

Thermodynamik 2

Klausur

19. September 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	15		
2	20		
3	15		
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (15 Punkte)

Eine Anlage zur Verflüssigung eines aggressiven Mediums ($\dot{m}_M = 1,5 \text{ kg/s}$) wird von einer Kältemaschine gekühlt, die mit dem Kältemittel R134a ($\dot{m}_{R134a} = 2,5 \text{ kg/s}$) arbeitet. Das Medium tritt bei der Umgebungstemperatur gasförmig in die Anlage ein, kondensiert bei $-34,5^\circ\text{C}$ und wird auf -40°C unterkühlt. Das Kältemittel verlässt das Drosselventil mit -45°C und einem Dampfgehalt von 30% und wird aus dem Verdampfer mit einer Überhitzung von 5 K angesaugt. Im Kondensator gibt das Kältemittel $212,93 \text{ kJ/kg}$ Wärme ab. Das Kältemittel tritt aus dem Kondensator im Siedezustand aus.

Hinweise:

Der Kondensator und der Verdampfer arbeiten isobar. Die Drosselung kann als adiabat angesehen werden. Die Änderungen von kinetischer und potentieller Energie des Kältemittels können vernachlässigt werden. Die Umgebungstemperatur beträgt $t_u = 0^\circ\text{C}$.

- Skizzieren Sie den Prozess (Schaltbild). (1 P)
- Skizzieren Sie den Prozess in einem $\lg(p)$ - h - und einem T - s -Diagramm. (4 P)
- Welcher Druck herrscht im Verdampfer der Kältemaschine? (1 P)
- Welche Antriebsleistung nimmt der Verdichter auf? (3 P)
- Berechnen Sie die Leistungszahl und den exergetischen Wirkungsgrad der Kältemaschine. (4 P)
- Welcher Exergieverlust tritt im Verdampfer der Kältemaschine auf, wenn die mittlere Temperatur des Mediums -35°C beträgt? (2 P)

Stoffdaten:

Kritische Daten von R134a: $t_c = 101,06^\circ\text{C}$ $p_c = 40,593 \text{ bar}$

Zweiphasengebiet von R134a:

T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''
$^\circ\text{C}$	bar	kg/m^3	kg/m^3	kJ/kg	kJ/kg	$\text{kJ}/(\text{kg K})$	$\text{kJ}/(\text{kg K})$
-50	0.2945	1446.3	1.6496	135.67	367.65	0.74101	1.7806
-45	0.3912	1432.1	2.1518	141.89	370.83	0.76852	1.7720
-40	0.5121	1417.7	2.7695	148.14	374.00	0.79561	1.7643
-35	0.6614	1403.1	3.5209	154.44	377.17	0.82230	1.7575
0	2.9280	1294.8	14.4280	200.00	398.60	1.0000	1.7271
5	3.4966	1278.1	17.1310	206.75	401.49	1.0243	1.7245
10	4.1461	1261.0	20.2260	213.58	404.32	1.0485	1.7221
15	4.8837	1243.4	23.7580	220.48	407.07	1.0724	1.7200

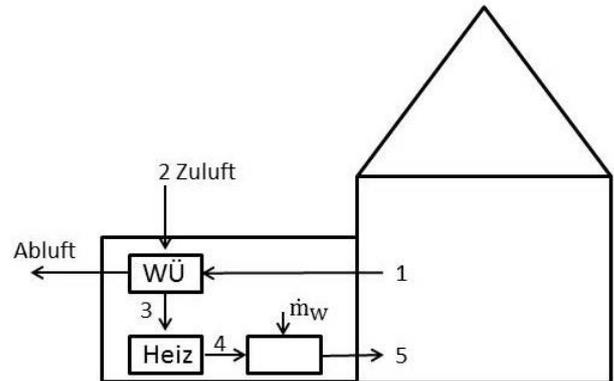
Homogener Zustand von R134a:

T	p	ρ	h	s
°C	bar	kg/m ³	kJ/kg	kJ/(kg K)
-40	0.3912	2.1014	374.51	1.7880
-45	0.3912	2.1518	370.83	1.7720
-50	0.3912	1446.3	135.68	0.7410
-40	0.5121	1417.7	148.14	0.7956
-45	0.5121	1432.1	141.89	0.7685
-50	0.5121	1446.4	135.68	0.7410
15	3.8600	18.171	409.73	1.7463
20	3.8600	17.731	414.33	1.7621
25	3.8600	17.320	418.92	1.7776
30	3.8600	16.935	423.50	1.7929
35	3.8600	16.572	428.09	1.8079

Aufgabe 2 (20 Punkte)

Durch Wärmerückgewinnung in zwangsbelüfteten Gebäuden (Null-Energie- bzw. Passivhäuser) wird in der kalten Jahreszeit die Wärme der Fortluft genutzt, um die angesaugte frische Außenluft zu erwärmen. Dadurch kann der Energieverbrauch minimiert werden. An sehr kalten Tagen muss die durch die Fortluft vorgewärmte Außenluft jedoch mit einem Heizelement nachgeheizt werden.

Die gewünschte Innentemperatur eines Passivhauses beträgt $t_1 = 20^\circ\text{C}$ bei einer relativen Feuchte von $\varphi_1 = 50\%$. Die angesaugte Frischluft hat an einem Wintertag die Temperatur $t_2 = -5^\circ\text{C}$ und die relative Feuchte $\varphi_2 = 30\%$. Durch die Lüftungsanlage werden $\dot{V}_1 = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgetauscht.



- Bestimmen Sie den Massenstrom trockener Luft $\dot{m}_{\text{tr},L,1}$, der aus dem Haus abgesaugt wird. (3 P)
- Auf welche Temperatur t_3 kann die Frischluft erwärmt werden, wenn die Abluft im Wärmeübertrager auf $t_{\text{Abluft}} = 5^\circ\text{C}$ abgekühlt wird? Fällt bei dieser Abkühlung flüssiges Wasser aus? (8 P)
- Die vorgewärmte Außenluft in Zustand 3 wird im Anschluss durch die Wärme- und Wasserzufuhr auf die gewünschte Innentemperatur $t_5 = t_1 = 20^\circ\text{C}$ gebracht. Wie viel reines flüssiges Wasser bei $t_w = 10^\circ\text{C}$ muss dem Luftstrom zugemischt werden, damit sich die gewünschte relative Feuchte $\varphi_5 = \varphi_1 = 50\%$ einstellt? Welche Temperatur t_4 stellt sich nach der Wärmezufuhr ein? (5 P)
- Skizzieren Sie die Zustandspunkte 1 bis 5 in einem selbst gezeichneten h_{1+x}, x – Diagramm. (4 P)

Stoffdaten:

Alle Zustandsänderungen der feuchten Luft werden bei $p = 1 \text{ bar}$ durchgeführt.

Spezifische isobare Wärmekapazitäten:

$$c_{p,\text{Luft}} = 1,007 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{p,\text{Wasserdampf}} = 1,86 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{p,\text{Wasser}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$\text{Spezifische Gaskonstanten: } R_{\text{Luft}} = 0,2871 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad R_{\text{Wasser}} = 0,4615 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

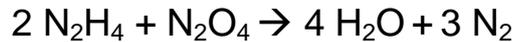
$$\text{Verdampfungsenthalpie des Wassers bei } 0^\circ\text{C: } \Delta h_V = 2500 \text{ kJ}/\text{kg}$$

$$\text{Dampfdruckkurve von Wasser: } \ln(p / \text{mbar}) = 18,8314 - 3964,8072 / (t / ^\circ\text{C} + 232,8977)$$

$$\text{Dampfdruckkurve von Eis: } \ln(p / \text{mbar}) = 23,6156 - 5817,4180 / (t / ^\circ\text{C} + 266,6985)$$

Aufgabe 3 (15 Punkte)

In Raketen mit Flüssigtreibstoff werden auch Komponenten eingesetzt, die sich spontan verbinden und zu einfachen Molekülen zerfallen. Der Vorteil ist die Lagerung unter geringem Druck in flüssiger und somit sehr dichter Form bei Umgebungstemperatur. Eine Variante besteht darin Hydrazin und Distickstofftetraoxid zu vermischen. Sie zerfallen zu Wasserdampf und Stickstoff entsprechend der Reaktion



- a) Berechnen Sie ausgehend von der Standardtemperatur die Reaktion. Wie groß wäre die adiabate Reaktionstemperatur bei vollständiger Reaktion? (5 P)
- b) Da bei so hohen Temperaturen Wasserdampf dissoziiert, kann tatsächlich diese Temperatur nicht erreicht werden. Wie groß ist die Reaktionstemperatur unter der Annahme, dass sich nur 95% der H und O Atome zu H₂O zusammen findet und die übrigen als Ionen vorliegen? (5 P)
- c) Würde die Zugabe von flüssigem Wasser den Druck stärker erhöhen? Berechnen Sie die Endtemperatur falls pro Mol N₂H₄ ein Mol flüssiges Wasser zugegeben wird. Wie groß wäre der Druck im Vergleich zu a) im gleichen Reaktionsraum? (5 P)

Stoffdaten

Stoff	Molmasse g/mol	$\Delta^B h_\Theta$ [kJ/mol]	$c_p^0 _{T_\Theta}^{T_{\max}}$ [J/(mol K)]
Hydrazin = N ₂ H ₄	30,01	50,2	
N ₂ O ₄	92,008	9,611	
Stickstoff	28,010	0	33,00
Wasserdampf	18,015	-241,6	38,95
Sauerstoffion	15,9995	249	20,78
Wasserstoffion	1,0000	218	20,78

Verdampfungsenthalpie des Wassers im Standardzustand: $\Delta h_{V,\text{Wasser}} = 44 \text{ kJ/mol}$