

Klausur im Fach
„Thermodynamik I“, SS 2010
am 07.08.2010

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, Formelsammlung und Diagrammen 4 Blätter (8 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:

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

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

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:

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

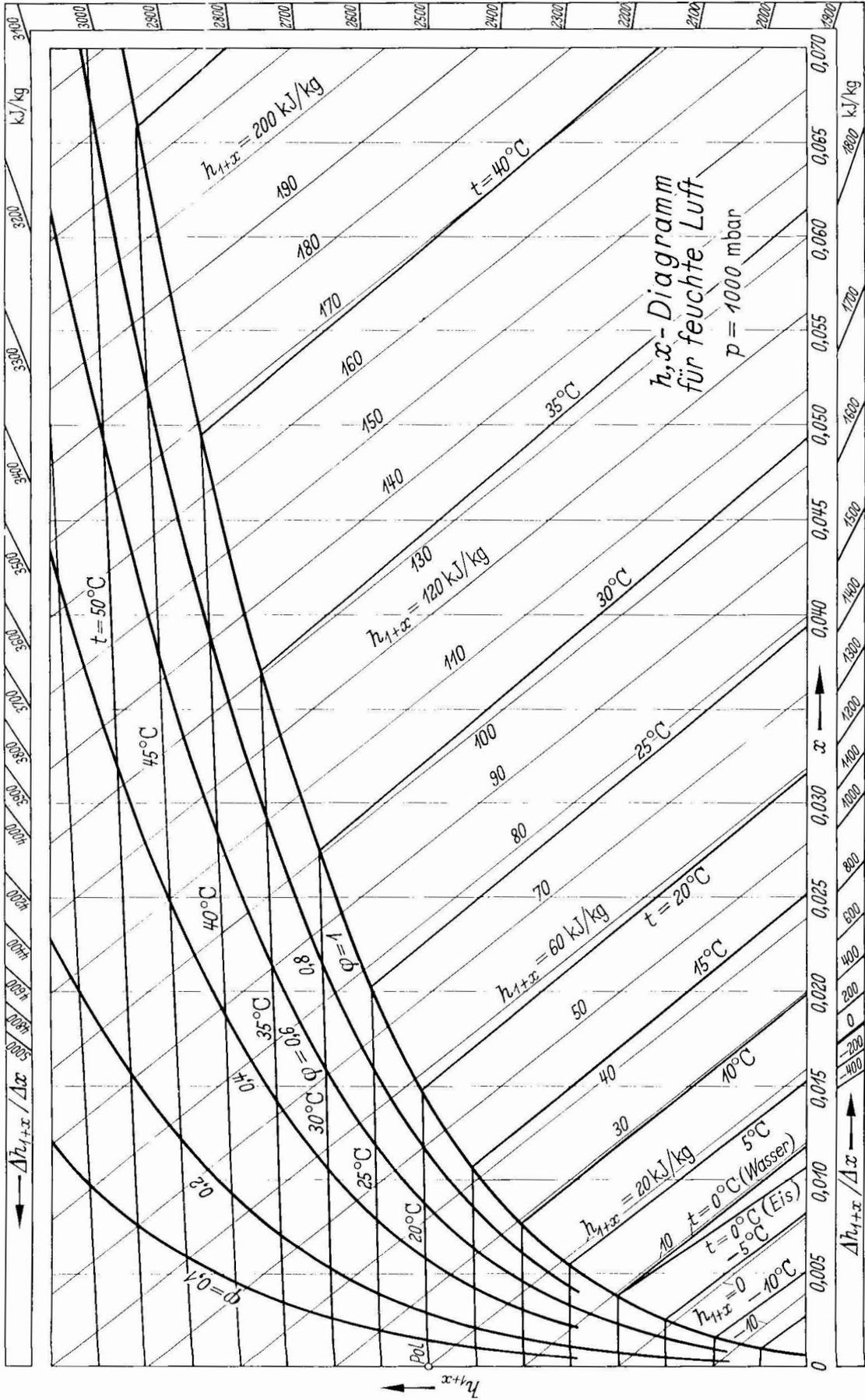
Wasserdampf tabel

Sättigungszustand (siedende Flüssigkeit und gesättigter Dampf)

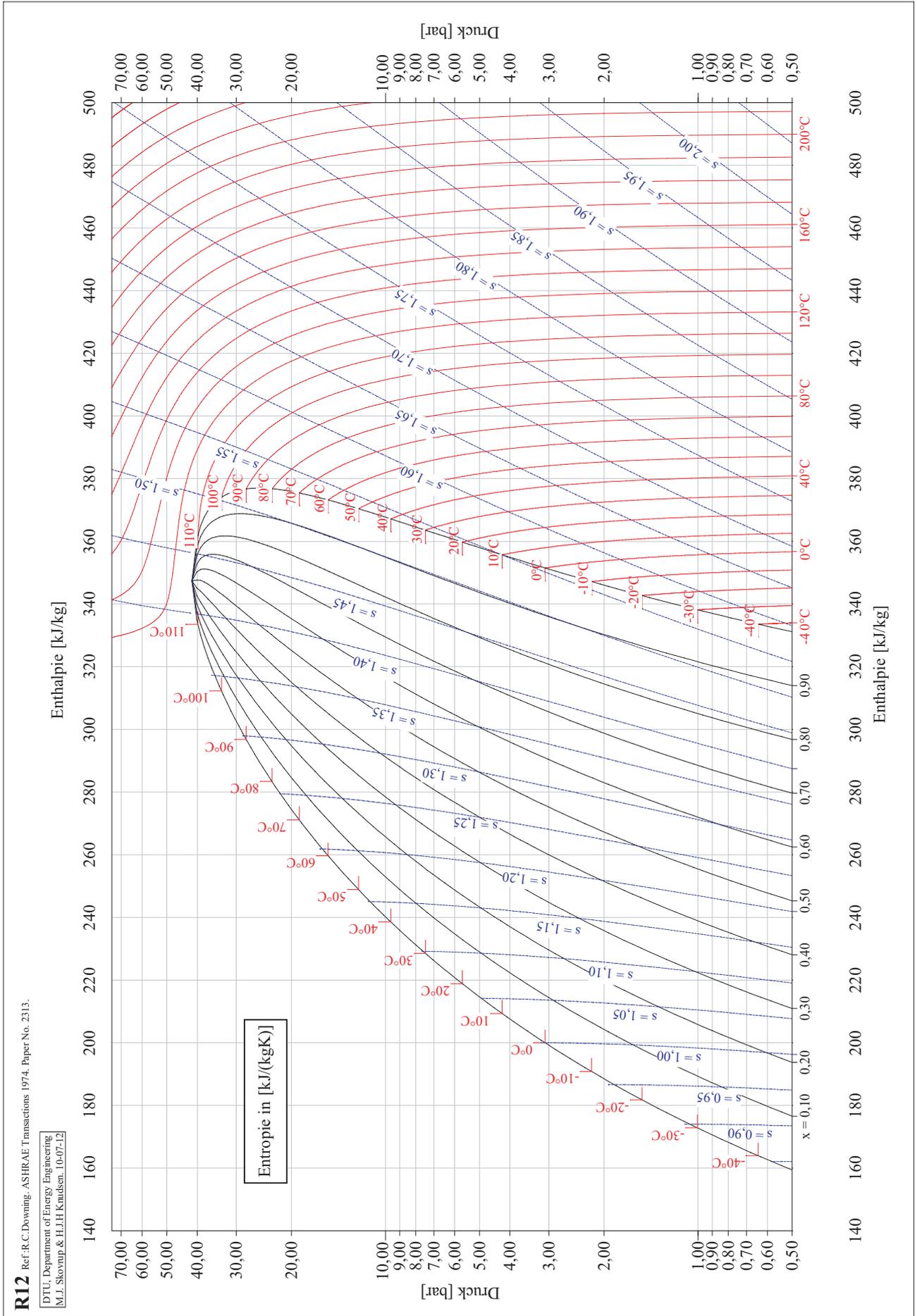
Wasser, Sättigungszustand, Drucktabel

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'' $\frac{kJ}{kgK}$
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
2,5	127,43	400,58	0,0010677	0,7182	535,2	2714,8	1,6066	7,0466
3,0	133,54	406,69	0,0010737	0,6054	561,2	2723,2	1,6711	6,9859
3,5	138,88	412,03	0,0010791	0,5238	584,1	2730,3	1,7267	6,9346
4,0	143,63	416,78	0,0010841	0,4621	604,4	2736,5	1,7757	6,8902
4,5	147,92	421,07	0,0010887	0,4137	622,9	2742,0	1,8197	6,8511
5,0	151,85	425	0,001093	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

h_{1+x}, x - Diagramm für feuchte Luft



log p,h-Diagramm für das Kältemittel R12



R12 Ref: R.C. Downing, ASHRAE Transactions 1974, Paper No. 2313.

DTU, Department of Energy Engineering
M.J. Skovnap & H.J.H. Knudsen, 10-07-12

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) **(5 Punkte)** In einem Zylinder-Kolben-System läuft ein mit idealem Gas betriebener Kreisprozess ab, der aus folgenden Zustandsänderungen besteht:
- 1 → 2 isobare Wärmezufuhr
 - 2 → 3 isentrope Expansion (reversibel)
 - 3 → 1 isotherme Kompression
- I) Skizzieren Sie den beschriebenen Kreisprozess in einem p,v-Diagramm und einem T,s-Diagramm.
- II) Bei welcher Zustandsänderung muss dem System Wärme abgeführt werden?
- III) Bei welcher Zustandsänderung tritt keine Arbeit auf ($W = 0$)?
- b) **(3 Punkte)** Bestimmen Sie für die folgende vollständige Verbrennungsreaktion:
- $$1 \cdot H_2S + 3 \cdot O_2 \rightarrow a \cdot H_2O + 1 \cdot SO_2 + b \cdot H_2S + c \cdot O_2 + d \cdot CO_2$$
- I) die fehlenden stöchiometrischen Koeffizienten a , b , c und d und
- II) das Oxidationsverhältnis λ .
- c) **(1 Punkt)** Unterscheidet sich bei einer vollständigen Verbrennung die Stoffmenge der Edukte (linke Seite der Reaktionsgleichung) *immer, manchmal oder niemals* von der Stoffmenge der Produkte (rechte Seite der Reaktionsgleichung)?
- d) **(2 Punkte)** Kann die irreversible Kompression eines idealen Gases isentrop erfolgen? Begründen Sie Ihre Antwort.
- e) **(3 Punkte)** Wie ist die Leistungszahl einer Wärmepumpe definiert? Wie groß ist \dot{Q}_{zu} , wenn die Leistungszahl der Wärmepumpe gleich eins ist? Begründen Sie Ihre Antwort.
- f) **(2 Punkte)** Welche spezifische Enthalpie h_{1+x} hat ungesättigte feuchte Luft ($\varphi < 1$) bei einer Temperatur von $0^\circ C$ und einer Wasserbeladung von
- I) $x_1 = 0$? und II) $x_2 = 0,001$?
- g) **(2 Punkte)** Die Systemgrenze eines (geschlossenen und stationär arbeitenden) Kreisprozesses schneiden (nur) folgende Energieströme: $\dot{Q}_{ab} = -9,9 MW$, $\dot{Q}_{zu} = 10 MW$ und \dot{W}_{netto} . Handelt es sich um einen links- oder rechtslaufenden Prozess? Beurteilen Sie den Prozess aus thermodynamischer Sicht.
- h) **(1 Punkt)** Bestimmen Sie die Verdampfungsenthalpie von Wasser bei einem Druck von $3 bar$.
- i) **(1 Punkt)** Unter welcher Voraussetzung sinkt die physikalische Exergie eines Systems bei konstantem Druck mit steigender Temperatur?

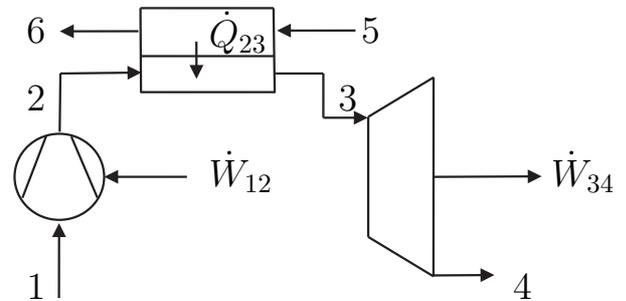
2. Aufgabe: Gasturbinensystem (21 Punkte)

In einem Gasturbinensystem wird ein Luftstrom \dot{m}_{Luft} in einem Kompressor *adiabat, aber irreversibel* verdichtet und nach Durchströmung des Wärmeübertragers (isobare Wärmezufuhr \dot{Q}_{23}) in einem Expander *adiabat und reversibel* entspannt.

Hinweis: Die Ströme 5 und 6 sind nur für Aufgabenteil g) relevant.

Annahmen und Angaben:

- $\dot{m}_{Luft} = 1 \text{ kg/s}$
- $\eta_{s,K} = 0,9 = \frac{w_{isentrop}}{w_{real}}$
- $T_1 = 293,15 \text{ K}$, $p_1 = 1 \text{ bar}$, $p_2 = 10 \text{ bar}$
- $\dot{Q}_{23} = 920 \text{ kW}$, $\dot{W}_{34} = -550 \text{ kW}$
- $\bar{R}/M_{Luft} = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$, $c_{p,Luft} = 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$, $\kappa = 1,4$
- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess und Luft sei ein ideales Gas.
- Differenzen potentieller und kinetischer Energien können vernachlässigt werden.



Aufgaben:

- (3 Punkte)** Skizzieren Sie die Zustandsänderungen von 1 bis 4 des Prozesses in einem T,s -Diagramm und kennzeichnen Sie die Fläche, die die Wärmezufuhr q_{23} repräsentiert.
- (5 Punkte)** Berechnen Sie die Temperatur am Kompressoraustritt für die isentrope (ideale) Kompression (T'_2) und die reale Kompression (T_2).

Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $T_2 = 600 \text{ K}$ weiter.

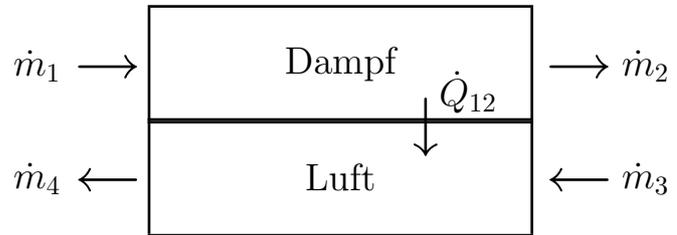
- (2 Punkte)** Wie groß ist die Leistung \dot{W}_{12} , die dem Kompressor real zugeführt wird?
- (3 Punkte)** Bestimmen Sie das spezifische Volumen v_2 und den Volumenstrom \dot{V}_2 der Luft nach der Verdichtung.
- (2 Punkte)** Wie groß ist der Wirkungsgrad der hier betrachteten Wärmekraftmaschine, die nach dem Joule-Prozess arbeitet?
- (3 Punkte)** Berechnen Sie die Entropieerzeugung \dot{S}_{gen} im realen Kompressor.
- (3 Punkte)** Der Wärmestrom \dot{Q}_{23} soll durch die stöchiometrische Verbrennung von C_2H_6 mit O_2 (Strom 5) bereitgestellt werden. Auf welche Temperatur t_6 müsste das Abgas bei $p_6 = 5 \text{ bar}$ mindestens abgekühlt werden, damit Wasser auskondensiert?

3. Aufgabe: Wärmeübertrager (15 Punkte)

In einem Wärmeübertrager wird der eintretende Dampfmassenstrom ausgehend vom trocken gesättigten Zustand (Zustand 1) isobar gerade vollständig kondensiert (Zustand 2). Die bei der Kondensation freiwerdende thermische Energie wird genutzt, um einen Luftstrom zu erwärmen.

Annahmen und Angaben:

- Luft sei ein ideales Gas.
- $x_1 = 1, x_2 = 0$
- $\dot{m}_1 = 10 \text{ kg/s}, \dot{m}_3 = 200 \text{ kg/s}$
- $t_1 = 143,63^\circ\text{C}, t_3 = 20^\circ\text{C}, p_3 = 1 \text{ bar}$
- $c_{p, \text{Luft}} = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kgK}), \bar{R}/M_{\text{Luft}} = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kgK})$
- Es treten keine Druckverluste auf.
- Der Wärmeübertrager arbeitet stationär und ist nach außen wärmeisoliert (adiabat).
- Differenzen potentieller und kinetischer Energien können vernachlässigt werden.



Hinweis: Verwenden Sie Ihr h,s -Diagramm oder die Wasserdampf tabel.

Aufgaben:

- (2 Punkte) Zeichnen Sie die Zustandsänderung ($1 \rightarrow 2$) in ein T,s -Diagramm und die Zustandsänderung ($3 \rightarrow 4$) in ein Weiteres.
- (4 Punkte) Bestimmen Sie den Druck $p_1 = p_2$, bei dem der Dampf in dem Wärmeübertrager kondensiert und berechnen Sie den Wärmestrom \dot{Q}_{12} .

Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $|\dot{Q}_{12}| = 21 \text{ MW}$ weiter.

- (3 Punkte) Mit welcher Temperatur t_4 verläßt die Luft den Wärmeübertrager?

Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $t_4 = 120^\circ\text{C}$ weiter.

- (4 Punkte) Ermitteln Sie die Entropieerzeugung \dot{S}_{gen} innerhalb des betrachteten Wärmeübertragers.
- (2 Punkte) Welche Austrittstemperatur der Luft t_4^* würden Sie erwarten, wenn der Luftmassenstrom auf $\dot{m}_3^* = 100 \text{ kg/s}$ halbiert wird?

4. Aufgabe: Kompressionskältemaschine (15 Punkte)

In einer Kältemaschine wird das Kältemittel R12 verwendet. Der Prozess besteht aus folgenden Zustandsänderungen:

1 → 2 adiabat reversible Kompression

2 → 3 isobare Wärmeabfuhr (gerade vollständige Kondensation des Dampfes)

3 → 4 adiabate Drosselung

4 → 1 isobare Wärmezufuhr (Verdampfung und Überhitzung des Kältemittels)

Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- Die Wärmez- und -abfuhr erfolgt reversibel.
- Differenzen potentieller und kinetischer Energien können vernachlässigt werden.

- $p_1 = 1 \text{ bar}$, $t_1 = -20^\circ\text{C}$

- $p_2 = 10 \text{ bar}$

- $\dot{m} = 0,1 \text{ kg/s}$

- $t_0 = 25^\circ\text{C}$

Zustand	$h[\frac{kJ}{kg}]$	$s[\frac{kJ}{kg K}]$
1	344	1,60
2		
3		
4		

Hinweis: Verwenden Sie das $\log p, h$ -Diagramm von R12.

Aufgaben:

- (5 Punkte)** Zeichnen Sie den Prozess in das beiliegende $\log p, h$ -Diagramm von R12 ein, nummerieren Sie die Eckpunkte und ergänzen Sie die fehlenden Zustandsgrößen in der obigen Tabelle.
- (3 Punkte)** Bestimmen Sie die Leistungszahl der Kältemaschine.
- (4 Punkt)** Wie groß ist der mit dem Transport der thermischen Energie \dot{Q}_{41} verbundene Exergietransport $\dot{E}_{q,41}$?

Hinweis: Rechnen Sie ggf. mit $|\dot{E}_{q,41}| = 3 \text{ kW}$ weiter.

- (3 Punkte)** Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad ε der betrachteten Kältemaschine.

5. Aufgabe: Feuchte Luft (9 Punkte)

Ein altes Gemälde soll in einem Museum ausgestellt werden. Um eine Beschädigung des wertvollen Kunstwerkes zu vermeiden, muss dieses stets bei einer Temperatur t_1 und einer relativen Luftfeuchtigkeit φ_1 aufbewahrt werden.

Annahmen und Angaben:

- Luft und Wasserdampf können als ideale Gase betrachtet werden.
- $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,5$
- $t_2 = 10^\circ\text{C}$, $x_2 = 0$, $t_3 = 25^\circ\text{C}$
- $t_4 = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_4 = 0,4$
- Für alle Zustände (1 bis 6) gilt: $p = 1\text{ bar}$

Hinweis: Verwenden Sie das h_{1+x},x -Diagramm für feuchte Luft.

Aufgaben:

- a) (1 Punkt) Zeichnen Sie den Zustandspunkt 1 in das beiliegende h_{1+x},x -Diagramm und bestimmen Sie die Wasserbeladung x_1 .
- b) (4 Punkte) Der Zustand 1 soll durch Mischung zweier Luftmassen (Zustand 2 und 3) bereitgestellt werden.
Zeichnen Sie Zustand 2, die Mischungsstrecke und Zustand 3 in das Diagramm ein und bestimmen Sie die Wasserbeladung x_3 . Ermitteln Sie das Mischungsverhältniss $\frac{m_{L,3}}{m_{L,2}}$.
- c) (4 Punkte) Eine weitere Möglichkeit den Zustand 1 zu erreichen, ist ausgehend von Zustand 4, Wärme abzuführen ($4 \rightarrow 5$), das kondensierte Wasser abzuscheiden ($5 \rightarrow 6$) und danach Wärme zuzuführen ($6 \rightarrow 1$).
Zeichnen Sie die Zustandsänderungen ($4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1$) in das h_{1+x},x -Diagramm. Bestimmen Sie die Temperatur t_5 .

Auf dieser Seite befindet sich kein Aufgabentext.