

Thermodynamik 1

Klausur

12. August 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	19		
2	19		
3	12		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (19 Punkte)

Das beim Verbrennungsprozess in einem Kohlekraftwerk entstehende Rauchgas soll katalytisch gereinigt werden. Der Rauchgasmassenstrom $\dot{m}_{RG1} = 35 \text{ kg/s}$ wird zunächst ausgehend vom Zustand 1 ($p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = 350 \text{ °C}$) reversibel auf den Zustand 2 ($p_2 = 1,3 \text{ bar}$, $t_2 = 390 \text{ °C}$) verdichtet. Nach dem Verdichten wird dem Rauchgasmassenstrom \dot{m}_{RG1} der Rauchgasmassenstrom \dot{m}_{RG2} vom Zustand 3 ($p_3 = 1,3 \text{ bar}$, $t_3 = 230 \text{ °C}$) beigemischt. Der Gesamtmassenstrom hat vor dem Eintritt in den Katalysator (Zustand 4) eine Temperatur von 300 °C . Im Katalysator läuft eine exotherme Reaktion ab, was dazu führt, dass die Temperatur des Rauchgases am Austritt aus dem Katalysator 330 °C beträgt (Zustand 5). Zusätzlich tritt bei der Durchströmung des Katalysators ein Druckverlust auf, so dass Rauchgas mit $p_5 = 1 \text{ bar}$ aus dem Katalysator austritt. Zwischen dem Katalysator und der Umgebung wird keine Wärme ausgetauscht. Zur Nutzung der im Rauchgas enthaltenen Abwärme wird dieses in einem Wärmeübertrager isobar auf 120 °C abgekühlt. Dabei wird der Wassermassenstrom von 60 °C auf 100 °C isobar erwärmt.

- a) Skizzieren Sie den Prozess (Schaltbild) (1 P)
- b) Stellen Sie alle Zustandsänderungen qualitativ in einem p,v - und einem T,s -Diagramm dar. (3 P)
- c) Welche Antriebsleistung wird dem Verdichter zugeführt? (3 P)
- d) Berechnen Sie den vom Verdichter abgeführten Wärmestrom. (2 P)
- e) Berechnen Sie den zugemischten Rauchgasmassenstrom \dot{m}_{RG2} . (2 P)
- f) Wie groß ist die Exergieänderung, die im Katalysator auftritt?
(Exergieänderungen aufgrund der chemischen Reaktion sind zu vernachlässigen.) (3 P)
- g) Wie groß ist der Wassermassenstrom und welcher Exergieverlust tritt im Wärmeübertrager auf? (5 P)

Hinweise:

Der Wärmeübertrager wird nach außen als adiabat angenommen.

Alle Rauchgase werden als ideale Gase mit $c_{p,RG} = 0,95 \text{ kJ/(kg K)}$ und $\kappa = 1,4$ betrachtet.

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt $c_{p,W} = 4,18 \text{ kJ/(kg K)}$.

Die Umgebungstemperatur beträgt $t_U = 10 \text{ °C}$.

Aufgabe 2 (19 Punkte)

In einem Dampfkraftwerk wird ein Massenstrom $\dot{m}_{\text{ges}} = 120 \text{ kg/s}$ an siedendem Wasser aus dem Kondensator von $p = 0,07 \text{ bar}$ in den Kessel gefördert. Im Kessel wird das Wasser isobar bei einem Druck von 190 bar verdampft und überhitzt. Für die Überhitzung des Dampfes werden $896,4 \text{ kJ/kg}$ Wärme benötigt. In einer zweiteiligen Turbine wird der Dampf im Anschluss auf den Kondensatordruck entspannt. Nach dem Hochdruckteil der Turbine liegt der Dampf bei $p = 43 \text{ bar}$ und $t = 331 \text{ °C}$ vor. Anschließend wird er isobar auf die Temperatur 535 °C zwischenüberhitzt, um danach im Niederdruckteil auf den Kondensatordruck expandiert zu werden. Nach dieser Expansion beträgt der Dampfanteil $x = 0,95$.

- a) Zeichnen Sie ein Schema des Prozesses und stellen Sie ihn qualitativ in einem T,s – und in einem p,v - Diagramm dar (5 P)
- b) Berechnen Sie die Leistungen von Hochdruck- und Niederdruckteil der Turbine (5 P)
- c) Berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Kraftwerks (3 P)
- d) Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad des Kraftwerks (6 P)

Wichtige Hinweise

Die Antriebsleistung der Kesselspeisepumpe soll vernachlässigt werden.

Die Umgebungstemperatur beträgt $t_U = 20 \text{ °C}$.

Die Stoffdaten von Wasser sind auf der nächsten Seite angegeben.

Stoffdaten von Wasser

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

Zweiphasengebiet

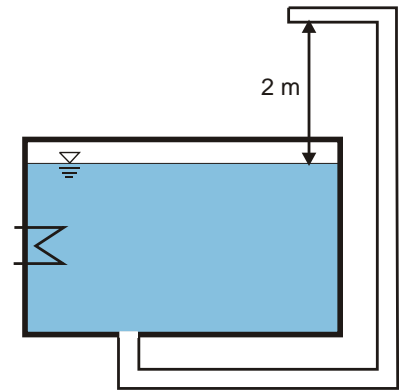
t °C	p bar	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/(kg K)	s'' kJ/(kg K)
39,0	0,07	163,35	2571,7	0,5590	8,2745
254,7	43,00	1108,8	2799,2	2,8365	6,0390
361,4	190,00	1776,4	2466,8	3,9389	5,0270

Homogenes Zustandsgebiet

t °C	p bar	h kJ/kg	s kJ/(kg K)
100	0,07	2687,8	8,6143
200	0,07	2879,7	9,0697
285	43	2906,0	6,2362
295	43	2936,5	6,2904
305	43	2965,7	6,3413
315	43	2993,8	6,3894
325	43	3021,0	6,4353
335	43	3047,5	6,4793
525	43	3500,1	7,1286
530	43	3511,6	7,1430
535	43	3523,1	7,1572
540	43	3534,5	7,1714
30	190	142,9	0,4308
34	190	160,0	0,4867
37	190	171,9	0,5252
40	190	184,3	0,5650
520	190	3318,0	6,2627
525	190	3333,2	6,2818
530	190	3348,3	6,3006
540	190	3378,0	6,3374
550	190	3407,2	6,3731

Aufgabe 3 (12 Punkte)

In einem nach Außen adiabaten Druckbehälter mit dem Volumen $V = 0,4 \text{ m}^3$ befindet sich Azeton im Phasengleichgewicht bei einem Druck von $p_1 = 1 \text{ bar}$. Die flüssige Phase nimmt 90% des Behältervolumens ein. Am Boden des Behälters ist eine Entnahmeleitung angeschlossen, deren Auslassöffnung 2 m über dem Flüssigkeitsspiegel des Behälters liegt.



Wenn Flüssigkeit entnommen werden soll, wird die elektrische Heizung eingeschaltet. Der entstehende Dampfanteil im Behälter drückt die siedende Flüssigkeit über die Entnahmeleitung bis zur Auslassöffnung. Der Umgebungsdruck beträgt $p_U = 1 \text{ bar}$.

Hinweise:

Das Volumen der Entnahmeleitung ist vernachlässigbar.

Die Erdbeschleunigung ist mit $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ gegeben.

Die Höhe des Flüssigkeitsspiegels kann beim Entnahmeprozess näherungsweise als konstant angenommen werden.

- Berechnen Sie die gesamte Masse von Azeton im Behälter. (2 P)
- Welcher Druck p_2 muss im Behälter herrschen, damit die gesättigte Flüssigkeit im Entnahmerohr gerade bis zur Auslassöffnung steht? (2 P)
- Welche Masse von flüssigem Azeton muss verdampfen, wenn 1 kg Azeton entnommen wird (ausgehend vom Zustand 2)? (3 P)
- Welche Masse an Flüssigkeit kann maximal entnommen werden und warum kann nicht mehr entnommen werden? (5 P)

Stoffdaten von Azeton

Zweiphasengebiet

$t / ^\circ\text{C}$	p / bar	$v' / \text{m}^3/\text{kg}$	$v'' / \text{m}^3/\text{kg}$	$u' / \text{kJ}/\text{kg}$	$u'' / \text{kJ}/\text{kg}$
55,7	1,0	0,0013	0,44646	-0,991	456,35
58,5	1,1	0,0013	0,40803	5,269	459,27
61,1	1,2	0,0013	0,37581	11,115	462,00
63,6	1,3	0,0013	0,34839	16,607	464,56
65,9	1,4	0,0013	0,32476	21,792	466,97
68,0	1,5	0,0013	0,30419	26,709	469,25
70,1	1,6	0,0013	0,28610	31,389	471,41