

## Wärmeübertragung I

### 14. Übung (Behältersieden)

#### 1. Aufgabe

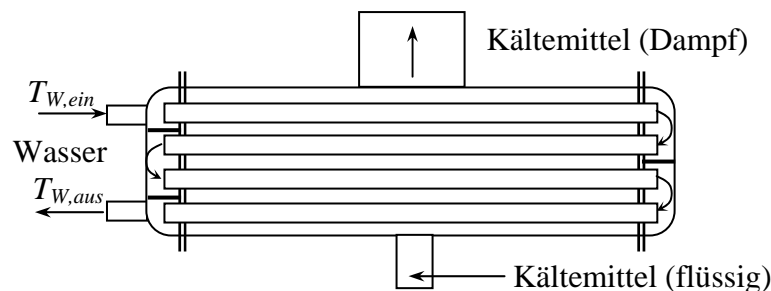
In einem Rohbündelverdampfer soll Leitungswasser von  $T_{W, \text{ein}} = 18^\circ\text{C}$  auf  $T_{W, \text{aus}} = 8^\circ\text{C}$  abgekühlt werden. Die Kühlung erfolgt durch das Kältemittel R134a ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ), das auf der Außenfläche der Stahlrohre ( $38 \times 3,5 \text{ mm}$ ) bei einem Druck von  $p = 2,9 \text{ bar}$  (Siedetemperatur  $T_s = 0^\circ\text{C}$ ) verdampft. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in den Rohren soll  $u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  betragen. Für die Verdampfung gilt:  $\alpha_v = C \cdot \dot{q}^n$

$$C_K = 36 \frac{(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})^{1-n_K}}{\text{K}}; \quad n_K = 0,25 \quad \text{im Bereich des Konvektionssiedens}$$

$$C_B = 1,56 \frac{(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})^{1-n_B}}{\text{K}}; \quad n_B = 0,70 \quad \text{im Bereich des Blasensiedens}$$

Bei welcher Gesamttemperaturdifferenz  $(T_W - T_s)_{Um}$  erfolgt der Umschlag von Konvektions- zu Blasensieden?

Bestimmen Sie für einen zu kühlenden Leitungswasserstrom von  $\dot{M}_W = 9 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  die erforderliche Übertragungsfläche, die Zahl der in einem Durchgang parallel liegenden Rohre (für  $u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) und die Anzahl der wasserseitigen Gänge für eine Rohrlänge von  $L = 5 \text{ m}$ .



#### Hinweise:

Für die Rechnung ist es zweckmäßig, die Kopplung von Energiebilanz und dem Ansatz für die Kinetik so durchzuführen, dass die Temperaturdifferenz eliminiert wird. Man erhält dann eine Differentialgleichung für die lokale Wärmeflussdichte  $\dot{q}(A)$ .

Der Wärmeübergangskoeffizient vom Wasser an die Rohrwand kann als unabhängig von der Rohrlänge betrachtet werden ( $d/L \ll 1$ ).

#### Daten:

$$\text{Dichte von Wasser } (\bar{T}_W = 13^\circ\text{C}) \quad \rho_W = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Kinematische Viskosität von Wasser } (\bar{T}_W = 13^\circ\text{C}) \quad \nu_W = 1,239 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Wärmeleitfähigkeit von Wasser ( $\bar{T}_W = 13\text{ °C}$ )  $\lambda_W = 0,590 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$

Spezifische Wärmekapazität von Wasser ( $\bar{T}_W = 13\text{ °C}$ )  $c_{p,W} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Wärmeleitfähigkeit des Rohres  $\lambda_R = 50 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$

## 2. Aufgabe (Klausuraufgabe)

Ein Flüssigkeitsstrom  $\dot{M}_L = 360 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  soll von  $T_{ein} = 24\text{ °C}$  auf  $T_{aus} = 8\text{ °C}$  abgekühlt werden. Er strömt durch waagerechte Rohre (38x3,5 mm), auf deren Außenseite ein Kältemittel bei der Temperatur  $T_s = 4\text{ °C}$  siedet. Es darf angenommen werden, dass der Wärmeübergangswiderstand vollständig auf der Kältemittelseite liegt. Jedes Rohr darf als Einzelrohr betrachtet werden.

Bei welcher Temperaturdifferenz  $\Delta T_{Um}$  tritt der Umschlag von Konvektions- in Blasensieden ein?

Stellen Sie die Differentialgleichung zur Bestimmung der benötigten Wärmeübertragungsfläche auf.

Wie groß ist die gesamte benötigte Fläche und auf welchem Teil dieser Fläche herrscht Blasensieden?

### Daten:

Spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeit

$$c_{p,L} = 4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Dichte des Kältemittels (bei 4°C)

$$\rho_K = 1296 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Dichtefunktion des Kältemittels

$$\rho_K(T) = (-3,33 \cdot T / \text{K} + 2204,5) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Kinematische Viskosität des Kältemittels (bei 4°C)

$$\nu_K = 0,206 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Wärmeleitfähigkeit des Kältemittels (bei 4°C)

$$\lambda_K = 0,092 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Spezifische Wärmekapazität des Kältemittels (bei 4°C)

$$c_{p,K} = 1,34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$\alpha = C \cdot \dot{q}^n \quad \text{mit} \quad C = 1,56 \cdot \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)^{1-n} \cdot \frac{1}{\text{K}} \quad n = 0,70 \quad (\text{für Blasensieden})$$