

Wärmeübertragung

1. Dicke und Wärmeleitzahlen der einzelnen Schichten einer dreischichtigen ebenen Wand mit 25 m^2 Oberfläche betragen 100, 250 und 50 mm, bzw. 0.6 , 0.03 und $0.4 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Die Temperaturen an der linken und an der rechten freien Oberflächen betragen $+15 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. $-12 \text{ }^\circ\text{C}$. Wie groß ist der Wärmestrom in der Wand? Bestimmen Sie auch die Temperaturverteilung in der Wand! Wie groß wären die Wandtemperaturen und der Wärmestrom, falls die Umgebungstemperaturen und Wärmeübergangszahlen an den beiden Seiten der Wand $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ und $-12 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. 10 und $5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$ wären?
2. Die Dicke einer ebenen Wand mit 2 m^2 Oberfläche beträgt 50 mm. Die Oberflächentemperaturen betragen $+15 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. $-12 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Wärmeleitzahl ist eine lineare Funktion der Temperatur, $\lambda(+15 \text{ }^\circ\text{C}) = 0.033 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ und $\lambda(-12 \text{ }^\circ\text{C}) = 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Wie groß ist der Wärmestrom in der Wand? Wie groß wäre der Fehler, falls wir den Wärmestrom mit der Wärmeleitzahl bei der mittleren Wandtemperatur rechneten?
3. Die Innen- und Außendurchmesser eines 25 m langen Stahlrohres sind 200 bzw. 220 mm. Wärmeleitzahl des Stahles beträgt $50 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. An das Rohr ist eine Wärmeisolierung mit 80 mm Dicke angelegt. Die Wärmeleitzahl der Isolierung beträgt $0.05 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Die Temperatur an der inneren Fläche des Rohres beträgt $180 \text{ }^\circ\text{C}$, an der äußeren Fläche der Isolierung $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Wie groß ist der Wärmeverlust des Rohres? Bestimmen Sie auch die Temperaturverteilung in der Struktur!
4. Bei der „kritischen Dicke“ der Wärmeisolierung ist der Wärmeverlust (neben unveränderten anderen Parametern) maximal. Der Innendurchmesser eines dünnwandigen kugelförmigen Aluminiumbehälters beträgt 100 mm. (Der Wärmewiderstand des Behälters kann vernachlässigt werden.) Die Behälter enthält ein Medium auf $100 \text{ }^\circ\text{C}$ Temperatur. Die Wärmeübergangszahl ist zwischen dem Behälter und dem Medium $25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Den Behälter wird mit einer Material mit $\lambda = 0.15 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ isoliert. Bestimmen Sie die kritische Dicke der Wärmeisolierung, falls die Außentemperatur $10 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Wärmeübergangszahl zwischen der Isolierung und der Luft $3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$ betragen.
5. Schätzen Sie ab die Wärmestromdichte und die Temperaturen T_1 , T_2 , T_3 und T_4 für die in Abbildung (12/5) gegebenen Struktur. Nehmen Sie an, dass die obere und die untere Oberflächen adiabatisch, die rechte und die linke Grenzflächen isotherm sind. Die folgende Werte sind gegeben:

$$\begin{aligned}
 \delta_1 = \delta_3 = 50 \text{ mm}, & \quad \delta_2 = 150 \text{ mm}, & \quad H_A = 100 \text{ mm}, & \quad H_B = H_C = 50 \text{ mm}, \\
 \lambda_A = \lambda_D = 350 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}, & \quad \lambda_B = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}, & \quad \lambda_C = 1 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}, & \\
 T_{\infty,1} = 200 \text{ }^\circ\text{C}, & \quad T_{\infty,2} = 25 \text{ }^\circ\text{C}, & \quad \alpha_1 = 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}, & \quad \alpha_2 = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}.
 \end{aligned}$$

6. Ein Rohr mit 115/100 mm Durchmesser wird mit gleichmäßiger $3 \frac{\text{MW}}{\text{m}^3}$ Wärmequellendichte geheizt. In dem Rohr strömt ein Medium mit $40 \text{ }^\circ\text{C}$ Temperatur. Die Wärmeleitzahl des Rohres beträgt $15 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Das Rohr ist von außen vollkommen wärmeisoliert. Wie groß soll im Rohr der Wärmeübergangszahl sein, dass die Temperatur in der Wand des Rohres nicht höher als $85 \text{ }^\circ\text{C}$ sei.
7. Eine lange zylindrische Stange wird elektrisch geheizt. Der Durchmesser des Stanges beträgt 10 mm, die Wärmeleitzahl $10 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, der spezifische Widerstand $1.1 \frac{\Omega\cdot\text{mm}^2}{\text{m}}$, die Stromstärke beträgt 50 A. Die Stange wird mit Luft gekühlt, deren Temperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ist. Die Wärmeübergangszahl zwischen dem Stange und der Luft beträgt $5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Bestimmen Sie die radiale Temperaturverteilung in dem Stange!
8. Eine Kugel mit 20 mm Durchmesser wird mit gleichmäßiger $200 \frac{\text{MW}}{\text{m}^3}$ Wärmequellendichte geheizt. Die Wärmeleitzahl des Kugels beträgt $71 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, die Umgebungstemperatur $300 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Wärmeübergangszahl zwischen den Kugel und die Luft $16 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Wie groß ist die Temperatur im Mittelpunkt der Kugel?

9. Zwei ebene Platten stehen mit einander in Kontakt. Die Temperaturen an der linken und rechten freien Oberflächen betragen $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, bzw. $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, die Wärmestromdichte ist $\dot{q} = 100 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$. Dicke und Wärmeleit-zahlen der linken und rechten Schichten betragen $150 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ und 20 mm , bzw. $60 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ und 10 mm . Wie groß ist der sogenannte Kontaktwärmewiderstand zwischen den Platten? Bestimmen Sie die äquivalente Dicke der Luftschichte, die den selben Wärmewiderstand hätte. ($\lambda_{\text{Luft}} = 0.033 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$)
10. Die Temperatur am Ansatz einer stabförmigen Rippe mit konstantem Querschnitt $4 \times 6\text{ mm}^2$, 60 mm Länge und $50 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ Wärmeleitzahl beträgt $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Temperatur der Umgebungsluft ist $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, die Wärmeübergangszahl zwischen der Luft und Rippe beträgt $30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Bestimmen Sie den Rippenwirkungsgrad, den abgegebenen Wärmestrom und die Temperatur an der Endplatte der Rippe! Wie groß wäre der abgegebene Wärmestrom, falls die Rippe (neben unveränderten anderen Parametern) „unendlich“ lang wäre?
11. Ein Stab verbindet zwei isotherme Platten. Die Temperaturen der Flächen betragen $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Daten des Stabes: Querschnitt $4 \times 6\text{ mm}^2$, Länge und Wärmeleitzahl sind 100 mm bzw. $50 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Zwischen den Platten strömt Luft mit $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ Temperatur. Die Wärmeübergangszahl zwischen Luft und Stab beträgt $80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Wie groß ist der abgegebene Wärmestrom? Wo liegt der kühlste Punkt des Stabes?
12. In einem Kühlhaus mit der Grundfläche $100 \times 20\text{ m}^2$ beträgt die Temperatur der Luft $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aus Sicht der Wärmeleitung ist die Grundplatte des Kühlkammers mit einer ebenen Platte mit 30 cm Dicke und $0.05 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ Wärmeleitzahl äquivalent. Die Wärmeübergangszahl zwischen der Luft des Kammers und der Grundplatte beträgt $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Die Wärmeleitzahl des Bodens unter dem Kühlkammer ist $1.5 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ und dessen Temperatur beträgt in jährlichem Durchschnitt $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wie groß ist der Wärmestrom zwischen dem Boden und dem Kühlkammer, und wie viel beträgt die Temperatur des Bodens direkt unter der Grundplatte? Elektrische Heizung wird unter die Grundplatte eingebaut. Wie groß muss deren Leistung sein, damit es nicht einfriert und die durchschnittliche Jahrestemperatur der Oberfläche des Bodens $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt.
13. Welchen Grundfall der Wärmeübertragung bedeutet das, wenn ein horizontales Rohr mit 25 mm Ausendurchmesser und 4 m Länge sich im ruhenden, trocken Satttdampf mit $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ befindet? Die Oberflächentemperatur des Rohres beträgt $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Welche Ähnlichkeitszahlen bestimmen die Nusselt-Zahl?
14. Welchen Grundfall der Wärmeübertragung bedeutet das, wenn, falls ein horizontales Rohr mit 25 mm Ausendurchmesser und 4 m Länge sich im ruhenden, trocken Satttdampf mit $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ befindet? Die Oberflächentemperatur des Rohres beträgt $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
15. Welcher Grundfall der Wärmeübertragung ist folgendes: ein horizontales Rohr mit 25 mm Ausendurchmesser und 4 m Länge sich im ruhenden Wasser befindet? Temperatur des Wassers beträgt $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, die die Siedetemperatur des Wassers ist, und die Oberflächentemperatur des Rohres beträgt $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Welche Ähnlichkeitszahlen bestimmen die Nusselt-Zahl?
16. Welcher Grundfall der Wärmeübertragung ist folgendes: ein horizontales Rohr mit 25 mm Ausendurchmesser und 4 m Länge im ruhenden Wasser befindet? Temperatur des Wassers beträgt $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, die die Siedetemperatur des Wassers ist, und die Oberflächentemperatur des Rohres beträgt $160\text{ }^{\circ}\text{C}$.
17. Welcher Grundfall der Wärmeübertragung ist folgendes: Wasser mit 5 bar Druck strömt in einem Rohr mit 16 mm Innendurchmesser und 4 m Länge. Die mittlere Temperatur des Wassers und Oberflächentemperatur des Rohres betragen $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, bzw. $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Welche Ähnlichkeitszahlen bestimmen die Nusselt-Zahl?
18. Die Temperatur einer ebenen Wand mit 15 m Höhe und Temperatur der Luft neben dem Wand betragen $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, bzw. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Welcher Grundfall der Wärmeübertragung bedeutet dies, und welche Ähnlichkeitszahlen bestimmen die Nusselt-Zahl, falls
- Wind mit $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ weht?
 - Windstille ist?
19. Wind weht mit $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ parallel zu einer ebenen Hauswand, derer Länge 15 m beträgt. Temperatur der Luft und der Wand betragen $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, bzw. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wie groß ist die mittlere Wärmeübergangszahl zwischen der Wand und der Luft?

20. Luft strömt mit atmosphärischem Druck senkrecht zu ein einziges Rohr mit 15 mm Außendurchmesser. Die Geschwindigkeit der ungestörten Strömung ist $8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oberflächentemperatur des Rohres beträgt $170 \text{ }^\circ\text{C}$. Wie groß ist die mittlere Wärmeübergangszahl zwischen dem Rohr und der Luft?
21. Höhe und waagerechte Länge einer senkrecht stehenden Platte betragen 150 cm, bzw. 100 cm. Temperatur der Platte und der ruhenden Luft betragen $10 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Wie groß ist die mittlere Wärmeübergangszahl zwischen der Luft und der Platte?
22. Höhe und Breite eines Doppelfensters betragen 150 cm, bzw. 100 cm. Luft füllt die 50 mm große Lücke zwischen den Glasplatten aus. Temperaturen der Platten betragen $10 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. Wie groß ist die Wärmestrom zwischen den Platten?
23. Ruhender trockener Satttdampf befindet sich neben einer senkrechter Wärmeaustauscherplatte, derer Höhe 14 cm ist. Temperatur des Satttdampfes und der Oberfläche der Platte betragen $50 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Wie groß ist die mittlere Wärmeübergangszahl zwischen dem Satttdampf und der Platte?
24. Zwei miteinander parallele graue Platten strahlen auf einander. Die Flächen der Platten können als unendlich gross betrachtet werden, relativ zu ihren Abstand. Temperaturen und Emissionszahlen der Platten betragen $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0.8$, bzw. $T_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0.7$. Wie groß ist die Strahlungswärmestromdichte zwischen den Platten?
25. Zwei, einander hüllende Kugelflächen strahlen auf einander. Durchmesser, Temperaturen und Emissionszahlen der kleineren und größeren Kugeln betragen $D_1 = 200 \text{ mm}$, $T_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon_1 = 0.8$, bzw. $D_2 = 800 \text{ mm}$, $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon_2 = 0.6$. Wie groß ist die Strahlungswärmestrom zwischen den Kugeln? Hängt der Wärmestrom von der Position der kleineren Kugel ab?
26. Zwei parallele graue Platten strahlen auf einander. Die Flächen der Platten können als unendlich gross betrachtet werden, relativ zu ihren Abstand. Temperaturen der Platten betragen $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, bzw. $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, Emissionszahlen der Platten sind $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.85$. Um den Wärmestrom zu verringern werden zwei Strahlungsschutzschirmen zwischen den Platten gestellt. Emissionszahlen der Schirmen betragen $\varepsilon = 0.85$.
- Wie groß ist die Strahlungswärmestromdichte zwischen den Platten ohne Schirmen?
 - Wie groß ist die Strahlungswärmestromdichte zwischen den Platten mit Schirmen? Wie groß ist die Verhältnis zwischen den Wärmestromdichten ohne und mit Schirmen?
 - Wie groß sind die Temperaturen der Schirmen?
 - Wie groß wäre die Strahlungswärmestromdichte zwischen den Platten, falls die Emissionszahlen der Schirmen $\varepsilon = 0.1$ wären?
27. Zwei parallele, konzentrische Kreisplatten strahlen auf einander. Durchmesser, Temperaturen und Emissionszahlen der Kreisplatten betragen $D_1 = 100 \text{ mm}$, $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon_1 = 0.9$, bzw. $D_2 = 200 \text{ mm}$, $T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon_2 = 0.8$. Die Entfernung der Platten ist 200 mm. Bestimmen Sie den Strahlungswärmestrom zwischen den Platten. Nehmen Sie an, dass die reflektierte Strahlungen zu die emittierende Fläche nicht zurückkehren können.