

## Thermodynamik II – Rechenübung 10

### Aufgabe 1

In einem geothermischen Feld wird Heisswasser ( $c = 4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ) bei einer Temperatur von  $180^\circ\text{C}$  mit einem Massenstrom von  $1.5 \text{ kg/s}$  gewonnen und über eine  $800 \text{ m}$  lange überirdische Leitung (Lufttemperatur  $12^\circ\text{C}$ ) zum Maschinenhaus geführt. Der Innendurchmesser des Rohres beträgt  $8 \text{ cm}$  und die Wandstärke  $5 \text{ mm}$ . Die Leitung wird mit Steinwolle ( $\lambda = 0.038 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) so isoliert, dass sich das Heisswasser auf dem Transport um höchstens  $5 \text{ K}$  abkühlt. Die Leitung ist im Mittel einem Querwind von  $5 \text{ m/s}$  ausgesetzt.

Der innere konvektive Wärmeübergang und die Rohrwand können als Wärmewiderstände vernachlässigt werden!

Bestimmen Sie den äusseren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten unter der Annahme, dass der gesamte Durchmesser der isolierten Leitung  $25 \text{ cm}$  beträgt und berechnen Sie danach die effektiv notwendige Dicke der Isolation.

Die dabei auftretende implizite Gleichung ist durch Iteration zu lösen, so dass die Abweichung  $< 0.005$  ist.

Die Nusseltbeziehung für einen quer angeströmten zylindrischen Körper ist:

$$Nu_D = \frac{\alpha D}{\lambda} = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^{1/3}$$

$Re_D$	$C$	$m$
0.4 – 4	0.989	0.330
4 – 40	0.911	0.385
40 – 4000	0.683	0.466
4000 – 40000	0.193	0.618
40000 – 400000	0.027	0.805

Eigenschaften von Luft bei  $12^\circ\text{C}$ :  $\nu = 14.55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\lambda = 0.0251 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  $Pr = 0.711$

## Aufgabe 2

Ein elektrischer Speicherofen wird im Inneren auf  $300^\circ\text{C}$  aufgeheizt. Gegen aussen wird er so isoliert, dass die senkrechte  $1.5\text{ m}$  hohe Abdeckung nicht wärmer als  $40^\circ\text{C}$  wird, wenn die Raumtemperatur  $20^\circ\text{C}$  beträgt. Als Isolationsmaterial wird Schaumglas verwendet ( $\lambda = 0.036\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ). Wie dick muss die Isolierung gewählt werden?

Zusatzfrage: Was passiert (qualitativ), wenn der Speicherofen (mit der oben berechneten Isolationsschicht) mit einer Bettdecke zugedeckt wird.

Eigenschaften von Luft bei  $30^\circ\text{C}$ :  $\nu = 16.2 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\lambda = 0.0265\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  $Pr = 0.707$

## Aufgabe 3

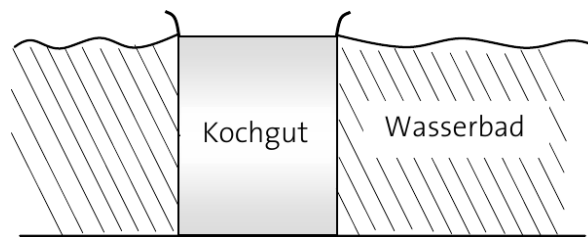


Abbildung 1: Querschnittsansicht

5 Liter eines Kochgutes mit  $T_K = 80^\circ\text{C}$  werden in einer Pfanne (Durchmesser  $20\text{ cm}$ ) zum Abkühlen in ein Wasserbad von  $15^\circ\text{C}$  gestellt. Der äussere Wasserspiegel entspricht der Füllhöhe in der Pfanne. Die äussere Oberflächentemperatur entspricht derjenigen des Kochgutes, da die Wärmeleitfähigkeit der Pfanne sehr gut ist und der Pfanneninhalt so heftig gerührt wird, dass der innere Wärmeübergangswiderstand vernachlässigbar klein wird.

- Berechnen Sie den konvektiven Wärmeübergang an den äusseren senkrechten Wänden der Pfanne zu Beginn des Abkühlvorganges.
- Wie gut stimmt die Annahme des konstanten  $\alpha$ -Wertes? Vergleichen Sie den Endwert ( $T_K = 30^\circ\text{C}$ ) mit dem Anfangswert ( $T_K = 80^\circ\text{C}$ ).
- Wie lange dauert es, bis das Kochgut auf  $30^\circ\text{C}$  abgekühlt ist, unter der Annahme, dass der konvektive Wärmeübergangskoeffizient konstant bleibt und die übrigen Wärmeübergänge (Boden, Oberfläche) vernachlässigt werden können? Verwenden Sie für den äusseren Wärmeübergangskoeffizienten den Mittelwert aus Aufgabe a) und b).

Verwenden Sie für die Eigenschaften des Kochgutes diejenigen des Wassers.

Eigenschaften von Wasser:

$$\begin{aligned} \rho &= 993\text{ kg}/\text{m}^3 & c_p &= 4178\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \\ \lambda &= 0.628\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) & Pr &= 4.62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu &= 0.7 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s} \\ \beta &= 361.9 \cdot 10^{-6}\text{ 1}/\text{K} \end{aligned}$$

## Aufgabe 4

Aus einem Behälter strömen  $\dot{m} = 1600 \text{ kg/h}$  Methanol durch ein  $L = 18 \text{ m}$  langes Kupferrohr von  $d_i = 2 \text{ cm}$  Innendurchmesser und  $d_a = 2.4 \text{ cm}$  Aussendurchmesser in einen Kühler. Die Rohrleitung ist waagrecht in einem Raum mit einer Temperatur von  $\theta_L = 20^\circ\text{C}$  verlegt. Das Kupferrohr ( $\lambda_{Cu} = 390 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ) ist mit einer  $s = 2 \text{ cm}$  dicken Korkschicht isoliert. Die Temperaturen des Methanols wurden im Behälter zu  $\theta_1 = -32.8^\circ\text{C}$  und vor Eintritt in den Kühler zu  $\theta_2 = -32.2^\circ\text{C}$  gemessen.

Wegen Durchfeuchtung ist die Wärmeleitfähigkeit des Korks erhöht! Auf welchen Wert?

Stoffwerte von Methanol:  $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ ;  $\lambda = 0.221 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ;  $c = 2.26 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ ;  $\mu = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$

Wärmeleitfähigkeit von Kork:  $\lambda_{Kork} = 0.043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

Stoffwerte Luft bei  $20^\circ\text{C}$ :  $Pr = 0.71$ ;  $\rho = 1.189 \text{ kg/m}^3$ ;  $\nu = 15.26 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\lambda = 0.0265 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

## Aufgabe 5

Ein elektrischer Transformator von  $300 \text{ mm}$  Durchmesser und  $500 \text{ mm}$  Höhe gibt  $1000 \text{ W}$  Wärmeleistung ab. Um seine Oberflächentemperatur auf  $47^\circ\text{C}$  zu halten, wird eine dickwandige, aufgelötete Rohrwicklung mit  $20 \text{ mm}$  Innendurchmesser mit Glycerin von  $24^\circ\text{C}$  gespiesen. Es wird angenommen, dass die gesamte vom Transformator dissipierte Wärme vom Glycerin absorbiert wird.

Berechnen Sie unter Annahme einer maximal möglichen Temperaturzunahme der Kühlflüssigkeit von  $6 \text{ K}$  und voll ausgebildeter Strömung in der Rohrleitung den notwendigen Kühlmittelmassenstrom, die Gesamtlänge der Leitung und den Abstand  $S$  zwischen zwei Umläufen der Wicklung.

Stoffwerte von Glycerin bei  $300 \text{ K}$ :  $c_p = 2427 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ ;  $\mu = 79.9 \cdot 10^{-2} \text{ Ns/m}^2$ ;  $\lambda = 0.286 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ;  $Pr = 6780$ ;  $\rho = 1259.9 \text{ kg/m}^3$

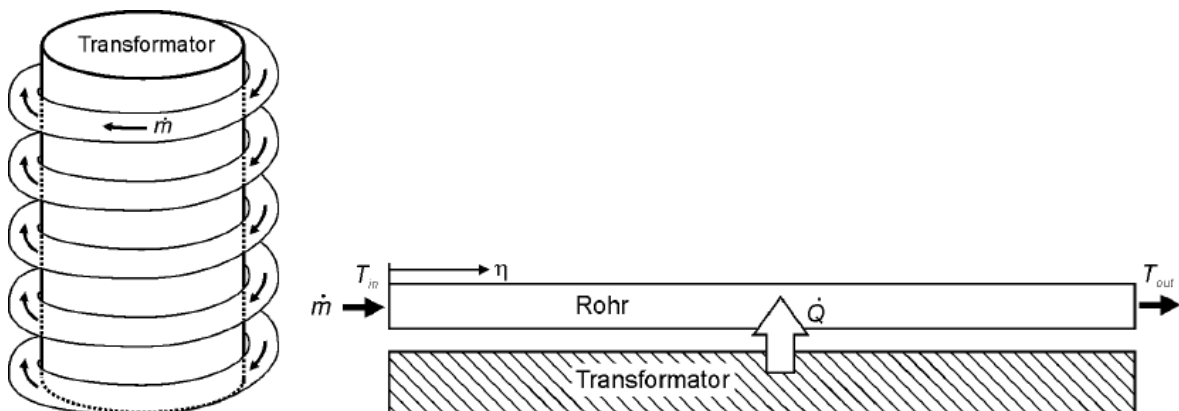


Abbildung 2: Skizze des Transformators