

Vorname	Zuname	Matrikelnummer

Ich trete zum 1. 2. 3. Mal zu dieser Prüfung an. (Zutreffendes bitte **ankreuzen**.)

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	B1	B2	B3	B4	B5	Note

Für die positive Beurteilung der Prüfung müssen mindestens acht der zehn Basiswissenfragen richtig beantwortet werden.

A1 Was versteht man unter einem geschlossenen, einem offenen und einem isolierten System?

Ein geschlossenes System enthält stets dieselbe Materie, während bei einem offenen System ein Masseaustausch mit der Umgebung möglich ist. Für ein isoliertes System ist jegliche Wechselwirkung mit der Umgebung ausgeschlossen.

A2 Ersetzen Sie für ein ideales Gas die folgenden Differentialausdrücke durch spezifische Wärmekapazitäten.

$$du/dT =$$

$$dh/dT =$$

$$v(\partial p/\partial T)_v =$$

$$du/dT = c_v \quad dh/dT = c_p \quad v(\partial p/\partial T)_v = c_p - c_v$$

A3 Was versteht man unter einer quasistatischen Zustandsänderung?

Eine quasistatische Zustandsänderung besteht aus einer Folge von thermodynamischen Gleichgewichtszuständen.

A4 Definieren Sie die Temperatur.

Verschiedene Systeme haben dann, und nur dann, gleiche Temperatur, wenn sie sich im thermischen Gleichgewicht befinden.

A5 Drücken Sie im ersten Hauptsatz für ein ruhendes, geschlossenes System die differentielle Arbeit durch die Volumenänderungsarbeit aus. Unter welchen Voraussetzungen gilt diese Beziehung?

$$dU = d_e Q - p dV$$

- keine anderen zu- oder abgeführten Arbeiten wie Wellenarbeit, elektr. Arbeit...
- quasistatische Zustandsänderung

A6 Skizzieren Sie ein p, v -Diagramm für H_2O . Tragen Sie die folgenden Zustandsänderungen qualitativ ein: Isobares Erwärmen ($p_1 = 1 \text{ bar}$) von H_2O von $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$ auf Siedetemperatur, vollständiges isobares Verdampfen und anschließendes isobares Überhitzen des Dampfes auf $\vartheta_2 = 120^\circ\text{C}$. Stellen Sie die Isothermen $\vartheta = \vartheta_1$ und $\vartheta = \vartheta_2$ qualitativ dar.

A7 Wie heißen die dimensionslosen Größen, die den Wassergehalt feuchter Luft charakterisieren? Geben Sie deren Definitionen an und erläutern Sie die darin vorkommenden Größen.

Sättigungsgrad $\psi = \frac{x_D}{x_s}$

relative Feuchte $\phi = \frac{p_D}{p_s}$

Wassergehalt $x = x_D + x_F + x_E$

x_D ... Masse Dampf pro Masse trockener Luft

x_F ... Masse flüssiges Wasser pro Masse trockener Luft

x_E ... Masse Eis pro Masse trockener Luft $x_D = \frac{M_W}{M_L} \frac{p_D}{p - p_D} \frac{M_{\text{mathrm}W}}{M_{\text{mathrm}L}}$
{cal $M_{\text{mathrm}L} = 0.622$

A8 Wie ändert sich die Entropie eines idealen Gases konstanter Masse:

a) bei einer reversiblen, adiabaten Expansion?

b) bei einer reversiblen, isothermen Expansion?

ad a) gar nicht

ad b) $ds = p \frac{dv}{T} = R \frac{dv}{v}$

A9 Welche Auswirkungen hat der zweite Hauptsatz auf den Wirkungsgrad von Kreisprozessen?

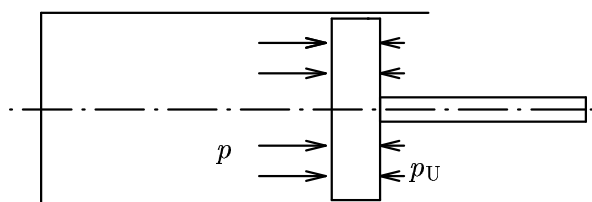
Für gegebene, konstante Temperaturen T_z und T_a ($T_a < T_z$) hat jeder zwischen diesen Temperaturen arbeitende reversible Kreisprozeß mit beliebigem Arbeitsmedium einen thermischen Wirkungsgrad, der dem Carnot-Wirkungsgrad $\eta_C = 1 - T_a/T_z$ gleich ist, während jeder irreversible Kreisprozeß einen kleineren Wirkungsgrad aufweist.

Der Wirkungsgrad eines Kreisprozesses muß kleiner als 1 sein.

A10 Skizzieren Sie einen Carnotschen Kreisprozeß im T,s-Diagramm.

B1 In einem Zylinder, der durch einen reibungslosen Kolben verschlossen ist, befindet sich ein ideales Gas mit geg. konstanten spez. Wärmekapazitäten. Gegebener Anfangszustand: $p_1, V_1, T_1 = T_U$ (Umgebungstemperatur). Durch eine reversible isotherme Expansion von p_1 auf den gegebenen Umgebungsdruck p_U soll an der Kolbenstange die Arbeit W_K gewonnen werden.

- Berechnen Sie die im Zylinder enthaltene Gasmasse m .
- Berechnen Sie die Arbeit W_K . (Auf Umgebungsdruck achten!)
- Berechnen Sie die Änderung der Entropie des Gases.
- Stellen Sie diesen Prozeß in einem p, v - und einem T, s -Diagramm dar und zeichnen Sie die zugeführte Wärme und die entnommene Arbeit W_K ein.



a)

$$p \frac{V}{m} = RT \Rightarrow m = \frac{p_1 V_1}{(c_p - c_v) T_1}$$

b) W_K ist die dem System entnommene Verschiebungsarbeit, abzüglich der an der Umgebung verrichteten Verschiebungsarbeit:

$$dW_{K=(p-p_U)dV}, \quad W_K = \int_1^{U_p} p dV - \int_1^{U_{p_U}} p_U dV$$

p durch V ausgedrückt. Isotherme Zustandsänderung, deshalb $pV = \text{const.} = p_1 V_1 \Rightarrow p = p_1 V_1 \frac{1}{V}, V = p_1 V_1 \frac{1}{p}$ (Man kann natürlich auch mit $p = RT_1 m/V$ rechnen.)

$$\int_1^{U_p} p dV = p_1 V_1 \int_1^{U_p} \frac{1}{V} dV = p_1 V_1 \ln\left(\frac{V_U}{V_1}\right) = p_1 V_1 \ln\left(\frac{p_1}{p_U}\right)$$

$$\int_1^{U_{p_U}} p_U dV = p_U (V_U - V_1) = p_U \left(\frac{p_1 V_1}{p_U} - V_1 \right) = V_1 (p_1 - p_U) \Rightarrow W_K = p_1 V_1 \left[\ln\left(\frac{p_1}{p_U}\right) - 1 + \frac{p_U}{p_1} \right]$$

$$TdS = dU + pdV.$$

ideales Gas: $U = mu(T), T = \text{const.}, m = \text{const.} \Rightarrow dU = 0; TdS = pdV.$

$$S_{U-S_1} = \int_1^{U_{\frac{p_U}{p_1}}} \frac{p dV}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1} \int_1^{U_{\frac{p_U}{p_1}}} \frac{1}{V} dV = \frac{p_1 V_1}{T_1} \ln\left(\frac{p_1}{p_U}\right)$$

B2 Der idealisierte Kreisprozeß eines Stirling-Motors mit idealem Gas (spezifische Wärmekapazitäten c_p und c_v) als Arbeitsmedium besteht aus folgenden Zustandsänderungen:

1→2: Isotherme Entspannung von v_1 auf v_2 ,

2→3: Isochore Abkühlung von T_1 auf T_2 ,

3→4: Isotherme Verdichtung von v_2 auf v_1 ,

4→1: Isochore Erwärmung von T_2 auf T_1 .

- Zeichnen Sie den Kreisprozeß in ein p,v -Diagramm und ein T,s - Diagramm ein.
- Zeichnen Sie die zu- und abgeführte Wärmemengen sowie die verrichtete Nutzarbeit in die Diagramme ein.
- Berechnen Sie die zu und abgeführten Wärmemengen sowie den thermischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses.
- Berechnen Sie das Verhältnis der Wirkungsgrade des Stirling-Motors mit dem einer Carnot-Maschine, die zwischen den Temperaturen T_1 und T_2 arbeitet.

Lösung:

$$c) \quad 1 \rightarrow 2 : dT = 0 \Rightarrow d_e q = p dv = \frac{RT}{v} dv \Rightarrow q_{12} = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} > 0$$

$$2 \rightarrow 3 : dv = 0 \Rightarrow d_e q = c_v dT \Rightarrow q_{23} = c_v (T_2 - T_1) < 0$$

$$3 \rightarrow 4 : dT = 0 \Rightarrow q_{34} = RT_2 \ln \frac{v_1}{v_2} < 0$$

$$4 \rightarrow 1 : dv = 0 \Rightarrow q_{41} = c_v (T_1 - T_2) > 0$$

$$q_z = q_{41} + q_{12}, \quad q_a = q_{23} + q_{34}$$

$$\eta = \frac{|w_0|}{q_z} = 1 - \frac{|q_a|}{q_z} = \left[\frac{1}{(\kappa-1) \ln \frac{v_2}{v_1}} + \frac{T_1}{T_1 - T_2} \right]^{-1}$$

$$d) \quad \frac{\eta}{\eta_C} = \left[1 + \frac{T_1 - T_2}{(\kappa-1)T_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} \right]^{-1} \quad \text{wobei} \quad \eta_C = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

**Prüfung aus
Grundlagen der Thermodynamik für MB (319.009)
Thermodynamik für WI (319.018)
11.03.2005**

Teil 2

Vorname	Zuname	Matrikelnummer

B3 Ungesättigte feuchte Luft mit der trockenen Luftmasse $m_L=50$ kg und dem Wassergehalt $x_1 = 0,015$ soll durch das Zerstäuben von Wasser ($\vartheta_W = 10$ °C) isobar ($p = 1$ bar) in einen Zustand "M" ($\vartheta_M = 25$ °C, $x_M = 0,03$) übergeführt werden.

- a) Berechnen Sie die zu zerstäubende Wassermasse m_W . In welchem Gebiet befindet sich der Zustand "M"?
- b) Wieviel flüssiges Wasser $m_{F,M}$ muß bei einer isobar-isothermen Zustandsänderung ausgehend vom Zustand "M" entnommen werden, damit der Sättigungszustand erreicht wird?
- c) Berechnen Sie die Ausgangstemperatur der feuchten Luft ϑ_1 .

$$x_D = \frac{\mathcal{M}_W}{\mathcal{M}_L} \frac{p_D}{p - p_D}, \quad \frac{\mathcal{M}_W}{\mathcal{M}_L} = 0,622. \quad (1)$$

$$c_{pL} = 1,00 \text{ kJ/kgK}, \quad c_{pD} = 1,86 \text{ kJ/kgK}, \quad c_{pF} = 4,19 \text{ kJ/kgK}, \quad r_0 = 2502 \text{ kJ/kg}. \quad (2)$$

Dampfdruck-
tabelle für
Wasser:

ϑ °C	p_s mbar
20	23,38
21	24,86
22	26,43
23	28,09
25	31,66

Lösung:

a) $m_W = m_L(x_M - x_1) = \underline{0.75}$ kg

$p_{sM}(25^\circ\text{C}) = 31,66$ mbar $x_{sM} = 0.622 \frac{p_{sM}}{p - p_{sM}} = 0.02034$ $x_{sM} < x_M \Rightarrow$ Nebelgebiet

b) $m_{FM} = m_L(x_M - x_{sM}) = \underline{0.483}$ kg

c) $H_{FL} + H_W = H_M \Rightarrow \left[(c_{pL} + x_1 c_{pD}) \vartheta_1 + x_1 r_0 \right] + c_{pF} \vartheta_W$

B4 In siedendes Wasser (Masse $m_W = 100 \text{ g}$, Temperatur $\vartheta = 100^\circ \text{C}$) wird ein Eiswürfel (Masse $m_E = 10 \text{ g}$, Temperatur $\vartheta = 0^\circ \text{C}$) geworfen (Zustand 1). Etwaiger Wärmeaustausch mit der Umgebung kann vernachlässigt werden.

Gegeben: $l_0 = 335 \text{ kJ/kg}$, $c_{p,F} = 4,19 \text{ kJ/kgK}$.

1. Berechnen Sie, ob der Eiswürfel vollständig zum Schmelzen gebracht werden kann.
2. Berechnen Sie die Temperatur des Gleichgewichtszustandes (Zustand 2).
3. Berechnen Sie die Entropieänderung ($S_2 - S_1$) des Gesamtsystems.

Lösung:

isobare Zustandsänderung: $dH = 0$. Sei $H = 0$ für flüssiges Wasser bei 0°C .

a)

$$H_2 = H_{W,1} + H_{E,1} = 0.1 \cdot 100 \cdot 4.19 - 0.01 \cdot 335 = 38.55 \text{ kJ}.$$

$H_2 > 0 \Rightarrow$ Eis schmilzt vollständig.

b)

$$H_2 = 0.11 \cdot \vartheta \cdot 4.19 = 38.55 \quad \Rightarrow \quad \vartheta = 83.64^\circ \text{C}$$

c) Für die Berechnung der Änderung der Entropie werden die ursprünglichen Eis- und Wassermassen als getrennte Systeme betrachtet.

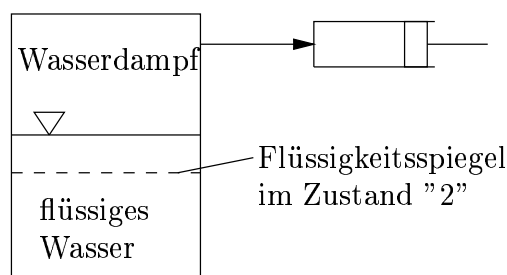
$$dS = \frac{d_e Q}{T} = \frac{dH}{T} = \frac{m c_{p,L} dT}{T} \Rightarrow S_2 - S_1 = m c_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right). \quad S_2 - S_1 = S_{W,2} - S_{W,1} + S^{II} - S^I + S_{E,2} - S_{E,1},$$

$$S_2 - S_1 = 0.1 \cdot 4.19 \ln \left(\frac{356.79}{373.15} \right) + 0.01 \frac{335}{273.15} + 0.01 \cdot 4.19 \ln \left(\frac{356.79}{273.14} \right) = \underline{\underline{4.66 \text{ kJ/K}}}.$$

B5 Ein Kessel mit dem Rauminhalt $V_K = 10 \text{ m}^3$ enthält ein Zweiphasengemisch aus flüssigem und dampfförmigen Wasser - Zustand 1. Die Gesamtmasse beträgt 4000 kg und der Druck im Kessel $p_1 = 55 \text{ bar}$.

Dem Kessel werden bei konstanten Druck kontinuierlich 100 kg gesättigter Dampf entnommen wodurch ein Zustand "2" erreicht wird.

- Wie groß ist der Dampfgehalt x_1 im Kessel?
- Berechnen Sie die Massen $m_{D,1}$ des Dampfes und $m_{W,1}$ des siedenden Wassers im Zustand 1 sowie die Massen $m_{D,2}$ und $m_{W,2}$ des Dampfes bzw. Wassers, die sich nach der Entnahme noch im Kessel befinden.
- Welche Wärmemenge ist dem Wasser zuzuführen, wenn der Druck im Kessel während der Entnahme konstant bleiben soll ($p_1 = p_2$)?



Anmerkung:

Dampftafel für Wasser am Folgeblatt (liegt ein gesuchter Wert zwischen zwei Werten in der Dampftafel, so ist zwischen diesen Werten linear zu interpolieren)

Lösung:

$$v_1 = 2,5 \times 10^{-3} \quad \rightarrow \quad x_1 = 0,0349$$

$$m_{D,1} = 139,6 \text{ kg}, \quad m_{W,1} = 3860,4 \text{ kg}$$

$$v_2 = V/(m - \Delta m) = 2,564 \times 10^{-3} \quad \rightarrow \quad x_1 = 0,0368$$

$$m_{D,1} = 143,4 \text{ kg}, \quad m_{W,1} = 3756,6 \text{ kg}$$

1.HS

$$U_2 - U_1 = Q_{12} - \Delta m h''$$

Wegen $p_1 = p_2$ und $V_1 = V_2$ gilt $H_2 - H_1 = U_2 - U_1$ und somit

$$Q_{12} = H_2 - H_1 + \Delta m h'' = (m_{W,2} - m_{W,1})h' + (m_{D,2} - m_{D,1} + \Delta m)h'' = 166,5 \text{ MJ}$$

Dampftafel für Wasser

ϑ °C	p bar	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg	s' kJ/kgK	s'' kJ/kgK
0,01	0,006112	1,0002	206,2	0,000	2501,6	2501,6	0,0000	9,1575
5	0,008718	1,0000	147,2	21,01	2510,7	2489,7	0,0762	9,0269
10	0,01227	1,0003	106,4	41,99	2519,9	2477,9	0,1510	8,9020
15	0,01704	1,0008	77,98	62,94	2529,1	2466,1	0,2243	8,7826
20	0,02337	1,0017	57,84	83,86	2538,2	2454,3	0,2963	8,6684
25	0,03166	1,0029	43,40	104,77	2547,3	2442,5	0,3670	8,5592
30	0,04241	1,0043	32,93	125,66	2556,4	2430,7	0,4365	8,4546
40	0,07375	1,0078	19,55	167,45	2574,4	2406,9	0,5721	8,2583
50	0,12335	1,0121	12,05	209,26	2592,2	2382,9	0,7035	8,0776
60	0,19920	1,0171	7,679	251,09	2609,7	2358,6	0,8310	7,9108
70	0,3116	1,0228	5,046	292,97	2626,9	2334,0	0,9548	7,7565
80	0,47367	1,0292	3,409	334,92	2643,8	2308,8	1,0753	7,6132
90	0,7011	1,0361	2,361	376,94	2660,1	2283,2	1,1925	7,4799
100	1,0133	1,0437	1,6730	419,1	2676,0	2256,9	1,3069	7,3554
110	1,4327	1,0519	1,2010	461,3	2691,3	2230,0	1,4185	7,2388
120	1,9854	1,0606	0,8915	503,7	2706,0	2202,3	1,5276	7,1293
130	2,701	1,0700	0,6681	546,3	2719,9	2173,6	1,6344	7,0261
140	3,614	1,0800	0,5085	589,1	2733,1	2144,0	1,7390	6,9284
150	4,760	1,0908	0,3924	632,2	2745,4	2112,2	1,8416	6,8358
160	6,181	1,1022	0,3068	675,5	2756,7	2081,2	1,9425	6,7475
170	7,920	1,1145	0,2426	719,1	2767,1	2048,0	2,0416	6,6630
180	10,027	1,1275	0,1938	763,1	2776,3	2013,2	2,1393	6,5819
190	12,551	1,1415	0,1563	807,5	2784,3	1976,8	2,2356	6,5036
200	15,549	1,1565	0,1272	852,4	2790,9	1938,5	2,3307	6,4278
210	19,077	1,173	0,1042	897,5	2796,2	1898,7	2,4247	6,3539
220	23,198	1,190	0,08604	943,7	2799,9	1856,2	2,5178	6,2817
230	27,976	1,209	0,07145	990,3	2802,0	1811,7	2,6102	6,2107
240	33,478	1,229	0,05965	1037,6	2802,2	1764,6	2,7020	6,1406
250	39,776	1,251	0,05004	1085,8	2800,4	1714,6	2,7935	6,0708
260	46,934	1,276	0,04213	1134,9	2796,4	1661,5	2,8848	6,0010
270	55,058	1,303	0,03559	1185,2	2789,9	1604,6	2,9763	5,9304
280	64,202	1,332	0,03013	1236,8	2780,4	1543,6	3,0683	5,8586
290	74,641	1,366	0,02554	1290,0	2767,6	1477,6	3,1611	5,7848
300	85,927	1,404	0,02165	1345,0	2751,0	1406,0	3,2552	5,7081
310	98,700	1,448	0,01833	1402,4	2730,0	1327,6	3,3512	5,6278
320	112,89	1,500	0,01548	1462,6	2703,0	1241,1	3,4500	5,5423
330	128,63	1,562	0,01299	1526,5	2670,2	1143,6	3,5528	5,4990
340	146,05	1,639	0,01078	1595,5	2626,2	1030,7	3,6616	5,3427
350	165,35	1,741	0,00880	1671,9	2567,7	895,7	3,7800	5,2177
360	186,75	1,896	0,00694	1764,2	2485,4	721,3	3,9210	5,0600
370	210,54	2,214	0,00497	1890,2	2342,8	452,6	4,1108	4,8144
374,15	221,2	3,170	0,00317	2107,4	2107,4	0	4,4429	4,4429