



Klausur im Fach
Thermodynamik I, SS 2015
am 25.09.2015

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Gesamt

Name:

Matrikelnummer:

Studiengang:

- Bachelor
- Master
- Diplom, modularisiert
- Erasmus/Schüler/Nebenhörer

➔ Ich erkläre, dass ich mich prüfungsfähig fühle. (§39(10) AllgStuPO vom 8.Mai 2013)

Datum und Unterschrift

1. Der Klausurumfang beträgt inklusive diesem Deckblatt und Formelsammlung 20 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 diese vom Arbeitsplatz.**
8. Es dürfen nur **dokumentenechte Stifte (keine Bleistifte, keine rote Farbe)** zur Anfertigung von Texten und Grafiken verwendet werden, anderenfalls werden diese nicht gewertet.
9. Geben Sie die von Ihnen beschriebenen Blätter einschließlich der Aufgabenblätter sofort nach der Klausur ab, später abgegebene Blätter werden nicht berücksichtigt.
10. Die Zahlenwerte bei eventuellen Quereinstiegen entsprechen nicht den exakten Ergebnissen. Treffen Sie gegebenenfalls plausible Annahmen, um auch ohne Zwischenergebnisse weiterrechnen zu können.
11. Rechenwege müssen **nachvollziehbar** dargestellt werden.

– Auf dieser Seite steht kein Aufgabentext –

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:

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

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:

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

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:

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

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 $t = 0^\circ\text{C}$	$r_0(0^\circ\text{C})$	2500	kJ/kg
Schmelzenthalpie von Wasser bei $t = 0^\circ\text{C}$	$r_{f,0}(0^\circ\text{C})$	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:

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

Wasserdampfafel

Sättigungszustand (siedende Flüssigkeit und gesättigter Dampf), Temperaturtafel

t °C	T K	p bar	v' $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	v'' $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	h' $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	h'' $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	s' $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	s'' $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
0	273,15	0,0061	0,0010002	206,3	0,00	2500,5	0,0000	9,1545
20	293,15	0,0234	0,0010017	57,84	83,86	2537,3	0,2963	8,6652
40	313,15	0,0737	0,0010078	19,56	167,34	2573,5	0,5718	8,2553
60	333,15	0,1992	0,0010172	7,682	250,91	2608,8	0,8304	7,9074
80	353,15	0,4736	0,0010293	3,410	334,72	2642,5	1,0747	7,6088
100	373,15	1,0132	0,0010438	1,673	418,88	2674,4	1,3063	7,3500
120	393,15	1,9853	0,0010608	0,8913	503,5	2704,2	1,5270	7,1236
140	413,15	3,614	0,0010802	0,5084	588,9	2731,8	1,7383	6,9240
160	433,15	6,180	0,0011024	0,3068	675,2	2756,5	1,9416	6,7456
180	453,15	10,027	0,0011278	0,1939	762,7	2777,6	2,1382	6,5833
200	473,15	15,551	0,0011568	0,1273	851,8	2793,7	2,3293	6,4322
240	513,15	33,480	0,0012293	0,05967	1036,9	2805,1	2,7004	6,1452
280	553,15	64,19	0,0013322	0,03005	1236,1	2778,7	3,0666	5,8549
320	593,15	112,90	0,001498	0,01549	1461,3	2702,4	3,4473	5,5401
360	633,15	186,74	0,001908	0,00697	1762,2	2483,1	3,9159	5,0545
374,15	647,30	221,29	0,00318		2099,7		4,4300	

Sättigungszustand (siedende Flüssigkeit und gesättigter Dampf, Drucktafel)

p bar	t °C	T K	v' $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	v'' $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	h' $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	h'' $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	s' $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	s'' $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
0,1	45,84	318,99	0,0010102	14,68	191,71	2583,9	0,6489	8,1480
0,2	60,09	333,24	0,0010173	7,652	251,28	2608,9	0,8316	7,9060
0,4	75,89	349,04	0,0010266	3,994	317,46	2635,7	1,0255	7,6667
0,6	85,95	359,10	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
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	561,2	2723,2	1,6711	6,9859
4,0	143,63	416,78	0,0010841	0,4621	604,4	2736,5	1,7757	6,8902
5,0	151,85	425,00	0,0010930	0,3746	639,9	2746,8	1,8596	6,8161
6,0	158,84	431,99	0,0011011	0,3155	670,1	2755,2	1,9300	6,7555
7,0	164,96	438,11	0,0011084	0,2727	696,7	2762,1	1,9909	6,7041
8,0	170,41	443,56	0,0011152	0,2403	720,6	2768,0	2,0447	6,6594
9,0	175,36	448,51	0,0011216	0,2149	742,2	2773,1	2,0931	6,6198
10,0	179,88	453,03	0,0011276	0,1944	762,2	2777,5	2,1370	6,5843
20,0	212,37	485,52	0,0011769	0,09964	908,0	2800,6	2,4453	6,3422
25,0	223,94	497,09	0,0011975	0,07998	961,3	2804,4	2,5527	6,2594
50,0	263,92	537,07	0,0012859	0,03937	1153,8	2794,6	2,9190	5,9735
100,0	310,96	584,11	0,0014510	0,01803	1407,0	2725,6	3,3582	5,6155
150,0	342,12	615,27	0,0016580	0,01034	1608,9	2610,5	3,6818	5,3104
221,29	374,15	647,30	0,00318		2099,7		4,430	

Flüssiges Wasser (unterkühlt) und Wasserdampf (überhitzt)

p bar	t °C	T K	Zustand	v $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	h $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	s $\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
1,00	30,00	303,15	flüssig	0,0010042	125,7	0,4363
1,00	40,00	313,15	flüssig	0,0010078	167,4	0,5718
1,00	50,00	323,15	flüssig	0,0010121	209,2	0,7030
1,30	90,00	363,15	flüssig	0,0010359	377,0	1,1926
1,30	100,00	373,15	flüssig	0,0010434	419,1	1,3070
1,30	110,00	383,15	dampfförmig	1,3364	2692,7	7,2867
1,30	290,00	563,15	dampfförmig	1,9920	3052,6	8,0562
1,30	300,00	573,15	dampfförmig	2,0280	3072,7	8,0916
1,30	310,00	583,15	dampfförmig	2,0640	3092,9	8,1265
6,00	290,00	563,15	dampfförmig	0,4261	3040,0	7,3338
6,00	300,00	573,15	dampfförmig	0,4341	3060,7	7,3703
6,00	310,00	583,15	dampfförmig	0,4424	3082,9	7,4100
6,00	340,00	613,15	dampfförmig	0,4660	3143,8	7,5104
6,00	350,00	623,15	dampfförmig	0,4740	3164,6	7,5440
6,00	360,00	633,15	dampfförmig	0,4819	3185,4	7,5772
20,00	590,00	863,15	dampfförmig	0,1971	3666,2	7,6740
20,00	600,00	873,15	dampfförmig	0,1994	3688,7	7,6999
20,00	610,00	883,15	dampfförmig	0,2018	3711,2	7,7255
100,00	570,00	843,15	dampfförmig	0,03668	3550,8	6,8162
100,00	580,00	853,15	dampfförmig	0,02722	3575,5	6,8453
100,00	590,00	863,15	dampfförmig	0,03775	3600,1	6,8739

1. Aufgabe: Theoriefragen (20 Punkte)

Tragen Sie in die gegebenen Kästen ihre Antworten ein. Sollte der Platz nicht ausreichen, nutzen Sie das Schreibpapier und vermerken dies im Kasten der entsprechenden Aufgabe.

- a) (2 Punkte) Ein System kann über verschiedene Zustandsänderungen (Prozesse) vom Zustand 1 in den Zustand 2 überführt werden. Welche Schlussfolgerungen können daraus für die Zustandsgrößen als auch für die Prozessgrößen gezogen werden? /2

- b) (1 Punkt) Erläutern Sie kurz die Aussagen des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik. /1

- c) (2 Punkte) Die Gaskonstante R eines unbekanntes Gases wird mit $0,2598 \text{ kJ/kgK}$ angegeben. Um welches Gas handelt es sich? Begründen Sie Ihre Antwort. /2

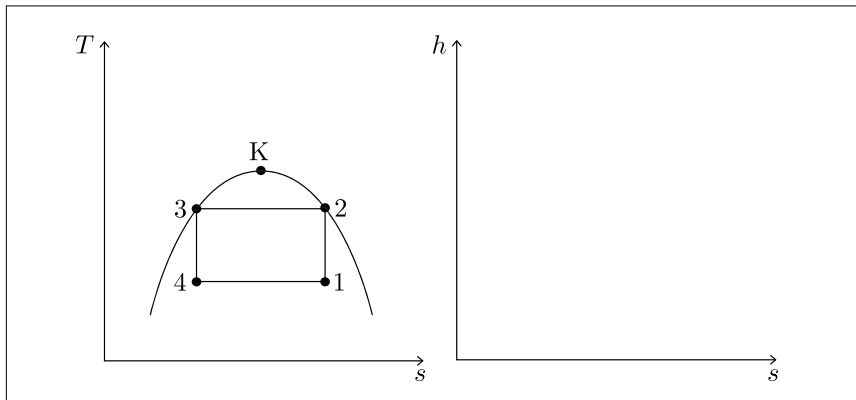
- d) (2 Punkte) Ist die folgende Aussage korrekt? Weisen Sie dies mithilfe einer geeigneten Gleichung nach. /2

In geschlossenen Systemen ist jede adiabat ablaufende Zustandsänderung gleichzeitig isentrop.

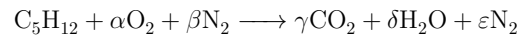
- e) (2 Punkte) Bestimmen Sie die maximale Leistungszahl LZ_{KM} und den dazugehörigen exergetischen Wirkungsgrad ϵ_{KM} einer Kältemaschine, welche die Wärme bei Umgebungstemperatur T_0 abgibt. Es gilt $T_{zu} < T_0$. /2

- f) (3 Punkte) Ein ideales Gas wird in einem Zylinder-Kolben-System isotherm ($1 \rightarrow 2$) verdichtet. Zeichnen Sie den Prozess in ein p,v -Diagramm ein und kennzeichnen Sie die dazugehörige spezifische Volumenänderungsarbeit. Tragen Sie zum Vergleich eine isentrope Zustandsänderung ($1 \rightarrow 3$) ins gleiche Diagramm ein. /3

- g) (2 Punkte) Übertragen Sie den nachfolgend im T,s -Diagramm dargestellten Prozess in ein h,s -Diagramm. Beachten Sie das Nassdampfgebiet und die Lage des kritischen Punktes. Nutzen Sie gegebenenfalls das Ersatzdiagramm. /2



- h) (3 Punkte) Pentan (C_5H_{12}) soll stöchiometrisch mit sauerstoffangereicherter Luft ($y_{O_2} = 0,25; y_{N_2} = 0,75$) verbrannt werden. Bestimmen Sie die stöchiometrischen Koeffizienten $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ und ε . /3

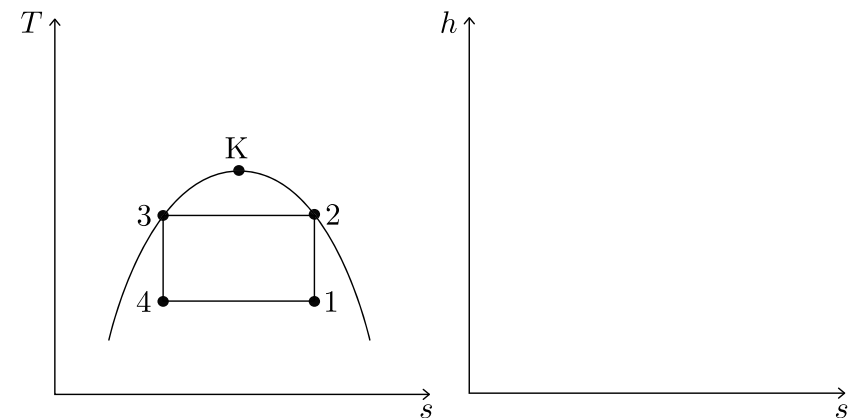


- j) (2 Punkte) Definieren Sie die Luftzahl λ einer Verbrennungsreaktion. Welche Informationen lassen sich damit für ein $\lambda = 0,5$ ableiten. /2

- k) (1 Punkt) In einem Strom feuchter Luft befinden sich gesättigte feuchte Luft und flüssiges Wasser. Das flüssige Wasser wird anschließend isotherm, isobar abgeschieden. Beschreiben Sie qualitativ (*sinkt, steigt, bleibt gleich*), wie sich der Wassergehalt x und die relative Feuchte φ im Behälter? /1

Gesamtpunktzahl: /20

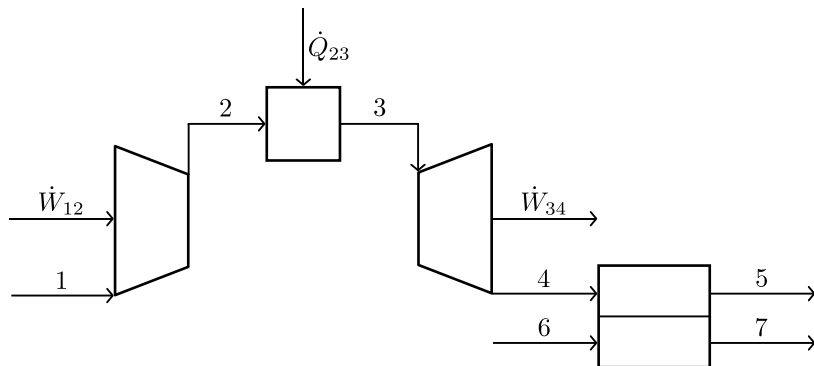
– Ersatz für Aufgabe 1.g –



2. Aufgabe: Gasturbine mit Dampferzeugung (21 Punkte)

In einem Industriebetrieb erzeugt eine Gasturbine (Joule-Prozess) mechanische Leistung. Das heiße Abgas wird anschließend genutzt um in einem nachgeschalteten Wärmeübertrager Dampf zu erzeugen.

In der Gasturbine wird Luft adiabatisch und reversibel komprimiert ($1 \rightarrow 2$), anschließend isobar erwärmt ($2 \rightarrow 3$) und adiabatisch und reversibel entspannt ($3 \rightarrow 4$). Im darauffolgenden Wärmeübertrager wird durch isobare Abkühlung der Luft von T_4 auf T_5 , ein Wassermassenstrom siedender Flüssigkeit (6) isobar gerade noch vollständig verdampft (7). Das Fließbild ist in nachfolgender Abbildung dargestellt:



Annahmen und Angaben:

Stoffstrom	T [K]	p [bar]	x [-]
1	298	1,0	-
2	600		-
3	1500		-
4	745	1,0	-
5	450	1,0	-
6		3,0	0
7		3,0	1

$$\dot{m}_{\text{Luft}} = 50 \text{ kg/s}$$

$$M_{\text{Luft}} = 28,96 \text{ kg/kmol}$$

$$c_{p,\text{Luft}} = 1,0 \text{ kJ/kgK}$$

$$R = 8314 \text{ J/kmolK}$$

$$\kappa_{\text{Luft}} = 1,4$$

- Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.
- Wasser ist ein realer Stoff.
- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.

- Alle Komponenten sind nach außen adiabatisch.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.

Aufgaben:

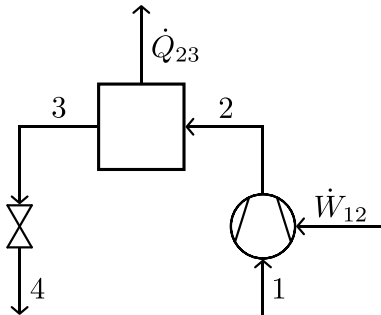
- (2 Punkte) Zeichnen Sie den Prozess für das Arbeitsmedium Luft qualitativ in ein T,s -Diagramm und kennzeichnen Sie die Zustände 1 bis 5.
- (5 Punkte) Berechnen Sie den Volumenstrom \dot{V}_1 sowie die Drücke p_2 und p_3 .
- (5 Punkte) Berechnen Sie die Leistungen \dot{W}_{12} und \dot{W}_{34} sowie den zugeführten Wärme­strom \dot{Q}_{23} .
- (4 Punkte) Wie groß ist die Nettoleistung \dot{W}_{net} und der Wirkungsgrad η_{GT} der Gasturbine (Gesamtheit der Komponenten Verdichter, Wärmezufuhr und Expander)?
- (5 Punkte) Bestimmen Sie die Temperaturen T_6 und T_7 des Wassers. Berechnen Sie anschließend den Wassermassenstrom \dot{m}_{Wasser} , wenn der Luftstrom von T_4 auf T_5 abgekühlt wird.

3. Aufgabe: Offener Wärmepumpenprozess (17 Punkte)

Zur Beheizung eines Prozesses wird thermische Energie benötigt. Um die Energieeffizienz zu verbessern, wird Sattdampf über eine Wärmepumpe nutzbar gemacht. Der Prozess setzt sich dabei aus den folgenden Prozessschritten zusammen:

- 1 → 2 Adiabate, nicht-reversible Verdichtung ($p_1 \rightarrow p_2$) von Sattdampf
- 2 → 3 Isobare Wärmeabfuhr mit vollständiger Kondensation.
- 3 → 4 Entspannen ($p_3 \rightarrow p_4$) und Versprühen des Kondensats.

Einige Werte sind in Tabelle 3.b) gegeben. Das Fließbild entspricht der folgenden Abbildung:



Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- Der Verdichter und die Drossel arbeiten adiabatisch.
- Differenzen potentieller und kinetischer Energien können vernachlässigt werden.

Hinweis:

- Wasser ist ein realer Stoff! Verwenden Sie die Wasserdampf-Tabellen aus der Formelsammlung. Wenn benötigt, können Sie ihr h,s -Diagramm benutzen.

Aufgaben:

- a) (7 Punkte) Zeichnen Sie den Wärmepumpenprozess jeweils **qualitativ** in ein $\log p, h$ und T, s -Diagramm ein. Kennzeichnen Sie sowohl die Eckpunkte und Zustandsverläufe des Prozesses als auch die Isotherme für die Umgebungstemperatur $T_0 = 298,15 \text{ K}$ in beiden Diagrammen.
- b) (3 Punkte) Bestimmen Sie alle gesuchten Werte aus Tabelle Aufgabe 3.b) und tragen Sie diese ein.

Hinweis: Falls Sie Teilaufgabe b) nicht lösen konnten, rechnen Sie bitte mit folgenden Werten weiter:

$$h_2 = 3273,80 \text{ kJ/kg} \quad h_3 = 743,80 \text{ kJ/kg} \quad s_1 = 7,25 \text{ kJ/kgK}$$

- c) (2 Punkte) Berechnen Sie die Leistungszahl LZ_{WP} der Wärmepumpe.
- d) (3 Punkte) Wie groß ist der isentrope Wirkungsgrad η_s des Verdichters?
- e) (2 Punkte) Wie groß ist die spezifische Entropieproduktion $\Delta s_{gen,12}$ des Verdichters?

Tabelle Aufgabe 3. b)

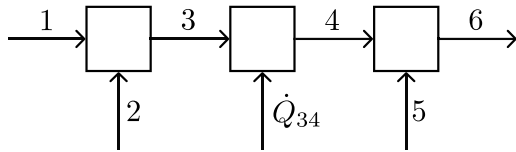
Zustand	T [K]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	x [-]
1		1,0	2673,80		1
2	613,15	6,0		7,5104	
3					0
4		4,0			

– Ersatz –

Zustand	T [K]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	x [-]
1		1,0	2673,80		1
2	613,15	6,0		7,5104	
3					0
4		4,0			

4. Aufgabe: Feuchte Luft (22 Punkte)

Für einen Prozess muss ein Feuchtluftstrom bereitgestellt werden. Dazu werden ein zunächst ein Frischluftstrom (1) und ein Rezirkulationstrom (2) miteinander gemischt. Der dabei entstehende Strom (3) wird erwärmt ($3 \rightarrow 4$) und anschließend durch Zufuhr von reinem Wasser (5) auf den Zustand 6 eingestellt. Der Gesamtprozess ist in folgender Abbildung dargestellt:



Annahmen und Angaben:

Stoffstrom	t [°C]	x [-]	φ [-]
1	15		0,2
2	35	0,03	
3		0,008	
4	40		
5	20	–	–
6			0,6

$$M_{\text{Luft}} = 28,96 \text{ kg/kmol} \quad M_{\text{W}} = 18,01 \text{ kg/kmol} \quad \bar{R} = 8314 \text{ J/kmolK}$$

- Der Druck ist im gesamten Prozess konstant mit $p = 100 \text{ kPa}$.
- Der Prozess ist ein stationärer Fließprozess.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.
- Luft und Wasserdampf können jeweils als ideale Gase betrachtet werden.

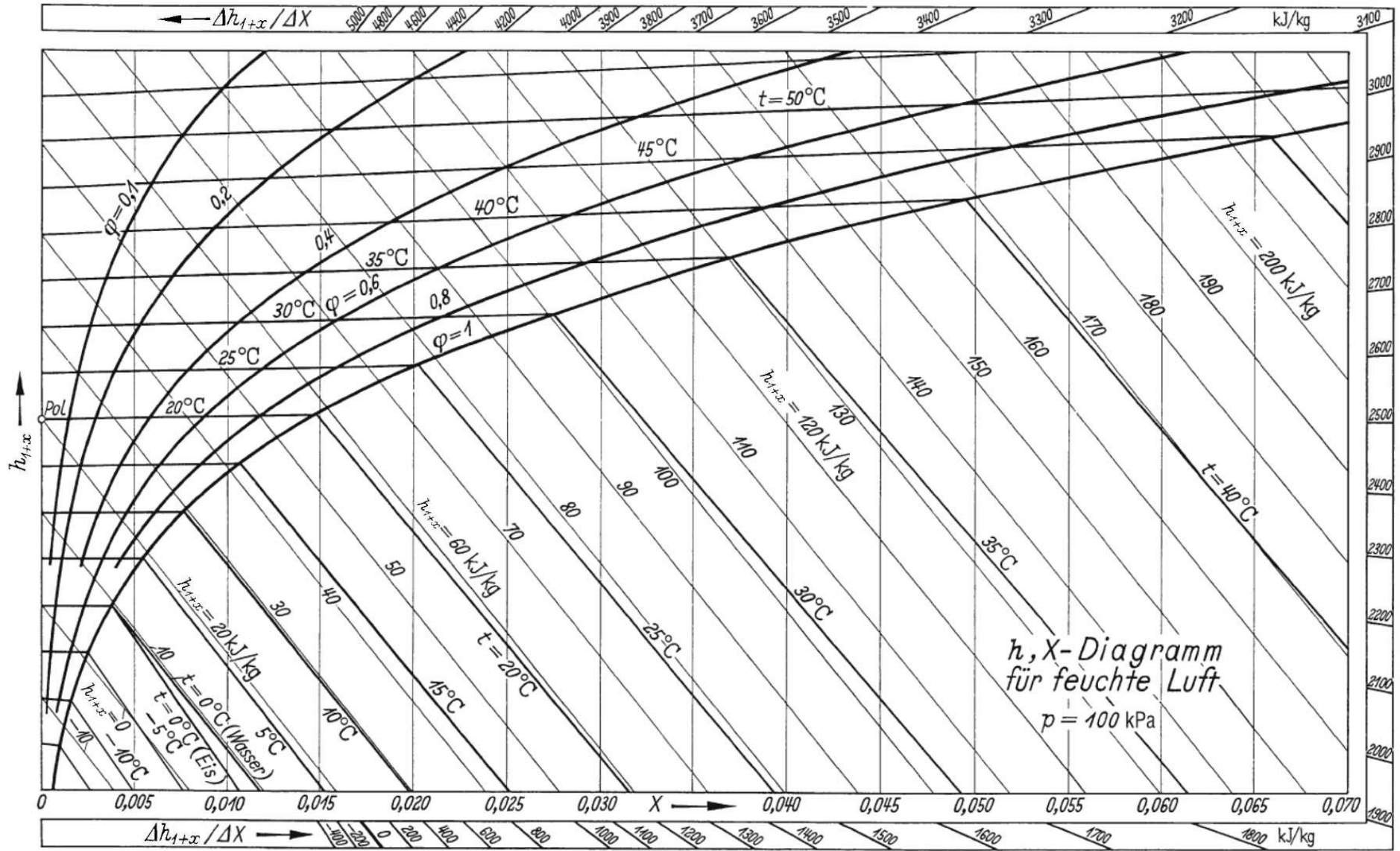
Hinweise:

- Nutzen Sie das Mollier h_{1+x}, x -Diagramm. Nutzen Sie eventuell auch die kalorischen Zustandsgleichungen für feuchte Luft.

Aufgaben:

- a) (4 Punkte) Zeichnen Sie die Punkte 1, 2 und 3 in das h_{1+x}, x -Diagramm ein und bestimmen Sie den Wassergehalt x_1 und die relative Feuchte φ_2 . Bestimmen Sie außerdem die Mischungstemperatur t_3 und die relative Feuchte φ_3 nach der Mischung. Nutzen Sie ggf. das Ersatzdiagramm.

- b) (4 Punkte) Wie groß ist das Verhältnis der Trockenluftströme $\dot{m}_{L,1}/\dot{m}_{L,2}$?
- c) (5 Punkte) Wie groß sind der Wassergehalt x_4 und die relative Feuchte φ_4 nach der Erwärmung? Wie groß ist die zugeführte spezifische Wärme $q_{34} = \dot{Q}_{34}/\dot{m}_{L,3}$?
- d) (5 Punkte) Wie groß ist die spezifische Wasserzufuhr $\dot{m}_5/\dot{m}_{L,4}$ um den Zustand 6 einzustellen?
- e) (4 Punkte) Wie groß ist der Partialdruck $p_{W,2}$ des Wassers im Zustand 2?



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

