



Klausur im Fach
Thermodynamik I, SS 2013
am 05.08.2013

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Gesamt

Name:

Matrikelnummer:

Studiengang:

- Bachelor
- Master
- Diplom, modularisiert
- Diplom, nicht-modularisiert

Ich erkläre, dass ich mich prüfungsfähig fühle. (§7(10) Satz 5+6 AllgPO vom 13.Juni 2012)

Datum und Unterschrift der Studentin / des Studenten

1. Der Klausurumfang beträgt inklusive diesem Deckblatt und Formelsammlung 5 Blätter (9 Seiten).
2. Tragen Sie auf dem Deckblatt Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer ein.
3. Es sind nur Fragen zum Verständnis des Aufgabentextes zulässig. Fragen zur Lösung der Aufgaben werden **nicht** beantwortet.
4. Die Dauer der Prüfung beträgt 120 Minuten.
5. Zum Bestehen werden im Theorieteil (Aufgabe 1) mindestens 10 Punkte sowie insgesamt mindestens 40 Punkte benötigt.
6. Ihr Schreibpapier wird Ihnen gestellt. **Eigenes Papier darf nicht verwendet werden.**
7. Zugelassene Hilfsmittel: Nichtprogrammierbare Taschenrechner, h,s -Diagramm. **Bitte schalten Sie Ihre Mobiltelefone aus und nehmen Sie sie vom Arbeitsplatz.**
8. Mit Bleistiften oder in roter Farbe angefertigte Texte und Grafiken werden nicht gewertet.
9. Geben Sie die von Ihnen beschriebenen Blätter einschließlich der Aufgaben- und „Schmier“-blätter sofort nach der Klausur ab, später abgegebene Blätter werden nicht berücksichtigt.
10. Die Zahlenwerte in den Quereinstiegen entsprechen nicht den exakten Ergebnissen.
11. Es können (fast) alle Teilaufgaben unabhängig voneinander gelöst werden.
12. Treffen Sie gegebenenfalls plausible Annahmen, um auch ohne Zwischenergebnisse weiterrechnen zu können.

Formelsammlung

Molmassen

$$M_{H_2} = 2 \text{ kg/kmol} \quad M_{N_2} = 28 \text{ kg/kmol} \quad M_{O_2} = 32 \text{ kg/kmol} \quad M_C = 12 \text{ kg/kmol}$$

Energie und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Energiebilanzgleichung für geschlossene Systeme:

$$\frac{d(U + KE + PE)}{d\tau} = \dot{Q} + \dot{W} \quad (1)$$

Definition der Enthalpie:

$$H := U + pV \quad (2)$$

Energiebilanzgleichung für offene Systeme:

$$\frac{d(U + KE + PE)}{d\tau} = \dot{Q} + \dot{W} + \sum_{\text{ein}} \dot{m}_{\text{ein}}(h + ke + pe)_{\text{ein}} - \sum_{\text{aus}} \dot{m}_{\text{aus}}(h + ke + pe)_{\text{aus}} \quad (3)$$

Volumenänderungsarbeit und Arbeit in Fließprozessen:

$$W_V = - \int p dV \quad \text{und} \quad W_t = W_R + \int V dp + \Delta KE + \Delta PE \quad (4)$$

Eigenschaften idealer Gase

Thermische Zustandsgleichung idealer Gase:

$$pV = m \frac{\bar{R}}{M} T \quad (\text{id. Gase}) \quad \text{mit} \quad \bar{R} = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \quad (5)$$

Kalorische Zustandsgleichungen für ideale Gase:

$$du = c_v dT \quad (\text{id. Gase}) \quad \text{mit} \quad c_v := \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad (6)$$

$$dh = c_p dT \quad (\text{id. Gase}) \quad \text{mit} \quad c_p := \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (7)$$

Verhältnis der Wärmekapazitäten / Isentropenexponent idealer Gase:

$$c_p - c_v = \frac{\bar{R}}{M} \quad (\text{id. Gase}) \quad \kappa := \frac{c_p}{c_v} \quad (8)$$

Quasistatische Zustandsänderungen in homogenen Systemen

Isentrope Zustandsänderung / Isentropenexponent:

$$pv^k = \text{konst.} \quad \text{mit} \quad k := -\frac{v}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_s \quad \text{und für ideale Gase:} \quad k = \kappa \quad (9)$$

$$T \cdot v^{\kappa-1} = \text{konst.} \quad (\text{id. Gase}) \quad T \cdot p^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = \text{konst.} \quad (\text{id. Gase}) \quad (10)$$

Polytrope Zustandsänderung / Polytropenexponent:

$$pv^n = \text{konst.} \quad \text{mit} \quad n := -\frac{v}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_{\text{pol}} \quad (11)$$

Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Entropiebilanzgleichung für geschlossene Systeme:

$$\frac{dS}{d\tau} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}_{gen} \quad \text{mit} \quad \dot{S}_{gen} \geq 0 \quad (12)$$

Entropiebilanzgleichung für offene Systeme:

$$\frac{dS}{d\tau} = \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum_{ein} (\dot{m}s)_{ein} - \sum_{aus} (\dot{m}s)_{aus} + \dot{S}_{gen} \quad \text{mit} \quad \dot{S}_{gen} \geq 0 \quad (13)$$

Entropie reiner idealer Gase:

$$ds = \frac{c_V dT}{T} + \frac{\bar{R}}{M} \frac{dv}{v} = \frac{c_p dT}{T} - \frac{\bar{R}}{M} \frac{dp}{p} \quad (\text{id. Gase}) \quad (14)$$

Exergie

Exergie eines Systems:

$$E_{Sys} = E_{Sys}^{PH} + E^{KN} + E^{PT} + E^{CH} \quad (15)$$

$$E_{Sys} = m [(u - u_0) + p_0(v - v_0) - T_0(s - s_0)] + \frac{mc^2}{2} + mgz + E^{CH} \quad (16)$$

Exergie eines Stoffstromes:

$$\dot{E} = \dot{E}^{PH} + \dot{E}^{KN} + \dot{E}^{PT} + \dot{E}^{CH} \quad (17)$$

$$\dot{E} = \dot{m} [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] + \frac{\dot{m}c^2}{2} + \dot{m}gz + \dot{E}^{CH} \quad (18)$$

Zusammenhang zwischen Entropieerzeugung und Exergievernichtung:

$$E_D = T_0 \cdot S_{gen} \quad (19)$$

Exergietransport verbunden mit Energietransport in Form von Wärme und Arbeit:

$$\dot{E}_{q,j} := \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j \quad \text{und} \quad \dot{E}_w := \dot{W} + p_0 \frac{dV}{d\tau} \quad (20)$$

Exergiebilanz für geschlossene Systeme:

$$\frac{dE_{Sys}}{d\tau} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j + \left(\dot{W} + p_0 \frac{dV}{d\tau}\right) - \dot{E}_D \quad (21)$$

Exergiebilanz für offene Systeme:

$$\frac{dE_{Sys}}{d\tau} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j + \left(\dot{W} + p_0 \frac{dV}{d\tau}\right) + \sum_{ein} (\dot{m}e)_{ein} - \sum_{aus} (\dot{m}e)_{aus} - \dot{E}_D \quad (22)$$

Reale Reinstoffe

Dampfgehalt:

$$x := \frac{m''}{m_{ges}} = \frac{m''}{m'' + m'} \quad \text{mit } ' : \text{ flüssige Phase} \quad \text{und} \quad '' : \text{ dampfförmige Phase} \quad (23)$$

Zustandsgrößen im Nassdampfgebiet:

$$z = z' + x(z'' - z') = (1 - x)z' + xz'' \quad \text{mit } z = v, u, h, s, \dots \quad (24)$$

Kalorische Zustandsgleichungen reiner realer Stoffe:

$$du = c_v(T, p) dT + \left[T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right] dv \quad (25)$$

$$dh = c_p(T, p) dT + \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right] dp \quad (26)$$

$$ds = \frac{c_p(T, p)}{T} dT - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp \quad (27)$$

Thermische Zustandsgleichung für inkompressible Fluide:

$$v = v_{ref} = konst. \quad (\text{inkompressibel}). \quad (28)$$

Kalorische Zustandsgleichungen für inkompressible Fluide:

$$c_p(T) = c_v(T) = c(T) \quad (\text{inkompressibel}) \quad (29)$$

$$u(T, p) = \int_{T_{ref}}^T c(T) dT + u_{ref} = u(T) \quad (\text{inkompressibel}) \quad (30)$$

$$h(T, p) = \int_{T_{ref}}^T c(T) dT + v_{ref}(p - p_{ref}) + h_{ref} \quad (\text{inkompressibel}) \quad (31)$$

$$s(T, p) = \int_{T_{ref}}^T \frac{c(T)}{T} dT + s_{ref} = s(T) \quad (\text{inkompressibel}) \quad (32)$$

Mischungen

Massenanteil / Stoffmengenanteil / Partialdruck:

$$\xi_i := \frac{m_i}{m} \quad y_i := \frac{n_i}{n} \quad p_i := y_i p \quad (33)$$

Thermische Zustandsgleichung einer Mischung idealer Gase:

$$pV = n\bar{R}T = mRT \quad (\text{id. Gase}) \quad (34)$$

$$\text{mit } M = \sum_i M_i y_i \quad \text{oder} \quad \frac{1}{M} = \sum_i \frac{\xi_i}{M_i} \quad \text{und} \quad R = \sum_i \xi_i R_i = \bar{R}/M \quad (35)$$

Kalorische Zustandsgrößen einer Mischung idealer Gase:

$$U(T) = \sum_i m_i u_i(T) \quad (\text{id. Gase}) \quad H(T) = \sum_i m_i h_i(T) \quad (\text{id. Gase}) \quad (36)$$

$$S(T, p) = \sum_i m_i s_i(T, p) - \sum_i m_i R_i \ln y_i \quad (\text{id. Gase}) \quad (37)$$

$$= \sum_i n_i \bar{s}_i(T, p) - \bar{R} \sum_i n_i \ln y_i \quad (\text{id. Gase}) \quad (38)$$

Relative Feuchte und Wassergehalt (feuchte Luft):

$$\varphi := \frac{p_{Wd}}{p_{W,s}(T)} \quad x := \frac{m_W}{m_L} \quad x = \frac{M_W}{M_L} \cdot \frac{p_{W,s}(T)}{(p/\varphi) - p_{W,s}(T)} \quad (39)$$

Spezifisches Volumen und spezifische Enthalpie feuchter Luft:

$$v_{1+x} := \frac{V}{m_L} \quad h_{1+x} := \frac{H}{m_L} = h_L + xh_W \quad (40)$$

Stoffwerte für die Berechnung der Enthalpie feuchter Luft:

Wärmekapazität von Luft	$c_{p,L}$	1,004	$kJ/(kgK)$
Wärmekapazität von Wasser			
- dampfförmig	$c_{p,Wd}$	1,86	$kJ/(kgK)$
- flüssig	c_{Wfl}	4,19	$kJ/(kgK)$
- fest	c_{Wf}	2,05	$kJ/(kgK)$
Verdampfungsenthalpie von Wasser bei $t = 0^\circ C$	$r_0(0^\circ C)$	2500	kJ/kg
Schmelzenthalpie von Wasser bei $t = 0^\circ C$	$r_{f,0}(0^\circ C)$	333	kJ/kg

Enthalpie ungesättigter feuchter Luft:

$$h_{1+x} = c_{p,L} \cdot t + x (r_0 + c_{p,Wd} \cdot t) \quad (41)$$

Enthalpie von flüssigem Wasser:

$$h_{Wfl}(t) = c_{Wfl} \cdot t \quad (42)$$

Enthalpie gesättigter feuchter Luft mit flüssigem Wasser:

$$h_{1+x} = c_{p,L} \cdot t + x_s (r_0 + c_{p,Wd} \cdot t) + (x - x_s) c_{Wfl} \cdot t \quad (43)$$

Enthalpie gesättigter feuchter Luft mit festem Wasser:

$$h_{1+x} = c_{p,L} \cdot t + x_s (r_0 + c_{p,Wd} \cdot t) + (x - x_s) (c_{Wf} \cdot t - r_{f,0}) \quad (44)$$

Wasserdampf tabel

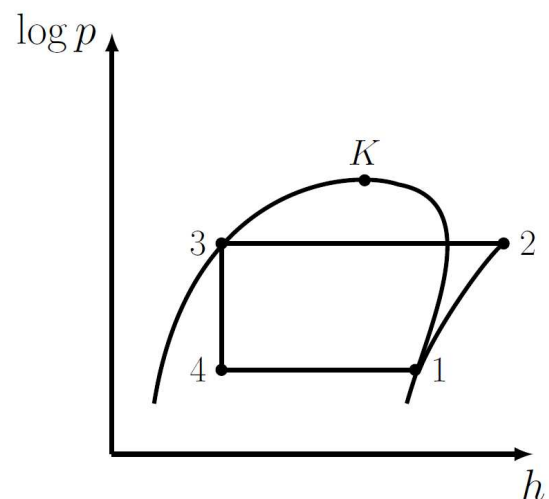
Sättigungszustand (siedende Flüssigkeit und gesättigter Dampf, Drucktabel)

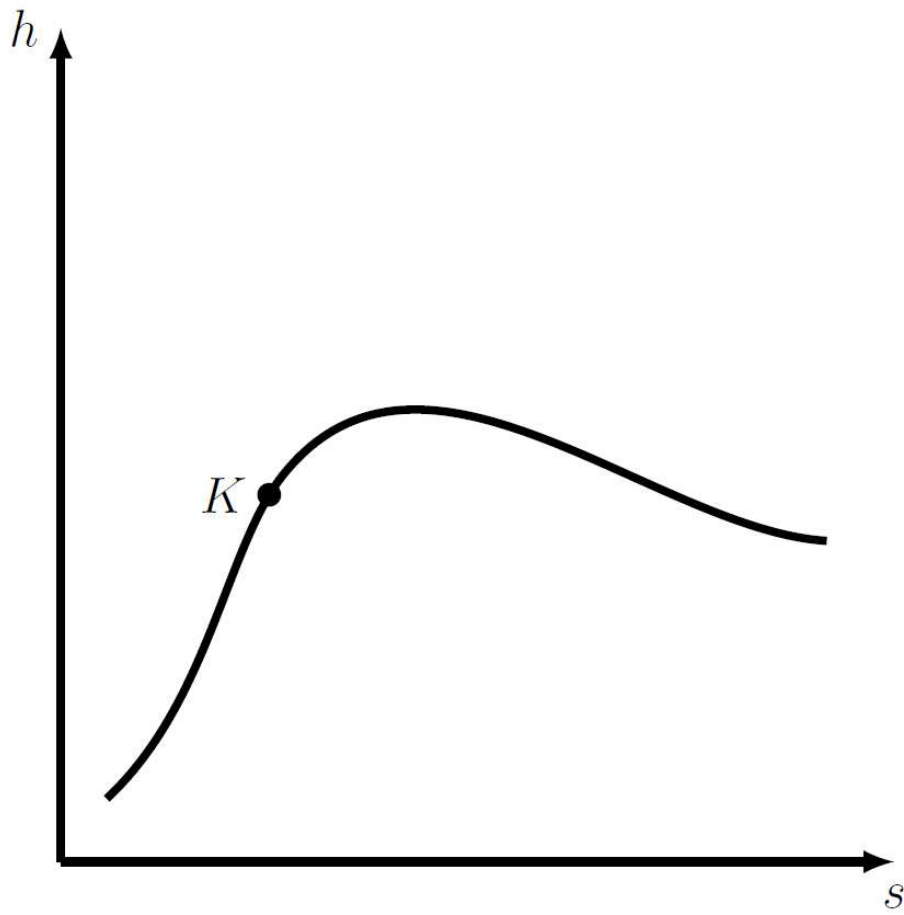
p bar	t $^\circ C$	T K	v' $\frac{m^3}{kg}$	v'' $\frac{m^3}{kg}$	h' $\frac{kJ}{kg}$	h'' $\frac{kJ}{kg}$	s' $\frac{kJ}{kgK}$	s'' $\frac{kJ}{kgK}$
1,0	99,63	372,78	0,0010436	1,694	417,33	2673,8	1,3022	7,3544
2,0	120,23	393,38	0,0010610	0,8852	504,52	2704,6	1,5295	7,1212
3,0	133,54	406,69	0,0010737	0,6054	561,20	2723,2	1,6711	6,9859
4,0	143,63	416,78	0,0010841	0,4621	604,40	2736,5	1,7757	6,8902
5,0	151,85	425,00	0,0010930	0,3746	639,90	2746,8	1,8596	6,8161
10,0	179,88	453,03	0,0011276	0,1944	762,20	2777,5	2,1370	6,5843
221,29	374,15	647,30	0,00318		2099,7		4,430	

1. Aufgabe: Theoretische Fragen (20 Punkte)

Hinweis: Bei falschen oder fehlenden Begründungen (dort, wo es explizit gefordert ist) gibt es auch für richtige Antworten keine Punkte!

- a) (1 Punkt) Wodurch unterscheidet sich ein abgeschlossenes von einem geschlossenen System?
- b) (2 Punkte) Leiten Sie für eine isochore Zustandsänderung eines idealen Gases den funktionalen Zusammenhang $p = f(T)$ her und skizzieren Sie die Zustandsänderung in einem p, T -Diagramm.
- c) (2 Punkte) Durch Reibung wird Entropie erzeugt. Nennen Sie 2 weitere Ursachen für Irreversibilitäten (Entropieerzeugung).
- d) (1 Punkt) Bei welchen Prozessen kann die Entropieerzeugung negativ sein?
- e) (2 Punkte) Einer Wärmekraftmaschine wird bei $T_{zu} = 600 \text{ K}$ ein Wärmestrom von $\dot{Q}_{zu} = 10 \text{ kW}$ zugeführt. Die Wärmeabfuhr erfolgt bei $T_{ab} = 300 \text{ K}$. Wie groß muss \dot{Q}_{ab} mindestens sein?
- f) (3 Punkte) Definieren Sie den energetischen (η_{WKM}) und den exergetischen (ε_{WKM}) Wirkungsgrad einer stationär arbeitenden Wärmekraftmaschine ($T_0 \leq T_{ab} < T_{zu}$). Zeigen Sie mit einer Gleichung, dass der exergetische Wirkungsgrad hierbei immer größer als der entsprechende energetische Wirkungsgrad ist.
- g) (2 Punkte) Kann das spezifische Volumen v eines Reinstoffs im Nassdampfgebiet bestimmt werden, wenn Druck und Temperatur bekannt sind? Begründen Sie ihre Antwort.
- h) (3 Punkte) Butan (C_4H_{10}) wird überstöchiometrisch ($\lambda = 3$) und vollständig mit reinem Sauerstoff verbrannt. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und bestimmen Sie die stöchiometrischen Koeffizienten.
- i) (2 Punkte) Kann die spezifische Enthalpie feuchter Luft h_{1+x} durch die adiabate Zufuhr von flüssigem Wasser verringert werden? Begründen Sie Ihre Antwort.
- j) (2 Punkte) Skizzieren Sie den im $\log(p), h$ -Diagramm abgebildeten Prozess in dem nebenstehenden h, s -Diagramm. Die Zustandsänderung ($1 \rightarrow 2$) sei isentrop.





(Skizzieren Sie sich ggf. ein neues h,s -Diagramm mit Nassdampfgebiet. Streichen Sie das nicht zu wertende Diagramm durch!)

2. Aufgabe: Kältemaschine (ideales Gas) (24 Punkte)

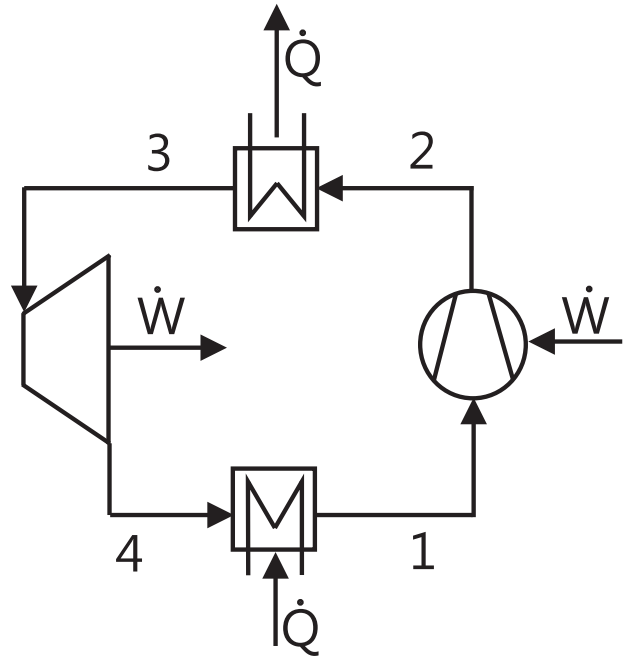
In einer Kältemaschine wird Luft als Arbeitsmedium verwendet. Der Kreisprozess besteht aus folgenden Zustandsänderungen:

1 → 2 irreversible, adiabate Verdichtung

2 → 3 isobare Wärmeabfuhr

3 → 4 irreversible, adiabate Expansion

4 → 1 isobare Wärmezufuhr



Annahmen und Angaben:

- Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.
- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.
- $T_1 = 250 \text{ K}$, $T_2 = 358,45 \text{ K}$, $T_3 = 294,57 \text{ K}$, $T_4 = 223,15 \text{ K}$
- $p_3 = 30 \text{ bar}$, $p_4 = 10 \text{ bar}$, $\dot{m} = 1 \text{ kg/s}$
- $T_0 = 300 \text{ K}$, $R_{Luft} = 0,287 \text{ kJ/(kgK)}$, $c_{p,Luft} = 1,0 \text{ kJ/(kg K)}$, $\kappa = 1,4$

Aufgaben:

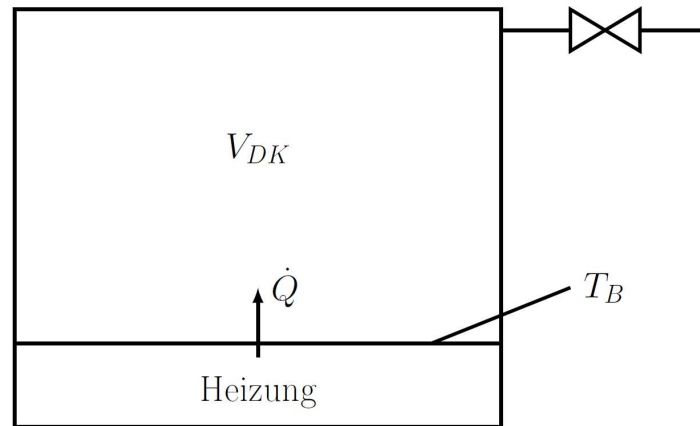
- (4 Punkte)** Skizzieren Sie den Prozess in einem T,s -Diagramm und in einem p,v -Diagramm.
- (3 Punkte)** Bestimmen Sie das Verhältnis der Volumenströme \dot{V}_1 / \dot{V}_2 .
- (4 Punkte)** Wie groß ist die Leistungszahl der Kältemaschine?
- (4 Punkte)** Berechnen Sie den isentropen Wirkungsgrad $\left(\eta_{s,Exp} = \frac{w_{real}}{w_{ideal}}\right)$ des Expanders (3 → 4).
- (6 Punkte)** Bestimmen Sie die Entropieerzeugung \dot{S}_{gen} und die Exergievernichtung \dot{E}_D im Expander (3 → 4).

f) (**3 Punkte**) Der Prozess weist am Expanderaustritt (4) eine sehr niedrige Temperatur von $-50\text{ }^\circ\text{C}$ und einen relativ hohen Druck von 10 bar auf. In einem Thermodynamikbuch finden Sie für Luft folgende real gemessenen Stoffdaten: $v(-50\text{ }^\circ\text{C}, 10\text{ bar}) = 0,0631\text{ m}^3/\text{kg}$. War die Annahme *Luft kann als ideales Gas betrachtet werden* gerechtfertigt? Verwenden Sie eine geeignete Kennzahl zur Begründung Ihrer Antwort.

3. Aufgabe: Dampfkessel (22 Punkte)

Ein Dampfkessel mit starren Wänden (Gesamtvolumen V_{DK}) ist mit einer Heizung am Boden und einem Ventil ausgestattet. Im Dampfkessel befindet sich zu Beginn (Zustand 1) eine Masse flüssigen Wassers m'_1 und eine Masse dampfförmigen Wassers m''_1 . Es herrscht ein Druck p_1 im Kessel und das Ventil ist geschlossen.

Nach Einschalten der Heizung am Boden wird dem Wasser über diesen ein zeitlich konstanter Wärmestrom \dot{Q} zugeführt. Das Ventil öffnet sich, wenn der Druck p_2 überschritten wird. Die Außenhülle des Dampfkessels ist ideal isoliert.



Annahmen und Angaben:

- Im Dampfkessel herrscht thermodynamisches Gleichgewicht. Der Wärmestrom \dot{Q} ist zeitlich konstant.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.
- Die Außenhülle des Dampfkessels ist ideal isoliert.
- $V_{DK} = 1 \text{ m}^3$ $m_W = 10,584 \text{ kg}$
- $m'_1 = 10 \text{ kg}$ $p_1 = 1 \text{ bar}$ $U_1 = 5635,22 \text{ kJ}$ $S_1 = 17,32 \text{ kJ/K}$
- $p_2 = 10 \text{ bar}$ $H_2 = 18370,05 \text{ kJ}$
- $\dot{Q}_{12} = 25 \text{ kW}$
- $T_B = 488,15 \text{ K}$

Hinweise:

- In Zustand 2 ist das Ventil noch geschlossen.
- Es befindet sich keine Luft im Dampfkessel.
- Nutzen Sie für die Berechnungen das h,s -Diagramm bzw. die Wasserdampf-tafel.

Aufgaben:

- a) **(3 Punkte)** Zeichnen Sie die Zustandsänderung ($1 \rightarrow 2$) des Wassers in ein p,v -Diagramm und in ein T,s -Diagramm ein (jeweils mit Nassdampfgebiet).
- b) **(5 Punkte)** Berechnen Sie das vom flüssigen Wasser eingenommene Volumen V_1' , das vom trocken gesättigten Dampf eingenommene Volumen V_1'' und den Dampfgehalt x_1 im Zustand 1.
- c) **(4 Punkte)** Berechnen Sie den Dampfgehalt x_2 im Kessel im Zustand 2.
- d) **(4 Punkte)** Nach welcher Zeit $\Delta\tau_{12}$ öffnet das Ventil?

Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $\Delta\tau_{12} = 500 \text{ s}$ und $x_2 = 0,5$ weiter.

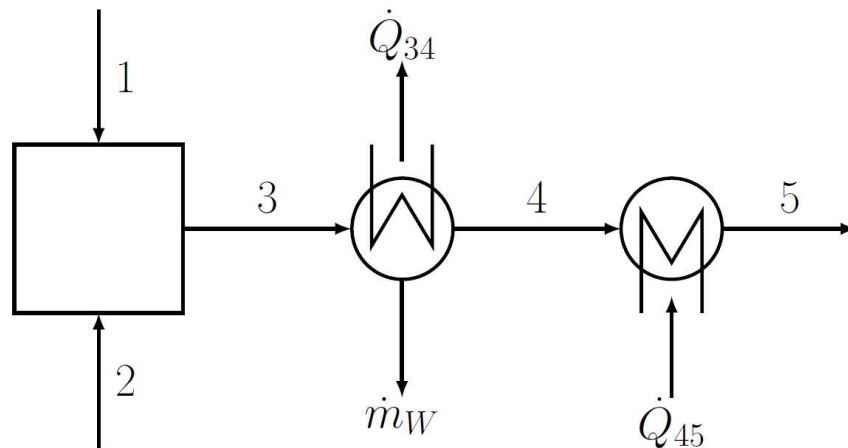
- e) **(4 Punkte)** Wie groß ist die Entropieerzeugung S_{gen} bis zum Öffnen des Ventils, wenn die Temperatur des Bodens und der Heizung konstant ist und T_B beträgt?
- f) **(2 Punkte)** Falls das Ventil bei der Überschreitung von p_2 nicht öffnet, wird das Wasser weiter erwärmt bis das gesamte Wasser im Dampfkessel in nur noch einem Aggregatzustand bei der Temperatur T_B vorliegt (Zustand 3). Welchen Aggregatzustand hat das Wasser in Zustand 3? Begründen Sie Ihre Antwort.

4. Aufgabe: Feuchte Luft (14 Punkte)

An einem heißen Sommertag saugt eine stationär arbeitende Klimaanlage Luft aus der Umgebung (Frischluft) und Luft aus dem zu klimatisierenden Raum (Umluft) an.

Die Frischluft (Trockenluftmassenstrom $\dot{m}_{L,1}$) hat eine Temperatur t_1 und eine relative Feuchte φ_1 . Die Umluft weist eine Temperatur t_2 und eine relative Feuchte φ_2 auf. Das Verhältnis der Trockenluftmassenströme beträgt $\frac{\dot{m}_{L,1}}{\dot{m}_{L,2}} = \frac{1}{2}$.

Zuerst werden beide Ströme in einem adiabaten Mischer gemischt, wobei sich die Temperatur t_3 und die relative Feuchte φ_3 des austretenden Stromes 3 einstellt. Im anschließenden Prozessschritt wird die Luft auf t_4 abgekühlt und das kondensierende flüssige Wasser abgeschieden. Um ein behagliches Raumklima zu erreichen, wird durch Wärmezufuhr eine Temperatur t_5 und eine relative Feuchte φ_5 eingestellt.



Annahmen und Angaben:

- Luft und Wasserdampf können als ideale Gase betrachtet werden.
- Es handelt sich um einen isobaren, stationären Fließprozess.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.
- $t_1 = 30^\circ\text{C}$ $\varphi_1 = 0,8$ $\dot{m}_{L,1} = 100 \text{ kg/h}$
- $t_2 = 25^\circ\text{C}$ $\varphi_2 = 0,6$
- $t_5 = 20^\circ\text{C}$ $\varphi_5 = 0,4$
- $\frac{\dot{m}_{L,1}}{\dot{m}_{L,2}} = \frac{1}{2}$
- $p = 1 \text{ bar}$

Hinweise:

- Nutzen Sie das Mollier h_{1+x}, x -Diagramm.

Aufgaben:

- a) **(4 Punkte)** Zeichnen Sie die Zustandspunkte 1, 2 und 3 in das Diagramm ein und bestimmen Sie für Zustand 3 sowohl die Temperatur, die relative Feuchte und den Wassergehalt.
- b) **(3 Punkte)** Zeichnen Sie die Zustandspunkte 4 und 5 in das Diagramm ein und bestimmen Sie für Zustand 4 die Temperatur, die relative Feuchte und den Wassergehalt. Zeichnen Sie zusätzlich die Zustandsänderung von 3→4 für die Gasphase ein.

Hinweis: Konnten Sie Zustandspunkt 3 und/oder 4 in Aufgabenteil a) und b) nicht einzeichnen, so treffen Sie plausible Annahmen für Zustandspunkt 3 und Zustandspunkt 4. Tragen Sie die Zustandspunkte als Zustandspunkte 3 und 4* in das Diagramm ein und verwenden Sie diese Punkte in den Aufgabenteilen c) und d), um benötigte Werte abzulesen.*

- c) **(3 Punkte)** Berechnen Sie den abgeschiedenen Wassermassenstrom \dot{m}_W .
- d) **(4 Punkte)** Berechnen Sie den zugeführten Wärmestrom \dot{Q}_{45} .

Auf dieser Seite steht kein Aufgabentext.

Auf dieser Seite steht kein Aufgabentext.

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

