

Thermodynamik 2

Klausur

16. März 2017

Bearbeitungszeit: 150 Minuten

Umfang der Aufgabenstellung: 7 nummerierte Seiten

Alle Unterlagen zur Vorlesung, Übung und Tutorien 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: _____

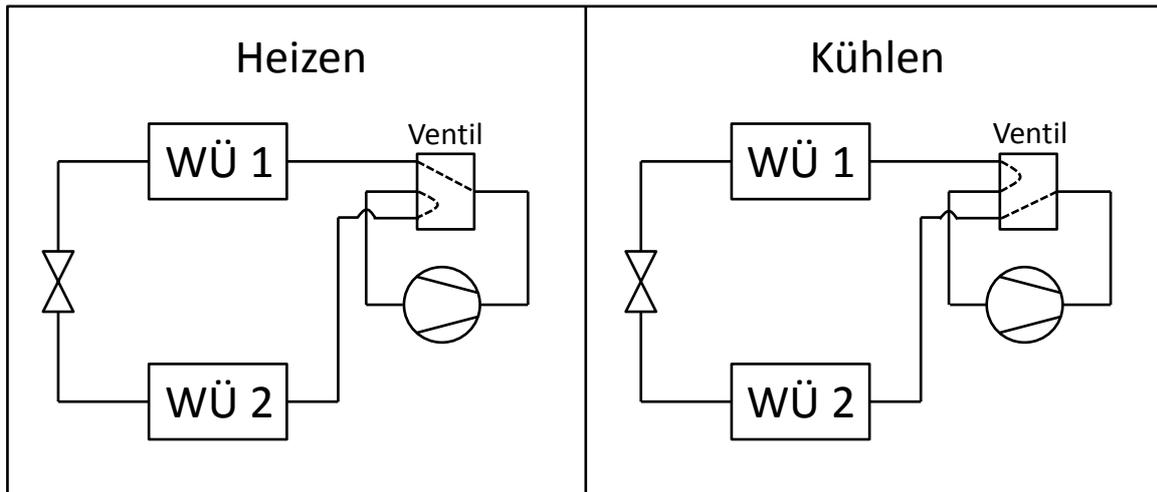
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	26		
2	28		
3	26		
Zwischensumme			
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (26 Punkte)

Die Wärmepumpe (Arbeitsmedium R32) eines Einfamilienhauses kann im Winter zum Heizen und im Sommer zum Kühlen genutzt werden. Die Umschaltung zwischen diesen beiden Modi geschieht über ein Ventil (siehe Schema). Ein Wärmeübertrager an der Außenluft wird zur Wärmeaufnahme bzw. -abgabe (Heizen bzw. Kühlen) genutzt. Es wird isobare Wärmeübertragung sowie adiabate Verdichtung und Drosselung angenommen.



- a. Erläutern Sie kurz, welcher Wärmeübertrager (WÜ) sich außerhalb des Hauses befindet und welcher im Haus verwendet wird. Begründen Sie ihre Antwort. Welcher WÜ wird im Kühlmodus als Verdampfer und welcher als Kondensator genutzt? (3 P)

An einem Sommertag (Kühlmodus) beträgt die Außentemperatur $t_u = 32 \text{ }^\circ\text{C}$. Ausgehend von einer Überhitzung von 30 K wird das Kältemittel bei $p = 2,5920 \text{ MPa}$ bis zur gesättigten Flüssigkeit kondensiert und anschließend gedrosselt. Das Arbeitsmedium wird dann bis zur Taulinie verdampft und um 3 K auf $T = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ überhitzt. Im Verdichter wird der Druck anschließend auf den Kondensationsdruck erhöht.

- b. Berechnen Sie den isentropen Wirkungsgrad des Verdichters. (5 P)
- c. Wie groß muss der Massenstrom R32 sein, wenn 4 kW Kälteleistung von der Anlage bereitgestellt werden soll? (2 P)
- d. Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad der Anlage im Kühlmodus. (5 P)
- e. Muss das Verhältnis zwischen oberem und unterem Druckniveau tendenziell im Sommer oder im Winter größer sein? Nehmen Sie dafür an, dass sowohl im Sommer als auch im Winter ein maximaler Druck von 2,5920 MPa im Prozess vorliegt. Begründen Sie Ihre Antwort. (2 P)

Es soll nun ein Wintertag ($t_u = 2 \text{ }^\circ\text{C}$) betrachtet werden, an dem 5 kW Heizleistung von der Wärmepumpe bereitgestellt werden. Der Verdichter nimmt dabei eine Leistung von $P_v = 1,0 \text{ kW}$ auf.

f. Wie groß ist in diesem Fall die Wärmeaufnahme aus der Umgebung? (2 P)

g. Stellen Sie die beiden Prozesse (Heizen und Kühlen) qualitativ in **einem** T,s -Diagramm dar.

Zeichnen Sie die Umgebungstemperaturen im Sommer und Winter mit ein. (7 P)

Hinweise für das Zeichnen:

Für beide Prozesse gilt: $p_{\max} = 2,5920 \text{ MPa}$, unterkritische Wärmeübertragung, der Zustand vor dem Verdichter ist leicht überhitzt und der Zustand vor der Drossel ist vollständig gesättigt.

Zweiphasiger Zustand von R32:

T	p	h'	h''	s'	s''
K	MPa	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg K)	kJ/(kg K)
283,15	1,1069	217,74	516,66	1,0628	2,1185
315,15	2,5920	279,52	511,89	1,2640	2,0017

Homogener Zustand von R32:

T	p	h	s
K	MPa	kJ/kg	kJ/(kg K)
288,15	1,1069	523,26	2,1416
330,15	2,5920	538,16	2,0833
335,15	2,5920	545,65	2,1058
340,15	2,5920	552,80	2,1270
345,15	2,5920	559,67	2,1470

Aufgabe 2 (28 Punkte)

An einem sehr warmen Sommertag wird in Taiwan (Tropen) eine Temperatur $t_U = 37^\circ\text{C}$ und eine relative Luftfeuchte $\varphi_U = 90\%$ gemessen. Damit die Studierenden auch bei diesen Bedingungen effektiv arbeiten können, soll der Hörsaal einer Universität mit einer Klimaanlage gekühlt werden. Die Frischluft, die der Außenluft entspricht, wird im Zustand 1 mit $p_1 = 1,01325$ bar und $\dot{m}_{tr.L,1} = 0,5$ kg/s angesaugt und mit der Abluft aus dem Hörsaal (Zustand 5) gemischt. Anschließend wird die gemischte Luft (Zustand 2) getrocknet und auf die eingestellte Temperatur gekühlt bzw. erwärmt (Zustand 3: $\varphi_3 = 60\%$, $t_3 = 22^\circ\text{C}$) und strömt in den Hörsaal. Die Luft verlässt den Hörsaal im Zustand 4 ($t_4 = 26^\circ\text{C}$, $x_4 = 16$ g/kg), davon werden 30% im unveränderten Zustand 4=5 in die Mischkammer zurückgeführt. Der restliche Anteil der Luft wird an die Umgebung abgeführt.

Der trockene Massenstrom der abgeführten Luft wird durch den gleichen trockenen Massenstrom der Frischluft ersetzt. Der gesamte Prozess ist nach außen hin adiabatisch sowie isobar ($p = 1,01325$ bar). Luft und Wasserdampf können als ideale Gase betrachtet werden.

Hinweis:

Die Aufgabenteile b) bis e) sind rein rechnerisch zu lösen. Aus dem beiliegenden h_{1+x},x -Diagramm abgelesene Werte dürfen nur zur Überprüfung der Rechenergebnisse genutzt werden. Für niedergeschriebene Zahlenwerte, die nicht im Zusammenhang mit einem angemessenen Rechenweg stehen, werden keine Punkte vergeben.

- Skizzieren Sie das Schema der Klimaanlage (Zustände 1 bis 5). Kennzeichnen Sie dabei alle Wärme- und Massenströme. (3 P)
- Berechnen Sie den Wassergehalt der Luft im Zustand 1 und Zustand 3. (4 P)
- Berechnen Sie den Mischungszustand 2 ($\dot{m}_{tr.L,2}$, x_2 , t_2). Beim Mischvorgang wird kein Wasser auskondensiert. (6 P)
- Bei welcher Temperatur werden beim Kühlvorgang die ersten Wassertropfen aus der Luft auskondensiert (Taupunkt)? (3 P)
- Wie viel Wasser muss der Luft pro Sekunde in der Klimaanlage entnommen werden? Welche Kühl- und Heizleistung wird benötigt? (7 P)
- Tragen Sie alle Zustände der feuchten Luft in das beiliegende h_{1+x},x -Diagramm ein. (4 P)
- Wie kann der Hörsaal energiesparender klimatisiert werden? Nennen Sie einen Lösungsansatz (Prozess- oder Anlagenverbesserung). (1 P)

Stoffdaten:

Spezifische isobare Wärmekapazitäten: Trockene Luft $c_{p,L} = 1,007 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

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

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

Verdampfungsenthalpie von Wasser bei 0°C : $\Delta h_v = 2500 \text{ kJ}/\text{kg}$

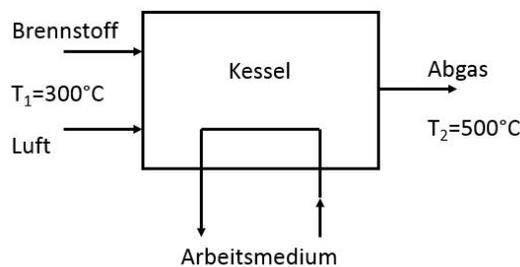
Molare Massen: Luft $M_L = 28,96 \text{ kg}/\text{kmol}$; Wasser $M_W = 18,015 \text{ kg}/\text{kmol}$

Allgemeine Gaskonstante: $R_m = 8,314472 \text{ kJ}/(\text{kmol K})$

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

Aufgabe 3 (26 Punkte)

Im Kessel eines Kraftwerks wird Erdgas vollständig mit Luft verbrannt. Die entstehende Abwärme wird genutzt, um das Arbeitsmedium eines Dampfkraftprozesses zu verdampfen und zu überhitzen. Die Austrittstemperatur des Abgases beträgt $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Als Brennstoff (BS) wird Erdgas verwendet, dessen Zusammensetzung $0,75\text{ g/g}_{\text{BS}}$ Methan, $0,17\text{ g/g}_{\text{BS}}$ Ethan und $0,08\text{ g/g}_{\text{BS}}$ Stickstoff. Die Verbrennung soll mit einem Luftverhältnis von $\lambda = 1,1$ durchgeführt werden. Die Luft besteht aus $21\text{ mol-}\%$ Sauerstoff und $79\text{ mol-}\%$ Stickstoff. Der Brennstoff und die Luft werden vor der Verbrennung durch die Nutzung der Restwärme des Abgases von $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ vorgewärmt. Dazu wird ein Wärmeübertrager eingesetzt, der dem Kessel nachgeschaltet ist.



- Bestimmen Sie die molare Zusammensetzung des Erdgases. (4 P)
- Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von einem Mol Brennstoff auf. (5 P)
- Für den Dampfkraftprozess sollen 300 MW bereitgestellt werden. Bestimmen Sie den benötigten Stoffmengenstrom an Brennstoff. (7 P)
- Bis auf welche Temperatur kühlt sich das Abgas bei der Vorwärmung der Edukte ab und welcher Wärmestrom wird hierbei übertragen. Ergänzen Sie die Skizze im Aufgabenblatt um diesen Wärmeübertrager. (7 P)
- Zeigen Sie für den Stoffmengenstrom, den Volumenstrom und den Massenstrom bei einem stationären Verbrennungsprozess, ob diese auf der Edukt- und Produktseite gleich sind. Erläutern Sie ihre Antworten kurz. (3 P)

Stoff	$\Delta^B h_\Theta$	M
	kJ/mol	g/mol
Methan CH ₄	-74,52	16,04
Ethan C ₂ H ₆	-83,82	30,07
Stickstoff N ₂	0	28,01
Sauerstoff O ₂	0	32,00
Kohlenstoffdioxid CO ₂	-393,6	44,01
Wasser H ₂ O (g)	-242,1	18,02

Stoff	$c_p \Big _{25^\circ C}^{300^\circ C}$	$c_p \Big _{25^\circ C}^{500^\circ C}$
	J/(mol K)	J/(mol K)
Methan CH ₄	42,78	48,55
Ethan C ₂ H ₆	69,59	80,74
Stickstoff N ₂	29,43	29,91
Sauerstoff O ₂	30,50	31,44
Kohlenstoffdioxid CO ₂	42,36	45,10
Wasser H ₂ O (g)	36,04	36,67