

*Wärmeleitung - Fortsetzung*

1. Aufgabe:

Ein dünnwandiges Kupferrohr (Außendurchmesser  $D$ ) wird von einem heißen Fluid mit der Temperatur  $T_F$  durchströmt. Die Wärmeübergangszahl an der Innenseite sei bekannt. Zur Verringerung von Wärmeverlusten wird das Rohr mit einer Isolierschicht umhüllt ( $\lambda, R_i, R_a$ ). An der Außenseite der Isolierung wird Wärme durch Konvektion an die Umgebung ( $T_\infty$ ) abgeführt. Die Wärmeübergangszahl  $\alpha$  ist bekannt.

Voraussetzungen: stationär; das Rohr ist sehr lang  $\rightarrow$  eindimensional in radialer Richtung; aufgrund des geringen thermischen Widerstandes soll die Wärmeleitung im Kupferrohr nicht berücksichtigt werden  $\rightarrow$  die Temperatur an der Außenseite des Kupferrohres sei mit  $T_i$  bekannt.

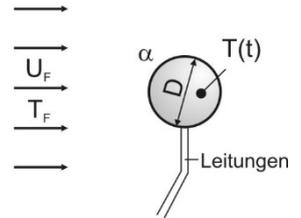
Aufgabenstellung:

- a) Bestimmen Sie, ob eine optimale Dicke der Isolierschicht existiert, um den Wärmeverlust des Systems zu minimieren.
- b) Stellen Sie den Verlauf der thermischen Widerstände für Leitung bzw. Konvektion sowie den gesamten thermischen Widerstand in Abhängigkeit von der Isolierschichtdicke dar.

**Zahlenangaben:**  $D = 10 \text{ mm}$        $\alpha = 5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$        $\lambda = 0,055 \text{ W/m K}$

2. Aufgabe:

Thermoelemente zur Messung von Temperaturen besitzen als eigentlichen Fühler durchwegs einen kugelförmigen Metallkopf mit geringem Durchmesser, der nach einer bestimmten Zeit die Temperatur des zu vermessenden Objektes annimmt, und daraus die entsprechende Thermospannung generiert. Die prinzipielle Anordnung zur Messung in einem Luftstrom zeigt die nebenstehende Abbildung.



Vor dem Einbringen in den Luftstrom hat der Kopf die Temperatur  $T_A$ . Es soll ermittelt werden, nach welcher Zeit  $t_{\text{end}}$  der Messfehler nur mehr  $1^\circ\text{C}$  beträgt, der Metallkopf also fast die Temperatur des Luftstromes angenommen hat. Der Strömungszustand und die davon abhängige Wärmeübergangszahl  $\alpha$  können als bekannt vorausgesetzt werden.

**Zahlenangaben:**

<b>Element:</b>	$\lambda = 20 \text{ W/mK}$	$c = 400 \text{ J/kg K}$	<b>Luft:</b>	<b>Wärmeübergangszahl:</b>
$D = 0,7 \text{ mm}$	$\rho = 8500 \text{ kg/m}^3$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_F = 200^\circ\text{C}$	$\alpha = 400 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

3. Aufgabe:

In einer Platte der Dicke  $2L$  (die Ausdehnung in den beiden anderen Richtungen kann vereinfacht als unendlich betrachtet werden) aus Reaktormaterial ( $\rho, \lambda, c$ ) wird durch entsprechende Reaktionen Energie eingetragen, was als räumlich gleichmäßig verteilte Wärmequellen behandelt werden kann. Die zeitlich veränderliche Energieproduktion dieser Wärmequellen ( $\text{W/m}^3$ ) folgt der Beziehung:

$$\dot{q}_Q(t) = \dot{q}_{Q,0} \cdot e^{-bt} \quad \text{mit } \dot{q}_{Q,0}, b \dots \text{Konstante}$$

Diese Reaktorplatte ist vollständig von Kühlmittel mit der konstanten Temperatur  $T_F$  umgeben, das Wärme durch Konvektion (Wärmeübergangszahl  $\alpha$ ) abführt. Die Temperatur der Platte sei anfänglich gleich der Umgebungstemperatur  $T_F$ .

- a) Prüfen Sie zuerst anhand der relevanten Kennzahl, ob die Voraussetzungen für die Annahme räumlich konstanter Temperatur in der Platte zutreffen.
- b) Bestimmen Sie den zeitlichen Temperaturverlauf  $T(t)$  in der Platte unter der Annahme, dass die Temperatur im Plattenmaterial räumlich konstant ist.

- c) Bestimmen Sie die Zeitdauer  $t_{\max}$ , nach der die Platte ihre maximale Temperatur  $T_{\max}$  erreicht. Berechnen Sie auch  $T_{\max}$ .
- d) Berechnen Sie den bis zum Zeitpunkt  $t = t_{\max}$  vom Kühlmittel abgeführten Anteil der insgesamt bis zu diesem Zeitpunkt erzeugten Wärmemenge.

**Zahlenangaben:**

$\rho = 19100 \text{ kg/m}^3$	$\lambda = 2,9 \text{ W/mK}$	$\alpha = 200 \text{ W/m}^2 \text{ K}$	$\dot{q}_{Q,0} = 10^7 \text{ W/m}^3$
$c = 117 \text{ J/kg K}$	$L = 0,005 \text{ m}$	$T_F = 300 \text{ K}$	$b = 10^{-5} \text{ 1/s}$

4. Aufgabe - Zusatzaufgabe:

Gegeben ist ein im Vergleich zur Querabmessung langer Stab mit kreisförmigem Querschnitt (Durchmesser  $d = 5 \text{ mm}$ ), dessen Ende bei  $x = 0$  auf konstanter Temperatur von  $T_0 = 100^\circ\text{C}$  gehalten wird. Diese Konfiguration kann als eine einfache Kühlrippe zur Vergrößerung des Wärmeüberganges von einer Oberfläche betrachtet werden. An der Oberfläche des Stabes wird Wärme durch Konvektion an die Umgebung mit der Temperatur  $T_F = 25^\circ\text{C}$  abgegeben. Die Wärmeübergangszahl ist mit  $\alpha = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$  bekannt.

Unter der Annahme, dass die Wärmeleitung im Stab nur in  $x$ -Richtung erfolgt (quasi eindimensional), sind folgende Berechnungen für drei verschiedene Materialien durchzuführen.

- a) Welche Randbedingungen sind an der Stirnfläche des Stabes ( $x = L$ ) möglich?
- b) Berechnen Sie die Temperaturverteilung  $T(x)$  im Stab unter der Annahme, dass der Stab unendlich lang sei.
- c) Welcher Wärmestrom kann durch diesen Stab abgeführt werden?
- d) Wie lang muss der Stab (abhängig vom Material) sein, um als „unendlich lang“ zu gelten?

<b>Stoffwerte:</b>		Kupfer	Aluminium	Stahl
	$\lambda \text{ [W/mK]}$	398	180	14