

Thermodynamik 2

Klausur

11. März 2011

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 4 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	19		
2	16		
3	15		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (19 Punkte)

In einer Eismaschine, welche mit Ammoniak arbeitet, sollen aus Wasser von 15 °C stündlich 300 kg Eis von -10 °C erzeugt werden. Die vom Kondensator abgegebene Wärme soll verwendet werden, um aus dem Leitungswasser gleichzeitig Warmwasser zu erzeugen. Die Anlage arbeitet nach folgendem Prozess:

1 → 2: vollständige Verdampfung des Ammoniaks in der Eismaschine bei -20 °C

2 → 3: Isentrope Kompression bis auf den Druck zur Kondensationstemperatur 40 °C

3 → 4: isobare Abkühlung des überhitzten Dampfs, Kondensation und Abkühlung des flüssigen Ammoniaks bis auf +20 °C im Kondensator.

4 → 1: adiabate Drosselung

- a) Zeichnen Sie ein Anlagenschema. (2 P)
- b) Skizzieren Sie den Prozess in einem $\lg(p)$ - h - und einem T-s-Diagramm (4 P)
- c) Wie groß ist der notwendige Ammoniak-Massenstrom? (1 P)
- d) Berechnen Sie die Kompressor-Leistung. (3 P)
- e) Wieviel Liter Wasser von 60 °C können maximal pro Minute entnommen werden? (2 P)
- f) Wie groß ist die Leistungsziffer der Anlage bei gemeinsamer Berücksichtigung von Kältemaschine und Wärmepumpe? (2 P)
- g) Wie groß ist der Exergiestrom des erzeugten Eises und des Warmwassers? Wie groß ist demzufolge der exergetische Wirkungsgrad der Anlage? (3 P)
- h) Der Warmwassermassenstrom sinkt durch einen neuen Betriebszustand auf einen kleineren, ebenfalls konstanten Wert. Dadurch steigt die Temperatur des Ammoniaks am Ausgang des Kondensators bis auf 35 °C an. Um wieviel Prozent vermindert sich dann die erzeugte Eismenge? (2 P)

Weitere Angaben:

Umgebungstemperatur: $T_U = 15^\circ\text{C}$, Schmelzenthalpie $\Delta h_{\text{Schm}} = 333 \text{ kJ/kg}$
 spezifische Wärmekapazität von Wasser $c_{p,\text{Fl.W}} = 4,18 \text{ kJ/(kg K)}$, $c_{p,\text{Eis}} = 2,1 \text{ kJ/(kg K)}$

Dampf tabel von Ammoniak

T °C	p bar	ρ' kg/m ³	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/(kg K)	s'' kJ/(kg K)
-30	1,1943	677,83	1,0374	206,76	1566,5	0,94462	6,5367
-20	1,9008	665,14	1,6033	251,71	1580,8	1,1253	6,3757
30	11,672	595,17	9,0533	484,91	1629,3	1,9597	5,7347
40	15,554	579,44	12,034	533,79	1633,1	2,1161	5,6265

Unterkühlter und überhitzter Zustand von Ammoniak

T °C	p bar	ρ kg/m ³	h kJ/kg	s kJ/(kg K)
20	15,554	610,82	437,26	1,7977
30	15,554	595,56	485,04	1,9579
35	15,554	587,62	509,28	2,0372
120	15,554	8,6108	1860,4	6,2766
130	15,554	8,3492	1886,0	6,3409
140	15,554	8,1062	1911,4	6,4033
150	15,554	7,8797	1936,8	6,4639
160	15,554	7,6677	1962,1	6,5231

Aufgabe 2 (16 Punkte):

Zum Klimatisierung der Fahrgasträume werden Reisebusse mit Klimaanlage ausgestattet. An einem Gewittertag saugt die Klimaanlage eines Busses Luft aus der Umgebung im Zustand 1 mit $p = 1,01325 \text{ bar}$, $t_1 = 35 \text{ °C}$, $x_1 = 30 \text{ g/kg}$ und $\dot{m}_{tr,L} = 0,2 \text{ kg/s}$ an. Die Luft wird in einer Mischkammer mit der Abluft aus dem Bus (Zustand 5) gemischt. In der sich anschließenden Klimakammer des Busses kann die Luft entweder durch Zufuhr von (flüssigem) Wasser mit $t_w = 18 \text{ °C}$ befeuchtet oder durch Abscheiden von flüssigem Wasser durch Kondensation getrocknet werden. Außerdem wird die Luft auf die gewünschte Temperatur gekühlt oder erwärmt. Die Luft soll die Klimakammer im Zustand 3 mit $\varphi_3 = 60\%$, $t_3 = 24 \text{ °C}$ verlassen und in den Fahrgastraum strömen. Zwei Drittel der Luft verlassen den Fahrgastraum im Zustand 4 ($t_4 = 27 \text{ °C}$, $x_4 = 15 \text{ g/kg}$), während ein Drittel der Luft in unverändertem Zustand 4=5 in die Mischkammer zurückgeführt wird.

Alle Kammern können als adiabat betrachtet werden.

- Skizzieren Sie die Klimaanlage (2 P)
 - Wie groß ist der Wassergehalt der Luft im Zustand 3 (1 P)
 - Wie viel Wasser muss der Luft in der Klimakammer pro Sekunde zugesetzt oder entnommen werden? Welche Kühl- und Heizleistung wird in der Klimakammer benötigt? (3 P)
 - Tragen Sie alle Zustände der feuchten Luft in ein h_{1+x}, x - Diagramm ein. (3 P)
 - Berechnen Sie wie viele Fahrgäste im Bus sitzen, unter der Annahme, dass jeder 1,5 g Wasserdampf pro Minute ausatmet. (2 P)
- Die Aufgabenteile a) bis d) sollen mit Hilfe des Diagramms gelöst werden.
- Überprüfen Sie die Werte von b) und c) rechnerisch. (5 P)

Der Druck in der Klimaanlage ist konstant und beträgt 1,01325 bar

Stoffdaten:

Spezifische Wärmekapazität:

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

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

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

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

Molmassen: Luft: 28,96 g/mol Wasser: 18,015 g/mol $R_m = 8,314472 \text{ J/(mol K)}$

Dampfdruckkurve von Wasserdampf über Wasser:

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

Aufgabe 3 (15 Punkte):

Rapsöl (Zusammensetzung in Massenanteilen: $\xi_C = 0,7674$; $\xi_H = 0,1246$; $\xi_O = 0,1080$) wird im Dampferzeuger eines Kraftwerkes mit dem Luftverhältnis $\lambda = 1,1$ verbrannt. Die Feuerung liefert einen Wärmestrom $\dot{Q} = -1200$ MW bei einer Abgastemperatur von $T=80^\circ\text{C}$. Der untere Heizwert des Öls im Standardzustand beträgt $\Delta^v h_u = 37,6$ MJ/kg.

- a) Wie groß ist der Massenstrom des Heizöls? (2 P)
- b) Bestimmen Sie die molare Zusammensetzung des Abgases. (6 P)
- c) Welcher Massenstrom Verbrennungsluft wird benötigt? (2 P)
- d) Kondensiert bei 80°C schon Wasser aus? Bitte begründen Sie Ihre Antwort. (3 P)
- e) Wie groß ist der Volumenanteil des CO_2 im Abgas? (2 P)

Stoffdaten:

Stoff	C	H	O	Luft	CO_2	H_2O
Molmasse M_i g/mol	12,01	1,0075	16	28,96	44,01	18,015

Zusammensetzung der Luft (Molenbruch): $\psi_{\text{O}_2}=0,21$; $\psi_{\text{N}_2}=0,79$

$c_{p,\text{Abgas}} = 1,2$ kJ/(kg K)

Sättigungsdampfdruck von Wasser bei 80°C $p_{D,s} = 0,57867$ bar

Gesamtdruck $p_{\text{ges}} = 1$ bar

h_{1+x} - Diagramm für feuchte Luft bei $p_{ges} = 1,01325 \text{ bar}$

