

Thermodynamik 1

Klausur

01. August 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	17		
2	18		
3	15		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (17 Punkte)

In einem Rechenzentrum muss der Rechnerraum gekühlt werden, da die anfallende Abwärme der Rechner den Raum übermäßig erhitzen würde. Für die Kühlung wird eine Kaltluftanlage eingesetzt, die dem zu kühlenden Raum 10 m^3 Luft pro Sekunde entzieht. In dem Raum wird keine Feuchtigkeit in die Luft eingebracht. Die Luft wird in aufeinanderfolgenden Prozessen folgenden Zustandsänderungen unterworfen:

1 \rightarrow 2 reversibel adiabate Verdichtung auf p_2

2 \rightarrow 3 isobare Abkühlung auf $T_3 = 310 \text{ K}$

3 \rightarrow 4 reversibel adiabate Entspannung in einer Turbine auf $p_4 = 100 \text{ kPa}$

4 \rightarrow 1 isobare Wärmezufuhr im Rechnerraum. Dadurch Erwärmung auf $T_1 = 350 \text{ K}$

Die von der Turbine abgegebene Leistung wird in den Verdichter eingekoppelt. Die abgegebene Wärmeleistung betrage pro Rechner $P = 0,8 \text{ kW}$, im Raum befinden sich 1000 Rechner.

Die Luft kann als ideales Gas mit konstanten Wärmekapazitäten betrachtet werden.

- Skizzieren Sie den Kreisprozess und stellen Sie die Zustandsänderungen qualitativ in einem p,v - und einem T,s -Diagramm dar (5 P)
- Berechnen Sie den Luftmassenstrom \dot{m}_{Luft} (2 P)
- Berechnen Sie die Temperatur T_4 (3 P)
- Wie groß ist der Druck p_2 nach der Verdichtung? (4 P)
- Welche Verdichterleistung muss von außen zugeführt werden, um den Prozess zu realisieren? (3 P)

Stoffdaten:

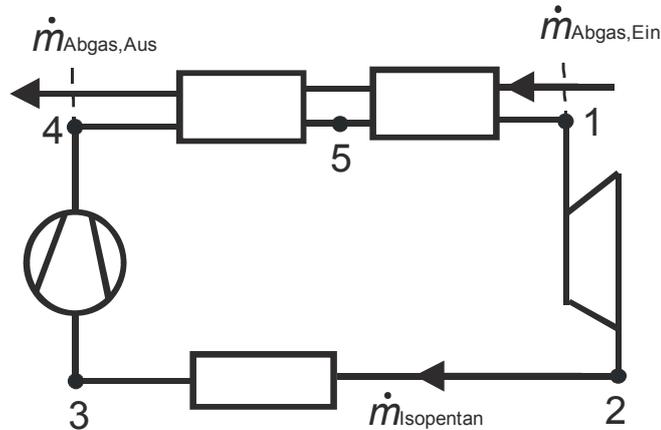
Molmasse $M = 28,96 \text{ g/mol}$

Spezifische Wärmekapazität $c_v = 0,715 \text{ kJ/(kg K)}$

Allgemeine Gaskonstante $R_m = 8,314472 \text{ J/(mol K)}$.

Aufgabe 2 (18 Punkte):

Zur energetischen Nutzung industrieller Abgasströme wird ein Rankine-Prozess mit dem Arbeitsmedium Isopentan betrieben.



In dem Prozess finden folgende Zustandsänderungen statt:

- 1 → 2: Der gesättigte Dampf (Zustand 1) wird in einer Turbine mit dem isentropen Wirkungsgrad von $\eta_{s,T} = 0,95$ auf den Kondensatordruck $p_2 = 1$ bar entspannt.
- 2 → 3: Vollständige Kondensation des Isopentans.
- 3 → 4: Die Kesselspeisepumpe fördert die gesättigte Flüssigkeit auf den Verdampferdruck. Der Wirkungsgrad der Kesselspeisepumpe beträgt $\eta_{s,V} = 0,85$.
- 4 → 5: Isobare Vorwärmung des Arbeitsmediums bei 20 bar bis zur Siedelinie.
- 5 → 1: Isobare Verdampfung des Arbeitsmediums bis zur Taulinie.

Der zu nutzende Abgasstrom hat zu Beginn eine Temperatur von $t_{\text{Abg,ein}} = 230$ °C, gibt insgesamt den Wärmestrom $\dot{Q}_{\text{Abg}} = 8,25$ MW an den Prozess ab und kühlt dabei auf $t_{\text{Abg,aus}}$ ab. Die kleinste Temperaturdifferenz zwischen Abgasstrom und Arbeitsmedium (am Zustandspunkt 5) beträgt $\Delta T = 10$ K.

- a) Skizzieren sie den Prozess (Zustandspunkte 1 bis 5) in einem T - s -Diagramm. Achten Sie besonders auf den Verlauf der Taulinie. (5 P)
- b) Berechnen Sie den Massenstrom \dot{m}_{Iso} des Isopentans und den Massenstrom \dot{m}_{Abg} des Abgases? (5 P)
- c) Wie groß ist die Temperatur $T_{\text{Abg,aus}}$ des Abgases nach der Wärmeübertragung an den Prozess? (2 P)
- d) Berechnen Sie den thermischen und den exergetischen Wirkungsgrad des Prozesses. (6 P)

Die Umgebungstemperatur beträgt: $t_u = 25$ °C

Stoffdaten für Isopentan und den Abgasstrom: siehe nächste Seite

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

Stoffdaten für Isopentan:

Zweiphasengebiet:

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)
-25.55	0.1	663.89	0.35	-115.19	265.83	-0.4200	1.1188
27.45	1	612.47	3.02	-0.87	342.71	-0.0029	1.1401
83.71	5	549.26	14.04	137.10	430.26	0.4149	1.2364
115.77	10	505.18	28.55	225.22	479.68	0.6487	1.3030
137.36	15	469.06	44.96	289.70	510.61	0.8074	1.3456
154.07	20	434.63	64.48	343.52	531.26	0.9333	1.3727
167.82	25	398.11	89.36	391.81	543.54	1.0417	1.3858
179.50	30	352.52	126.22	438.81	545.31	1.1439	1.3792

Kritische Daten: $t_c = 187,2 \text{ °C}$, $p_c = 33,78 \text{ bar}$, $\rho_c = 236 \text{ kg/m}^3$

Homogenes Zustandsgebiet:

t °C	p bar	ρ kg/m ³	h kJ/kg	s kJ/(kg K)
64.62	1	2.65	409.13	1.3483
69.06	1	2.61	417.44	1.3727
75.06	1	2.56	428.82	1.4057
80.60	1	2.52	439.47	1.4360
85.00	1	2.48	448.02	1.4600
10.00	20	632.38	-38.29	-0.1415
20.00	20	622.63	-16.13	-0.0647
30.00	20	612.65	6.52	0.0113
40.00	20	602.43	29.69	0.0865
50.00	20	591.90	53.40	0.1610

Aufgabe 3 (15 Punkte):

Im adiabaten Kondensator eines Dampfkraftwerks kondensiert nasser Dampf ($x_1 = 0,923$) beim konstanten Druck $p = 0,05$ bar. Der Massenstrom des Dampfes beträgt $\dot{m}_D = 200$ t/h. Zur Kondensation des Dampfes steht ein Kühlwasserstrom ($\dot{m}_W = 8500$ t/h) bei der Umgebungstemperatur $t_U = 13,5$ °C zur Verfügung, der sich im Kondensator um $\Delta T = 12$ °C erwärmt. Die spezifische isobare Wärmekapazität des Kühlwassers ist als konstant anzusehen und beträgt $c_{p,W} = 4,19$ kJ/(kg K).

Da das Kraftwerk jedoch die erwartete Leistung nicht erbringt, besteht von Seiten des Kraftwerksbetreibers die Befürchtung, dass der Wasserdampf im Kondensator nicht vollständig bis zur Siedelinie auskondensiert.

- Um dies zu überprüfen skizzieren Sie die Zustandsänderung des Dampfes in einem T, s - Diagramm und zeichnen Sie auch die Kurven konstanten Dampfgehalts (mit Beschriftung des jeweiligen Wertes) am Punkt 1 und 2 ein. (6 P)
- Welche Bedeutung hat im T, s -Diagramm die Fläche unter der Linie der Zustandsänderung des Dampfes (maximal 1 Satz; möglichst genau spezifizieren)? (4 P)
- Welcher Exergieverluststrom tritt im Kondensator auf, wenn die noch vorhandene Exergie im abströmenden Kühlwasser ebenfalls als Verlust gewertet wird? (5 P)

Stoffdaten für Wasser:

T K	p MPa	ρ' kg/m ³	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	s' kJ/(kg K)	s'' kJ/(kg K)
302.11	0.004	995.92	0.0287	121.39	2553.7	0.422	8.473
306.02	0.005	994.70	0.0355	137.75	2560.7	0.476	8.394
309.31	0.006	993.59	0.0421	151.48	2566.6	0.521	8.329
312.15	0.007	992.55	0.0487	163.35	2571.7	0.559	8.275