



Serie 32, Musterlösung

Datum: HS 24

1. Spezifische Wärmekapazität

VGML57

- (a) Wie viel Wärme ist erforderlich, um die Temperatur eines leeren, 20 kg schweren Eisenfasses von 10 °C auf 90 °C zu erhöhen?
- (b) Wie viel Wärme ist erforderlich, wenn zusätzlich 20 kg Wasser in das Fass gegossen werden?

Die spezifische Wärmekapazität für Eisen beträgt $c_{\text{Fe}} = 440 \text{ J}/(\text{kg K})$ und für Wasser $c_{\text{Wasser}} = 4190 \text{ J}/(\text{kg K})$. **Lösung:**

Die Temperaturänderung beträgt $\Delta T = 80 \text{ °C}$.

- (a) Eisenfass

$$Q_{\text{Fe}} = m \cdot c \cdot \Delta T = 704 \text{ kJ}$$

- (b) 20 kg Wasser

$$Q_{\text{Wasser}} = m \cdot c \cdot \Delta T = 6704 \text{ kJ}$$

$$\text{Total: } Q_{\text{tot}} = Q_{\text{Fe}} + Q_{\text{Wasser}} = 7408 \text{ kJ}$$

2. Wärmestrom durch Wände

AUQC1B

Wir betrachten ein ein Haus hat gut isolierte Wänden. Berechnen Sie den erforderlichen Wärmestrom, um eine Innentemperatur von 23 °C aufrechtzuerhalten, wenn draussen eine Temperatur von $T_{\text{ausser}} = -10 \text{ °C}$ herrscht. Wir vernachlässigen in den Berechnungen den Wärmeübergang an den Grenzschichten.

- (a) Wie gross ist Wärmestrom \dot{Q} durch die Wände mit einer Dicke von $d = 15.5 \text{ cm}$ und einer Gesamtfläche von $A = 410 \text{ m}^2$. Für Beton: $\lambda = 2.1 \text{ W}/(\text{mK})$.
- (b) Zusätzlich gibt es ein 6.5 cm dickes Dach mit einer Fläche von 280 m^2 . $\dot{Q} = ?$
Für Ziegel: $\lambda = 0.5 \text{ W}/(\text{mK})$.
- (c) Das Hauss hat ausserdem 0.65 cm dicke Glasfenster mit einer Gesamtfläche von 33 m^2 . $\dot{Q} = ?$
Für Festerglas: $\lambda = 0.8 \text{ W}/(\text{mK})$.
- (d) Wärmestrom total?
- (e) Wie gross ist der thermische Widerstand der Ausserhülle des Hauses?

Lösung:

Die Wärmeström können mit dem Gesetz von Fourier berechnet werden:

(a) Wände:

$$\dot{Q}_W = \frac{A \cdot \lambda}{d} \cdot \Delta T = 183310 \text{ J/s}$$

(b) Dach:

$$\dot{Q}_D = \frac{A \cdot \lambda}{d} \cdot \Delta T = 71077 \text{ J/s}$$

(c) Fester:

$$\dot{Q}_F = \frac{A \cdot \lambda}{d} \cdot \Delta T = 134031 \text{ J/s}$$

(d) Total:

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_W + \dot{Q}_D + \dot{Q}_F = 388418 \text{ J/s}$$

(e) thermische Widerstand:

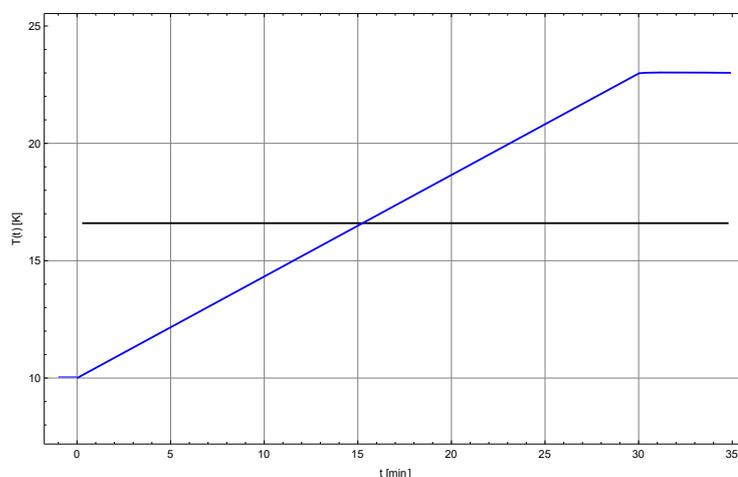
$$\dot{Q}_T = \frac{1}{R_{\text{th}}} \cdot \Delta T \Rightarrow R_{\text{th}} = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_T} = 8.5 \cdot 10^{-5} \text{ K/W}$$

3. Erwärmung der Luft im Haus

V7B988

- (a) Berechnen Sie, wie viel Wärme erforderlich ist, um die Temperatur im Haus von 10 °C auf 23 °C. Das Hausvolumen beträgt 750 m³, die spezifische Wärmekapazität der Luft ist $c_{\text{Luft}} = 1.0 \text{ J}/(\text{kg K})$ und die Luftdichte ist $\rho_{\text{Luft}} = 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$.
- (b) Wie sieht der Wärmestrom während des Aufheizens aus. Machen Sie eine Skizze.
- (c) Der Vorgang des Aufheizens dauert 30 Minuten. Der thermische Widerstand des Hauses ist $R_{\text{th, tot}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ K/W}$. Wieviel Wärme geht während dem Aufheizen an die Umgebung verloren?
- (d) Wieviel Energie braucht es für das Aufheizen insgesamt?

Lösung:



- (a) Wärme Luft: Masse: $m = V \cdot \rho = 900 \text{ kg}$.

$$Q_{\text{Lu}} = c_{\text{Lu}} \cdot m_{\text{Lu}} \cdot \Delta T = 11\,700 \text{ J}$$

- (b) Skizze der Temperatur, oben. Der Wärmestrom ist proportional zu ΔT , d.h. am Anfang verlieren wir wenig Wärme, am Schluss viel. Im Mittel ist das Haus $T_m = 16.5 \text{ °C}$ warm, also ist im Mittel $\Delta T_m = 6.5 \text{ K}$.

- (c) Wärmeverlust an Umgebung:

Mittlerer Wärmestrom

$$\dot{Q} = 1/R_{\text{th}} \cdot \Delta T_m = 585\,000 \text{ W}$$

Wärmeverlust über die Zeit $t = 60 \text{ min} = 1800 \text{ s}$:

$$Q_U = \dot{Q} \cdot t = 585\,000 \text{ J}$$

- (d) Energie insgesamt

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{Lu}} + Q_U = 596.7 \text{ kJ}$$

4. Wärmeverlust durch Fenster

ES531Y

Berechnen Sie den U-Wert und den Wärmestrom durch ein 3.2 mm dickes Fensterglas mit einer Fläche von $A = 2.0 \text{ m} \cdot 1.5 \text{ m}$. Der Wärmeübergangskoeffizient Luft-Glas kann genähert werden durch (v Windgeschwindigkeit in m/s; ohne Einheiten einsetzen):

$$\alpha = 2 + 12 \cdot \sqrt{v} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Die Wärmeleitfähigkeit von Glas beträgt $\lambda = 0.8 \text{ W}/(\text{m K})$.

- (a) Wärmestrom im Herbst, wenn die Innenflächentemperatur $T_{\text{innen}} = 15 \text{ °C}$ und die Aussenflächentemperatur $T_{\text{aussen}} = 14 \text{ °C}$ beträgt (Windstille, d.h. aussen und innen $v = 0$).
- (b) Wärmestrom im Winter, wenn die Innenflächentemperatur $T_{\text{innen}} = 15 \text{ °C}$ und die Aussenflächentemperatur $T_{\text{aussen}} = -10 \text{ °C}$ beträgt und starker Wind mit $v = 20 \text{ m/s}$ herrscht.

Berechnen Sie zuerst

$$U^{-1} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{\alpha_a}$$

Lösung:

Fläche $A = 3 \text{ m}^2$:

- (a) Herbst und Windstille:

$$U^{-1} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} = (0.5 + 0.004 + 0.5) \text{ m}^2\text{K}/\text{W} = 1.004 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Der Wärmestrom wird berechnet mit ($\Delta T = 1 \text{ K}$):

$$\dot{Q}_1 = U \cdot A \cdot \Delta T = 3.0 \text{ W}$$

(b) Winter und starker Wind:

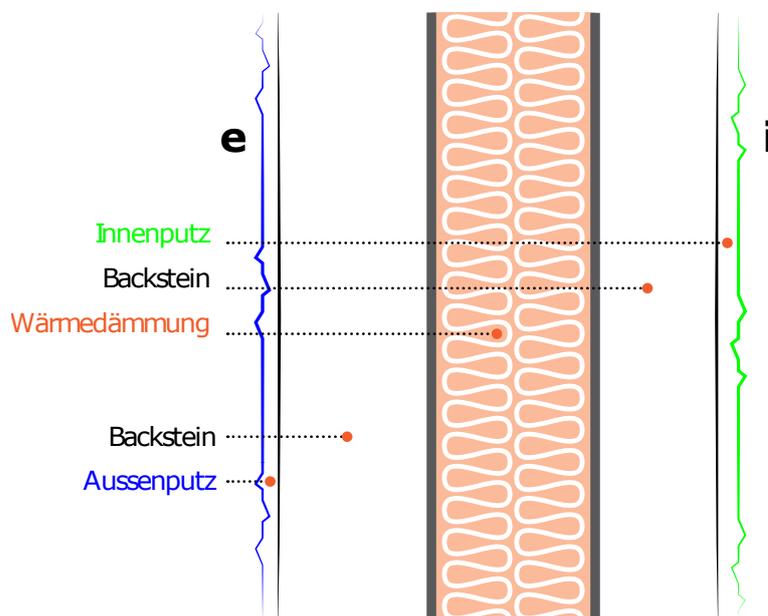
$$U^{-1} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} = (0.5 + 0.004 + 0.0179644) \text{ m}^2\text{K/W} = 0.522 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Der Wärmestrom wird berechnet mit ($\Delta T = 25 \text{ K}$):

$$\dot{Q}_2 = U \cdot A \cdot \Delta T = 144 \text{ W}$$

5. U-Wert Berechnung Mauerwerk

LQ4GD8



d [m]	0.015	0.15	0.16	0.12	0.02
λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	0.7	0.44	0.036	0.44	0.87

Wir betrachten einen Ausschnitt einer Hauswand ($A = 1 \text{ m}^2$).

- Berechnen Sie den thermischen Widerstand der 5 Schichten der Wand.
- Die thermischen Widerstände der Grenzschichten sind $R_{\text{th},i} = 0.125 \text{ K W}^{-1}$ und $R_{\text{th},a} = 0.04 \text{ K W}^{-1}$ ($\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $\alpha_a = 25 \text{ W/m}^2/\text{K}$). Wie gross ist der gesamte thermische Widerstand der ganzen Mauer?
- Wie gross ist der U-Wert der Mauer?

Lösung:

(a) thermischer Widerstand Schichten

$$R_{\text{th},1} = \frac{d_1}{\lambda_1 A} = 0.0214 \text{ K W}^{-1}, \quad R_{\text{th},2} = 0.3409 \text{ K W}^{-1}, \quad R_{\text{th},3} = 4.4444 \text{ K W}^{-1}$$

$$R_{\text{th},4} = 0.2727 \text{ K W}^{-1}, \quad R_{\text{th},5} = 0.0230 \text{ K W}^{-1}$$

(b) gesamter thermischer Widerstand

$$R_{\text{th,tot}} = R_{\text{th},i} + R_{\text{th},1} + R_{\text{th},2} + R_{\text{th},3} + \dots + R_{\text{th},a} = 5.2675 \text{ K W}^{-1}$$

(c) U-Wert (für die Fläche $A = 1 \text{ m}^2$ gilt $U = 1/R$):

$$U = 1/R_{\text{th,tot}} = 0.189843 \text{ W/K/m}^2$$