



Klausur im Fach
Thermodynamik I, SS 2014
am 26.09.2014

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Gesamt

Name:

Matrikelnummer:

Studiengang:

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

1. Der Klausurumfang beträgt inklusive diesem Deckblatt und Formelsammlung 21 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 in den Quereinstiegen entsprechen nicht den exakten Ergebnissen. Treffen Sie gegebenenfalls plausible Annahmen, um auch ohne Zwischenergebnisse weiterrechnen zu können.
11. Rechenwege müssen **nachvollziehbar** dargestellt werden.

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

Datum und Unterschrift des Studierenden

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:

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

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:

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

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

Polytrope Zustandsänderung / Polytropenexponent:

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

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:

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

Zustandsgrößen im Nassdampfgebiet:

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

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:

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

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

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:

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

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) **(1 Punkt)** Was ist der Unterschied zwischen intensiven und extensiven Zustandsgrößen? /1

- b) **(2 Punkte)** Welche physikalischen Größen sind Erhaltungsgrößen? Geben Sie zwei Beispiele an. /2

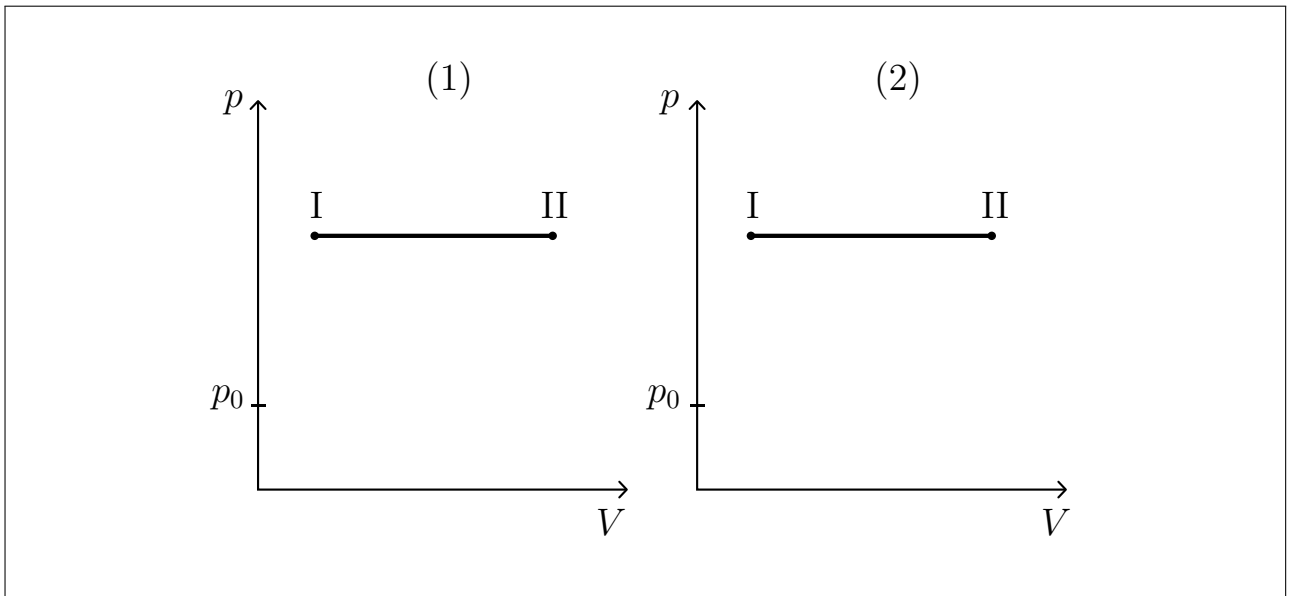
- c) **(2 Punkte)** Für eine stationär arbeitende Wärmekraftmaschine sind die folgenden Daten gegeben:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{zu} &= 1000 \text{ kW} & T_{zu} &= 1000 \text{ K} \\ \dot{Q}_{ab} &= 200 \text{ kW} & T_{ab} &= 400 \text{ K} \end{aligned}$$

Prüfen Sie mithilfe einer geeigneten Bilanz, ob ein Betrieb mit diesen Daten möglich ist. /2

- d) (2 Punkte) Definieren Sie die Leistungszahl LZ_{WP} und den exergetischen Wirkungsgrad ϵ_{WP} einer Wärmepumpe, die Umgebungswärme nutzt. /2

- e) (2 Punkte) Einem Zylinder-Kolben-System wird isobar und reversibel Wärme zugeführt (I \rightarrow II). Zeichnen Sie die Volumenänderungsarbeit W_V in das Diagramm (1) und die Nutzarbeit W_{Nutz} in das Diagramm (2) ein. /2

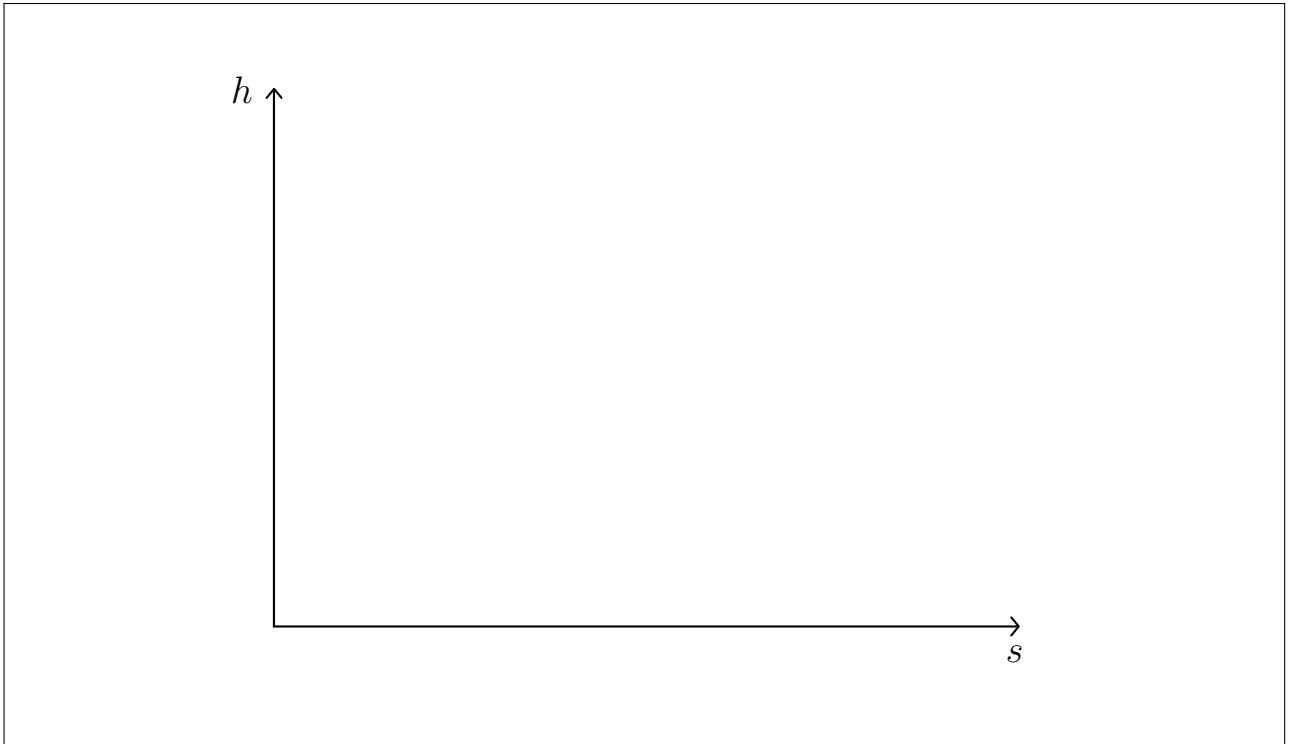


- f) (2 Punkte) Zeigen Sie ausgehend von der Gleichung:

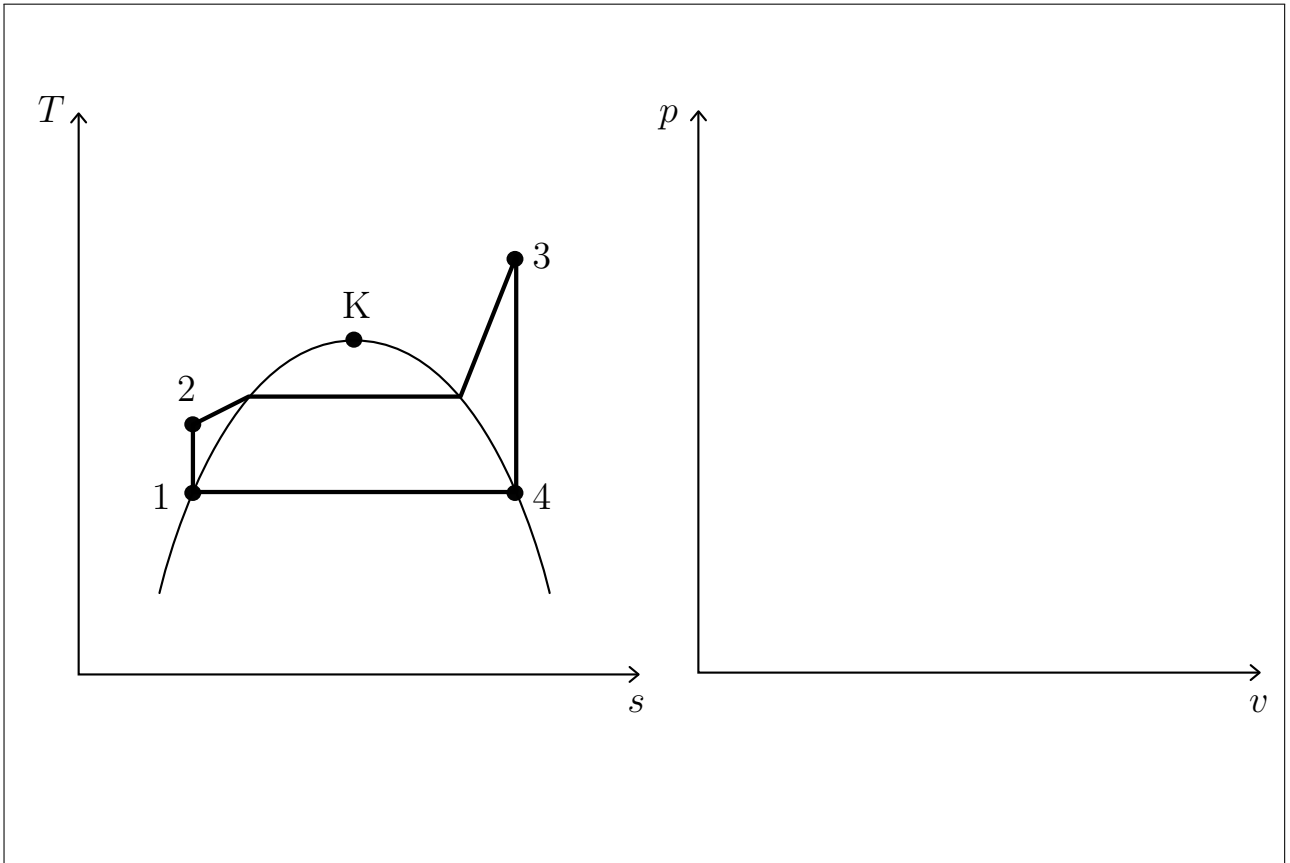
$$dh = c_p(T,p) dT + \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right] dp$$

dass die Enthalpie eines **idealen Gases** unabhängig vom Druck ist. /2

- g) (2 Punkte) Skizzieren Sie in dem h,s -Diagramm das Nassdampfgebiet für Wasser mit kritischem Punkt und markieren Sie die Verdampfungsenthalpie r für einen beliebigen Druck p . /2



- h) (2 Punkte) Zeichnen Sie den im T,s -Diagramm dargestellten idealen Dampfkraftprozess (Clausius-Rankine-Prozess) in das p,v -Diagramm mit Nassdampfgebiet ein. /2



- j) (2 Punkte) Nassdampf wird in einer adiabaten Drossel entspannt, wobei sich kinetische und potentielle Energien nicht ändern. Der Austrittszustand liegt auch im Nassdampfgebiet. Wie ändern sich Enthalpie und Temperatur? Begründen Sie ihre Antworten.

/2

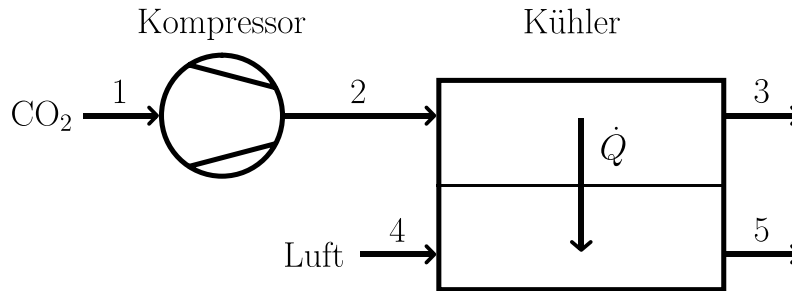
- k) (3 Punkte) Ein Strom ungesättigter feuchter Luft ($\varphi < 1$) wird **isotherm** komprimiert. Wie ändern sich der Partialdruck $p_{\text{H}_2\text{O}}$, der Sättigungsdampfdruck $p_{W,s}$ und die relative Luftfeuchtigkeit φ ? Begründen Sie ihre Antwort.

/3

Gesamtpunktzahl: /20

2. Aufgabe: Ideales Gas – Kompression von CO₂ (17 Punkte)

Für einen Industrieprozess muss ein Kohlendioxid-Massenstrom \dot{m}_{CO_2} mit p_3 und T_3 bereitgestellt werden. Dazu wird das Kohlendioxid zuerst in einem realen Kompressor verdichtet ($p_1 \rightarrow p_2$). Anschließend wird es in einem Kühler mithilfe von Luft auf die Temperatur T_3 abgekühlt. Die Luft erwärmt sich dabei von $T_4 \rightarrow T_5$. Das Fließbild ist in nachfolgender Abbildung dargestellt:



Annahmen und Angaben:

Strom	Stoff	\dot{m} [kg/s]	p [bar]	T [K]	s [kJ/kgK]
1	CO ₂	10,0	1	298,15	
2	CO ₂	10,0	10	530,15	
3	CO ₂	10,0	10	373,15	
4	Luft	282,6	1	298,15	6,8620
5	Luft	282,6	1	303,15	6,8787

$$c_{p,\text{CO}_2} = 0,9 \text{ kJ/kgK}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ kg/kmol}$$

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

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

$$\kappa_{\text{CO}_2} = 1,26$$

$$\bar{R} = 8,314 \text{ kJ/kmolK}$$

- Alle Gase können als ideale Gase betrachtet werden.
- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- Der Kompressor und der Kühler sind nach außen adiabat.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.

Aufgaben:

- (2 Punkte)** Am Austritt des irreversibel arbeitenden Kompressors wird eine Temperatur $T_2 = 530,15 \text{ K}$ gemessen. Bestimmen Sie den Volumenstrom \dot{V}_2 am Kompressoraustritt.
- (3 Punkte)** Bestimmen Sie die reale Leistungsaufnahme \dot{W}_{12} des Kompressors.
- (5 Punkte)** Welche Temperatur $T_{2,s}$ würde sich bei isentroper (idealer) Verdichtung einstellen, wenn das CO₂ auf den gleichen Druck p_2 verdichtet wird? Wie groß ist der isentrope Wirkungsgrad η_s des Kompressors?
- (3 Punkte)** Wie groß ist der Wärmestrom \dot{Q} , der abgeführt werden muss, wenn das CO₂ von $T_2 = 530,15 \text{ K}$ auf $T_3 = 373,15 \text{ K}$ abgekühlt wird?
- (4 Punkte)** Bestimmen Sie die Entropieerzeugung \dot{S}_{gen} des realen Gesamtprozesses.

Auf dieser Seite steht kein Aufgabentext.

3. Aufgabe: Kompressionskältemaschine (19 Punkte)

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

- 1 → 2 Adiabate reversible Kompression ($p_1 \rightarrow p_2$) in einem Verdichter
- 2 → 3 Isobare Wärmeabfuhr an die Umgebung. Vollständige Kondensation des Dampfes im Kondensator bei einer Temperatur von $t_3 = 30^\circ\text{C}$ (keine Unterkühlung)
- 3 → 4 Adiabate Entspannung ($p_3 \rightarrow p_4$) in einer Drossel
- 4 → 1 Isobare Wärmezufuhr in einem Verdampfer (vollständige Verdampfung bei einem Druck von $p_4 = 0,5 \text{ bar}$ und einer Überhitzung bis auf $t_1 = -30^\circ\text{C}$)

Annahmen und Angaben:

- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- Differenzen potentieller und kinetischen Energien können vernachlässigt werden.
- Kälteleistung $\dot{Q}_{41} = 2 \text{ kW}$

Hinweis:

- Verwenden Sie das $\log p, h$ -Diagramm von R12. Dieses finden Sie auf den Seiten 18/19.

Aufgaben:

- a) **(2 Punkte)** Zeichnen Sie ein Blockschaltbild der Kompressionskältemaschine und beschriften Sie die einzelnen Komponenten und Zustände.
- b) **(3 Punkte)** Zeichnen Sie den Prozess qualitativ in ein T, s -Diagramm (mit Nassdampfgebiet) ein und nummerieren Sie die Eckpunkte. Tragen Sie zudem qualitativ die Temperatur der Umgebung ein.
- c) **(6 Punkte)** Tragen Sie den Prozess in das beiliegende $\log p, h$ -Diagramm von R12 ein und nummerieren Sie die Eckpunkte. Bestimmen Sie anhand des Diagramms die gesuchten Werte in der Tabelle auf Seite 13.

Hinweis: Falls Sie die Teilaufgabe c) nicht lösen konnten, rechnen Sie bitte die Teilaufgaben d) und e) mit folgenden Werten:

$h_1 = 220 \text{ kJ/kg}$	$h_2 = 260 \text{ kJ/kg}$	$p_1 = 0,1 \text{ bar}$	$p_2 = 3,0 \text{ bar}$
$h_3 = 100 \text{ kJ/kg}$	$h_4 = 100 \text{ kJ/kg}$	$p_3 = 3,0 \text{ bar}$	$p_4 = 0,1 \text{ bar}$

- d) **(2 Punkte)** Wie groß ist der Massenstrom des Kältemittels, wenn die Kälteleistung $\dot{Q}_{41} = 2 \text{ kW}$ beträgt?
- e) **(6 Punkt)** Ermitteln Sie die Leistungszahl der Kältemaschine. Wie groß wäre die Leistungszahl, wenn statt einer Drossel eine adiabate reversible arbeitende Turbine eingebaut werden würde? Zeichnen Sie zusätzlich den Punkt 4' in das $\log p, h$ -Diagramm ein.

Tabelle Aufgabe 3. c)

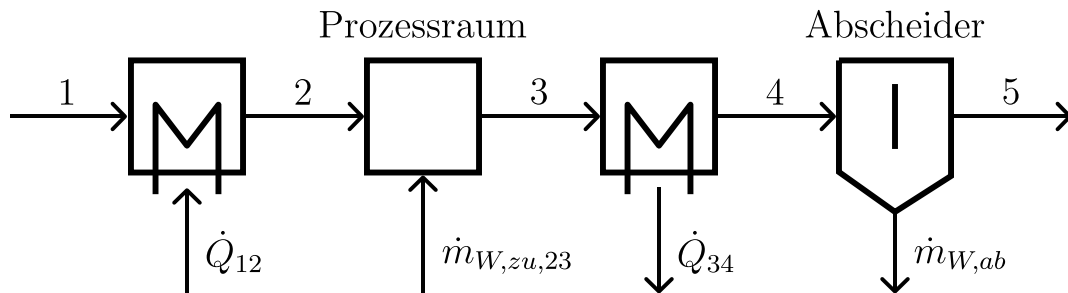
Zustand	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	x [-]
1	-30				
2					
3	30				
4		0,5			

– Ersatz –

Zustand	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	x [-]
1	-30				
2					
3	30				
4		0,5			

4. Aufgabe: Feuchte Luft (12 Punkte)

Ein Kondensationstrockner saugt Frischluft bei t_1 und x_1 , siehe Tabelle Seite 15, an. Diese wird durch isobare Wärmezufuhr erwärmt, wodurch der Zustand 2 erreicht wird. Die erwärmte Luft durchströmt anschließend den Prozessraum mit nasser Wäsche (welche konstant 20°C aufweist) und nimmt dabei so viel Wasser auf, dass sie diesen gesättigt im Zustand 3 verlässt. Durch isobare Wärmeabfuhr wird die gesättigte feuchte Luft anschließend auf t_4 abgekühlt. Das entstehende flüssige Wasser wird abgeschieden und die gesättigte feuchte Luft verlässt den Trockner im Zustand 5.



Annahmen und Angaben:

- Die Temperatur des flüssigen Wassers in der Wäsche beträgt 20°C .
- Der Druck bleibt beim gesamten Prozess konstant bei $p = 100\text{ kPa}$.
- Die Wärmekapazitäten der Wäsche und des Prozessraums werden vernachlässigt.
- Der Prozess kann als stationärer Fließprozess betrachtet werden.
- Differenzen kinetischer und potentieller Energien können vernachlässigt werden.
- Luft und Wasserdampf können jeweils als ideale Gase betrachtet werden.
- Die Prozesswerte sind in der Tabelle auf Seite 15 zu finden.

Hinweise:

- Nutzen Sie das Mollier h_{1+x}, x -Diagramm.
- Sollten Ihnen Zwischenergebnisse fehlen, so treffen Sie entsprechende Annahmen.

Aufgaben:

- a) **(6 Punkte)** Ergänzen Sie die fehlenden Werte in der nachfolgenden Tabelle und zeichnen Sie den Prozess in das h_{1+x}, x -Diagramm.
- b) **(2 Punkte)** Berechnen Sie die spezifische Wärmezufuhr $q_{12} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}_L}$.
- c) **(3 Punkte)** Welcher Wassermassenstrom $\dot{m}_{W,zu,23}$ wird pro Kilogramm trockener Luft m_L , die den Prozess durchströmt, aus der nassen Wäsche aufgenommen?
- d) **(1 Punkte)** Die Wärmezufuhr ($1 \rightarrow 2$) findet auf einem höheren mittleren Temperaturniveau statt als die Wärmeabfuhr ($3 \rightarrow 4$), sodass eine direkte Wärmeübertragung (interne Wärmerückgewinnung) nicht möglich ist. Mit welchem Prozess lässt sich die abgeführte Wärme ($3 \rightarrow 4$) auf ein höheres Temperaturniveau bringen, um für die Wärmezufuhr ($1 \rightarrow 2$) genutzt werden zu können?

Tabelle Aufgabe 4. a)

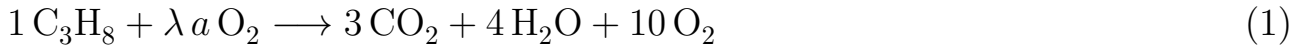
Zustand	t [°C]	φ [-]	x [kgW/kgL]	h_{1+x} [kJ/kg]
1	20		0,0075	40
2				70
3		1,0		
4	15			
5		1,0		

– Ersatz –

Zustand	t [°C]	φ [-]	x [kgW/kgL]	h_{1+x} [kJ/kg]
1	20		0,0075	40
2				70
3		1,0		
4	15			
5		1,0		

5. Aufgabe: Verbrennung (12 Punkte)

In einer adiabaten Brennkammer wird Propan (C_3H_8) überstöchiometrisch, vollständig und isobar bei einem Druck von 1 bar mit reinem Sauerstoff verbrannt. Die Reaktionsgleichung lautet:



Annahmen und Angaben:

- Die Gase (Propan, Sauerstoff, Abgas) können als ideale Gase betrachtet werden.
- Es handelt sich um einen stationären Fließprozess.
- Eintrittstemperatur für Sauerstoff und Propan: $t_{ein} = 25 \text{ °C}$.
- Druck für Sauerstoff, Propan und Abgas: $p_{ein} = p_{aus} = 1,0 \text{ bar}$.
- Propan-Molenstrom: $\dot{n}_{C_3H_8} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$

spezifische Enthalpien im Referenzzustand

($T_{ref} = 298,15 \text{ K}$, $p_{ref} = 1,0 \text{ bar}$)

\bar{h}_{ref,C_3H_8}	=	$-103,850 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
\bar{h}_{ref,O_2}	=	$0,000 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
\bar{h}_{ref,CO_2}	=	$-393,521 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\bar{h}_{ref,H_2O(l)}$	=	$-285,829 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\bar{h}_{ref,H_2O(g)}$	=	$-241,856 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

spezifische Abgasenthalpien bei 1,0 bar

$\bar{h}_{Abgas} (3500 \text{ K})$	=	$-52,873 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\bar{h}_{Abgas} (3750 \text{ K})$	=	$-28,460 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\bar{h}_{Abgas} (4000 \text{ K})$	=	$-3,549 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\bar{h}_{Abgas} (4250 \text{ K})$	=	$21,841 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

Aufgaben:

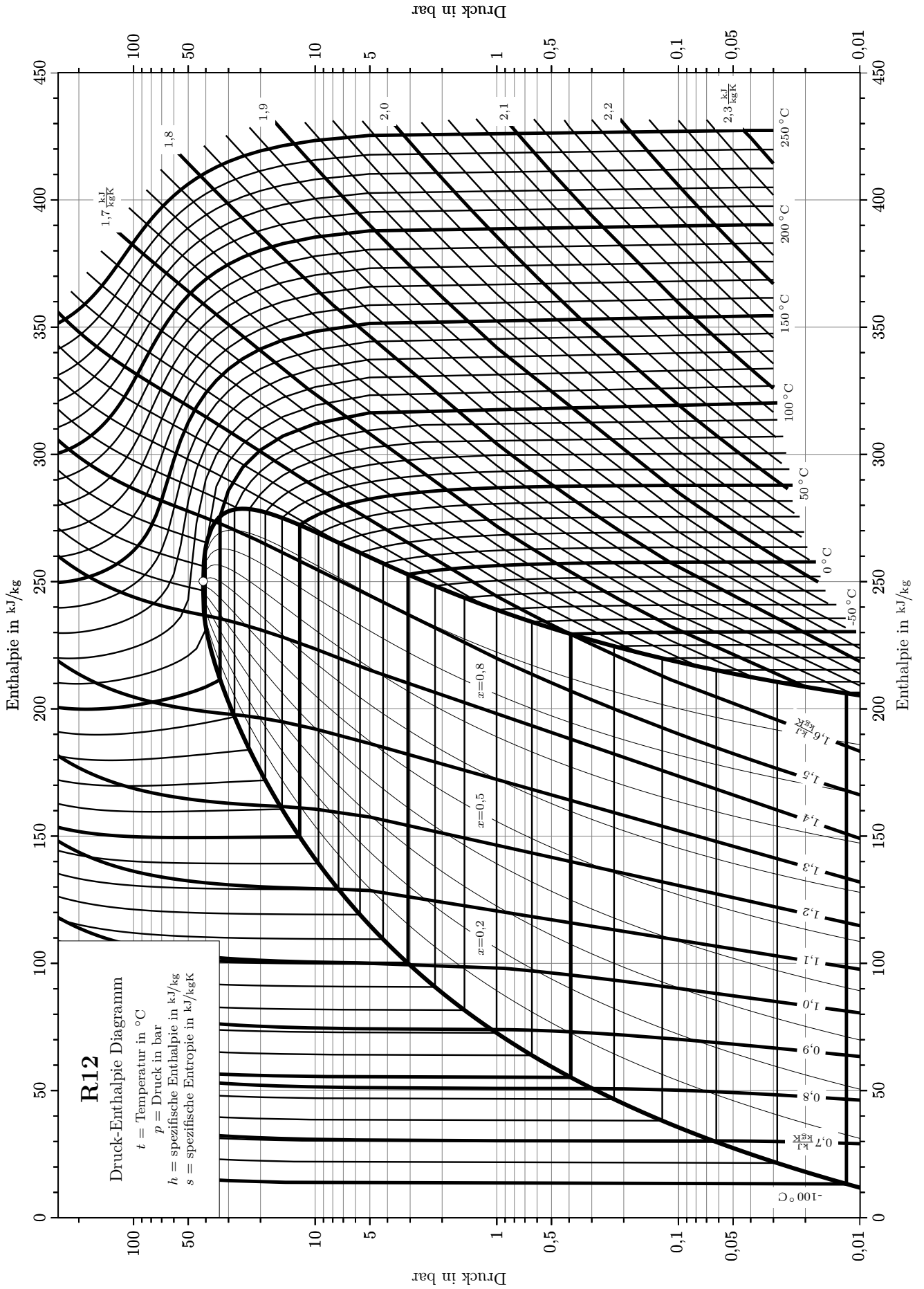
- (3 Punkte)** Bestimmen Sie den stöchiometrischen Koeffizienten a und die Luftzahl λ in der Gleichung 1.
- (3 Punkte)** Wie groß ist der Abgasstoffmengenstrom \dot{n}_{Abgas} ?
- (3 Punkte)** Berechnen Sie den Enthalpiestrom \dot{H}_{Abgas} des Abgases.

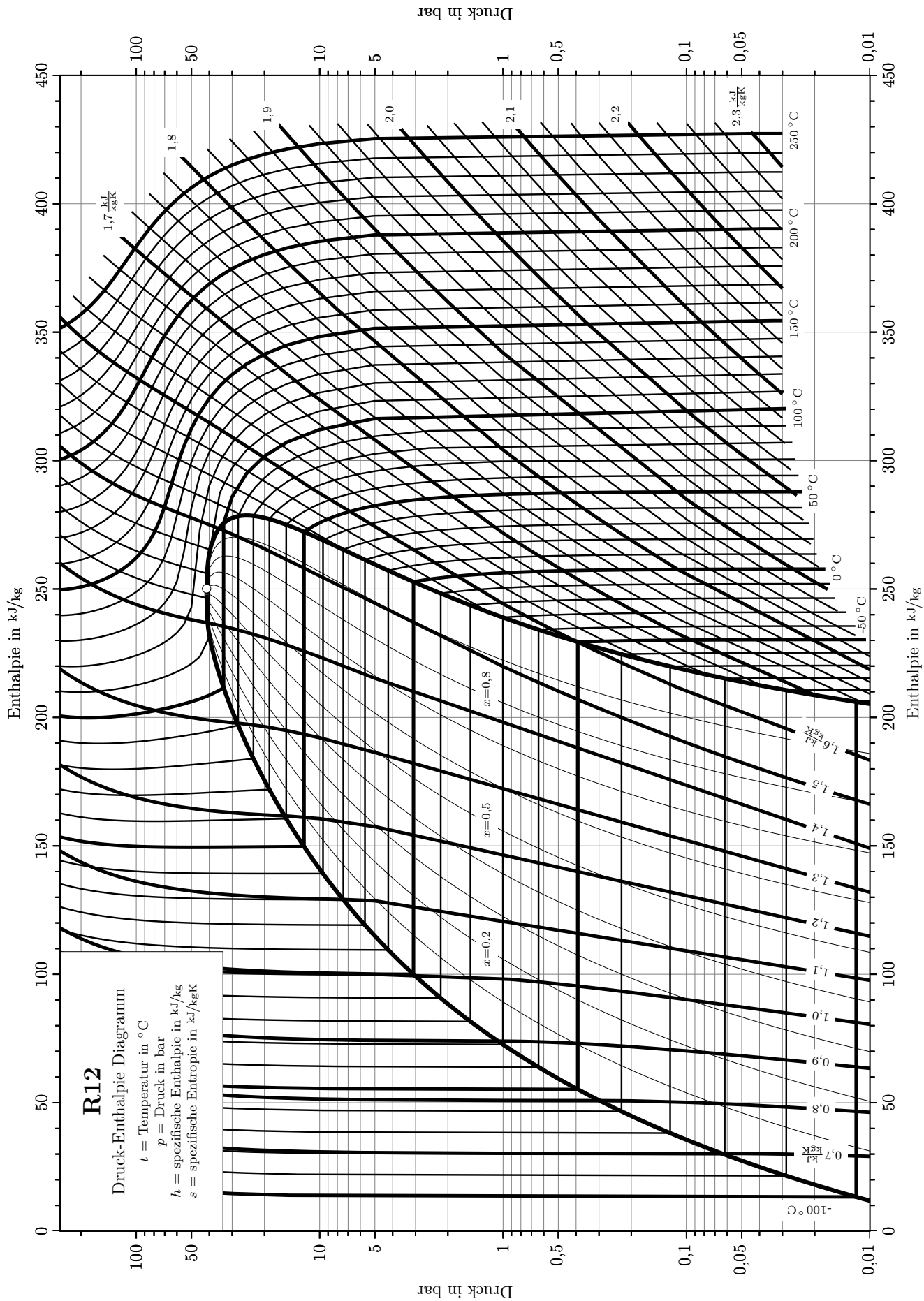
Hinweis: Falls Sie die vorhergehenden Teilaufgaben nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $\dot{H}_{Abgas} = -200 \text{ kW}$ und $\dot{n}_{Abgas} = 25 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$ weiter.

- (3 Punkte)** Bestimmen Sie mittels eines geeigneten Näherungsverfahrens die Abgastemperatur (adiabate Verbrennungstemperatur). Verwenden Sie hierbei die gegebenen spezifischen Abgasenthalpien.

Auf dieser Seite steht kein Aufgabentext.

log p,h -Diagramm für R12





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

