Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Institut für Energietechnik
Laboratorium für Thermodynamik in neuen Technologien

Prof. Dimos Poulikakos

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Thermodynamik II
Frühjahrssemester 2019

Probeprüfung, LTNT

27. Mai 2019
13:15 – 15:15 Uhr

Nachname:______________ Vorname:________________

Legi-Nr.: ______________________________________

Anzahl abgegebener Blätter: __________________

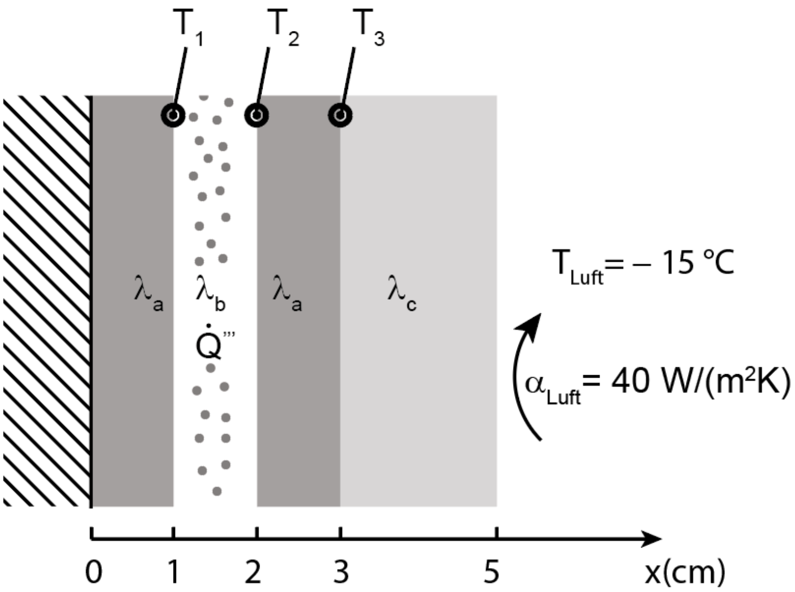
Hinweise:

- Verwenden Sie für jede Aufgabe ein neues Blatt.
- Schreiben Sie auf jedes Blatt Ihren Namen und Ihre Leginummer.
- Legen Sie nach der Prüfung alle Lösungsblätter in die Aufgabenstellung.
- Schreiben Sie NICHT mit Bleistift, roten oder grünen Stiften.
- Schreiben Sie jeden Zwischenschritt und jedes Zwischenresultat auf.
- Runden Sie die Ergebnisse sinnvoll.
- Mehrfache Lösungsvarianten und unleserliche Lösungen werden nicht bewertet.
- Unmotivierte Lösungsversuche bekommen keine Punkte.

Erlaubte Hilfsmittel: 8 A4-Blätter eigene Zusammenfassung, Taschenrechner gem. Einschränkungen, Tabellen, Zusammenfassung LTNT, Zusammenfassung LAV.

Aufgabe	Punkte	Max.	1. Korrektur	2. Korrektur
1		19		
2		21		
Total		**40**		

Aufgabe 1 – Beheizte ebene Wand (19 Punkte)



Eine mehrschichtige ebene Wand besteht aus den Materialien a ($\lambda_a = 0.5$ W/(m·K)), b ($\lambda_b = 1$ W/(m·K)) und c ($\lambda_c = 2$ W/(m·K)). Die Schicht c wird von einer volumetrischen Wärmequelle $\dot{Q}'''$ beheizt. Für $x \leq 0$ ist die Wand perfekt isoliert. Die maximale Temperatur in der Wand muss mindestens 45 °C betragen. Annahme: Der Vorgang ist stationär und die Wärmeleitung eindimensional.

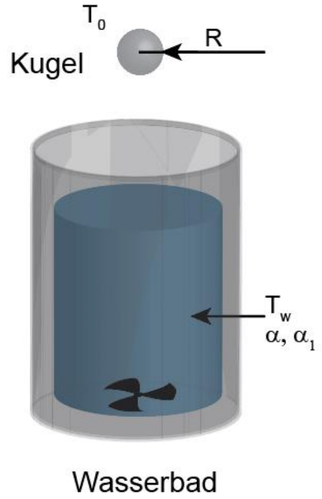
a) (4 Punkte) Berechnen Sie für die Schicht c und die Konvektion von der Wand zur Luft die jeweiligen flächigen Wärmewiderstände $(A \cdot R_C)$ bzw. $(A \cdot R_{Luft})$.

b) (9 Punkte) Bestimmen Sie den Ort der maximalen Temperatur in der Wand und die minimal benötigte volumetrische Wärmequelle $\dot{Q}'''$ in der Schicht b.

c) (6 Punkte) Skizzieren Sie qualitativ den Temperaturverlauf von $x = 0$ bis $x = 7$ cm. Zeichnen Sie das Diagramm gross. Unklare Temperaturverläufe geben keine Punkte.

Aufgabe 2 – Temperatur in einer Kugel (21 Punkte)

Eine Kugel (Radius $R = 2.5$ cm) mit uniformer Anfangstemperatur $T_0 = 800$ K wird zur Zeit t_0 in einem grossen Wasserbad mit einer uniformen, konstanten Temperatur $T_\mathrm{w} = 320$ K abgeschreckt. Ein Rührmotor sorgt für höhere Konvektion ($\alpha = 75$ W/(m²·K)). Die Materialeigenschaften der Kugel sind $\rho = 400$ kg/m³, $c = 1600$ J/(kg·K) und $\lambda = 1.7$ W/(m·K).



a) (5 Punkte) Kann die Temperaturverteilung in der Kugel als uniform angenommen werden für $t > t_0$? Zeichnen Sie qualitativ die Temperaturverlauf $T(t)$ im Zentrum der Kugel ($T(t, r = 0\text{ cm})$) sowie an der Oberfläche ($T(t, r = R)$) .

b) (3 Punkte) Berechnen Sie die Zeit t_1, die die Kugel im Wasserbad verbringen muss, bis die Kugeloberfläche die Temperatur $T(t_1, r = R) = 415$ K erreicht hat. Nutzen Sie die entsprechende Lösung der Wärmeleitungsgleichung (unten gegeben).

c) (2 Punkte) Bestimmen Sie den Wärmestrom an der Kugeloberfläche zum Zeitpunkt t_1.

d) (5 Punkte) Zeichnen Sie qualitativ den radialen Temperaturverlauf in der Kugel und im Wasser zu zwei verschiedenen Zeitpunkten ($t_2 < t_3$).

e) (3 Punkte) Zum Zeitpunkt t_1 hat die Kugel 85% ihrer inneren Energie verloren. Die Kugel wird zum Zeitpunkt t_1 aus dem Wasser genommen und sofort perfekt isoliert. Bestimmen Sie die Temperatur innerhalb der Kugel nachdem das System sein thermodynamisches Gleichgewicht erreicht hat. Als Referenztemperatur für die Berechnung der inneren Energie soll die Wassertemperatur genutzt werden.

f) (3 Punkte) Der Rührmotor des Wasserbades fällt aus, sodass die Konvektion auf $\alpha_1 = 6$ W/(m²·K) sinkt. Bestimmen Sie für diesen Fall die Zeit t_1' bis die Kugeloberfläche die Temperatur $T(t_1', r = R) = 415$ K erreicht hat.

Nicht uniform:

$$\frac{T(r,t)-T_\mathrm{W}}{T_0-T_\mathrm{W}} = C_1 \frac{\sin(\zeta_1 r/R)}{\zeta_1 r/R}\exp(-\zeta_1^2 Fo)$$

$Fo = \dfrac{a \cdot t}{R^2}$, a: thermische Diffusivität

*Biot Zahl**	$\zeta_1\ [rad]$	$C_1\ [-]$
0.2	0.7593	1.0592
0.4	1.0528	1.1164
0.6	1.2644	1.1713
0.8	1.4320	1.2236
1	1.5708	1.2732
2	2.0288	1.4793
4	2.4556	1.7201

*charakteristische Länge: Radius R

Uniform:

$$\frac{T(r,t)-T_\mathrm{W}}{T_0-T_\mathrm{W}} = \exp\left(-\frac{\alpha A}{Mc}t\right)$$

A: Oberfläche der Kugel
M: Masse der Kugel