

Thermodynamik 2

Klausur

23. Februar 2012

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 | 19 | | |
| 3 | 10 | | |
| Zwischensumme | | | |
| Bonuspunkte | | | |
| Summe | | | |
| Bewertung | | | |

Aufgabe 1 (17 Punkte)

Im Heizkraftwerk einer Hafenstadt wird durch eine große Wärmepumpenanlage die thermische Energie des Meerwassers nutzbar gemacht. Die Anlage enthält mehrere identische Ammoniak-Kompressionswärmepumpen-Blöcke mit einer Leistungsaufnahme von je 0,5 MW am Verdampfer. Das in den Wärmeübertrager angesaugte Meerwasser hat eine Temperatur von $t_{\text{MW,ein}} = 11 \text{ °C}$. Bei der Berechnung wird von einer tiefsten Meerwassertemperatur von 6 °C und einer gewünschten Heißwassertemperatur von 60 °C ausgegangen. Als minimale Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Ammoniak wird im Verdampfer 5 K zugrunde gelegt. Der Verdichter saugt trockengesättigtes Ammoniak an und verdichtet es adiabatisch auf $p_{\text{Kond}} = 29,491 \text{ bar}$. Bei der Verdichtung erhöht sich die Entropie um $0,1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. Das Kondensat wird auf 60 °C unterkühlt.

- Skizzieren Sie den Prozess in einem $\lg(p)$ - h - und einem T - s -Diagramm. (4 P)
- Wie groß ist der Kältemittel-Massenstrom $\dot{m}_{\text{Ammoniak}}$? (2 P)
- Welche Antriebsleistung nimmt der Verdichter auf? (2 P)
- Berechnen Sie die Leistungszahl und den exergetischen Wirkungsgrad der Wärmepumpe ($t_u = 20 \text{ °C}$). (3 P)
- Welcher Exergieverlust tritt im Verdampfer der Wärmepumpe auf? (3 P)
- Wieviele Kompressionswärmepumpen-Blöcke werden gebraucht, wenn das Heizkraftwerk stündlich 77 t warmes Wasser braucht? Die Rücklauftemperatur des zu heizenden Wassers liegt bei 45 °C vor. (3 P)

Stoffdaten:

$$c_{p,\text{Wasser}} = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

Kritische Daten von Ammoniak: $t_c = 132,25 \text{ °C}$, $p_c = 11,333 \text{ MPa}$

Zweiphasengebiet von Ammoniak:

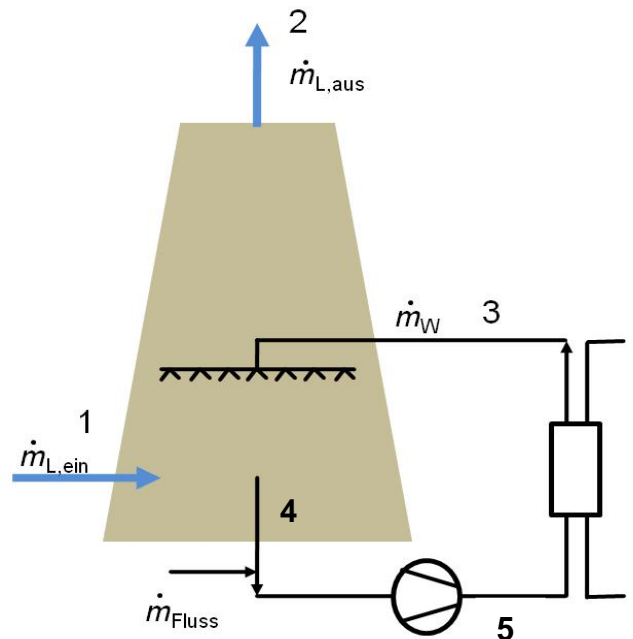
| T | p | ρ' | ρ'' | h' | h'' | s' | s'' |
|-----|--------|-------------------|-------------------|--------|---------|-----------|-----------|
| °C | bar | kg/m ³ | kg/m ³ | kJ/kg | kJ/kg | kJ/(kg K) | kJ/(kg K) |
| 65 | 29,491 | 535,96 | 23,280 | 661,42 | 1630,24 | 2,5004 | 5,3655 |
| 60 | 26,156 | 545,24 | 20,493 | 635,12 | 1632,42 | 2,4239 | 5,4174 |
| 55 | 23,111 | 554,20 | 18,006 | 609,26 | 1633,73 | 2,3473 | 5,4693 |
| 50 | 20,340 | 562,86 | 15,785 | 583,77 | 1634,23 | 2,2706 | 5,5213 |
| 11 | 6,3657 | 623,22 | 5,0309 | 394,41 | 1616,16 | 1,6544 | 5,9540 |
| 6 | 5,3453 | 630,27 | 4,2573 | 371,02 | 1611,53 | 1,5719 | 6,0158 |
| 1 | 4,4568 | 637,20 | 3,5811 | 347,78 | 1606,46 | 1,4884 | 6,0796 |

Homogener Zustand von Ammoniak:

| T | p | ρ | h | s |
|--------|--------|-------------------|---------|-----------|
| °C | bar | kg/m ³ | kJ/kg | kJ/(kg K) |
| 150,72 | 29,491 | 15,594 | 1906,62 | 6,1000 |
| 166,43 | 29,491 | 14,851 | 1949,79 | 6,2000 |
| 182,94 | 29,491 | 14,162 | 1994,56 | 6,3000 |
| 60 | 29,491 | 545,80 | 635,02 | 2,4217 |
| 55 | 29,491 | 555,16 | 609,16 | 2,3435 |

Aufgabe 2 (19 Punkte):

Zur Verringerung des Kühlwassersbedarfs von Dampfkraftwerken werden häufig Nasskühltürme eingesetzt. In einem Kühlturm wird Abwärme an die Umgebung abgeführt. Der Kühlwassermassenstrom $\dot{m}_W = 30000 \text{ kg/s}$ mit der Temperatur $t_w = 40 \text{ °C}$ wird im Kühlturm versprüht, verdunstet zum Teil und gibt dabei einen Wärmestrom $\dot{Q}_W = 2560 \text{ MW}$ an den Luftmassenstrom ab, der mit dem Zustand 1 ($t_1 = 10 \text{ °C}$, $\varphi_1 = 0,6$) eintritt und mit dem Zustand 2 ($t_2 = 30 \text{ °C}$) austritt. Die herab rieselnden Tropfen umhüllen sich mit gesättigter Luft, wobei ständig die Aussenhülle verdunstet und das Innere dabei abkühlt. Im Kühlturm mischt sich die gesättigte Luft um die Tropfen mit der aufsteigenden Kühlluft. Am oberen Ende des Kühlturms ist die Luft 2 gesättigt. Der trockene Luftmassenstrom $\dot{m}_{tr,L}$ bleibt bei der Zustandsänderung konstant. Die von der Luft aufgenommene Wassermenge wird durch einen Zusatzwassermassenstrom $\dot{m}_{Fluss} = 741,46 \text{ kg/s}$ mit $t_{Fl,W} = 10 \text{ °C}$ aus dem Fluss ersetzt.



Der Umgebungsdruck ist konstant $p = 1,01325 \text{ bar}$.

- Tragen Sie alle Zustände der feuchten Luft in ein h_{1+x}, x -Diagramm ein und lesen Sie die Wasserbeladung x der Luftströme 1 und 2 ab. (3 P)
- Bestimmen Sie den erforderlichen Massenstrom der trockenen Luft $\dot{m}_{tr,L, \text{ein}}$? (3 P)
- Wie groß ist der angesaugte Volumenstrom 1? (4 P)
- Auf welche Temperatur T_4 kühlt sich das heruntergerieselte Wasser ab? (3 P)
- Berechnen Sie die Wasserbeladung x der Luftströme 1 und 2 ohne Benutzung des Diagramms. (5 P)
- Was geschieht mit der oben austretenden gesättigten Luft, wenn sie sich mit der Umgebungsluft wieder vermischt? Bitte begründen Sie ihre Antwort. (1 P)

Stoffdaten: Luft und Wasserdampf können als ideale Gase betrachtet werden.

Spezifische isobare Wärmekapazitäten:

$$c_{p, \text{Luft}} = 1,007 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

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

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

Verdampfungsenthalpie des Wassers bei 0 °C : $r_0 = 2500 \text{ kJ/kg}$

Molmassen: $M_{\text{Luft}} = 28,96 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Wasser}} = 18,015 \text{ g/mol}$

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

Dampfdruckkurve von Wasser:

$$\ln(p / \text{mbar}) = 18,9141 - 4010,823/(t / \text{°C} + 234,4623)$$

Aufgabe 3 (10 Punkte):

Ein Gas-Heizstrahler mit der Heizleistung $\dot{Q} = 2700 \text{ W}$ wird aus einer Flasche mit 5 kg Propan/Butan (50/50 Massen-%) versorgt.

Die Gase und die Zuluft werden mit $t_{\text{ein}} = 10 \text{ °C}$ dem Heizstrahler zugeführt.

Die Abgastemperatur beträgt $t_{\text{Abgas}} = 100 \text{ °C}$.

- a) Wie ist die molare Zusammensetzung des Brennstoffgemisches? (2 P)
- b) Wie viel CO_2 und H_2O entstehen beim Verbrennen der gesamten Masse? (4 P)
- c) Wie lange dauert es die 5 kg zu verbrennen? (4 P)

Stoffdaten

| Stoff | Molmasse g/mol | $\Delta^B h_\theta$ [kJ/mol] | $\frac{c_p^0 _{T_\theta}^{T_{\text{ein}}}}{J/(mol K)}$ | $\frac{c_p^0 _{T_\theta}^{T_{\text{aus}}}}{J/(mol K)}$ |
|-----------------------------------|-------------------|---------------------------------|--|--|
| Propan, C_3H_8 | 44,096 | -104,68 | 72,91 | |
| Butan, C_4H_{10} | 58,122 | -125,79 | 98,99 | |
| Sauerstoff, O_2 | 31,999 | 0 | 39,21 | 29,64 |
| Stickstoff, N_2 | 28,013 | 0 | 29,17 | 29,19 |
| Kohlendioxid, CO_2 | 44,010 | -393,51 | | 38,97 |
| Wasserdampf, H_2O | 18,015 | -241,81 | | 33,87 |

Zusammensetzung der Luft (Molenbruch): $\psi_{\text{O}_2}=0,21$; $\psi_{\text{N}_2}=0,79$

Mollier-Diagramm der luftspezifischen Enthalpie für $p_{ges} = 1,01325 \text{ bar}$

