



Klausur im Fach
Thermodynamik I, SS 2012
am 06.08.2012

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Gesamt

Name:

Matrikelnummer:

Studiengang:

Bachelor

Diplom, modularisiert

Diplom, nicht-modularisiert

1. Der Klausurumfang beträgt inklusive diesem Deckblatt und Formelsammlung 3 Blätter (6 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:

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

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

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:

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

Exergiebilanz für offene Systeme:

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

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 (Sättigungszustand (siedende Flüssigkeit und gesättigter Dampf), Temperatur tabel

Sättigungszustand, Temperatur tabel

t $^\circ C$	T K	p bar	v' $\frac{m^3}{kg}$	v'' $\frac{m^3}{kg}$	h' $\frac{kJ}{kg}$	h'' $\frac{kJ}{kg}$	s' $\frac{kJ}{kgK}$	s'' $\frac{kJ}{kgK}$
0	273,15	0,0061	0,0010002	206,3	0,00	2500,5	0,0000	9,1545
10	283,15	0,0123	0,0010002	106,4	42,03	2518,9	0,1511	8,8985
20	293,15	0,0234	0,0010017	57,84	83,86	2537,3	0,2963	8,6652
30	303,15	0,0424	0,0010043	32,94	125,61	2555,5	0,4364	8,4516
40	313,15	0,0737	0,0010078	19,56	167,34	2573,5	0,5718	8,2553
50	323,15	0,1233	0,0010121	12,05	209,11	2591,3	0,7031	8,0745
60	333,15	0,1992	0,0010172	7,682	250,91	2608,8	0,8304	7,9074
70	343,15	0,3116	0,0010229	5,048	292,78	2625,9	0,9542	7,7526
80	353,15	0,4736	0,0010293	3,410	334,72	2642,5	1,0747	7,6088
90	363,15	0,7011	0,0010363	2,361	376,75	2658,7	1,1920	7,4749
100	373,15	1,0132	0,0010438	1,673	418,88	2674,4	1,3063	7,3500

Auf dieser Seite steht kein Aufgabentext.

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) Definieren Sie den Begriff *stationärer Prozess*.
- b) (1 Punkt) Wodurch ist ein geschlossener (im Gegensatz zum offenen) Kreisprozess gekennzeichnet?
- c) (2 Punkte) Wie hoch ist der theoretisch maximale energetische und der theoretisch maximale exergetische Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine, die zwischen zwei Wärmereservoirs mit den Temperaturen 100 K und 300 K arbeitet?
- d) (2 Punkte) Zeichnen Sie eine reale, adiabate Kompression eines idealen Gases ($1 \rightarrow 2_{real}$) in ein T,s -Diagramm inkl. Isobaren und zusätzlich den dazugehörigen idealen Vergleichsprozess ($1 \rightarrow 2_{ideal}$).
- e) (2 Punkte) Wie ist die Leistungszahl einer Wärmepumpe definiert? Zeigen Sie, dass diese immer ≥ 1 ist.
- f) (2 Punkte) Zeigen Sie ausgehend von der Fundamentalgleichung $dh = T ds + v dp$ und mit Hilfe einer kurzen Erklärung, dass eine Isobare im Nassdampfgebiet des h,s -Diagramms eine konstante Steigung aufweist.
- g) (2 Punkte) Bestimmen Sie die Koeffizienten a , b , c und d für die Verbrennung von Propan mit Sauerstoff und $\lambda = 3$:
 $1\text{ C}_3\text{H}_8 + a\text{ O}_2 \rightarrow b\text{ CO}_2 + c\text{ H}_2\text{O} + d\text{ O}_2$
- h) (1 Punkt) Wann spricht man von einem *überkritischen Fluid*?
- i) (2 Punkte) Kann eine Wärmekraftmaschine betrieben werden, wenn die Wärmezufuhr bei $T_0 = 293,15\text{ K}$ erfolgt? Begründen Sie Ihre Antwort.
- j) (2 Punkte) Welche Aggregatzustände hat das Wasser in feuchter Luft, wenn die spezifische Enthalpie der feuchten Luft h_{1+x} negativ ist und $x > x_s$ ist? Begründen Sie Ihre Antwort.
- k) (3 Punkte) Skizzieren Sie einen Wärmepumpenprozess, der nach dem Carnot-Prinzip arbeitet, in ein $\log(p),h$ -Diagramm mit Nassdampfgebiet und nummerieren Sie die Eckpunkte. Nach der Wärmezufuhr ($4 \rightarrow 1$) soll das Arbeitsmedium als trocken gesättigter Dampf vorliegen ($x_1 = 1$).

2. Aufgabe: Wärmekraftmaschine (18 Punkte)

In einer Wärmekraftmaschine wird Luft als Arbeitsmedium verwendet. Die spezifische Nettoarbeit beträgt $w_{netto} = -460,723 \frac{kJ}{kg}$. Der Prozess besteht aus folgenden Zustandsänderungen eines geschlossenen Zylinder-Kolben-Systems:

- 1 \rightarrow 2 isotherme, reversible Verdichtung
- 2 \rightarrow 3 isobare Wärmezufuhr
- 3 \rightarrow 4 adiabate, reversible Expansion
- 4 \rightarrow 1 isochore Wärmeabfuhr

Annahmen und Angaben:

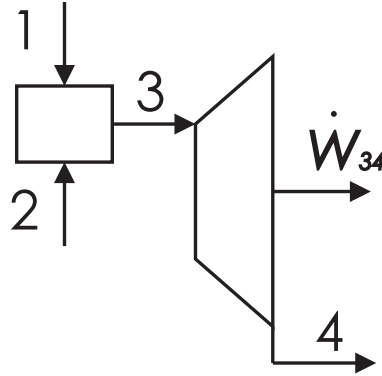
- Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.
- $T_1 = 300 \text{ K}$, $v_1 = 0,8 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $v_2 = 0,02 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $T_3 = 1200 \text{ K}$, $v_3 = 0,08 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $w_{netto} = -460,723 \frac{kJ}{kg}$
- $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kgK})$, $c_p = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg K})$, $c_v = 0,72 \text{ kJ}/(\text{kg K})$, $\kappa = 1,4$

Aufgaben:

- a) (2 Punkte) Skizzieren Sie den Prozess in einem p,v -Diagramm.
- b) (3 Punkt) Der maximal zulässige Betriebsdruck für die Maschine beträgt $p_{max} = 50 \text{ bar}$. Überprüfen Sie, ob dieser eingehalten wird!
- c) (5 Punkte) Bestimmen Sie die abgeführte Wärme q_{41} .
- d) (5 Punkte) Wie groß ist $\Delta s_{12}(= s_2 - s_1)$ und q_{12} ?
Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $q_{41} = -150 \text{ kJ}/\text{kg}$ und $q_{12} = -350 \text{ kJ}/\text{kg}$ weiter.
- e) (3 Punkte) Bestimmen Sie den energetischen Wirkungsgrad η der Wärmekraftmaschine.

3. Aufgabe: Dampfturbine (19 Punkte)

Zur Regelung der Dampfturbineneintrittstemperatur t_3 wird überhitzter Dampf (1) mit unterkühltem, flüssigen Wasser (2) isobar gemischt. Der Dampf (3) wird anschließend in der Turbine auf den Druck p_4 entspannt.



Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess. Sowohl die Dampfturbine als auch der Mischer sind adiabat.
- Differenzen potentieller und kinetischer Energien können vernachlässigt werden.
- $h_1 = 3600 \text{ kJ/kg}$, $h_2 = 400 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 3540 \text{ kJ/kg}$, $p_3 = 200 \text{ bar}$, $\dot{m}_3 = 100 \text{ kg/s}$
- $p_4 = 1 \text{ bar}$, $x_4 = 0,94$
- $T_0 = 300 \text{ K}$

Hinweis: Verwenden Sie Ihr h,s -Diagramm.

Aufgaben:

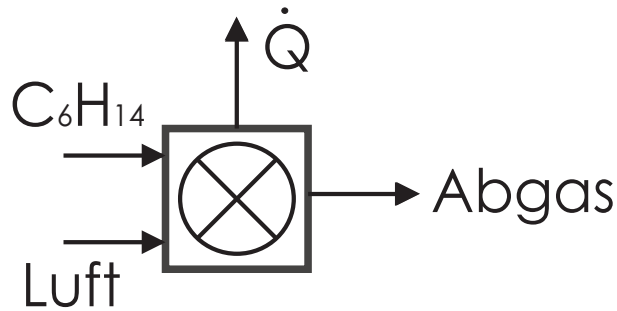
- (2 Punkte)** Wie hoch sind die Temperaturen t_3 und t_4 ?
- (7 Punkte)** Bestimmen Sie die Leistung \dot{W}_{34} und die Exergievernichtung $\dot{E}_{D,34}$ der Dampfturbine.
- (3 Punkte)** Wie groß ist der isentrope Wirkungsgrad $\eta_{s,T} = \frac{w_{real}}{w_{ideal}}$ der Dampfturbine?

Hinweis: Die Aufgabenteile d) und e) können unabhängig von den Aufgabenteilen a), b) und c) gelöst werden.

- (3 Punkte)** Skizzieren Sie ein T,s -Diagramm (inkl. Nassdampfgebiet) mit den Zuständen (1), (2), (3) und (4) und den entsprechenden Isobaren.
- (4 Punkte)** Berechnen Sie das Massenstromverhältnis $\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}$.

4. Aufgabe: Verbrennung (13 Punkte)

In einer Brennkammer wird Hexan (C_6H_{14}) stöchiometrisch ($\lambda = 1$), vollständig und isobar bei 0,936 bar mit Luft verbrannt und gleichzeitig ein Wärmestrom abgeführt.



Annahmen und Angaben:

- Luft besteht zu 21 mol% aus O_2 und 79 mol% aus N_2 . Die Gase können als ideale Gase betrachtet werden.
- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- $\dot{n}_{C_6H_{14}} = 0,02 \text{ mol/s}$
- $M_{CO_2} = 44 \text{ g/mol}$, $M_{H_2O} = 18 \text{ g/mol}$, $M_{N_2} = 28 \text{ g/mol}$
- $p_{C_6H_{14}} = p_{Luft} = p_{Abgas} = 0,936 \text{ bar}$

Aufgaben:

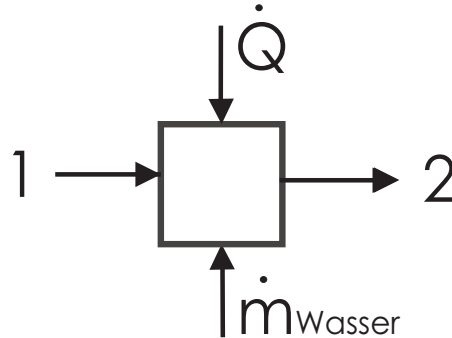
- (4 Punkte)** Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und bestimmen Sie die stöchiometrischen Koeffizienten.
- (4 Punkte)** Berechnen Sie den Abgasmolenstrom und die Stoffmengenanteile y_{CO_2} , y_{H_2O} und y_{N_2} im Abgas.

Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $y_{H_2O} = 0,15$, $y_{CO_2} = 0,1$, $y_{N_2} = 0,75$ und $\dot{n}_{Abgas} = 1,2 \text{ mol/s}$ weiter.

- (3 Punkte)** Durch die Wärmeabfuhr wird die Abgastemperatur gesenkt und es kondensiert Wasser aus. Bis zu welcher Temperatur muss das Abgas abgekühlt werden, damit der Stoffmengenanteil des Wassers in der *Gasphase* des Abgases nur noch 2,5 mol% beträgt ($y_{H_2O}^{Gasphase} = 0,025$).
- (2 Punkte)** Wie groß ist der Abgasmassenstrom?

5. Aufgabe: Feuchte Luft (10 Punkte)

Einem Massenstrom feuchter Luft \dot{m}_1 wird flüssiges Wasser (\dot{m}_{Wasser}) und gleichzeitig der Wärmestrom \dot{Q} zugeführt. Der austretende Strom feuchter Luft ist gerade gesättigt ($x_2 = x_s$).



Annahmen und Angaben:

- Luft und Wasserdampf können als ideale Gase betrachtet werden.
- Es handelt sich um einen isobaren, stationären Fließprozess.
- Differenzen potentieller und kinetischer Energien können vernachlässigt werden.
- $t_1 = 0^\circ C$, $x_1 = 0,01$, $\dot{m}_{L,1} = 50 \text{ kg/s}$
- $t_2 = 60^\circ C$, $\varphi_2 = 1$
- $t_{Wasser} = 100^\circ C$
- $p = 2 \text{ bar}$
- $M_W = 18 \text{ g/mol}$, $M_{Luft} = 29 \text{ g/mol}$

Aufgaben:

- (2 Punkte)** Bestimmen Sie x_2 .
Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $x_2 = 0,05$ weiter.
- (3 Punkte)** Wie groß ist der Wassermassenstrom \dot{m}_{Wasser} ?
Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $\dot{m}_{Wasser} = 2 \text{ kg/s}$ weiter.
- (5 Punkte)** Berechnen Sie den zugeführten Wärmestrom \dot{Q} .