

Aufgaben zum Wärmeübergangskoeffizienten

Theorie

1. Wärmeübergang

Beim Wärmeübergang wird Wärme zwischen einer Oberfläche und einem angrenzenden Fluid übertragen. Ein Fluid kann eine Flüssigkeit oder ein Gas sein.

Beispiele:

- Ein Heizkörper gibt Wärme an die Luft im Zimmer ab.
- Eine heiße Metallplatte kühlt in Wasser schneller ab als in Luft.
- Wind erhöht den Wärmeübergang von einer warmen Oberfläche zur Luft.

2. Wärmeübergangskoeffizient

Der Wärmeübergangskoeffizient beschreibt, wie gut Wärme von einer Oberfläche an ein Fluid übergeht.

Er wird meistens mit α bezeichnet.

$$\alpha \text{ in } \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

3. Formel für den Wärmestrom

Für den Wärmestrom gilt näherungsweise:

$$P = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

P = Wärmestrom in Watt
 α = Wärmeübergangskoeffizient
 A = Oberfläche
 ΔT = Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Fluid

Die Temperaturdifferenz ist:

$$\Delta T = T_{\text{Oberfläche}} - T_{\text{Fluid}}$$

Für Rechnungen verwendet man den Betrag der Temperaturdifferenz.

4. Wärmestromdichte

Der Wärmestrom pro Fläche heisst Wärmestromdichte:

$$\dot{q} = \frac{P}{A}$$

Mit dem Wärmeübergangskoeffizienten gilt:

$$\dot{q} = \alpha \cdot \Delta T$$

Aufgaben

1. Bedeutung des Koeffizienten

Erkläre in eigenen Worten:

- (a) Was beschreibt der Wärmeübergangskoeffizient?
- (b) Warum ist der Wärmeübergangskoeffizient bei bewegter Luft grösser als bei ruhender Luft?

2. Heizkörper

Ein Heizkörper hat eine wirksame Oberfläche von

$$A = 1.5 \text{ m}^2.$$

Die Oberflächentemperatur beträgt

$$T_{\text{Oberfläche}} = 60^\circ\text{C}.$$

Die Raumluft hat eine Temperatur von

$$T_{\text{Luft}} = 20^\circ\text{C}.$$

Der Wärmeübergangskoeffizient beträgt

$$\alpha = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

Berechne den Wärmestrom.

3. Heisse Tasse

Eine heisse Tasse hat eine wirksame Oberfläche von

$$A = 0.030 \text{ m}^2.$$

Die Temperaturdifferenz zwischen Tasse und Luft beträgt

$$\Delta T = 60 \text{ K}.$$

Für den Wärmeübergang an die Luft gilt

$$\alpha = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

Berechne den Wärmestrom.

4. Vergleich Luft und Wasser

Eine Metallplatte hat eine Oberfläche von

$$A = 0.020 \text{ m}^2.$$

Die Temperaturdifferenz zum umgebenden Fluid beträgt

$$\Delta T = 30 \text{ K}.$$

In Luft gilt:

$$\alpha_{\text{Luft}} = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

In Wasser gilt:

$$\alpha_{\text{Wasser}} = 500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

- (a) Berechne den Wärmestrom in Luft.
- (b) Berechne den Wärmestrom in Wasser.
- (c) Um welchen Faktor ist der Wärmestrom in Wasser grösser?

5. Koeffizient bestimmen

Durch eine Oberfläche fliesst ein Wärmestrom von

$$P = 240 \text{ W}.$$

Die Fläche beträgt

$$A = 2.0 \text{ m}^2.$$

Die Temperaturdifferenz beträgt

$$\Delta T = 20 \text{ K}.$$

Berechne den Wärmeübergangskoeffizienten α .

6. Schwierige Aufgabe: Abkühlzeit abschätzen

Eine Aluminiumplatte hat die Masse

$$m = 2.0 \text{ kg}$$

und die spezifische Wärmekapazität

$$c = 900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}.$$

Sie kühlt von

$$80^\circ\text{C}$$

auf

$$50^\circ\text{C}$$

ab.

Die Umgebungstemperatur beträgt

$$20^\circ\text{C}.$$

Die wirksame Oberfläche ist

$$A = 0.50 \text{ m}^2$$

und der Wärmeübergangskoeffizient ist

$$\alpha = 12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}.$$

Schätze die Abkühlzeit ab. Verwende dazu die mittlere Temperaturdifferenz.

Lösungen

1. Bedeutung des Koeffizienten

Der Wärmeübergangskoeffizient beschreibt, wie stark Wärme von einer Oberfläche an ein angrenzendes Fluid übertragen wird.

Bei bewegter Luft werden warme Luftschichten schneller wegtransportiert. Dadurch bleibt die Temperaturdifferenz an der Oberfläche wirksamer und der Wärmeübergang wird stärker.

2. Heizkörper

$$\Delta T = 60^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 40\text{ K}$$

$$P = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

$$P = 8 \cdot 1.5 \cdot 40$$

$$\boxed{P = 480\text{ W}}$$

3. Heisse Tasse

$$P = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

$$P = 10 \cdot 0.030 \cdot 60$$

$$\boxed{P = 18\text{ W}}$$

4. Vergleich Luft und Wasser

In Luft:

$$P_{\text{Luft}} = 10 \cdot 0.020 \cdot 30$$

$$P_{\text{Luft}} = 6 \text{ W}$$

In Wasser:

$$P_{\text{Wasser}} = 500 \cdot 0.020 \cdot 30$$

$$P_{\text{Wasser}} = 300 \text{ W}$$

Faktor:

$$\frac{P_{\text{Wasser}}}{P_{\text{Luft}}} = \frac{300}{6}$$

Der Wärmestrom ist in Wasser 50-mal grösser.

5. Koeffizient bestimmen

$$P = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\alpha = \frac{P}{A \cdot \Delta T}$$

$$\alpha = \frac{240}{2.0 \cdot 20}$$

$$\alpha = 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

6. Abkühlzeit abschätzen

Zuerst berechnen wir die abgegebene Wärme:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T_{\text{Platte}} = 80^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C} = 30\text{ K}$$

$$Q = 2.0 \cdot 900 \cdot 30$$

$$Q = 54000\text{ J}$$

Die Temperaturdifferenz zur Umgebung ist am Anfang:

$$80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 60\text{ K}$$

Am Ende ist sie:

$$50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 30\text{ K}$$

Die mittlere Temperaturdifferenz ist ungefähr:

$$\Delta T_{\text{mittel}} = \frac{60 + 30}{2}$$

$$\Delta T_{\text{mittel}} = 45\text{ K}$$

Mittlerer Wärmestrom:

$$P_{\text{mittel}} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T_{\text{mittel}}$$

$$P_{\text{mittel}} = 12 \cdot 0.50 \cdot 45$$

$$P_{\text{mittel}} = 270\text{ W}$$

Zeit:

$$t = \frac{Q}{P_{\text{mittel}}}$$

$$t = \frac{54000}{270}$$

$$\boxed{t = 200 \text{ s}}$$