

Thermodynamik 1

Klausur

01. März 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: _____

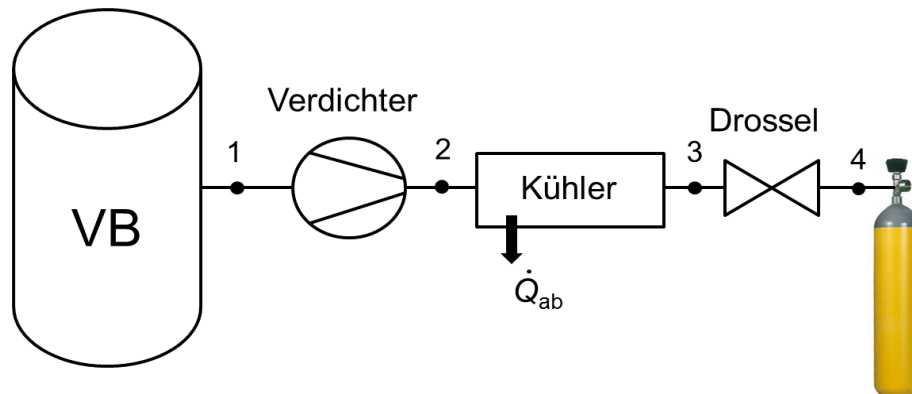
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	15		
2	18		
3	17		
Zwischensumme			
Bonuspunkte			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (15 Punkte)

Die unten skizzierte Anlage wird zum Befüllen von Druckluftflaschen verwendet.



Ein isentroper Verdichter saugt die Luft aus einem großen Vorratsbehälter (VB, Zustand 1, $p_1 = 3$ bar, Temperatur $t_1 = 18^\circ\text{C}$) an und fördert es mit einem konstanten Austrittsdruck $p_2 = 50$ bar bis zur Drossel. Nach dem Verdichter wird das Gas in einem Kühler isobar auf Umgebungstemperatur $t_U = 18^\circ\text{C}$ zurückgekühlt und über eine adiabate Drossel in die Druckluftflasche gefüllt. Der Druck nimmt in der Drossel durch Verwirbelungs- und Reibungsvorgänge ab (es wird keine Arbeit geleistet). Der Druck am Ausgang aus der Drossel (Zustand 4) entspricht genau dem Druck in der Flasche $p_4 = 45$ bar. Die Zustandsänderungen 1 bis 3 sind als reibungsfrei anzusehen.

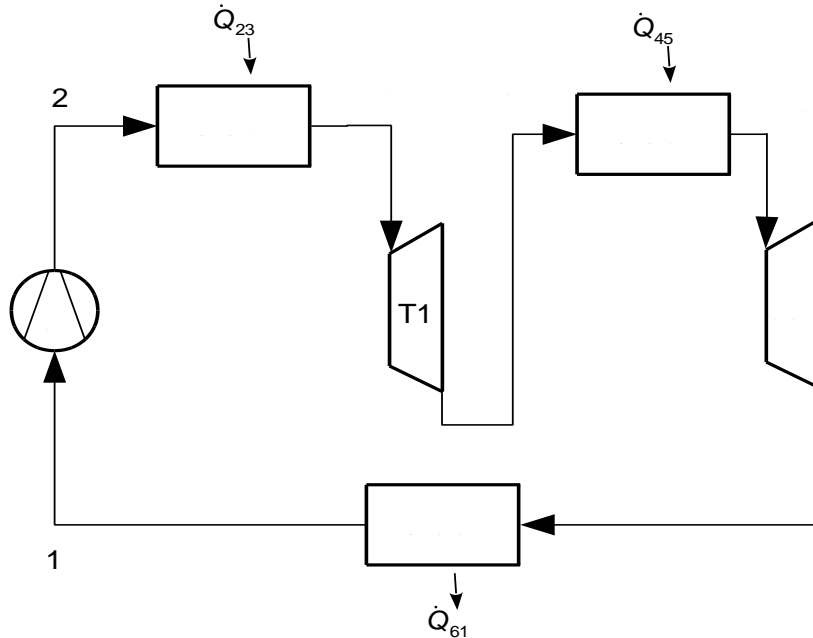
Für die Berechnungen soll Luft als ideales Gas angenommen werden. Das Volumen der Druckluftflasche beträgt 6 Liter.

Die universelle Gaskonstante ist $R_m = 8,314472$ J/(mol K), $c_{p,L} = 1,007$ kJ/(kg K), $M_L = 28,96$ g/mol

- Skizzieren Sie die Zustandsänderungen 1 bis 4 in einem p, v - und einem T, s -Diagramm. (4 P)
- Berechnen Sie die Temperatur am Austritt des Verdichters und die spezifische Verdichtungsarbeit. (3 P)
- Wie viel Wärme wird der Luft im Kühler entzogen? (1 P)
- Wie groß ist die Masse der Luft, die beim Befüllvorgang in die Flasche gefördert wird, wenn die Flasche innerhalb einer Minute befüllt sein soll? Welche Verdichterleistung ist dafür erforderlich? (2 P)
- Wie verändert sich die Verdichterleistung, wenn die Kompression reversibel isotherm verlaufen würde? (2 P)
- Berechnen Sie den Exergieverlust im Kühler und stellen Sie diesen als Fläche im T, s -Diagramm dar. (3 P)

Aufgabe 2 (18 Punkte):

Zur Nutzung einer geothermalen Wärmequelle soll ein Rankine-Kreisprozess ausgelegt werden. Als Arbeitsmedium wird Isopentan vorgesehen. Das zunächst geplante Anlagenschema ist unten dargestellt.



- 1 → 2: Ausgehend von Zustandspunkt 1, der bei einer Temperatur von $t_1 = 30^\circ\text{C}$ auf der Siedelinie liegt, wird das Arbeitsmedium auf 0,9 MPa gefördert ($\eta_{s,12} = 0,7$).
- 2 → 3: Im Wärmeübertrager 1 wird das Isopentan isobar auf die Temperatur $t_3 = 111^\circ\text{C}$ erwärmt.
- 3 → 4: In der Turbine 1 findet eine Entspannung mit dem Druckverhältnis $\Pi = p_3/p_4 = 3$ und dem isentropen Wirkungsgrad $\eta_{s,34} = 0,8$ statt.
- 4 → 5: Daraufhin wird das Arbeitsmedium wieder isobar auf $t_5 = t_3$ erhitzt.
- 5 → 6: In der Turbine 2 wird das Isopentan mit dem isentropen Wirkungsgrad $\eta_{s,56} = 0,8$ entspannt.
- 6 → 1: Isobare Wärmeabgabe im Wärmeübertrager 3.

Die Umgebungstemperatur der Anlage beträgt $t_a = 15^\circ\text{C}$ und der Massenstrom ist $\dot{m}_{\text{IP}} = 15 \text{ kg/s}$.

- Skizzieren Sie den Prozess qualitativ richtig im T,s -Diagramm. (3 P)
- Berechnen Sie die benötigte Leistung der Pumpe. (1 P)
- Wie groß sind die Wärmeströme \dot{Q}_{23} und \dot{Q}_{45} ? (3 P)
- Bestimmen Sie die Turbinenleistungen P_{34} und P_{56} . (2 P)
- Berechnen Sie die Nutzleistung und den thermischen Wirkungsgrad der Anlage. (2 P)

Nach dem Bau der Anlage (Anlage A) bestätigt der Betreiber die oben berechneten Werte, ist jedoch unzufrieden mit der Höhe der gewonnenen Leistung. Als Vergleichsanlage wird ein Geothermiekraftwerk im "Heber Geothermal Field" in Kalifornien (Anlage B) herangezogen, das das gleiche Anlagenschema hat. Einige wichtige Daten sind unten in der Tabelle dargestellt. Der thermische Wirkungsgrad der oben berechneten Anlage A erweist sich als schlechter, was der Betreiber auf die Qualität der einzelnen Bauteile zurückführt.

Geothermiekraftwerk im "Heber Geothermal Field", Imperial Valley, CA, USA

T_1	T_3	T_5	P_{Nutz}	η_{th}	η_{ex}	T_a
303.15 K	440 K	440 K	6875 kW	13.2 %	50.7 %	288.15 K

- f) Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad des Prozesses (Anlage A). (4 P)
- g) Warum ist der Prozess von Anlage A tatsächlich besser ausgelegt und wieso ist der thermische Wirkungsgrad des "Heber Geothermal Field"-Kraftwerks trotzdem höher? (3 P)

Stoffdaten für Isopentan:

Einphasiges Gebiet

t [°C]	p [MPa]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg K)]
30.00	0.00756	0.2169	351.83	1.4635
87.60	0.10917	2.6939	452.81	1.4635
90.00	0.10917	2.6745	457.54	1.4766
95.00	0.10917	2.6352	467.48	1.5037
80.66	0.30000	7.9788	432.31	1.2950
90.00	0.30000	7.7147	451.09	1.3474
100.00	0.30000	7.4553	471.55	1.4030
111.00	0.30000	7.1936	494.49	1.4635
30.29	0.90000	610.7400	6.29	0.0165
31.00	0.90000	610.0100	7.92	0.0187
111.00	0.90000	25.4550	472.90	1.2950

Zweiphasiges Gebiet

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)]
20.00	0.07667	620.03	2.3547	-17.77	331.46	-0.0597	1.1316
25.00	0.09180	614.97	2.7863	-6.46	339.00	-0.0215	1.1372
30.00	0.10917	609.84	3.2771	4.99	346.59	0.0165	1.1433
110.52	0.90000	513.03	25.5240	210.23	471.77	0.6104	1.2921
111.00	0.90883	512.32	25.7880	211.59	472.50	0.6139	1.2931

Kritische Daten von Isopentan: $t_c = 187,2^\circ\text{C}$ und $p_c = 3,378 \text{ MPa}$

Aufgabe 3 (17 Punkte):

Mit der Befüllanlage aus Aufgabe 1 soll nun eine zuvor evakuierte Druckflasche mit dem Kältemittel R1234yf bei der Umgebungstemperatur $t_u = 20^\circ\text{C}$ befüllt werden. Das R1234yf liegt nach der Befüllung zweiphasig in der Druckflasche vor.

- a) Welcher Druck p_1 stellt sich nach dem Befüllvorgang in der Flasche ein? (1 P)
- b) Bei der Befüllung strömt das R1234yf 19 Minuten lang mit dem Massenstrom $\dot{m} = 40 \text{ g/s}$ in die Druckflasche ein. Auf welcher Höhe h befindet sich der Flüssigkeitsspiegel nach diesem Befüllvorgang? (3 P)

Das in die Gasflasche abgefüllte Kältemittel R1234yf soll in einer Hotel-Klimaanlage in Dubai eingesetzt werden. Hier können maximale Umgebungstemperaturen von 45°C auftreten.

- c) Hält die Druckflasche dem Innendruck bei einer Temperatur von 45°C stand, wenn die maximal zulässige Kraft pro cm^2 auf die Seitenwände $0,5 \text{ kN/cm}^2$ beträgt? Ab welcher Temperatur ist kein Dampf mehr in der Druckflasche vorhanden? Welcher Druck liegt dann vor? Was würde bei weiterer Temperaturerhöhung geschehen? (5 P)

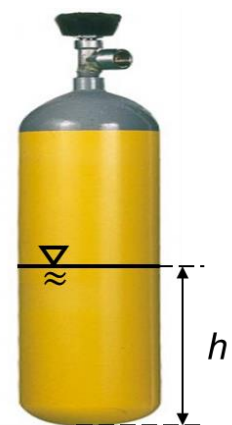
Die Klimaanlage wird in Dubai bei 30°C befüllt. Hierzu werden $7,5 \text{ kg/h}$ Dampf R1234yf aus der Flasche entnommen. Dieser Entnahmevorgang dauert 5 Stunden. Die Temperatur des R1234yf im Druckbehälter ändert sich hierbei nicht.

- d) Welche Masse an R1234yf befindet sich nach dem Entnahmevorgang noch in der flüssigen Phase? Wieviel Wärme muss von außen zugeführt werden, bei einem isotherm-isobaren Entnahmevorgang? (6 P)
- e) Tragen Sie alle Zustandspunkte in ein p, v -Diagramm ein. (2 P)

Stoffdaten für R1234yf:

Zweiphasiger Zustand:

t	p	ρ'	ρ''	u'	u''	h'	h''
$^\circ\text{C}$	bar	kg/m^3	kg/m^3	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
20	5.917	1109.86	32.80	62.64	194.42	63.17	212.47
30	7.835	1073.30	43.73	76.36	200.41	77.09	218.33
40	10.184	1033.78	57.75	90.49	206.11	91.48	223.75
45	11.538	1012.65	66.22	97.74	208.82	98.87	226.24
60	16.419	941.34	99.75	120.36	216.05	122.10	232.51
65	18.348	913.73	114.68	128.29	218.03	130.30	234.03
70	20.445	883.23	132.33	136.48	219.70	138.80	235.15
75	22.723	848.85	153.67	145.01	220.92	147.69	235.71
94.7	33.822	475.55	475.55	199.02	199.02	206.13	206.13



Weitere Angaben:

Das Volumen der Gasflasche beträgt 50 Liter und ist unabhängig vom Druck und von der Temperatur. Der Innendurchmesser der Gasflasche beträgt $d = 0,3 \text{ m}$. Nehmen Sie eine Zylinderform der Flasche an mit Halbkugeln oben und unten. $V_{\text{Kugel}} = \pi/6 * d^3$