkte)

Eine Klimaanlage soll einen Raum mit Luft der Temperatur $t_R = 20\text{ °C}$ und der relativen Feuchte $\varphi_R = 50\%$ versorgen. Sie besteht aus einer adiabatischen Mischkammer, einem Kühler und einem Wärmeübertrager. Der Kühler und der Wärmeübertrager sind nach außen wärmeisoliert. Die Raumabluft mit $t_A = 32\text{ °C}$ und $\varphi_A = 80\%$ wird zur Aufheizung der Mischluft im Wärmeübertrager eingesetzt. Diese abgekühlte und gesättigte Raumabluft wird in der Mischkammer im Verhältnis $\dot{m}_{L,A}/\dot{m}_{L,U} = 1/2$ mit Umgebungsluft ($t_U = 15\text{ °C}$, $\varphi_U = 60\%$) adiabatisch vermischt. Die Mischluft wird danach abgekühlt und so weit kontinuierlich entfeuchtet, dass durch anschließendes Aufheizen der gewünschte Luftzustand ($t_R = 20\text{ °C}$, $\varphi_R = 50\%$) erreicht wird.

Bitte verwenden Sie folgende Abkürzungen für das Diagramm:

Raumluft (R), Raumabluft (A), Umgebungsluft (U), Luft am Austritt der Mischkammer (M), Mischluft nach der Abkühlung (K), Raumabluft nach Abkühlung (B)

- Skizzieren Sie ein Schema der Klimaanlage. (3 P)
- Tragen Sie alle Zustände der feuchten Luft in ein $h_{1+x,x}$ -Diagramm ein (im Laufe der folgenden Rechnungen vervollständigen). (3 P)
- Bestimmen Sie die Temperatur und die relative Feuchte der Luft am Austritt der Mischkammer. (3 P)
- Wie groß ist das Verhältnis des im Kühler übertragenen Wärmestroms zu dem im Wärmeübertrager übertragenen Wärmestrom? (2 P)
- Wie viel Kondensat fällt pro m^3 Luft (Zustand R) im Kühler und im Wärmeübertrager aus? (3 P)

Der gesamte Vorgang soll bei einem Druck von $0,101325\text{ MPa}$ ablaufen.

Stoffdaten

Spezifische isobare Wärmekapazitäten:

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

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

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

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

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

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

Dampfdruckkurve von Wasser:

$$\ln(p / \text{mbar}) = 18,9141 - 4010,823/(t / \text{°C} + 234,4623)$$

Aufgabe 3 (16 Punkte)

Bei der Verbrennung von Holz ist es wichtig auf den Wassergehalt zu achten. Absolut trockenes Nadelholz hat einen unteren Heizwert von 5,2 kWh/kg. Es besteht aus folgenden Massenanteilen: Kohlenstoff $\zeta_C = 0,51$ kg/kg; Wasserstoff $\zeta_{H_2} = 0,065$ kg/kg; Sauerstoff $\zeta_{O_2} = 0,42$ kg/kg; und Mineralien, die hier vereinfacht als Kalium angenommen werden $\zeta_K = 0,005$ kg/kg.

- Bestimmen Sie die molare Zusammensetzung des absolut trockenen Holzes und den unteren Heizwert pro mol bei der Verbrennung mit trockener Luft. (4 P)
- Wie groß ist der untere Heizwert pro Kilogramm lufttrockenes Holz, welches einen zusätzlichen Wassergehalt ($m_W/m_{tr. Holz}$) von 15 Gew. % besitzt? (3 P)
- Wie ist die Zusammensetzung des Abgases, wenn Luft mit $\lambda = 1,1$ zugeführt wird? Als Asche bleibt Pottasche (= Kaliumcarbonat, K_2CO_3) zurück. Beachten Sie die Anteile von C und O in der Pottasche. (6 P)
- In einem Brennwertkessel werden die Abgase auf 40°C abgekühlt. Wie viel Wasser kondensiert dabei aus und wie viel Wärme wird dadurch zusätzlich frei? (3 P)

$$\lambda = \frac{\psi_{O_2, \text{ Edukte, Luft}}}{\psi_{O_2, \text{ stöchiometrisch, Luft}}}$$

Stoffdaten

Stoff	$\frac{M}{g/mol}$	$\frac{\Delta^B h_{\Theta}}{kJ/mol}$	$\frac{c_p^0 _{T_{\Theta}}^{40^{\circ}C}}{J/(mol K)}$
C	12,000		
H ₂	2,007		
N ₂	28,01		30,11
O ₂	32,00		31,75
CO ₂	44,00	-393,51	45,85
H ₂ O (l)	18,015	-285,83	
H ₂ O (g)	18,015	-241,83	36,15
K	39,098		
K ₂ CO ₃	138,196	-1151	

Molare Zusammensetzung der trockenen Luft: $\psi_{N_2} = 0,79$ mol/mol; $\psi_{O_2} = 0,21$ mol/mol

Dampfdruckkurve von Wasser:

$$\ln(p/p_0) = 11,93255 - 3970,148/(T/K - 40,052) \text{ für } T < 390 \text{ K und } p_0 = 1 \text{ bar}$$

Luftdruck: $p_U = 1,01325$ bar