Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Thermodynamik II – Rechenübung 7

Aufgabe 1

In einem Stahlrohr wird ein Gas bei einer Temperatur von $250°C$ transportiert. Das Rohr soll von aussen so beheizt werden, dass sich das Gas weder erwärmt noch abkühlt. Der Aufbau von innen nach aussen ist wie folgt:

- Stahlrohr, $D_{aussen} = 0.8\,cm$
- Elektrische Isolation, $0.2\,cm$ dick, $\lambda = 0.45\,W/(m \cdot K)$
- Elektrische Heizfolie, unendlich dünn
- Steinwolle, $2\,cm$ dick, $\lambda = 0.040\,W/(m \cdot K)$

Der Wärmeübergangskoeffizient aussen beträgt $12\,W/(m^2 \cdot K)$ und die Umgebungstemperatur beträgt $20°C$.

a) Zeichnen Sie qualitativ die radiale Temperaturverteilung auf.

b) Berechnen Sie die notwendige Heizleistung für ein Rohr von $3\,m$ Länge.

c) Berechnen Sie die Oberflächentemperatur.

Aufgabe 2

Eine semi-transparente Platte (siehe Abbildung 1) wird von oben durch einen Solarsimulator bestrahlt, wobei die abgegebene Strahlung vorgegeben werden kann. Die Intensität dieser Strahlung ändert sich durch die Platte (x-Richtung) mit $I(x) = I_0 \cdot e^{-a \cdot x}$ und generiert eine innere Wärmequelle $\dot{Q}'''(x) = -dI/dx$.

a) Berechnen Sie den Temperaturverlauf in der Platte als Funktion von x, I_0, a, λ, d, T_1 und T_2.

b) Wie ändert sich der Wärmeübergang an der Ober- und Unterkante der Platte, wenn statt $T_{1_I} = 299\,K$ (Fall I) nun $T_{1_{II}} = 296\,K$ (Fall 2) gilt? Skizzieren Sie für beide Fälle den Temperaturverlauf durch die Platte. Verwenden Sie folgende Zahlenwerte: $I_0 = 1\,kW/m^2$, $a = 0.5\,m^{-1}$, $\lambda = 1.4\,W/(m \cdot K)$, $d = 10\,cm$, $T_2 = 300\,K$

c) Wie gross muss I_0 sein, damit keine Wärme über die Unterseite der Platte übertragen wird? Verwenden Sie die Zahlenwerte von b) für Fall 1 ($T_1 = 299\,K$).

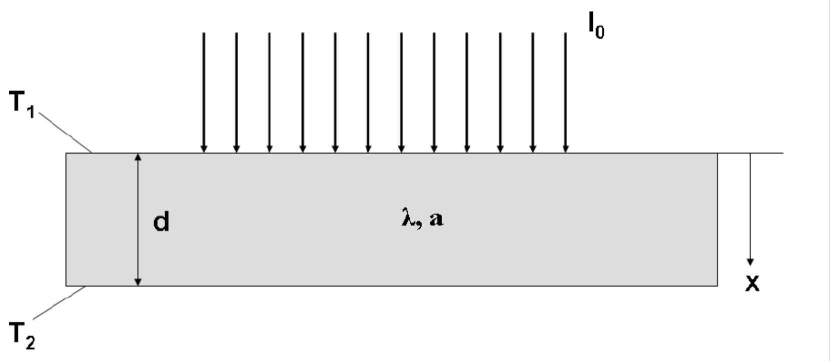

Abbildung 1: Querschnitt der Platte

Aufgabe 3

Thyristoren, wie sie z.B. für die Steuerung von Lokomotiven eingesetzt werden, bestehen im Wesentlichen aus einer Si-Scheibe der Dicke 2 L, welche zwischen zwei metallischen Leiterplatten (Dicke d) eingebaut ist. Während des Betriebes wird die Si-Scheibe von einem Strom durchflossen, der eine gewisse Wärmemenge $\dot{Q}'''$ freisetzt. Diese Wärme wird einseitig durch einen Ölstrom mit der Temperatur T_∞ abgeführt. (Die andere Seite kann als ideal isoliert angenommen werden). Der Wärmeübergangskoeffizient α und die Wärmeleitfähigkeiten λ_{Si} und λ_{Metall} seien gegeben.

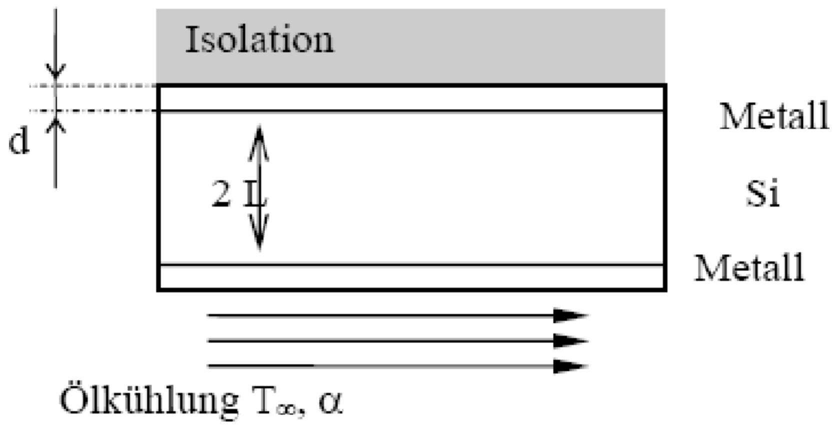

Abbildung 2: Thyristor

a) Leiten Sie eine Gleichung für die Temperaturverteilung $T(x)$ im Thyristor her. Drücken Sie das Resultat als eine Funktion von $\dot{Q}'''$, λ_{Metall}, λ_{Si}, α, L, d und T_∞ aus!

b) Skizzieren Sie qualitativ die Temperaturverteilung im gesamten Thyristor!

Aufgabe 4

Für die Entsorgung von radioaktiven Abfällen werden diese in Glas eingegossen. Es entstehen Blöcke mit einer homogenen inneren Wärmequelle. Für die eindimensionale Behandlung dieses Problems betrachten wir eine Schicht von $0.4\,m$ Dicke, beidseitig gekühlt. Die Kühlung geschieht einmal

a) durch eine Flüssigkeit mit $\alpha = 500\,W/(m^2 \cdot K)$ und

b) mit Luft durch freie Konvektion mit $\alpha = 15\,W/(m^2 \cdot K)$.

Die Fluidtemperatur T_∞ sei in beiden Fällen $20°C$. Wie gross darf die volumenspezifische Wärmebelastung in den beiden Fällen a) und b) sein, wenn die Maximaltemperatur im Inneren $400°C$ nicht übersteigen darf ($\lambda_{glas} = 0{,}81\,W/(m \cdot K)$)?

c) Diskutieren Sie das Resultat als Funktion der Biot-Zahl.

Aufgabe 5

Gegeben ist eine ebene Wand der Breite L aus homogenem Material und ohne Wärmequellen im Inneren. Zum Zeitpunkt $t_i \leq t_0$ hat die Wand eine homogene Temperatur T_i. Eine Wandoberfläche sei isoliert. Die andere wird ab $t_0 = 0$ bei $x = L$ von einem Fluid beheizt. Das Fluid hat eine Temperatur T_∞ und der Wärmeübergang wird durch einen Koeffizienten α beschrieben.

a) Schreiben Sie die Differentialgleichung und die entsprechenden Anfangs- und Randbedingungen auf, die die Temperaturverteilung innerhalb der Wand als eine Funktion der Zeit und des Ortes beschreiben.

b) Zeichnen Sie in einem $T - x$–Koordinatensystem die Temperaturverteilung innerhalb der Wand zu den Zeitpunkten $t_i \leq t_0$, $t \to \infty$ und zu zwei Zeiten dazwischen ein.

c) Zeichnen Sie in einem $\dot{Q}'' - t$–Koordinatensystem den auf die Fläche bezogenen Wärmestrom bei $x = 0$ und $x = L$ ein.

d) Leiten Sie einen Ausdruck für die zur Wand total übertragene spezifische innere Energie (pro Volumeneinheit) her.