

Thermodynamik 1

Klausur

06. August 2012

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 6 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: _____

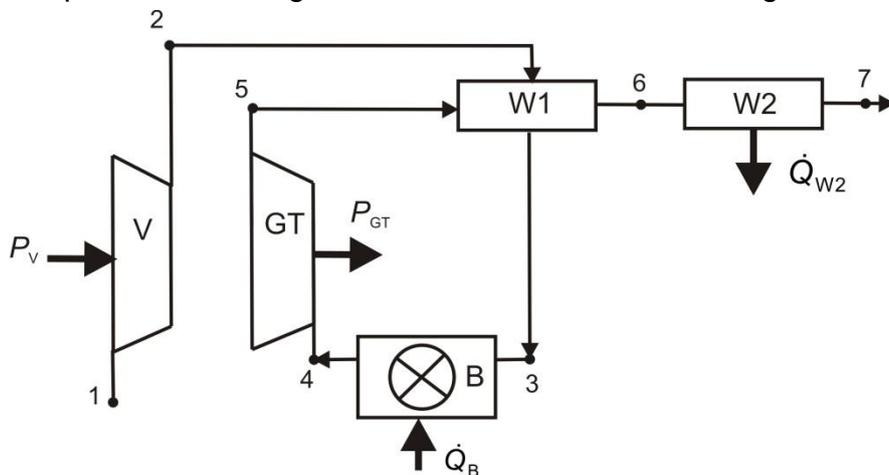
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	18		
2	19		
3	13		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (18 Punkte)

In einem GuD-Heizkraftwerk wird mit einer Kombination aus offenem Gasturbinen- und Dampfkraftprozess sowohl Strom als auch Prozesswärme erzeugt. Innerhalb des Gasturbinenprozesses wird mit dem Verdichter V der Luftmassenstrom $\dot{m}_L = 50 \text{ kg/s}$ aus der Umgebung ($t_1 = 20^\circ\text{C}$, $p_1 = 1 \text{ bar}$) angesaugt und komprimiert ($t_2 = 230^\circ\text{C}$, $p_2 = 5 \text{ bar}$). Der Verdichter wird direkt von der Gasturbine angetrieben. Im Wärmeübertrager W1 wird die verdichtete Luft durch das Abgas vorgewärmt. Die Verbrennung in der Brennkammer B kann durch eine isobare Zufuhr des Wärmestroms $\dot{Q}_B = 37,5 \text{ MW}$ ersetzt werden. Das Abgas wird in der Gasturbine GT ($\eta_{s,GT} = 0,8$) entspannt ($t_5 = 630^\circ\text{C}$, $p_5 = p_1$). Danach durchströmt das Abgas die Wärmeübertrager W1 und W2. Im Wärmeübertrager W2 wird dem Abgas der Wärmestrom $\dot{Q}_{W2} = 20 \text{ MW}$ entzogen und auf den Dampfkraftprozess übertragen. Anschließend strömt das Abgas in die Umgebung.



- Stellen Sie qualitativ den Gasturbinenprozess im T,s -Diagramm dar. Achten Sie dabei besonders auf die benötigten Temperaturen in den Wärmeübertragern. (4 P)
- Bestimmen Sie den isentropen Wirkungsgrad $\eta_{s,V}$ des Verdichters. Welche Leistung P_V muss dem Verdichter zugeführt werden? (5 P)
- Welche Temperatur T_4 besitzt das Abgas vor dem Eintritt in die Gasturbine? Berechnen Sie die Leistung der Turbine P_{GT} . (5 P)
- Mit welcher Temperatur T_7 strömt das Abgas in die Umgebung? (4 P)

Hinweise:

Die Wärmeübertrager W1 und W2 werden nach außen als adiabat angenommen. In allen Wärmeübertragern verlaufen die Zustandsänderungen isobar. Der Brennstoffmassenstrom kann vernachlässigt werden. Luft und Abgas werden als ideale Gase betrachtet. Der Verdichter und die Turbine werden als adiabate Systeme angenommen.

Stoffdaten Luft/Abgas:

Spezifische Wärmekapazität $c_{p,G} = 1010 \text{ J/(kg K)}$.

Spezifische Gaskonstante $R_G = 289 \text{ J/(kg K)}$.

Aufgabe 2 (19 Punkte)

In dem GuD-Heizkraftwerk wird dem Gasturbinenprozess in Aufgabe 1 ein Wärmestrom $\dot{Q}_{W2} = 20 \text{ MW}$ entzogen. Dieser wird im nachgeschalteten Dampfkraftprozess zur Verdampfung und anschließenden Überhitzung im Kessel genutzt.

Der überhitzte Dampf wird mit $t_8 = 360^\circ\text{C}$ und $p_8 = 50 \text{ bar}$ (Zustand 8) in der Dampfturbine mit $\eta_{S,T} = 0,85$ auf 5 bar entspannt (Zustand 9). Im Kondensator wird der Dampf vollständig verflüssigt (Zustand 10), wobei 90% des abgeführten Wärmestroms als Prozesswärme genutzt werden. Ausgehend vom Zustand 10 wird das Wasser durch die Kesselspeisepumpe in den Kessel gefördert. Die Pumpenleistung kann vernachlässigt werden.

- Skizzieren Sie den Dampfkraftprozess als Schaubild. (2 P)
- Skizzieren Sie den Prozess (Zustandspunkte 8 bis 11) in einem T - s -Diagramm. (3 P)
- Berechnen Sie den Dampfmassenstrom \dot{m}_D . (2 P)
- Bestimmen Sie die Leistung der Dampfturbine. (4 P)
- Wie groß ist die Dichte des Wasserdampfs am Ausgang der Dampfturbine? (3 P)
- Berechnen Sie den thermischen und den exergetischen Wirkungsgrad des Gesamtprozesses unter Berücksichtigung der Wärmenutzung. (5 P)

Hinweise:

Die Wärmeabfuhr im Kondensator bzw. die Wärmezufuhr im Kessel verlaufen isobar.

Die Umgebungstemperatur beträgt: $t_u = 20^\circ\text{C}$

Stoffdaten für den Abgasstrom: $c_{p,Abg} = 1,013 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

Stoffdaten für Wasser:

Kritische Daten: $t_c = 373,95^\circ\text{C}$, $p_c = 220,64 \text{ bar}$, $\rho_c = 322 \text{ kg}/\text{m}^3$

Zweiphasengebiet:

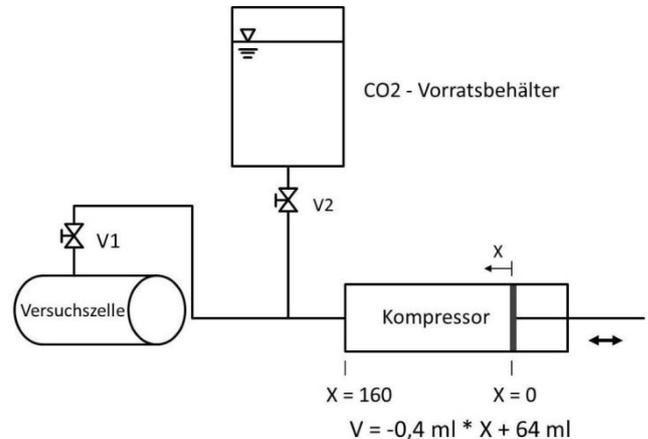
t °C	p MPa	ρ' kg/m ³	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/(kg K)	s'' kJ/(kg K)
99.61	0.1	958.63	0.590	417.50	2674.9	1.3028	7.3588
133.52	0.3	931.82	1.651	561.43	2724.9	1.6717	6.9916
151.83	0.5	915.29	2.668	640.09	2748.1	1.8604	6.8207
250.35	4.0	798.37	20.090	1087.50	2800.8	2.7968	6.0696
263.94	5.0	777.37	25.351	1154.60	2794.2	2.9210	5.9737
275.58	6.0	758.00	30.818	1213.90	2784.6	3.0278	5.8901

Homogenes Zustandsgebiet:

t °C	p bar	ρ kg/m ³	h kJ/kg	s kJ/(kg K)
150.00	5.00	917.020	632.20	1.8418
200.00	5.00	2.353	2855.80	7.0610
320.00	5.00	1.846	3105.90	7.5323
360.00	5.00	1.725	3188.90	7.6677
400.00	5.00	1.620	3272.30	7.7955
151.19	50.00	918.450	640.09	1.8488
320.00	50.00	20.777	2986.20	6.3149
360.00	50.00	18.802	3095.60	6.4935
400.00	50.00	17.290	3196.70	6.6483
440.00	50.00	16.065	3293.40	6.7879

Aufgabe 3 (13 Punkte)

In einer Versuchsanlage soll eine Versuchszelle über einen Kompressor mit flüssigem CO₂ befüllt werden. Das gesamte CO₂ befindet sich bei Versuchsbeginn in einem CO₂-Vorratsbehälter im Dampf-Flüssigkeits-Phasengleichgewicht. Das Ventil V₂ ist geschlossen, V₁ ist geöffnet. Die Versuchszelle und der Kompressor sind mit insgesamt 0,115 g Umgebungsluft gefüllt. Die Umgebungstemperatur beträgt $t_u = 25^\circ\text{C}$, der Umgebungsdruck $p_u = 1,013$ bar. Die Kompressorstellung ist $X = 0$.



- a) Berechnen Sie das Volumen der Versuchszelle und das der gesamten Versuchsanlage (Versuchszelle + Kompressor). (2 P)
- b) Wie groß ist der Druck im CO₂-Vorratsbehälter? (1 P)

Nun wird die gesamte Versuchsanlage evakuiert, das Ventil V₁ geschlossen und V₂ geöffnet, so dass CO₂ vom Vorratsbehälter in den Kompressor strömt.

- c) Wie viel Masse CO₂ wird umgefüllt, wenn das CO₂ nach dem Umfüllvorgang im Kompressor einphasig bei 90 bar vorliegt (Kompressorstellung $X = 70$)? (2 P)

Im nächsten Schritt wird das Ventil V₁ geöffnet und das Volumen des Kompressors verkleinert ($X = 120$), so dass 2/3 der in c) berechneten Masse in die Versuchszelle umgefüllt wird. V₁ wird geschlossen.

- d) Wie groß ist der Anteil des CO₂-Flüssigkeitsvolumens in der Versuchszelle nach dem Umfüllvorgang? (3 P)

Nun wird die Versuchszelle solange erwärmt, bis das CO₂ gerade nur noch in der flüssigen Phase vorliegt.

- e) Welche Temperatur hat die Versuchszelle nun? (2 P)
- f) Wie viel Wärme muss für diese Temperierung zugeführt werden? (3 P)

Hinweise:

Volumen des Kompressors: $V = -0,4 \text{ ml} * X + 64 \text{ ml}$

Die Versuchszelle kann als starr angenommen werden. Das Volumen aller Leitungen kann vernachlässigt werden.

Stoffdaten: siehe nächste Seite

Stoffdaten:

Stoffdaten für Luft: Luft kann als ideales Gas mit $c_p = 1,013 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ betrachtet werden.
Spezifische Gaskonstante $R_{\text{Luft}} = 289 \text{ J}/(\text{kg K})$.

Stoffdaten für CO_2 :

Zweiphasiges Zustandsgebiet von CO_2 :

$t / ^\circ\text{C}$	p / bar	$\rho' / \text{kg}/\text{m}^3$	$\rho'' / \text{kg}/\text{m}^3$	$u' / \text{kJ}/\text{kg}$	$u'' / \text{kJ}/\text{kg}$
20.00	57.291	773.39	194.20	248.46	378.36
25.00	64.342	710.50	242.73	265.73	367.92
30.00	72.137	593.31	345.10	292.40	344.23
30.50	72.967	565.29	371.73	297.90	337.94

Homogenes Zustandsgebiet von CO_2 :

$t / ^\circ\text{C}$	p / bar	$\rho / \text{kg}/\text{m}^3$	$u / \text{kJ}/\text{kg}$
25.00	70.00	743.03	259.50
25.00	80.00	776.64	252.76
25.00	90.00	799.65	247.97
25.00	100.0	817.63	244.15
30.00	70.00	266.56	366.45
30.00	80.00	701.72	272.63
30.00	90.00	744.31	264.23
30.00	100.0	771.50	258.65