

Prüfung aus Grundlagen der Thermodynamik 319099
Teil 1, 23.1.2004

2) Ein Gasgemisch (Gesamtmasse $m=4\text{kg}$, Isentropenexponent $\kappa=1,2$) zweier idealer Gase A (Molmasse $\mathcal{M}_A = 42\text{kg/kmol}$, Massenanteil ξ_A) und B ($\mathcal{M}_B = 15\text{kg/kmol}$, Massenanteil ξ_B) wird ausgehend vom Zustand 1 ($V_1 = 5\text{m}^3, T_1 = 280\text{K}$) reversibel adiabat auf $p_2 = 2\text{bar}$ komprimiert. Dabei steigt die Temperatur auf $T_2 = 340\text{K}$.

Berechnen Sie die Massenanteile ξ_A und ξ_B der Gase A und B.
(Universelle Gaskonstante = $8314\text{J kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$)

Lösung

Aus Isentropenbeziehung:

$$p_1 = p_2 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\kappa/(\kappa-1)} = 0,624 \text{ bar}$$

Aus idealer Gasgleichung

$$\mathcal{M} = m \frac{\mathcal{R}T}{p_1 V} = 29,85 \text{ kg/kmol}$$

Aus

$$\frac{1}{\mathcal{M}} = \frac{\xi_A}{\mathcal{M}_A} + \frac{\xi_B}{\mathcal{M}_B}, \quad \xi_A + \xi_B = 1,$$

folgt:

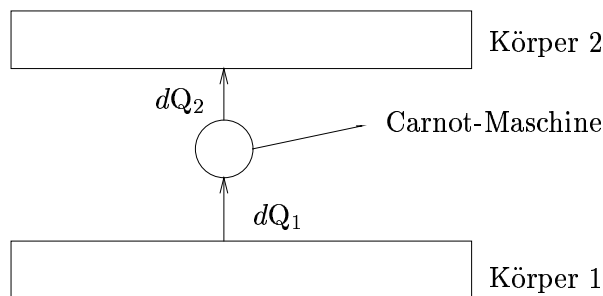
$$\xi_A = 0,784, \quad \xi_B = 0,216.$$

3) Zwei identische Körper ($m = 10 \text{ kg}$) mit den konstanten spezifischen Wärmekapazitäten $c = 1,1 \text{ kJ/kgK}$ haben beide die Temperatur $\vartheta_0 = 20^\circ \text{ C}$. Eine Carnot-Maschine, die einen Kältemaschinenprozeß durchläuft (Skizze) wird nun zwischen die beiden Körper geschaltet und arbeitet solange, bis die Temperatur des Körpers 1 auf $\vartheta_1 = 0^\circ \text{ C}$ abgesunken ist.

Berechnen Sie unter der Voraussetzung, daß bei einem Umlauf des Carnot-Kreisprozesses die (infinitesimal kleinen) Wärmemengen dQ_1 bzw. dQ_2 reversibel zwischen den Körpern 1 und 2 sowie dem Arbeitsmedium der Carnot-Maschine ausgetauscht werden:

a) Die Temperatur T_2 des Körpers 2.

b) Die Arbeit W , die dabei von der Carnot-Maschine geleistet werden muß.



Lösung

	Körper 1	Körper 2
Temperatur im Ausgangszustand	T_0	T_0
Temperatur im Endzustand:	T_1	T_2
Entropieänderung	$m c \ln(T_1/T_0)$	$m c \ln(T_2/T_0)$
Änderung der inneren Energie	$m c (T_1 - T_0)$	$m c (T_2 - T_0)$

Da im Gesamtsystem nur reversible Vorgänge ablaufen ist die Änderung der Gesamtentropie gleich null. Daher gilt

$$m c \ln(T_1/T_0) + m c \ln(T_2/T_0) = 0$$

und somit

$$T_2 = T_0^2/T_1 = 314,61 \text{ K}$$

Da das System adiabatisch ist gilt:

$$W = \Delta U = m c (T_1 - T_0) + m c (T_2 - T_0) = 16,06 \text{ kJ.}$$

4) Ein Motor weist im stationären Betrieb eine Betriebstemperatur von $\vartheta_M = 85^\circ \text{ C}$ auf. Nach dem Abschalten kühlt der Motor auf die Temperatur $\vartheta_u = 15^\circ \text{ C}$ des ihn umgebenden, adiabaten Raumes ab. Das Raumvolumen und die Raumtemperatur bleiben dabei annähernd konstant.

Geg.: $c_M = 0,5 \text{ kJ/kgK}$; $m_M = 100 \text{ kg}$

- a) Wieviel Wärme gibt der Motor beim Abkühlen ab?
- b) Wie ändert sich die Entropie des Motors?
- c) Wie ändert sich die Entropie der Umgebung des Motors?
- d) Wie ändert sich die Entropie des Raumes (einschließlich Motor)?

Lösung

a)

$$Q_{12} = m c_M \Delta T = -3500 \text{ kJ},$$

b)

$$\Delta S_M = m c_M \ln T_U / T_M = -10,87 \text{ kJ/K},$$

c)

$$\Delta S_U = -Q_{12} / T_U = 12,15 \text{ kJ/K},$$

d)

$$\Delta S = \Delta S_U + \Delta S_M = 1,27 \text{ kJ/K}.$$

5) Gegeben ist feuchte Luft im Ausgangszustand: $\vartheta_1 = 21^\circ\text{C}$, $p_1 = 1\text{bar}$, $x_F = 0,00629$, $m_L = 2\text{kg}$.

$$c_{p,\text{Luft}} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}; \quad c_{p,\text{Dampf}} = 1,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}; \quad c_{p,\text{Wasser}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}; \quad r_0 = 2501,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\psi = \frac{x_D}{x_s}; \quad x_D = 0,622 \frac{p_D}{p - p_D}$$

- a) Berechnen Sie die Masse m_F des flüssigen Wassers und die spez. Enthalpie h_{1+x} im Ausgangszustand.
- b) Welche Wärmemenge Q_{12} muß isobar zugeführt werden, damit der Sättigungszustand ($\psi_2 = 1$) erreicht wird?

ϑ °C	p_s mbar
16	18,17
17	19,36
18	20,62
19	21,96
20	23,37
21	24,85
22	26,42
23	28,08
24	29,82
25	31,66
26	33,60
27	35,64
28	37,78
29	40,04
30	42,41

Lösung

a)

$$m_F = m_L x_F = 12,58 \text{ g} \quad , \quad x_{D,1} = 0,622 \frac{p_{s,1}}{p - p_{s,1}} = 0,01585 \quad ,$$

$$h_{1+x,1} = c_{p,L}\vartheta_1 + c_{p,D}x_{D,1}\vartheta_1 + x_D r_0 + c_{p,Wasser}x_F\vartheta_1 = 61,82 \text{ kJ/kg} \quad ,$$

b)

$$x_{D,2} = x_F + x_{D,1} = 0,02214 \quad ,$$

$$p_{s,2} = p_{D,2} = \frac{p x_{D,2}}{0,622 + x_{D,2}} = 34,37 \text{ mbar} \quad ,$$

$$\vartheta_2 = 26,38^\circ\text{C} \quad ,$$

$$h_{1+x,2} = 82,85 \text{ kJ/kg} \quad ,$$

$$Q_{12} = m_L(h_{1+x,2} - h_{1+x,1}) = 42,06 \text{ kJ} \quad .$$

6) Gegeben ist ein mit flüssigem Wasser gefüllter Kessel ($V_k = 100 \text{ l}$) in folgendem Zustand:
 $p_1 = 1 \text{ bar}$; $\vartheta_1 = 20^\circ \text{ C}$; $c_w = 4,19 \text{ kJ/kgK}$; $m_w = 100 \text{ kg}$.
isobarer Volumenausdehnungskoeffizient: $\beta_w = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;
isotherme Kompressibilität: $\chi_w = 45 \cdot 10^{-6} \text{ bar}^{-1}$.

- a) Auf welche Temperatur ϑ_2 darf das Wasser höchstens erwärmt werden, damit der zulässige Kessel-
druck $p_{zul} = 40 \text{ bar}$ nicht überschritten wird?
- b) Wie groß ist die Erhöhung der Enthalpie $H_2 - H_1$ des Wassers?
- c) Wie groß ist die zur Temperaturerhöhung benötigte Wärmemenge Q_{12} ?

(Die Ausdehnung der Kesselwände kann vernachlässigt werden.)

Lösung

a)

$$\Delta T = \frac{\chi}{\beta} \Delta p = 5,85^\circ \text{ C}$$

b)

$$Q_{12} = m c \Delta T = 2,451 \text{ MJ}$$

c)

$$\Delta H = \Delta U + V \Delta p = Q_{12} + V \Delta p = 2,841 \text{ MJ}$$