



## 2. Klausur oder modularisierte Klausur im Fach „Thermodynamik I“, SS 07

am 07.08.2007

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Gesamt

Name:

Matrikelnummer:

Studiengang:

1. Der Klausurumfang beträgt inklusive Deckblatt und Formelsammlung 6 Blätter (3 Seiten).
2. Tragen Sie auf dem Deckblatt Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer ein.
3. Es sind nur Fragen zum Verständnis des Aufgabentextes zulässig.
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. Stoffwerttabellen und Diagramme können ggf. für alle Aufgaben verwendet werden.

# 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:

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

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

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:

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

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:

$$v = v_0 = \text{konst.} \quad (\text{inkompressibel}). \quad (28)$$

Kalorische Zustandsgleichungen für inkompressible Fluide:

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

$$u(T, p) = \int_{T_0}^T c(T) dT + u_0 = u(T) \quad (\text{inkompressibel}) \quad (30)$$

$$h(T, p) = \int_{T_0}^T c(T) dT + v_0(p - p_0) + h_0 \quad (\text{inkompressibel}) \quad (31)$$

$$s(T, p) = \int_{T_0}^T \frac{c(T)}{T} dT + s_0 = s(T) \quad (\text{inkompressibel}) \quad (32)$$

## 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:

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

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

Relative Feuchte und Wassergehalt (feuchte Luft):

$$\varphi := \frac{p_{Wd}}{p_{W,s}(T)} \quad x := \frac{m_W}{m_L} \quad x = \frac{M_W}{M_L} \cdot \frac{p_{W,s}(T)}{(p/\varphi) - p_{W,s}(T)} \quad (38)$$

Spezifisches Volumen und spezifische Enthalpie feuchter Luft:

$$v_{1+x} := \frac{V}{m_L} \quad h_{1+x} := \frac{H}{m_L} = h_L + xh_W \quad (39)$$

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:

$$h_{1+x} = c_{p,L} \cdot t + x (r_0 + c_{p,Wd} \cdot t) \quad (40)$$

Enthalpie von flüssigem Wasser:

$$h_{Wfl}(t) = c_{Wfl} \cdot t \quad (41)$$

Enthalpie gesättigter feuchter Luft mit flüssigem Wasser:

$$h_{1+x} = c_{p,L} \cdot t + x_s (r_0 + c_{p,Wd} \cdot t) + (x - x_s) c_{Wfl} \cdot t \quad (42)$$

Enthalpie gesättigter feuchter Luft mit festem Wasser:

$$h_{1+x} = c_{p,L} \cdot t + x_s (r_0 + c_{p,Wd} \cdot t) + (x - x_s) (c_{Wf} \cdot t - r_{f,0}) \quad (43)$$

## Wärmeübertragung

Eindimensionale Wärmeleitung (Fourier-Gesetz):

$$\dot{q} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial r} \quad \dot{Q} = \dot{q}A \quad (44)$$

Wärmeübergang (eindimensional):

$$\dot{q} = \alpha (t_W - t_F) \quad (\text{W:Wand, F:Fluid}) \quad (45)$$

Dimensionslose Kennzahlen:

$$Re = \frac{wL}{\nu} = \frac{wL\rho}{\eta} \quad Nu = \frac{\alpha L}{\lambda} \quad Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\eta c_p}{\lambda} \quad Pe = Re \cdot Pr \quad (46)$$

Wärmedurchgang:

$$\dot{Q} = kA\Delta t \quad \text{mit} \quad \frac{1}{kA} = \sum_i \frac{1}{\alpha_i A_i} + \sum_j \frac{\delta_j}{\lambda_j A_j} \quad (47)$$

# Stoffwerte

Tabelle 1: Daten ausgewählter Stoffe im Referenzzustand ( $T_{ref} = 298,15\text{ K}$ ,  $p_{ref} = 1,0\text{ bar}$ )

Stoff <sup>a</sup>	$\bar{c}_{p,ref}$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}\cdot\text{K}}$	$\bar{h}_{ref}$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	$\bar{s}_{ref}$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}\cdot\text{K}}$	$\bar{g}_{ref}$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$
C (s)	8,53	0	5,740	-1711
N <sub>2</sub>	29,49	0	191,610	-57128
O <sub>2</sub>	28,92	0	205,146	-61164
H <sub>2</sub>	29,13	0	130,679	-38961
CO <sub>2</sub>	35,91	-393521	213,794	-457264
H <sub>2</sub> O	31,96	-241856	188,824	-298153
H <sub>2</sub> O (l)	75,79	-285829	69,948	-306685
CH <sub>4</sub>	35,05	-74872	186,251	-130403

<sup>a</sup> Zustand gasförmig, wenn nicht mit *solid* (s) oder *liquid* (l) anders gekennzeichnet.

Tabelle 2: Parameter bei  $298,15\text{ K} < T \leq T_{max}$  und  $p_{ref} = 1,0\text{ bar}$

$$\bar{c}_p(T, p_{ref}) = a + by + cy^{-2} + dy^2$$

$$\bar{h}(T, p_{ref}) = 10^3 \left( H^+ + ay + \frac{b}{2}y^2 - cy^{-1} + \frac{d}{3}y^3 \right)$$

mit  $y = T/10^3$ , in den Einheiten [kJ/kmol] und [kJ/(kmol·K)]

Stoff <sup>a</sup>	$H^+$	$S^+$	$a$	$b$	$c$	$d$
C (s)	-2,101	-6,540	0,109	38,940	-0,146	-17,385
N <sub>2</sub>	-7,069	51,539	24,229	10,521	0,180	-2,315
O <sub>2</sub>	-9,589	36,116	29,154	6,477	-0,184	-1,017
H <sub>2</sub>	-7,823	-22,966	26,882	3,586	0,105	0,000
CO <sub>2</sub>	-413,886	-87,078	51,128	4,368	-1,469	0,000
H <sub>2</sub> O	-253,871	-11,750	34,376	7,841	-0,423	0,000
H <sub>2</sub> O (l)	-289,932	-67,147	20,355	109,198	2,033	0,000
CH <sub>4</sub>	-81,242	96,731	11,933	77,647	0,142	-18,414

<sup>a</sup> Zustand gasförmig, wenn nicht mit *solid* (s) oder *liquid* (l) anders gekennzeichnet.

Wasser, Sättigungszustand, Drucktafel

$p$ <i>bar</i>	$t$ $^{\circ}C$	$T$ $K$	$v'$ $\frac{m^3}{kg}$	$v''$ $\frac{m^3}{kg}$	$h'$ $\frac{kJ}{kg}$	$h''$ $\frac{kJ}{kg}$	$s'$ $\frac{kJ}{kgK}$	$s''$ $\frac{kJ}{kgK}$
0,010	6,976	280,126	0,0010001	129,2	29,35	2513,4	0,1061	8,9734
0,030	24,098	297,248	0,0010026	45,68	100,97	2544,7	0,3543	8,5754
0,0869	43,09	316,24	0,0010091	16,74	180,45	2579,1	0,6135	8,1982
0,4	75,89	349,04	0,0010266	3,994	317,46	2635,7	1,0255	7,6667
0,6	85,95	359,1	0,0010334	2,732	359,73	2652,2	1,1449	7,5280
0,8	93,51	366,66	0,0010389	2,087	391,53	2664,3	1,2324	7,4300
1,0	99,63	372,78	0,0010436	1,694	417,33	2673,8	1,3022	7,3544
1,5	111,37	384,52	0,0010532	1,159	466,95	2691,6	1,4331	7,2177
2,0	120,23	393,38	0,001061	0,8852	504,52	2704,6	1,5295	7,1212

flüssiges Wasser

$p$ <i>bar</i>	$t$ $^{\circ}C$	$T$ $K$	Zustand	$v$ $\frac{m^3}{kg}$	$h$ $\frac{kJ}{kg}$	$s$ $\frac{kJ}{kgK}$
1,00	10,00	283,15	flüssig	0,0010003	42,1	0,1511
1,00	20,00	293,15	flüssig	0,0010018	84,0	0,2965

# 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) **(4 Punkte)** In einem geschlossenen System befindet sich als Arbeitsmedium ein ideales Gas. Bei einer Zustandsänderung vom Zustand 1 zum Zustand 2 sinkt die Entropie isotherm. Skizzieren Sie die Zustandsänderung in einem  $T,s$ -Diagramm und begründen Sie, ob und wieso dem Arbeitsmedium Wärme und/oder Arbeit zu- oder abgeführt werden müssen.
- b) **(2 Punkte)** Geben Sie zwei Schlussfolgerungen aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik an.
- c) **(4 Punkte)** In einer Brennkammer wird der Stoffmengenstrom  $\dot{n}_C = 1 \text{ mol/s}$  Kohlenstoff in einem stationären Fließprozess stöchiometrisch mit Luft ( $y_{N_2} = 78,0\%$ ,  $y_{O_2} = 20,5\%$ ,  $y_{H_2O, \text{gasförmig}} = 1,5\%$ ) verbrannt. Die Edukte und Produkte werden der Brennkammer bei einem Druck von  $p = 1 \text{ bar}$  und einer Temperatur von  $t = 20^\circ\text{C}$  zugeführt und aus ihr abgeführt. Wie lautet die Reaktionsgleichung mit allen stöchiometrischen Koeffizienten? Welche thermische Leistung  $\dot{Q}$  muss der Brennkammer zugeführt oder entzogen werden?
- d) **(4 Punkte)** Skizzieren Sie ein  $h_{1+x}, x$ -Diagramm mit der  $\varphi = 1$  Linie und zwei verschiedenen isothermen Linien (kennzeichnen Sie diejenige mit der höheren Temperatur), die auch durch das Nebelgebiet verlaufen. Wie ändert sich die Lage der Nebelgrenze, wenn der Druck im System steigt?
- e) **(1 Punkt)** Geben Sie an, wieso der in feuchter Luft enthaltene Wasserdampf als ideales Gas betrachtet werden kann.
- f) **(5 Punkte)** Welche Arten der Wärmeübertragung gibt es? Kennzeichnen Sie am Beispiel einer ebenen Wand, wo diese verschiedenen Phänomene auftreten.



## 2. Aufgabe: Rohrströmung (16 Punkte)

Siedendes Wasser ( $x_1 = 0$ ) mit einer Temperatur von  $t_1 = 120,23^\circ\text{C}$  strömt durch ein adiabates Rohr. Der Druck sinkt hierbei, so dass er am Austritt nur noch  $p_2 = 0,8 \text{ bar}$  beträgt.

### Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- $t_0 = 20^\circ\text{C}$

### Aufgaben:

- a) (4 Punkte) Liegt der Zustand 2 im Zwei-Phasen-Gebiet? Bestimmen Sie hierfür auch die Enthalpie  $h_2$ .

**Hinweis:** Rechnen Sie ggf. mit  $h_2 = 1000 \text{ kJ/kg}$  weiter.

- b) (2 Punkte) Skizzieren Sie die Zustandsänderung in einem  $h,s$ -Diagramm.
- c) (8 Punkte) Wie groß sind die Entropieerzeugung  $s_{gen}$  und die Exergievernichtung  $e_D$  bei dieser Rohrströmung?
- d) (2 Punkte) Wieviel Wärme  $q_{23}$  müsste dem Wasser zugeführt oder entzogen werden, damit ausgehend vom Zustand 2 im Zustand 3 wieder gerade siedende Flüssigkeit ( $x_3 = 1, p_3 = p_2$ ) vorliegt.

### 3. Aufgabe: Carnot-Prozess (15 Punkte)

Eine Wärmepumpe zur Raumheizung arbeite nach dem Carnot-Prinzip. Das Arbeitsmedium sei Wasser. Nach der Kompression (Zustand 2) liegt das Arbeitsmedium als gesättigter Dampf ( $x_2 = 1$ ) vor, im Zustand 3 als siedende Flüssigkeit ( $x_3 = 0$ ).

#### Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- $t_{\text{Umgebung}} \approx 12^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{Raum}} \approx 19^\circ\text{C}$  (runden Sie gegebenenfalls)
- In den Wärmeübertragern treten keine Druckverluste auf.
- Die minimale Temperaturdifferenz bei der Wärmeübertragung betrage  $5\text{ K}$ .

#### Aufgaben:

- a) (6 Punkte) Skizzieren Sie den Prozess in einem  $T,s$ - und in einem  $\log p,h$ -Diagramm. Nummerieren Sie die Eckpunkte
- b) (2 Punkte) Wie hoch ist die Temperatur im Verdampfer?
- c) (3 Punkt) Wie hoch ist der Druck im Zustand 1 und im Zustand 2?
- d) (4 Punkte) Geben Sie die Leistungszahl der Wärmepumpe an.

### 4. Aufgabe: Expander (12 Punkte)

In einem Expander wird feuchte Luft vom Zustand 1 ( $\dot{m}_{\text{trockene Luft}} = 1\text{ kg/s}$ ,  $t_1 = 60^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1 = 50\%$ ,  $p_1 = 1,2\text{ bar}$ ) in den Zustand 2 ( $p_2 = 1\text{ bar}$ ) entspannt.

#### Annahmen und Angaben:

- $\kappa_{\text{Feuchte Luft}} = 1,4$ ,  $M_W/M_L = 0,624$
- Es handelt sich um einen adiabaten, reversiblen und stationären Fließprozess.

#### Aufgaben:

- a) (2 Punkte) Bestimmen Sie die Austrittstemperatur  $t_2$  aus dem Kompressor.
- b) (3 Punkte) Bestimmen Sie die Wassergehalte  $x_1$  und  $x_2$ .
- c) (4 Punkte) Wie groß ist die relative Feuchte  $\varphi_2$  am Expanderaustritt? Geben Sie an, ob flüssiges Wasser auskondensiert.
- d) (3 Punkte) Bestimmen Sie die Leistung  $\dot{W}_{12}$  des Expanders.

## 5. Aufgabe: Mischer (17 Punkte)

In einem Mischer wird flüssiges Wasser ( $t_1 = 10^\circ\text{C}$ ,  $p_1 = 1\text{ bar}$ ,  $\dot{m}_1 = 62,8\text{ kg/s}$ ) mit dampfförmigen Wasser ( $t_2 = 120^\circ\text{C}$ ,  $p_2 = 1\text{ bar}$ ,  $\dot{m}_2 = 1\text{ kg/s}$ ) isobar und adiabatisch gemischt. Es ergibt sich Strom 3.

### Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ,  $p_0 = 1\text{ bar}$
- $\dot{E}_1^{PH} = 45,82\text{ kW}$ ,  $\dot{E}_2^{PH} = 530,38\text{ kW}$

### Aufgaben:

- (4 Punkte)** Bestimmen Sie die Enthalpieströme  $\dot{H}_1$  und  $\dot{H}_2$ .
- (3 Punkte)** Bestimmen Sie den Druck  $p_3$  und die spezifische Enthalpie  $h_3$ .
- (3 Punkte)** Wie hoch ist die Temperatur  $t_3$  und in welchem Aggregatzustand liegt der Zustand 3 vor?
- (3 Punkte)** Berechnen Sie den Exergiestrom  $\dot{E}_3^{PH}$ .
- (2 Punkte)** Wie groß ist die Exergievernichtung  $\dot{E}_D$  durch die Mischung?
- (2 Punkte)** Ist es aus thermodynamischer Sicht sinnvoll, einen solchen Mischungsprozess durchzuführen? Begründen Sie Ihre Antwort