

THERMODYNAMIK – MODULPRÜFUNG

18. JULI 2013

Als Hilfsmittel sind mathematische Tafelwerke und Formelsammlungen zugelassen, z.B. Göhler, Merzinger et al. Taschenrechner sowie die Formeln am Ende des Aufgabenblattes!

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten!

1. (a) Für eine Carnot'sche WKM sowie einer darauf basierenden Wärmepumpe und eines Kühlschranks sind Wirkungsgrad bzw. Leistungsfaktoren anzugeben mit den Temperaturen T_O auf der oberen Isotherme und T_U auf der unteren Isotherme! Für die Temperaturen $T_O = 300\text{K}$ und $T_U = 270\text{K}$ sind diese Werte zu berechnen!
(b) Leiten Sie die Formel für den Wirkungsgrad η_C der WKM nur mit Hilfe des ersten und zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik her!
(c) Was macht ein Kühlschrank bei einer Umgebungstemperatur, die kleiner als seine Innentemperatur ist? Arbeitet der Kühlschrank dann noch? Arbeitet er besser oder arbeitet er schlechter? (Leistungsfaktor?)
2. Eine reversibel arbeitende Wärmekraftmaschine nutzt ein ideales Gas als Arbeitsmedium entlang eines Kreisprozesses aus zwei Isochoren ($V_1 > V_2$) und zwei Isobaren ($p_1 < p_3$).
(a) Skizzieren Sie das $p - V$ -Arbeitsdiagramm des Kreisprozesses und geben Sie dabei den Umlaufsinn an, bei dem Arbeit geleistet wird! Wie groß ist die Arbeitsleistung während eines Zyklus?
(b) Wie groß sind die aufgenommen bzw. abgegebenen Arbeits- und Wärmemengen auf den einzelnen Teilschritten des Zyklus?
(c) Bestimmen Sie den Wirkungsgrad η dieser Maschine als Funktion der Temperaturen und des Adiabatenexponenten γ eines einatomigen Gases!
(d) Vergleichen Sie den Wirkungsgrad η mit dem einer passenden Carnot-Maschine η_C ! Welches ist die kleinste, welches ist die größte Temperatur des Kreisprozesses? Welche Werte für η und η_C ergeben sich, falls $V_1 = 2V_2$ und $p_3 = 2p_1$ sind?
3. (a) Skizzieren Sie das Phasendiagramm von Wasser und benennen Sie alle darin auftretenden Bereichen, Kurven und Punkten!
(b) Was versteht man unter der Anomalie des Wassers und woran ist diese im Phasendiagramm zu erkennen?
(c) Was passiert am kritischen Punkt? Welche Eigenschaften zeichnen ihn aus?
(d) Skizzieren Sie eine unterkritische Isotherme eines van-der-Waals Gases und erklären Sie die Physik der Maxwell-Geraden!
(e) Bei welcher Temperatur siedet Wasser auf dem Elbrus, auf dessen Gipfel der Luftdruck nur etwa die Hälfte des Normaldruckes auf Meeresspiegellhöhe beträgt?
4. Ein von seiner Umgebung total isolierter (Hohl-)Zylinder ist in seinem Innern durch einen arretierten metallischen Kolben in zwei Bereiche geteilt. Diese sind mit zwei idealen Gasen in den Zuständen (N_1, V_1, p_1) und (N_2, V_2, p_2) gefüllt. Ihre spezifischen Wärmekapazitäten C_V und C_p sind aber gleich.
(a) Skizzieren Sie das thermodynamische System und geben Sie die Temperaturen der Gase in den beiden Bereichen V_1 und V_2 an!
(b) Welcher Gleichgewichtszustand stellt sich nach Lösen der Arretierung des metallischen Kolbens ein, falls am Anfang $p_1 > p_2$ war?
(c) Welche Entropieänderung ergibt sich für die beiden Gase einzeln und welche insgesamt? Interpretieren Sie Ihr Ergebnis!
5. Formulieren Sie den 2. Hauptsatz der Thermodynamik mit Hilfe des Carnot'schen Kreisprozesses!

6. Bestimmen Sie aus dem thermodynamischen Potenzial „Innere Energie“ die Temperatur, den Druck und das chemische Potenzial eines idealen Gases!
 Geben Sie die Größen U, T, p, μ, N, S, H und C_V namentlich mit ihren SI-Einheiten an!
 Leiten Sie aus dem Potenzial „Innere Energie“ das Potenzial „Freie Energie“ her!

Formeln

Es sind $a, b, C_V, R, \sigma, \gamma, k_B, T_0, N_0, V_0$ alles positive Konstanten!

$$pV = nRT = Nk_B T \quad \left(p + a \frac{N^2}{V^2} \right) (V - Nb) = Nk_B T$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \quad \frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(v_2 - v_1)}$$

$$S(T, V, N) = N \left\{ \sigma + C_V \ln \frac{T}{T_0} + k_B \ln \frac{V/N}{V_0/N_0} \right\} \quad (\text{ideales Gas})$$

$$U(S, V, N) = NC_V T_0 \left(\frac{NV_0}{N_0 V} \right)^{\gamma-1} \exp \left[\frac{S}{NC_V} - \frac{\sigma}{C_V} \right] \quad (\text{ideales Gas})$$

$$p_0 = 1013 \text{ hPa}$$

$$q_{\text{verdampf}} = 2,26 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad v_{\text{fluessig}} = 1,044 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \quad v_{\text{dampf}} = 1,725 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$