

11. Übung zu Physik WS 2019

Ausgabe: 14.12.2019

Prof. D. Suter

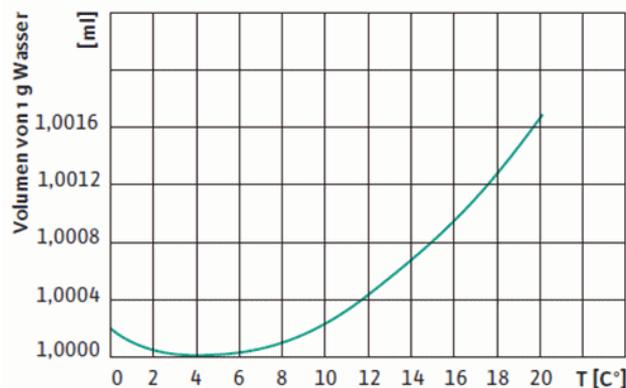
1. Wasser als Thermometerflüssigkeit?

Warum eignet sich Wasser schlecht als Thermometerflüssigkeit?

Dafür sind zwei Gründe ausschlaggebend:

1. Ein Flüssigkeitsthermometer kann nur in dem Temperaturbereich eingesetzt werden, in dem die Thermometerflüssigkeit im flüssigen Zustand vorkommt. Dieser Bereich ist bei Wasser im Vergleich zu Alkohol relativ klein.
2. Wasser zeigt ein sehr ungewöhnliches ("anomales") Ausdehnungsverhalten bei Temperaturänderungen im Bereich von 0 bis ca. 10 °C: Während sich nahezu alle anderen Flüssigkeiten vom Schmelzpunkt an kontinuierlich ausdehnen, zieht sich das Wasser von 0 °C bis 4 °C zusammen und dehnt sich erst dann aus. Daher wären die Anzeigen im unteren Temperaturbereich bis etwa 10 °C nicht eindeutig, sondern müssten jeweils zwei Temperaturwerten zugeordnet werden.

Abgesehen von diesen grundsätzlichen Problemen schwankt die Volumenausdehnungszahl von Wasser im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 100 °C relativ stark, d.h. das Wasservolumen hängt nicht linear von der Temperatur ab:



2. Kinetische Gastheorie

In der kinetischen Gastheorie betrachten wir ein ideales Gas als N punktförmige Teilchen mit der Masse m . Diese mögen sich mit der mittleren Geschwindigkeit v_x in $\pm x$ -Richtung bewegen.

In der Zeit τ werden alle Teilchen einmal an den das Gas begrenzenden Wänden reflektiert. Berechnen Sie aus dem gesamten Impulsübertrag die Kraft F , die auf eine Seitenwand wirkt.

Wird ein Teilchen an der Wand reflektiert, so wird sein Impuls mv_x in $-mv_x$ umgekehrt, also insgesamt der Impuls $2mv_x$ an die Wand übertragen.

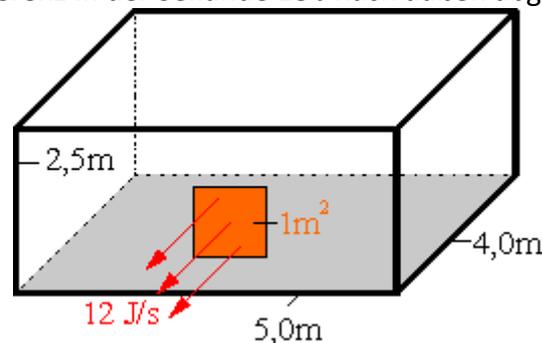
Da von den N Teilchen statistisch jedoch nur $N/2$ Teilchen auf je eine der beiden Seitenwände treffen, ist der gesamte Impulsübertrag auf die Wand Nmv_x .

Da der Impulsübertrag in der Zeit τ stattfindet, ist die Kraft auf die Wand Nmv_x/τ .

3. Warmwasserspeicher zur Raumheizung

In einem ideal isolierten Warmwasserspeicher befindet sich 1 m^3 Wasser mit der spezifischen Wärmekapazität $c_w=4,2 \text{ kJ/kgK}$

- a) Berechnen Sie die Zunahme der inneren Energie des Wassers, wenn man es um $\Delta T=80^\circ\text{C}$ erwärmt.
- b) Der Warmwasserspeicher soll die Wärmeverluste eines Zimmers decken. Dabei soll die Temperatur im Zimmer 18°C , die Temperatur der Außenluft 12°C sein. Vereinfachend werde angenommen, dass jeder Quadratmeter von Wand, Boden, Decke und Fenster bei dieser Temperaturdifferenz in der Sekunde 18 J nach außen abgibt.



Schätzen Sie ab, wie lange der Warmwasserspeicher in einem Zimmer mit $5,0 \text{ m}$ Länge, $4,0 \text{ m}$ Breite und $2,50 \text{ m}$ Höhe die Temperatur von 18°C aufrechterhalten kann bis die Wassertemperatur wieder den ursprünglichen Wert erreicht hat.

- a) Berechnung der Zunahme der inneren Energie:

$$\Delta E_i = c_w \cdot m \cdot \Delta T = c_w \cdot \rho_w \cdot V \cdot \Delta T \Rightarrow$$
$$4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ m}^3 \cdot 80 \text{ K} = 3,4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- b) Berechnung der Zimmeroberfläche:

$$O = 2lb + 2h(l + b) = 2 \cdot 5 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} + 2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot (5 + 4) \text{ m} = 85 \text{ m}^2$$

Die Verlustleistung ist die Energie, die pro Sekunde aus dem Zimmer strömt:

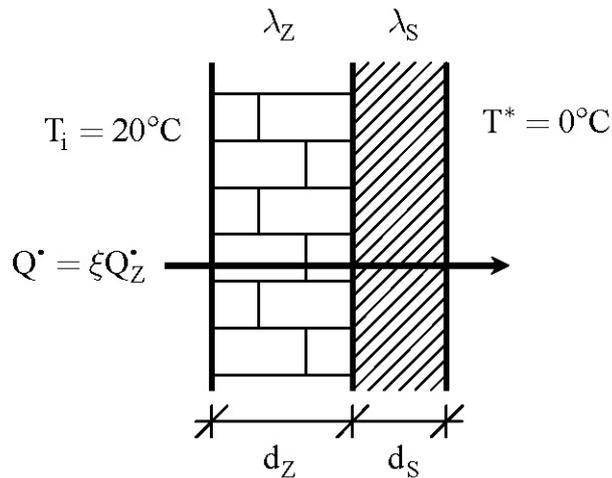
$$P_V = 18 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ s}} \cdot 85 \text{ m}^2 = 1,5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Berechnung der Zeit, für welche der Speichervorrat reicht:

$$\Delta E_i = P_V \Delta t \Leftrightarrow \Delta t = \frac{\Delta E_i}{P_V} = 2,27 \cdot 10^5 \text{ s} \approx 63 \text{ h}$$

4. Wärmeleitung durch eine geschichtete Wand

Der Wärmestrom dQ_z/dt durch die Ziegelmauer eines Wohngebäudes der Dicke $d_z = 0,35 \text{ m}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda_z = 1,5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, soll durch Aufbringen einer Isolierschicht ($\lambda_s = 0,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) an der Außenseite auf den Bruchteil $\xi = 0,1$ reduziert werden. Die Innentemperatur betrage $T_i=20^\circ\text{C}$, die Außentemperatur $T^*=0^\circ\text{C}$.



- a) Welche Wärme gibt die nichtisolierte Mauer pro Flächeneinheit (1 m²) an die Umgebung ab?
 b) Wie dick ist die benötigte Isolierschicht?
 c) Man diskutiere das Ergebnis, d.h. prüfe die Frage, ob es bautechnisch sinnvoll realisiert werden kann.

a) Wärmeverluste pro Flächeneinheit (m²) Ziegelmauer

$$\dot{Q}_z = \frac{1}{R_z} (T_i - T^*) = \lambda_z \frac{A}{d_z} (T_i - T^*)$$

$$q_z = \frac{\dot{Q}_z}{A} = \frac{\lambda_z}{d_z} (T_i - T^*) = 1,5 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{(20 - 0)\text{K}}{0,35 \text{ m}} = 85,7 \text{ W/m}^2$$

b) Dicke der Isolierschicht

$$\frac{dQ}{dt} = \xi \cdot \frac{dQ_z}{dt} = \frac{1}{R_w} (T_i - T^*)$$

$$R_w = R_z + R_s = \frac{d_z}{A\lambda_z} + \frac{d_s}{A\lambda_s}$$

$$\frac{\xi \dot{Q}_z}{\dot{Q}_z} = \frac{\frac{1}{R_w} (T_i - T^*)}{\frac{1}{R_z} (T_i - T^*)} \Rightarrow \xi = \frac{R_z}{R_w} \Rightarrow$$

$$R_z = \frac{1}{\xi} R_w = \frac{d_z}{A\lambda_z} + \frac{d_s}{A\lambda_s} = \frac{1}{\xi} \frac{d_z}{A\lambda_z} \Rightarrow$$

$$d_s = \left(\frac{1}{\xi} - 1 \right) \frac{\lambda_s}{\lambda_z} d_z$$

$$d_s = \left(\frac{1}{0,1} - 1 \right) \cdot \frac{0,3}{1,5} \cdot 0,35 \text{ m} = 0,63 \text{ m}$$

b) $d_s = 0,63 \text{ m}$ ist zu viel!