

## Wärmeübertragung I

### 6. Übung (Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten)

#### 1. Aufgabe

Im VDI-Wärmeatlas werden auf Seiten Cc 1 bis Cc 3 überschlägige Wärmedurchgangskoeffizienten für verschiedene Wärmeübertragerbauarten angegeben. So findet man z.B. für den Wärmetransport zwischen zwei Gasströmen bei Normaldruck für Rohrbündel- und Doppelrohrwärmeübertrager  $k$ -Werte von 5 bzw. 10 bis  $35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  (Mittelwert  $\approx 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ ). Für den Wärmetransport zwischen zwei Flüssigkeitsströmen findet man  $k$ -Werte von 150 bzw. 300 bis  $1200$  bzw.  $1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  (Mittelwert  $\approx 750 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ ). Der Wärmeübergangskoeffizient durch eine 2 mm dicke Stahlwand ist  $\alpha_S = 25000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ .

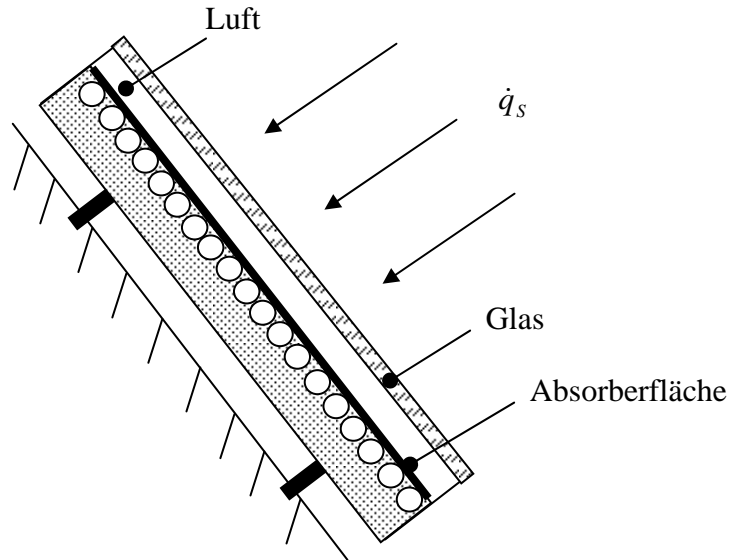
- Ermitteln Sie aus diesen Angaben die entsprechenden Werte der Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_G$  (Gasströmung - feste Wand) und  $\alpha_L$  (Flüssigkeitsströmung - feste Wand).
- Wie groß sind dann Wärmedurchgangskoeffizienten für den Wärmetransport zwischen einem Gasstrom und einem Flüssigkeitsstrom? Vergleichen Sie die Ergebnisse Ihrer Rechnung mit den Angaben im VDI-Wärmeatlas (Flüssigkeit gegen Gas ( $\approx 1$  bar)  $k = 15$  bis  $70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ ).
- Durch die Ablagerung von Schmutzschichten (Algen, Kalk, Staub, Kesselstein usw.) auf den Wänden von Wärmeübertragern erhöht sich der Wärmedurchgangswiderstand. Um dies bei der Auslegung von Wärmeübertragern zu berücksichtigen, benutzt man häufig den Begriff des Verschmutzungswiderstandes  $R_f$  (fouling resistance), der durch die Gleichung  $R_f = \frac{1}{k} - \frac{1}{k_0}$  definiert ist ( $k_0$  ist WDK des sauberen Apparates) und praktisch aus Versuchen bestimmt werden muss. Für Flusswasser liegt  $R_f$  etwa in der Größenordnung  $R_f \approx 0,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$  (unter  $50^\circ \text{C}$ ) und  $R_f \approx 0,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$  (über  $50^\circ \text{C}$ ). Für industrielle Gase (Luft) findet man ebenfalls Werte von  $R_f \approx 0,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$ .

Berechnen Sie den durch Schmutzschichten verursachten Minderungsfaktor  $\phi = \frac{k}{k_0}$  für einen Dampfturbinenkondensator mit  $k_0 = 4000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  und  $R_f \approx 0,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$  und für einen Gaserhitzer mit  $k_0 = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  und  $R_f \approx 0,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$ .

Diskutieren Sie die Ergebnisse. Was ist wohl der Grund dafür, dass  $R_f$  für Wasser über  $50^\circ \text{C}$  höhere Werte annimmt als für Temperaturen unter  $50^\circ \text{C}$ ?

## 2. Aufgabe

Ein einfacher Sonnenkollektor besteht aus der rückseitig isolierten, „schwarzen“ Absorberfläche ( $\varepsilon \approx 1$ ), die durch eine parallel dazu angeordnete Glasscheibe geschützt wird (s. Skizze).



Berechnen Sie die maximal an der Absorberfläche auftretende Temperatur  $T_{A,max}$  (d.h. für den Fall, dass dem Kollektor keine Nutzleistung entzogen wird).

### Annahmen:

Die Sonneneinstrahlung habe die konstante Leistungsdichte von  $\dot{q}_s = 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ . Die Glasscheibe sei für die auftretende Sonnenstrahlung (Intensitätsmaximum im sichtbaren Bereich) vollkommen durchlässig, für die von der Absorberfläche ausgehende (langwellige) Wärmestrahlung aber vollkommen undurchlässig („Treibhauseffekt“). Der Raum zwischen Absorberfläche und Glasscheibe ist mit Luft gefüllt. Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient (innen) zwischen Absorberfläche und Luft bzw. zwischen Luft und Glas beträgt jeweils  $\alpha_K = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ . Die Strahlungswärmeübertragung (im langwelligen Bereich) zwischen Absorberfläche und Glasscheibe soll näherungsweise durch einen konstanten Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_S = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  berücksichtigt werden.

Die Wärmeübertragung zwischen der Glasscheibe und der Umgebung (mit der Temperatur  $T_\infty = 10^\circ\text{C}$ ) soll pauschal, d.h. für Konvektion und Strahlung zusammen, durch einen konstanten Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_a = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$  erfasst werden. Der Temperaturunterschied innerhalb der Glasscheibe ist vernachlässigbar (dünnes Glas). Wärmeverluste nach unten oder über die Ränder des Kollektors sind ebenfalls zu vernachlässigen.