

Probeklausur

Technische Wärmelehre (9 LP)

Universität:	Technische Universität Berlin
Kurs/Modul:	Technische Wärmelehre (9 LP)
Bearbeitungszeit:	90 Minuten
Erstellungsdatum:	September 20, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Technische Wärmelehre (9 LP)

Aufgabe 1.

(a) Ein ideales Gas befindet sich bei $n = 1$ mol, $p_1 = 1$ bar und $V_1 = 0.024$ m³. Verwenden Sie die ideale Gasgleichung

$$pV = nRT$$

und bestimmen Sie die Temperatur T_1 in Kelvin.

(b) Bei konstantem Druck $p = 1$ bar dehnt sich das Gas von $V_1 = 0.024$ m³ auf $V_2 = 0.036$ m³ aus. Bestimmen Sie T_2 unter der Annahme eines idealen Gases und verwenden Sie $R = 8.314$ J mol⁻¹ K⁻¹.

(c) Berechnen Sie die zugehörige Wärmezufuhr Q bei diesem isobaren Prozess, falls gilt $C_p \approx 29.1$ J mol⁻¹ K⁻¹ und $\Delta T = T_2 - T_1$. Geben Sie Q in Joule an.

(d) Bestimmen Sie die Arbeit W während des Prozesses.

$$W = p \Delta V = (1 \times 10^5 \text{ Pa}) (0.036 - 0.024) \text{ m}^3 = 1.2 \times 10^3 \text{ J}.$$

Aufgabe 2.

(a) Gegeben sei eine plane Wand mit

$$k = 45 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad A = 0.01 \text{ m}^2, \quad L = 0.05 \text{ m}, \quad \Delta T = 60 \text{ K}.$$

Berechnen Sie den Wärmefluss durch die Wand:

$$\dot{Q} = \frac{k A \Delta T}{L}.$$

(b) Die Wand besitzt an der heißen Seite $T_h = 350 \text{ K}$ und an der kalten Seite $T_c = 290 \text{ K}$ bei konstanter Wärmestromdichte. Bestimmen Sie die Temperatur in der Mitte der Wand (lineare Temperaturverteilung annehmen).

(c) Es liegen zwei Schichten in Serie vor: $L_1 = 0.04 \text{ m}$, $k_1 = 45 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ und $L_2 = 0.01 \text{ m}$, $k_2 = 0.8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Bei einer Gesamtfläche $A = 0.01 \text{ m}^2$ und $\Delta T = 60 \text{ K}$ gilt $R_{\text{th}} = \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A}$. Berechnen Sie den Gesamt-Wärmestrom $\dot{Q} = \Delta T / R_{\text{th}}$ durch das System.

Aufgabe 3.

(a) Gegeben ist feuchte Luft mit Temperatur $T = 25^\circ\text{C}$, Druck $p = 1 \text{ atm}$ und Feuchtegehalt $w = 0.018 \text{ kg Wasser kg}^{-1} \underline{\text{Luft}}$. Die thermodynamische Enthalpie pro kg trockener Luft näherungsweise

$$h \approx c_p T + w [h_{\text{fg}}(T) + c_p^v T],$$

mit $c_p \simeq 1.006 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $c_p^v \simeq 1.86 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ und $h_{\text{fg}}(25^\circ\text{C}) \simeq 2442 \text{ kJ kg}^{-1}$. Berechnen Sie die Enthalpie h in $\text{kJ kg}_{\text{da}}^{-1}$ (kg der Luft) der feuchten Luft.

(b) Bestimmen Sie die Enthalpieänderung Δh bei einer Temperaturerhöhung von $\Delta T = 10 \text{ K}$ bei konstanter Feuchte w . Geben Sie Δh in $\text{kJ kg}_{\text{da}}^{-1}$ an.

(c) Ein Luftstrom von $\dot{m}_{\text{da}} = 1.2 \text{ kg s}^{-1}$ trockener Luft durch einen Wärmetauscher fließt. Berechnen Sie die zugeführte Wärmeleistung $\dot{Q} = \dot{m}_{\text{da}} \Delta h$ bei $\Delta T = 5 \text{ K}$.

Aufgabe 4.

- (a) Carnot-Kreisprozess: Der reversibel arbeitende Kreisprozess verläuft zwischen der oberen Wärmequelle bei $T_H = 500$ K und der unteren Wärmequelle bei $T_C = 300$ K. Bestimmen Sie die maximale theoretische Effizienz des Prozesses und geben Sie die Formel an. $\eta_C = 1 - \frac{T_C}{T_H}$.
- (b) Erläutern Sie zwei Hauptgründe, warum reale Kreisläufe weniger effizient arbeiten als der Carnot-Kreisprozess.
- (c) In einem realen Rankine-ähnlichen Kreislauf sei der nutzbare Anteil der zugeführten Wärme $Q_{\text{in}} = 2.5 \text{ MJ kg}^{-1}$ und der daraus erwirtete Netto-Wirkungsgrad $\eta = 0.38$. Berechnen Sie die daraus resultierende Netto-Wirkleistung $W_{\text{net}} = \eta Q_{\text{in}}$ in MJ kg^{-1} .

Lösungen

Aufgabe 1.

(a) Aus der idealen Gasgleichung

$$pV = nRT$$

mit $n = 1$ mol, $p_1 = 1$ bar $= 10^5$ Pa und $V_1 = 0.024$ m³ folgt

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{nR} = \frac{(10^5)(0.024)}{1 \cdot 8.314} \approx \frac{2400}{8.314} \approx 2.89 \times 10^2 \text{ K.}$$

(b) Bei konstantem Druck $p = 1$ bar $= 10^5$ Pa gilt

$$T_2 = \frac{pV_2}{nR} = \frac{(10^5)(0.036)}{8.314} \approx \frac{3600}{8.314} \approx 4.33 \times 10^2 \text{ K.}$$

(c) Für einen isobaren Prozess gilt

$$Q = n C_p \Delta T, \quad C_p \simeq 29.1 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}.$$

Mit $\Delta T = T_2 - T_1 \approx 4.33 \times 10^2 - 2.89 \times 10^2 = 1.45 \times 10^2$ K erhalten wir

$$Q = (1)(29.1)(1.45 \times 10^2) \approx 4.21 \times 10^3 \text{ J} = 4.21 \text{ kJ.}$$

(d) Die Arbeit während des isobaren Prozesses ist

$$W = p \Delta V = (1.0 \times 10^5 \text{ Pa})(0.036 - 0.024) \text{ m}^3 = 1.20 \times 10^3 \text{ J} = 1.20 \text{ kJ.}$$

Aufgabe 2.

(a) Gegeben seien $k = 45 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $A = 0.01 \text{ m}^2$, $L = 0.05 \text{ m}$, $\Delta T = 60 \text{ K}$. Der Wärmestrom durch die Wand ist

$$\dot{Q} = \frac{k A \Delta T}{L} = \frac{(45)(0.01)(60)}{0.05} = \frac{27}{0.05} = 540 \text{ W.}$$

(b) Mit einer linearen Temperaturverteilung gilt

$$T_{\text{mid}} = \frac{T_h + T_c}{2} = \frac{350 + 290}{2} = 320 \text{ K.}$$

(c) Zwei Schichten in Serie:

$$R_{\text{th}} = \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} = \frac{0.04}{(45)(0.01)} + \frac{0.01}{(0.8)(0.01)} = \frac{0.04}{0.45} + \frac{0.01}{0.008} \approx 0.0889 + 1.25 \approx 1.3389 \text{ K W}^{-1}.$$

Der Gesamt-Wärmestrom ist

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = \frac{60}{1.3389} \approx 4.48 \times 10^1 \text{ W.}$$

Aufgabe 3.

(a) Feuchte Luft mit $T = 25^\circ\text{C} = 298.15\text{ K}$, $p = 1\text{ atm}$, $w = 0.018\text{ kg W}_{\text{kg da}^{-1}}$. Die Enthalpie pro kg trockener Luft

$$h \approx c_p T + w [h_{\text{fg}}(T) + c_p^v T],$$

mit $c_p \simeq 1.006\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$, $c_p^v \simeq 1.86\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$, $h_{\text{fg}}(25^\circ\text{C}) \simeq 2442\text{ kJ kg}^{-1}$.

Einsetzen (mit $T = 298.15\text{ K}$):

$$c_p T \approx 1.006 \times 298.15 \approx 299.94\text{ kJ kg}_{\text{da}}^{-1},$$

$$h_{\text{fg}} + c_p^v T \approx 2442 + 1.86 \times 298.15 \approx 2442 + 554.56 \approx 2996.56\text{ kJ kg}^{-1}.$$

Daraus

$$h \approx 299.94 + w (2996.56) = 299.94 + 0.018 \times 2996.56 \approx 299.94 + 53.94 \approx 353.88\text{ kJ kg}_{\text{da}}^{-1}.$$

(b) Bei konstanter Feuchte w gilt

$$\Delta h = (c_p + w c_p^v) \Delta T.$$

Mit $c_p = 1.006$, $c_p^v = 1.86$, $w = 0.018$ ergibt sich

$$c_p + w c_p^v = 1.006 + 0.018 \times 1.86 \approx 1.03948\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}.$$

Für $\Delta T = 10\text{ K}$:

$$\Delta h \approx 1.03948 \times 10 \approx 10.39\text{ kJ kg}_{\text{da}}^{-1}.$$

(c) Ein Luftstrom von $\dot{m}_{\text{da}} = 1.2\text{ kg s}^{-1}$ durch einen Wärmetauscher bei $\Delta T = 5\text{ K}$ transportiert Wärme mit

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{da}} \Delta h \approx (1.2) (1.03948 \times 5)\text{ kW} \approx 1.2 \times 5.1974 \approx 6.24\text{ kW}.$$

Aufgabe 4.

(a) Carnot-Effizienz

$$\eta_{\text{C}} = 1 - \frac{T_{\text{C}}}{T_{\text{H}}} = 1 - \frac{300}{500} = 0.40 \quad (\text{bzw. } 40\%).$$

(b) Zwei Hauptgründe, warum reale Kreisläufe weniger effizient arbeiten als der Carnot-Kreisprozess: - Irreversibilitäten (Reibung, Wirbel, Druckverlust) im Bauteilnetzwerk und unvollständige Umpolung von Zuständen. - Endliche Temperaturdifferenzen bei der Wärmeübertragung (Dissipation durch Wärmestromdichte führt zu Entropieerzeugung) sowie nicht-quasistatische Prozesse, die zu zusätzlichen Verlusten führen.

(c) Gegeben sei $Q_{\text{in}} = 2.5\text{ MJ kg}^{-1}$ und $\eta = 0.38$. Die Netto-Wirkleistung pro Kilogramm

$$W_{\text{net}} = \eta Q_{\text{in}} = 0.38 \times 2.5 = 0.95\text{ MJ kg}^{-1}.$$