 <b>Fachhochschule Jena</b> University of Applied Sciences Jena Fachbereich Grundlagenwissenschaften	Lehrgebiet Physik
	Wärmetransport (Wärmeleitung, Wärmeübergang, Wärmedurchgang)
	<b>Serie WT-1</b>

1. Ein Kupferstab von 1,57 m Länge und einem Durchmesser von 100 mm ist über seinen Umfangs wärmeisoliert. Zwischen seinen Enden wird eine Temperaturdifferenz von 100 K aufrechterhalten. ( $\lambda_{\text{Cu}} = 350 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )

Berechnen Sie die in einer Stunde übertragene Wärmeenergie und den Wärmeleitwiderstand.

2. Es ist eine ebene Wand mit den Oberflächentemperaturen  $T_1$  und  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) und der Stärke  $d$  gegeben. Die Wärmeleitfähigkeit ist temperaturabhängig  $\lambda = a + b T$   
 a) Wie groß ist die Wärmestromdichte durch die Wand?

Zusatzaufgabe:

b) Berechne und zeichne den Temperaturverlauf in der Wand!

3. Durch eine 3-Platten-Anordnung fließt ein 1-dimensionaler Wärmestrom. Im Material 1 wird durch Heizen  $\vartheta_1 = 80^\circ\text{C}$  aufrechterhalten. Die Randtemperaturen  $\vartheta_2 = 60^\circ\text{C}$  und  $\vartheta_3 = 50^\circ\text{C}$  des Materials 3

( $d_3 = 2\text{cm}, \lambda_3 = 1 \text{ W}/\text{mK}$ ) werden gemessen.

- a) Welche Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_2$  hat das Material 2 ( Schichtdicke  $d_2 = 3\text{cm}$  ) ?  
 b) Wie groß ist die Wärmestromdichte durch die Grenzfläche Material 1 / Material 2 ?  
 c) Mit derartigen Apparaturen werden unbekannte Wärmeleitfähigkeiten gemessen. Unter welchen Bedingungen ist der Temperaturverlauf in einer Schicht linear ?  
 d) Berechne den k-Wert der Plattenkombination Material 2 / Material 3 !

4. In eindimensionaler Schreibweise lautet die Energietransportgleichung

$$\rho c \cdot \frac{dT}{dt} + \frac{d}{dx} \left( -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \right) = \frac{j^2}{\kappa}$$

Hierin sind  $j$  die elektrische Stromdichte im Draht der elektrischen Leitfähigkeit  $\kappa$  und der Feldstärke  $E$ .

$$(j = E \cdot \kappa)$$

Wie vereinfacht sich diese Differentialgleichung für

- a) konstante Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$   
 b) konstante Wärmeleitfähigkeit sowie Quellen- und Senkenfreiheit  
 c) stationäre Verhältnisse  
 d) stationäre Verhältnisse und elektrisch isolierendes Material
5. Eine frei aufgehängte Metallkugel von 10 cm Durchmesser empfängt durch Sonnenstrahlung je Stunde 8 kJ. Welche Temperatur erreicht sie, wenn die Außentemperatur  $\vartheta = 15^\circ\text{C}$  und der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha = 18 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ hK})$  beträgt ?

6. Welcher Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  ergibt sich für eine frei verlegte, 1,5 mm dicke Kupferleitung, die , mit der höchstzulässigen Stromstärke 25 A belastet, sich im Dauerbetrieb um 35 K über die Außentemperatur von 25°C erwärmt? (Spez. Widerstand  $\rho = 0,02 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$  )
7. Ein Hörsaal hat einfache Fenster von insgesamt  $8 \text{ m}^2$  Fensterfläche und 4 mm Glasdicke. Welche Wärme geht im Verlauf von 8 Stunden verloren, wenn die Temperaturen innen 18°C bzw. außen -5°C betragen? Die Wärmeübergangskoeffizienten betragen 20 bzw.  $50 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ h K})$ , die Wärmeleitfähigkeit des Glases  $3 \text{ kJ}/(\text{m h K})$ .
8. Ein Warmwasserspeicher von  $30 \text{ dm}^2$  Oberfläche und einer Wanddicke von 0,50 cm soll bei einer Raumtemperatur von 25°C Wasser von 90°C speichern. Die Wärmeübergangskoeffizienten sind innen  $1,2 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  , außen  $6,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  . Die Wärmeleitfähigkeit des Wandmaterials ist  $1,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  .  
Wärmeübertragungsfläche:  $A = 30 \text{ dm}^2$   
Berechnen Sie den Wärmedurchgangskoeffizienten und die mittlere Heizleistung, die zur Aufrechterhaltung der Temperaturdifferenz erforderlich ist.
9. Welche Wärmemenge dringt je Stunde durch ein  $3 \text{ m}^2$  großes Doppelfenster in einen Kühlraum, wenn folgende Werte gegeben sind: Wärmeübergangskoeffizient außen  $\alpha_1 = 105 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ h K})$ , innen  $\alpha_2 = 25 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{ h K})$ , Wärmeleitfähigkeit für Glas  $\lambda = 2,7 \text{ kJ}/(\text{m h K})$ , Wärmeleitwiderstand des Luftzwischenraums  $0,05 \text{ m}^2 \text{ h K}/\text{kJ}$ , Scheibendicke  $d = 4 \text{ mm}$  , Temperatur außen  $\vartheta_1 = 30^\circ\text{C}$ , innen  $\vartheta_2 = -8^\circ\text{C}$  ?
10. Ein Verbundfenster der Fläche  $A$  besteht aus zwei Glasscheiben der Dicke  $d_1$  , zwischen denen sich eine Luftschicht befindet. Das Glas hat die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_1$  , die Luftschicht den Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_2$  . (Die Konvektion ist damit berücksichtigt.) Die Wärmeübergangskoeffizienten sind innen  $\alpha_i$  (Zimmerluft ruhend) und außen  $\alpha_a$  (Außenluft leicht bewegt). Die Innentemperatur ist  $\vartheta_i$  , die Außentemperatur  $\vartheta_a$  .  
 $A = 2,0 \text{ m}^2, d_1 = 3,5 \text{ mm}, d_3 = 5,4 \text{ mm}$  ,  $\lambda_1 = 0,85 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}), k_2 = 5,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$   
 $\alpha_i = 12,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \alpha_a = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ,  $\vartheta_i = 22^\circ\text{C}, \vartheta_a = -10^\circ\text{C}$  .  
a) Berechnen Sie die Heizleistung  $P_2$  , die erforderlich ist, um den Energieverlust, den der Wärmestrom durch das Fenster verursacht, zu ersetzen!  
b) Welchen Wert  $P_1$  nimmt die erforderliche Heizleistung an, wenn das Fenster nur eine Scheibe der Dicke  $d_3$  hat?

11. Eine Hauswand besteht von innen nach außen aus

$s_1 = 2,5 \text{ cm}$  Putz ( $\lambda_1 = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )

$s_2 = 28,0 \text{ cm}$  Ziegel ( $R = 0,35 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ )

$s_3 = 2,5 \text{ cm}$  Putz ( $\lambda_3 = \lambda_1$ )

Mit einer IR-Kamera wurden gemessen:

Außenlufttemperatur  $\vartheta_a = 0^\circ\text{C}$

Innenlufttemperatur  $\vartheta_i = 25^\circ\text{C}$

Wandoberflächentemperatur außen  $\vartheta_{oa} = 4^\circ\text{C}$

Wandoberflächentemperatur innen  $\vartheta_{oi} = 20^\circ\text{C}$

- Berechne die Wärmestromdichte und den Wärmeverlust durch eine Wandfläche von  $40 \text{ m}^2$ .
- Berechne die Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_a$  (Grenzschicht außen) und  $\alpha_i$  (innen) sowie die Wärmeübergangswiderstände  $R_i$  und  $R_a$  ! Wovon hängen die  $\alpha$ -Werte ab?

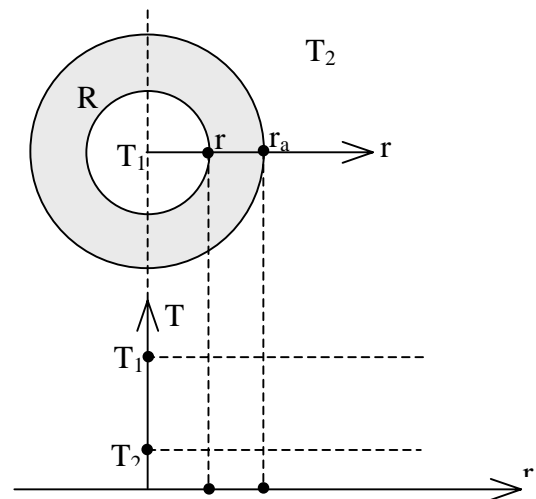
### Zusatzaufgaben

12. Durch eine Rohrleitung  $R$  mit konstanter Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  fließt Wasser mit der Temperatur  $T_1$ .

Die Umgebungslufttemperatur ist kleiner. Die Temperatur bei  $r = r_i$  wird mit  $T_i$  bezeichnet.

$T$  an der Stelle  $r = r_a$  heißt  $T_a$ .

- Zeichne das  $T$ -Profil zwischen  $T_1$  und  $T_2$  in die Skizze ein.
- Begründe die Profilform zwischen  $r_i$  und  $r_a$ .
- Formuliere weitere Bedingungen, unter denen die eingezeichnete Profilform gilt.



Skizze:

13. Ein Einfachfenster von  $2 \text{ m}^2$  besteht aus  $3 \text{ mm}$  starkem Glas. Die Lufttemperatur außen betrage  $-15^\circ\text{C}$ , die im Raum  $20^\circ\text{C}$ .

- Wie groß ist der Wärmestrom  $\dot{Q}$ , wenn  $\alpha_a = 15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und  $\alpha_i = 7,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  betragen und die Wärmeleitfähigkeit von Glas  $0,8 \text{ W}/(\text{mK})$  beträgt?
- Um wie viel sinkt der Wärmeverlust, wenn anstelle des Einfach- ein Doppelfenster mit  $10 \text{ cm}$  Luftspalt und mit  $R_{\text{Luft}} = \left(\frac{s}{\lambda}\right)_{\text{Luft}} = 0,18 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$  verwendet wird?

Berechnen Sie die Innenoberflächentemperatur des Fensters!

- 14 Eine Wand hat den Schichtenaufbau von außen nach innen wie folgt
- Putz ( $s_1 = 25\text{mm}, \lambda_1 = 0,87\text{W/mK}$ )
  - Mauerziegel ( $s_2 = ?, \lambda_2 = 0,93\text{W/mK}$ )
  - Putz ( $s_3 = 15\text{mm}, \lambda_3 = 0,7\text{W/mK}$ ).

Die Raumtemperatur sei  $20^\circ\text{C}$ ., die Außentemperatur  $0^\circ\text{C}$  . Für die Wärmeübergangskoeffizienten gelte  $\alpha_i = 7,7\text{W}/(\text{m}^2\text{K}), \alpha_a = 25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  .

Wie stark muss die Ziegelwand bemessen werden, wenn der Temperaturunterschied zwischen Raum und Innenwandoberflächentemperatur  $\leq 3\text{ K}$  betragen soll?

Welche Wandstärke hat eine Gasbetonwand ( $\lambda_4 = 0,24\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) bei gleichen Bedingungen?