

Thermodynamik 2

Klausur

17. Februar 2015

Bearbeitungszeit: 120 Minuten
 Umfang der Aufgabenstellung: 5 nummerierte Seiten
 2 Diagramme

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: _____

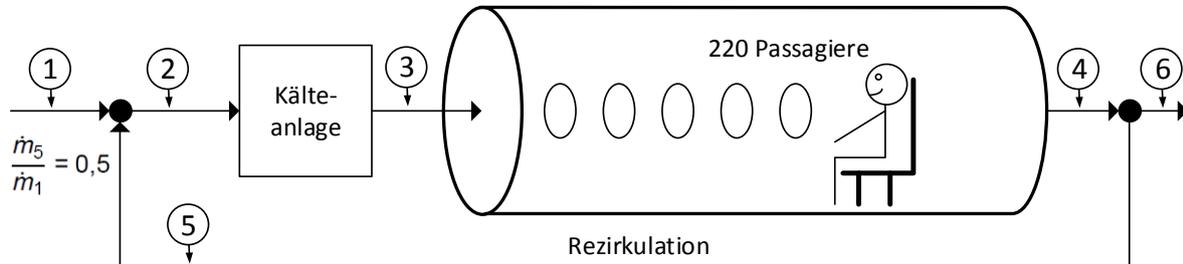
Unterschrift: _____

Angaben zur Korrektur

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punkte	Korrektor
1	18		
2	22		
3	10		
Summe			
Bewertung			

Aufgabe 1 (18 Punkte)

Ein vollbesetztes Verkehrsflugzeug befindet sich an einem heißen Sommertag bei 35°C auf dem Rollweg in Richtung Startbahn. Die Kabine wird mit einer Kompressionskälteanlage gekühlt. Aus energetischen Gründen wird die frische Kabinenzuluft mit Abluft vermischt, bevor sie in der Kälteanlage auf Solltemperatur gekühlt wird.



In der Kabine befinden sich 220 Passagiere mit einer Wärmeabgabe von je 90 W. Der Bedarf an frischer Zuluft (Punkt 1) beträgt pro Passagier 4,7 Liter pro Sekunde. Diese Frischluft (1) wird von einem anderen System mit 14°C geliefert und mit warmer Abluft von 28°C gemischt (Punkte 4, 5 und 6).

Durch die Kabinenbeleuchtung werden 4 kW, durch Sonneneinstrahlung 4,7 kW, und durch die Küche 1,5 kW zusätzliche Wärmelasten in die Kabine eingebracht.

$$\frac{\dot{m}_5}{\dot{m}_1} = 0,5, \quad \rho_{\text{Luft}} = 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad c_{p,\text{Luft}} = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} = \text{const.},$$

$$\vartheta_1 = 14^\circ\text{C}, \quad \vartheta_4 = 28^\circ\text{C}, \quad \vartheta_{\text{Umgebung}} = 35^\circ\text{C}, \quad \Delta T_{\text{WÜ}} = 10 \text{ K}, \quad \eta_{\text{S,V}} = 0,8$$

$$\dot{Q}_{\text{Licht}} = 4 \text{ kW}, \quad \dot{Q}_{\text{Solar}} = 4,7 \text{ kW}, \quad \dot{Q}_{\text{Küche}} = 1,5 \text{ kW}, \quad \dot{Q}_{\text{Passagier}} = 90 \text{ W}$$

- Berechnen Sie die Temperatur ϑ_3 , mit der die Luft in die Kabine geleitet wird. (4 P)
Die Kompressionskälteanlage zur Kühlung der Luft arbeitet mit dem Kältemittel R134a. Das Kältemittel wird vollständig verdampft und anschließend mit einem isentropen Wirkungsgrad von $\eta_{\text{S,V}} = 0,8$ verdichtet. Der Kondensator wird mit Umgebungsluft gekühlt. Die minimale treibende Temperaturdifferenz in beiden Wärmeübertragern (Verdampfer und Kondensator) soll $\Delta T_{\text{WÜ}} = 10 \text{ K}$ betragen.
- Zeichnen Sie den Prozess in das beiliegende $\log(p), h$ -Diagramm ein. (6 P)
- Berechnen Sie den Massenstrom von R134a und die Antriebsleistung des Verdichters. (5 P)
- Berechnen Sie die Exergieverluste im Kondensator und bei der Verdichtung. (3 P)

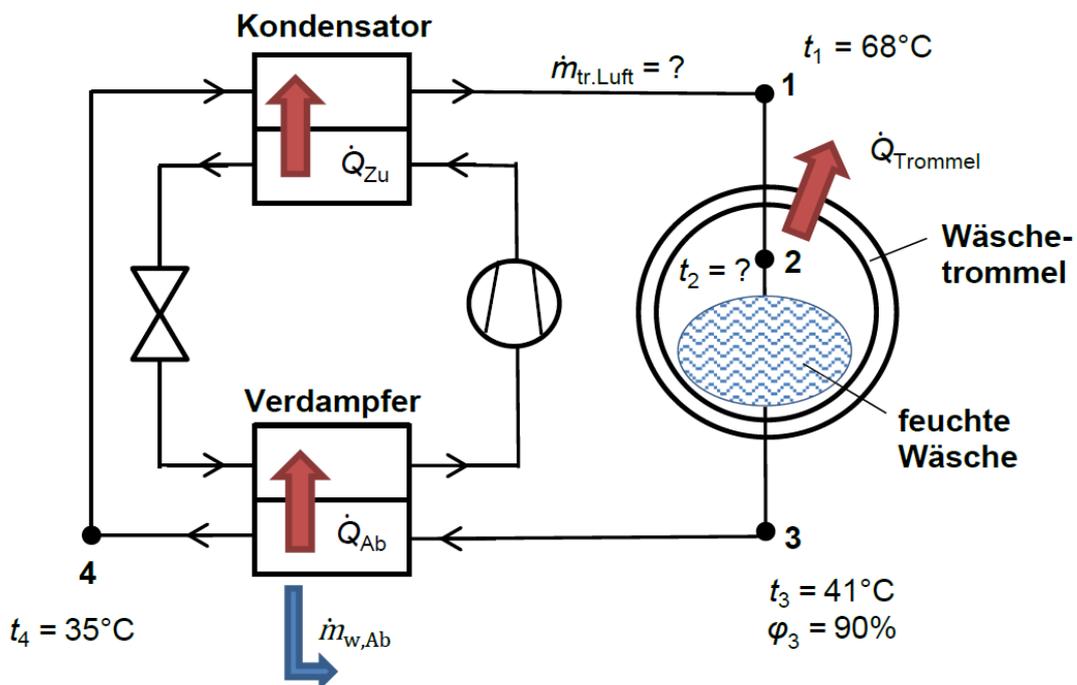
Hinweise:

Luft in der Kabine ist wie ein einfaches ideales Gas zu behandeln.

Stoffdaten für das Kältemittel R134a sind aus dem $\log(p), h$ -Diagramm abzulesen.

Aufgabe 2 (22 Punkte)

Im stationären Betrieb eines Wärmepumpen-Wäschetrockners strömt die durch den Kondensator der Wärmepumpe aufgeheizte feuchte Luft mit einer Temperatur von $t_1 = 68^\circ\text{C}$ in die Wäschetrommel ein. Bevor die Luft mit der zu trocknenden Wäsche in Kontakt kommt geht ein Teil der darin enthaltenen Wärme bereits über die schlecht isolierten Trommelwände verloren. Die dadurch auf eine Temperatur t_2 abgekühlte Luft kühlt anschließend durch die Aufnahme des in der Wäsche enthaltenen Wassers weiter ab. Für die Wäsche und damit auch für das darin enthaltene Wasser kann eine mittlere Temperatur von $t_w = 40^\circ\text{C}$ angenommen werden. Die feuchte Luft tritt schließlich mit einer Temperatur $t_3 = 41^\circ\text{C}$ und einer relativen Feuchte von $\varphi_3 = 0,9$ aus der Wäschetrommel aus. Im Verdampfer der Wärmepumpe wird diese feuchte Luft auf eine Temperatur von $t_4 = 35^\circ\text{C}$ heruntergekühlt und das dabei auskondensierte Wasser vollständig abgeführt. Danach wird die entfeuchtete Luft wieder auf die Trommeleintrittstemperatur t_1 gebracht.



- a) Tragen Sie den oben beschriebenen Trocknungsprozess in das beigefügte h_{1+x}, x -Diagramm ein. Kennzeichnen Sie dabei Zustände im Nebelgebiet mit einem Sternsymbol (*) als Superskript. (3 P)

Lösen Sie folgende Aufgabenteile **rein rechnerisch**. Das bedeutet, dass aus dem beigefügten Diagramm abgelesene Werte nicht verwendet werden dürfen.

- b) Berechnen Sie den Massenstrom trockener Luft $\dot{m}_{\text{tr. Luft}}$, der notwendig ist um 8,5 kg feuchte Wäsche mit einem Feuchtegrad $x_{W1} = \frac{m_{\text{Wasser}}}{m_{\text{tr. Wäsche}}} = 0,7$ auf einen Feuchtegrad von $x_{W2} = 0,08$ innerhalb von 2 Stunden zu trocknen. (7 P)
- c) Welcher Wärmestrom \dot{Q}_{Ab} muss der feuchten Luft für die Wasserabscheidung entzogen werden? (4 P)
- d) Welcher Wärmestrom \dot{Q}_{Zu} muss der entfeuchteten Luft im Kondensator der Wärmepumpe wieder zugeführt werden? (4 P)
- e) Berechnen Sie den Wärmestrom \dot{Q}_{Trommel} der über die Trommelwände verloren geht. Welche Temperatur t_2 stellt sich in der Luft ein, bevor diese mit der Wäsche in Kontakt kommt? (4 P)

Stoffdaten:

Alle Zustandsänderungen der feuchten Luft werden bei $p = 1,01325$ bar durchgeführt.

Spezifische isobare Wärmekapazitäten:

$$c_{p,\text{Luft}} = 1,004 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{p,\text{Wasserdampf}} = 1,86 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{p,\text{Wasser}} = 4,186 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$\text{Spezifische Gaskonstanten: } R_{\text{Luft}} = 0,2871 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad R_{\text{Wasser}} = 0,4615 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$\text{Verdampfungsenthalpie des Wassers bei } 0^\circ\text{C: } \Delta h^V = 2500 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Dampfdruckkurve von Wasser: } \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = 12,40682 - 4222,037 \text{ K} / (T - 31,95 \text{ K})$$

mit T in K und $p_0 = 1$ bar

Aufgabe 3 (10 Punkte)

Kraftstoffanpassungsfähige Fahrzeuge (Flexible Fuel Vehicle) sind Fahrzeuge, die mit langkettigen Alkanen, den Alkoholen Methanol und Ethanol sowie beliebigen Mischungen dieser drei Kraftstoffe betrieben werden können.

Hier soll als Kraftstoff eine Mischung aus Ethanol (C_2H_6O) und Isooctan (C_8H_{18}) betrachtet werden, deren genaue Zusammensetzung zunächst nicht bekannt ist.

Im stationären Betrieb regelt der Motor die Luftzufuhr so, dass der Kraftstoff vollständig verbrannt wird (Luftverhältnis $\lambda = 1$). Das gasförmige Kraftstoff-Luft-Gemisch wird dem Motor bei Standardtemperatur zugeführt. Die Reaktions- und Abgastemperatur beträgt 600 K. Alle Komponenten werden als ideale Gase betrachtet, sodass die Verbrennung als druckunabhängig betrachtet werden kann.

Hinweis: Molare Zusammensetzung von 1 mol Kraftstoff: $\psi_{C_2H_6O} = \beta$, $\psi_{C_8H_{18}} = 1 - \beta$

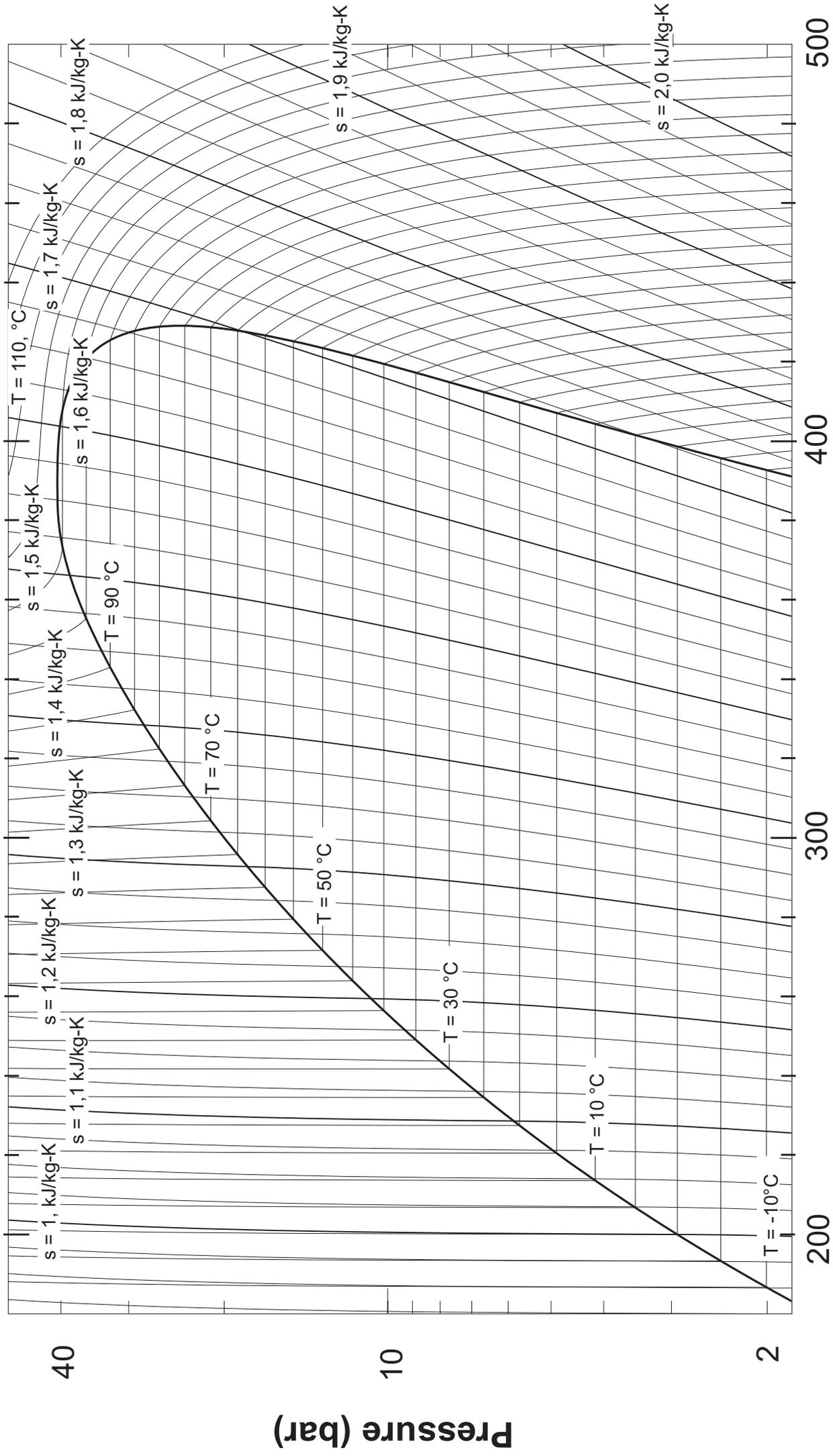
Molare Zusammensetzung von 1 mol Zuluft: $\psi_{O_2} = 0,21$, $\psi_{N_2} = 0,79$

- Geben Sie die Reaktionsgleichung, in Abhängigkeit von β , für die gesuchte Verbrennungsreaktion bezogen auf 1 mol Kraftstoff an. (3 P)
- Berechnen Sie die molare Zusammensetzung β des Kraftstoffs, welche bei der Verbrennung die erforderliche Wärmemenge von 1600 kJ/mol freisetzt. (6 P)
- Welche Stoffmenge, bezogen auf 1 mol Kraftstoff, an Zuluft wird benötigt? (1 P)

Stoffdaten

Stoff	$\Delta^B h_0$ [kJ/mol]	c_p [kJ/(mol K)]
Ethanol C_2H_6O (g)	-236,0	0,0920
Isooctan C_8H_{18} (g)	-224,1	0,2800
Sauerstoff (g)	0	0,0306
Stickstoff (g)	0	0,0230
Kohlenstoffdioxid (g)	-393,6	0,0433
Wasser (g)	-242,1	0,0347

log(p),h-Diagramm von R134a



Enthalpy (kJ/kg)

h_{1+x} - x -Diagramm für feuchte Luft bei $p = 1,01325 \text{ bar}$

