

Thermodynamik 2

Klausur

14. September 2011

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: _____

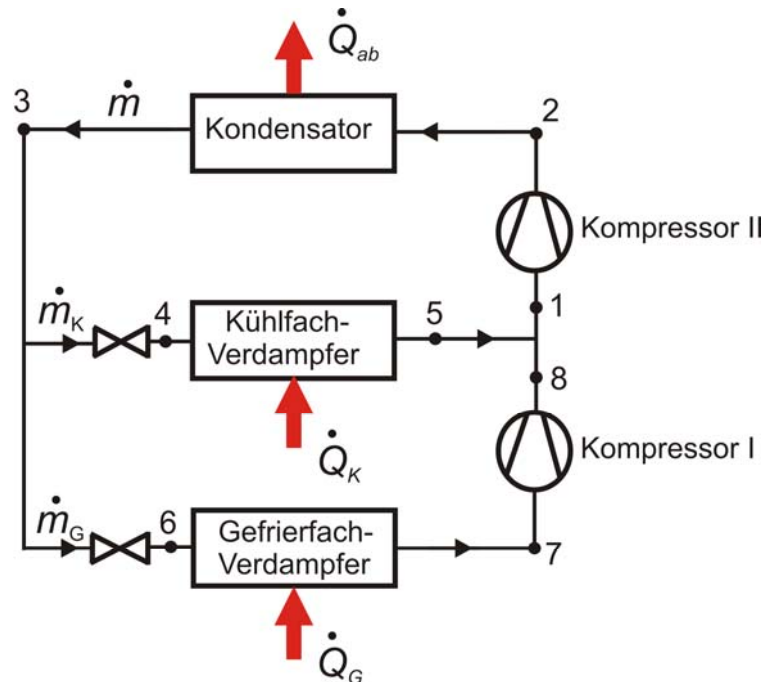
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	20		
2	20		
3	10		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (20 Punkte)

Eine Kühl-Gefrier-Kombination mit dem Kältemittel Butan arbeitet nach dem folgenden Schema:



Butan tritt als siedende Flüssigkeit mit 40°C aus dem Kondensator (Zustand 3). Der Kältemittelstrom wird in zwei Teilströme \dot{m}_K und \dot{m}_G geteilt. Der eine Teilstrom \dot{m}_K wird auf den Druck p_4 des Kühlfach-Verdampfers adiabot gedrosselt und anschließend isobar verdampft. Er verlässt den Kühlfach-Verdampfer im trocken gesättigten Zustand mit 0°C (Zustand 5). Der andere Teilstrom \dot{m}_G wird adiabatisch auf $p_6 = 0,359$ bar gedrosselt und im Gefrierfach-Verdampfer isobar verdampft. Er verlässt den Gefrierfach-Verdampfer mit einer Überhitzung von 4 K.

Der Kältemittelstrom \dot{m}_G wird im Kompressor I verdichtet und adiabot mit dem Strom aus dem Kühlfach-Verdampfer \dot{m}_K vermischt. Der Kompressor II verdichtet den Gesamtstrom des Kältemittels \dot{m} auf den Kondensatordruck. Der Wärmestrom \dot{Q}_{ab} wird aus dem Kondensator an die Umgebung abgeführt. Die Umgebungstemperatur beträgt 25°C .

Annahmen: Verdampfung, Kondensation und Vermischung sind isobar, die Kompressoren und Drosseln sind adiabot, in beiden Kompressoren tritt Reibung auf.

- Skizzieren Sie den Prozess in einem $\lg(p)$ - h - und einem T - s -Diagramm. (6 P)
- Wie groß sind die notwendigen Kältemittel-Massenströme \dot{m}_K und \dot{m}_G , wenn in der Anlage die Kälteleistungen $\dot{Q}_K = 250$ W und $\dot{Q}_G = 150$ W erreicht werden sollen? (3 P)
- Welche Leistungen müssen den beiden Kompressoren zugeführt werden, wenn aufgrund von Reibung die Leistungsaufnahme jeweils um 25 % größer ist als bei reibungsfreier adiabater Kompression? (5 P)
- Wie groß ist die Leistungszahl der gesamten Anlage? (1 P)
- Wie groß ist der exergetische Wirkungsgrad der Kühl-Gefrier-Kombination? (5 P)

Stoffdaten:

Kritische Daten von Butan: $t_c = 151,98^\circ\text{C}$, $p_c = 37,96$ bar

Zweiphasengebiet von Butan:

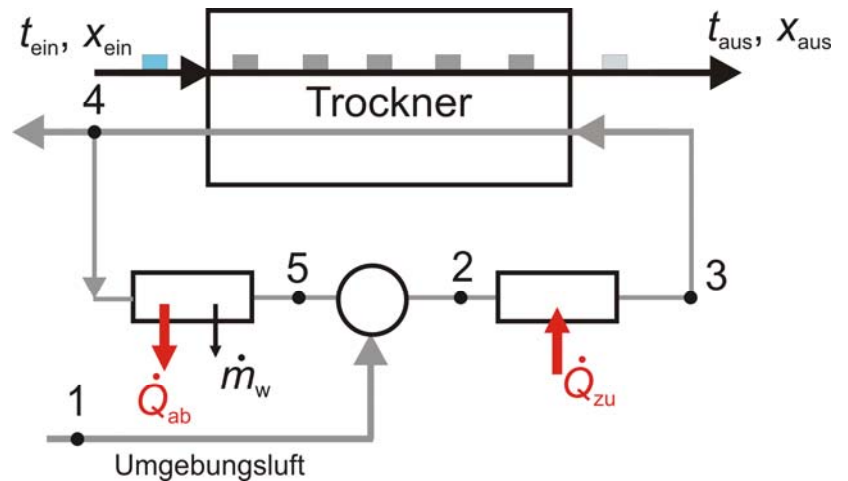
T	p	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''
°C	bar	kg/m ³	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
-29	0,296	630,89	0,8632	134,71	544,40	0,7479	2,4259
-25	0,359	626,84	1,0319	143,51	549,98	0,7836	2,4216
-21	0,432	622,76	1,2255	152,37	555,58	0,8190	2,4181
0	1,032	600,73	2,7567	200,00	585,27	1,0000	2,4105
5	1,243	595,32	3,2783	211,64	592,39	1,0421	2,4110
20	2,077	578,59	5,3126	247,30	613,80	1,1665	2,4167
26	2,510	571,67	6,3565	261,91	622,36	1,2155	2,4205
40	3,785	554,92	9,4176	296,82	642,25	1,3288	2,4319

Überhitzter Zustand von Butan:

T	p	ρ	h	s
°C	bar	kg/m ³	kJ/kg	kJ/(kg K)
-25,76	0,296	0,8503	549,27	2,4459
-21,00	0,359	1,0144	556,06	2,4459
2,99	1,032	2,7217	590,20	2,4285
5,92	1,032	2,6898	595,05	2,4459
4,73	1,032	2,7029	593,09	2,4388
8,04	1,032	2,6658	598,60	2,4586
41,13	3,785	9,3691	644,41	2,4388
49,36	3,785	9,0352	660,20	2,4884

Aufgabe 2 (20 Punkte):

Einem kontinuierlich arbeitenden Trockner werden bei einem Druck von $p = 1,01325$ bar pro Stunde $7,5$ kg feuchte Pilze mit einer Wasserbeladung $x_{\text{ein}} = 0,5$ kg Wasser/kg trockene Pilze und einer Temperatur von $t_{\text{ein}} = 20$ °C zugeführt. Am Austritt aus dem Trockner haben die Pilze die Temperatur $t_{\text{aus}} = 30$ °C und die



Wasserbeladung $x_{\text{aus}} = 0,05$ kg Wasser/kg trockene Pilze. Dazu wird dem Trockner Luft mit einem Wassergehalt $x_3 = 0,013$ kg Wasser/kg trockener Luft zugeführt. Die aus dem Trockner austretende Luft (Zustand 4: $t_4 = 29$ °C, $\varphi_4 = 0,9$) wird zum Teil in einen Kreislauf geführt und auf $t_5 = 20$ °C abgekühlt. Der Kondensatstrom \dot{m}_w wird in die Umgebung abgeführt. Die Umluft im Zustand 5 wird mit Umgebungsluft im Zustand 1 ($t_1 = 20$ °C, $\dot{m}_{\text{tr.Luft}} = 72$ kg/h) adiabatisch gemischt und danach bis zum Zustand 3 erwärmt.

- Tragen Sie alle Zustände der feuchten Luft (1 bis 5) in ein h_{1+x}, x -Diagramm ein (im Laufe der folgenden Rechnungen vervollständigen!) (5 P)
- Wie groß ist der Massenstrom an trockenen Pilzen und wie viel Wasser geben sie im Trockner ab? (2 P)
- Wie groß ist der Luftmassenstrom $\dot{m}_{\text{tr.Luft},5}$ der Umluft? (4 P)
- Welche relative Luftfeuchte hat die zugemischte Umgebungsluft (Zustand 1)? (3 P)
- Berechnen Sie die Eintrittstemperatur t_3 der Luft in den Trockner? (6 P)

Stoffdaten:

Spezifische isobare Wärmekapazitäten:

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

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

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

Trockene Pilze können als idealer Festkörper mit einer spezifischen Wärmekapazität $c_{\text{Pilze}} = 1,25 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ betrachtet werden.

Verdampfungsenthalpie des Wassers bei 0 °C: $r_0 = 2500 \text{ kJ}/\text{kg}$

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 (10 Punkte):

Da bei der Verbrennung von Wasserstoff neben Wasser auch Energie freigesetzt wird, ist Wasserstoff zur Energiebereitstellung als Treibstoff für Brennstoffzellen in der Diskussion.

In einer Wasserstoff-/Sauerstoff-Brennstoffzelle wird die Energie der Verbrennung direkt in elektrische Energie umgewandelt, die beispielsweise für den Antrieb eines Motors genutzt werden kann. In der Praxis können etwa 65% der Verbrennungsenergie in Nutzenergie umgewandelt werden.

Für ein Kraftfahrzeug wird eine Nutzleistung von 30 kW benötigt.

- Welcher Normvolumenstrom an Wasserstoff wird für eine Reaktion bei T_0 dafür benötigt? (5 P)
- Wie weit kann das Auto mit einem Tankinhalt von $V = 40 \text{ dm}^3 \cong 2,8 \text{ kg H}_2$ (flüssig) fahren, wenn das Auto mit $P = 30 \text{ kW}$ eine Geschwindigkeit von $c = 120 \text{ km/h}$ erreichen kann. (2 P)
- Reicht die Verlustenergie der Brennstoffzelle zum Verdampfen und Aufheizen des Wasserstoffs auf die Reaktionstemperatur $t_R = 300^\circ\text{C}$? (3 P)

Stoffdaten:

Stoff	M	$\Delta^B h_0$	$c_p^0 _{T_0}^{300^\circ\text{C}}$
	g/mol	kJ/mol	J/(mol K)
Wasserstoff	2,0155	0	1,92
Sauerstoff	31,9990	0	32,82
Stickstoff	28,0100	0	39,91
Wasserdampf	18,0150	-241,6	34,69

$$\Delta h(\text{H}_2) = h(25^\circ\text{C}) - h'(-252,78^\circ\text{C}) = 15,95 \text{ kJ/mol}$$

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

Dampfdruckkurve von Wasserdampf über Wasser:

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