Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}0148\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 3{,}5\,\mathrm{kJ/kgK}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

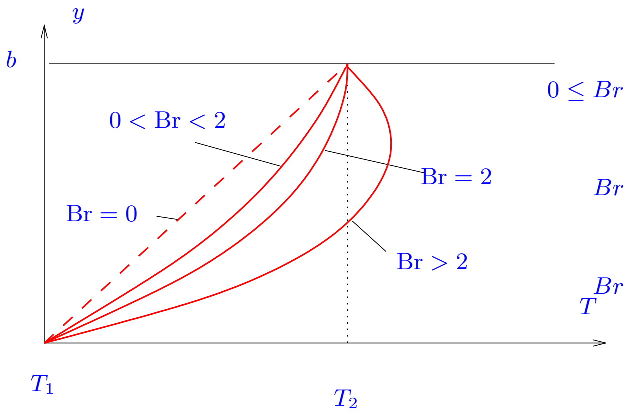
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7524\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3125\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

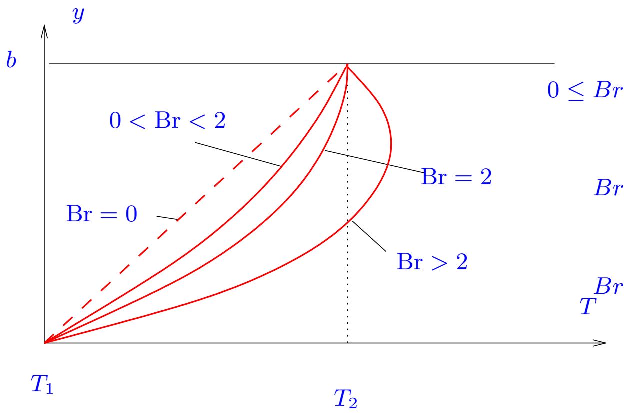
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7524\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2018\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

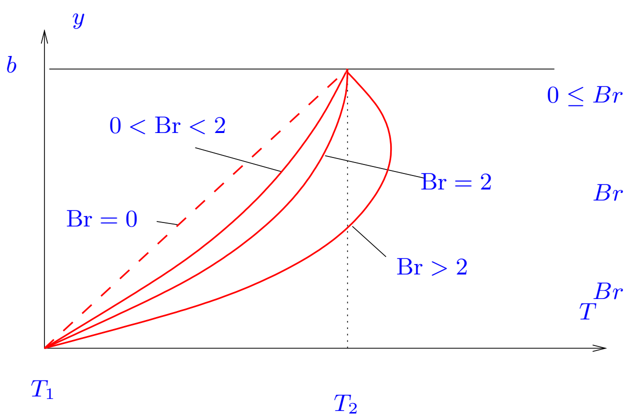
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7524\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2123\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

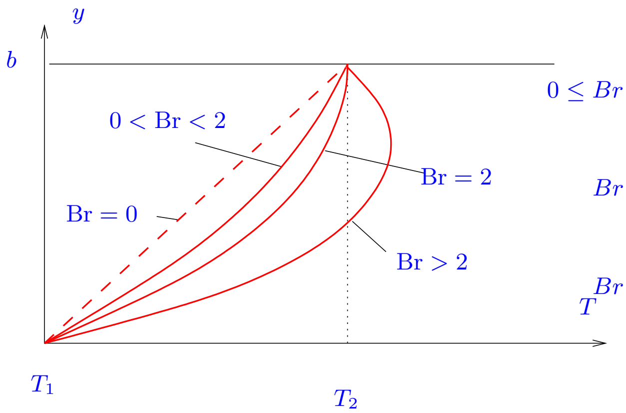
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7524\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}3235\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

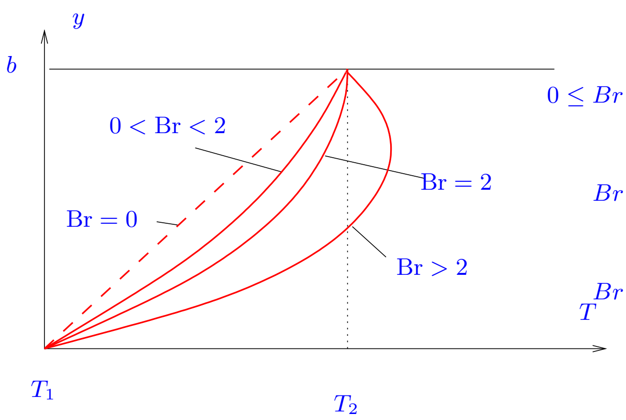
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7523\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}184\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

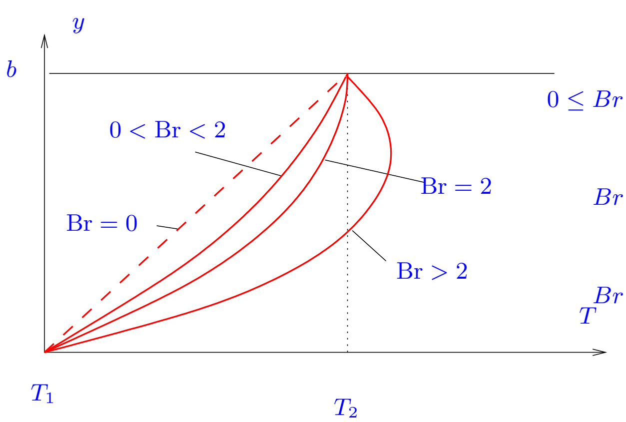
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7035\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; $(s_M = 2s_0)$.

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}0313\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

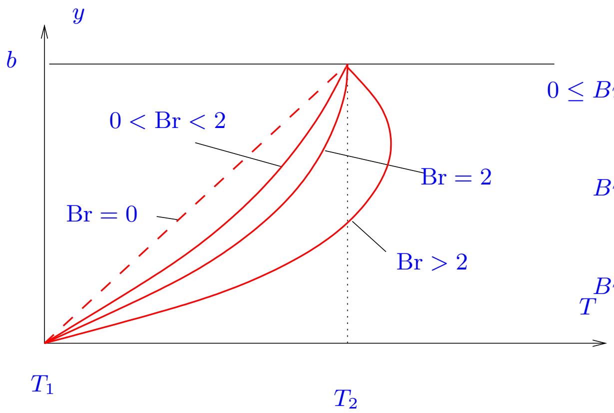
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7035\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}7354\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

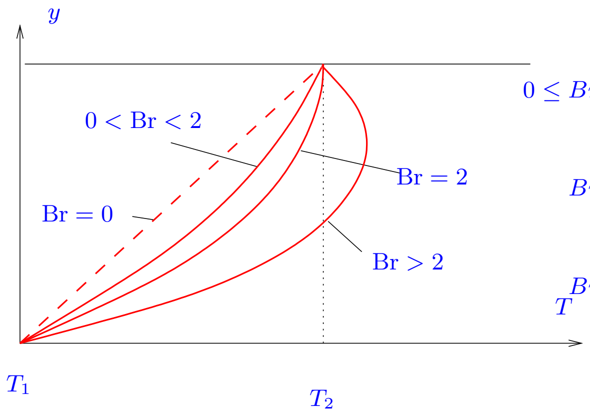
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7034\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 30{,}581\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

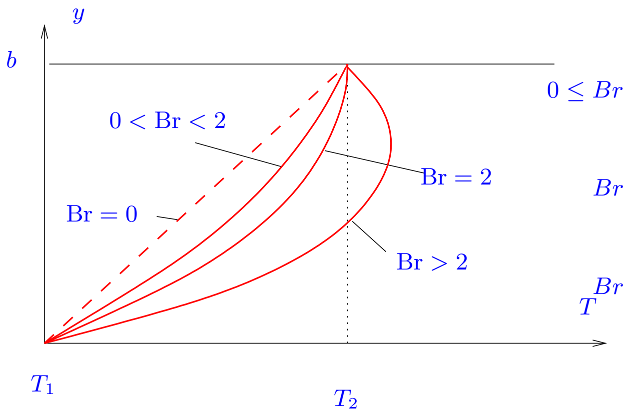
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7034\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 29{,}5441\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

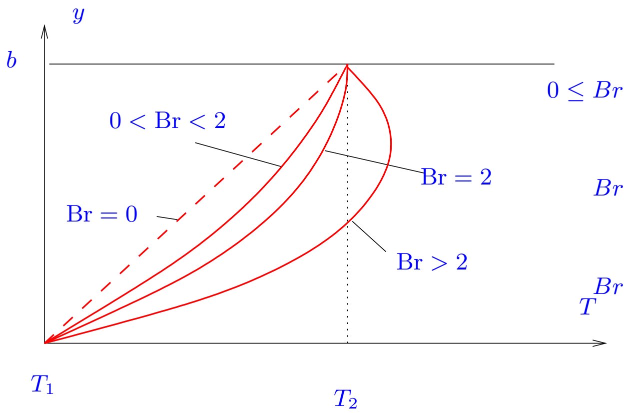
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7034\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

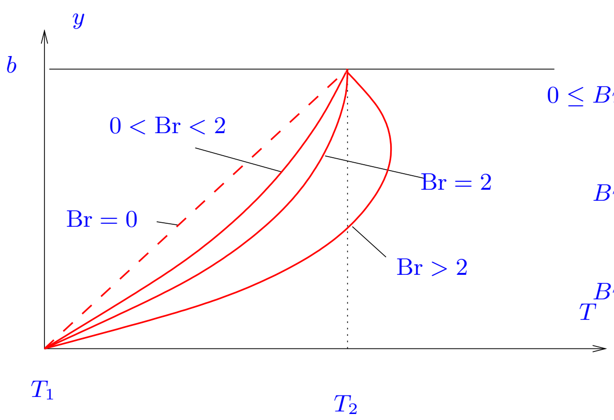
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\mathrm{max}} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7875\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

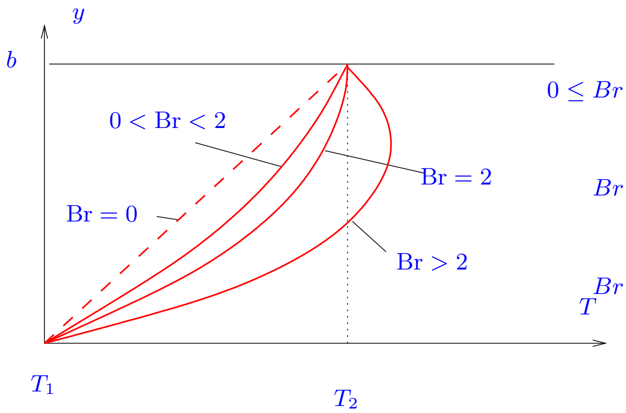
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7875\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

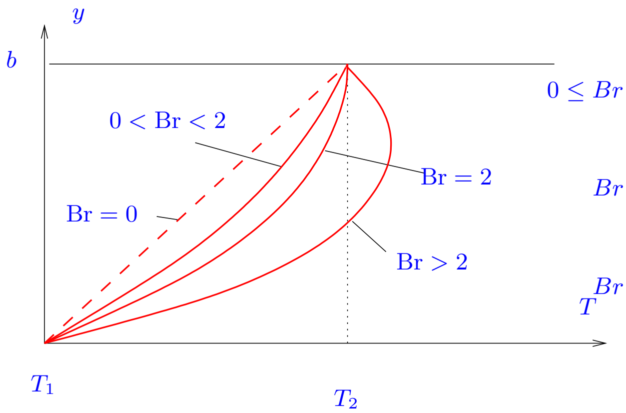
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7875\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; $(s_M = 2s_0)$.

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

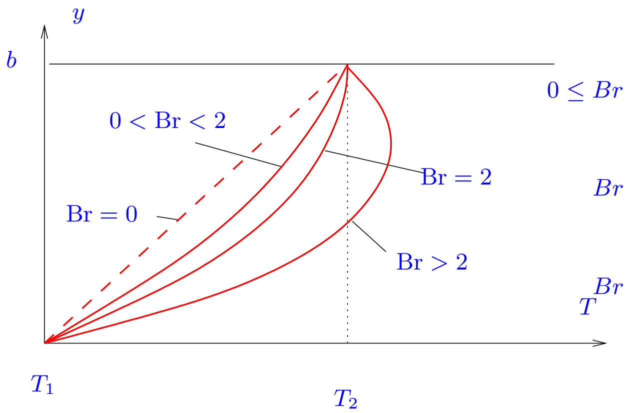
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7874\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

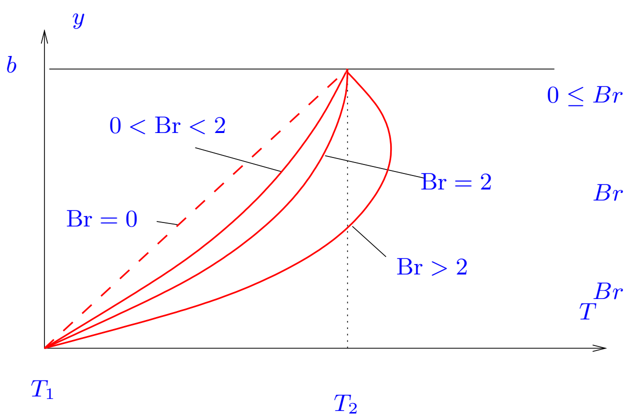
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7874\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 46{,}5222\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

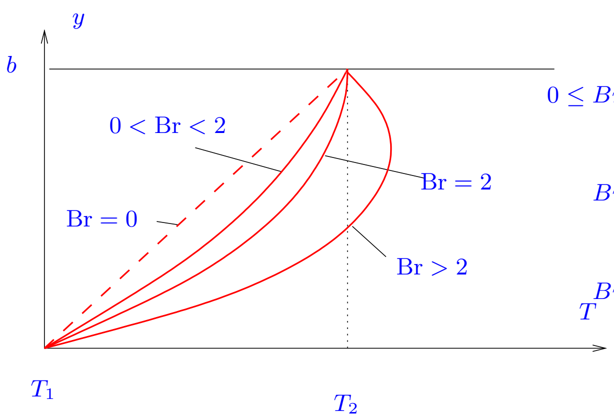
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8139\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 42{,}4688\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

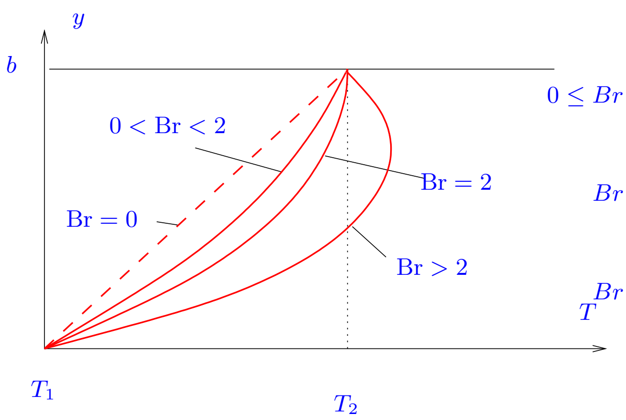
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8139\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 40{,}8027\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

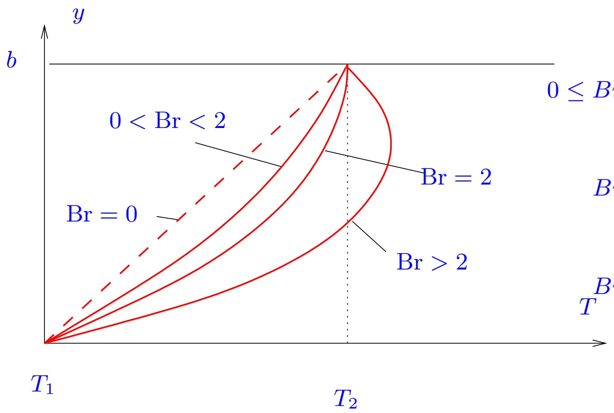
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8138\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 39{,}3185\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

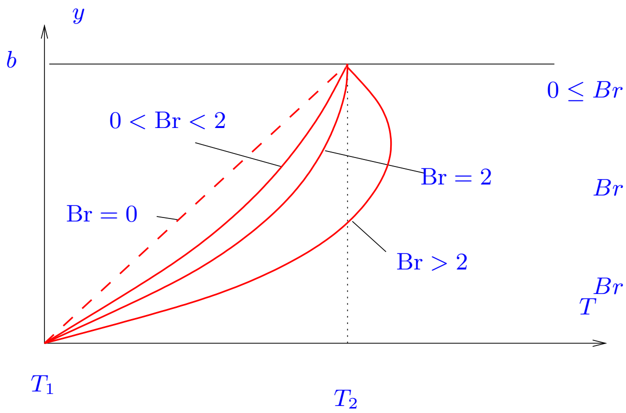
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8138\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}9852\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu} \frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

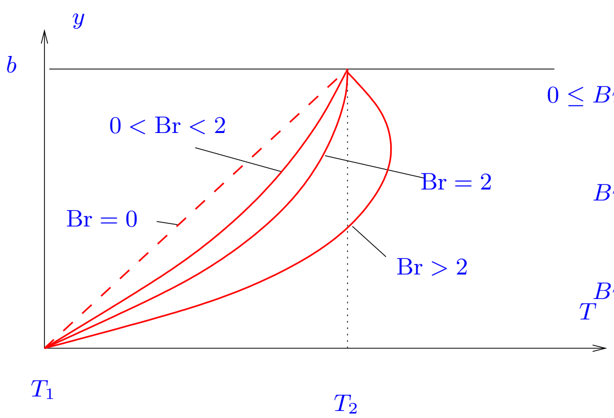
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y} \right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 117{,}6269\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8138\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}0148\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}2453\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

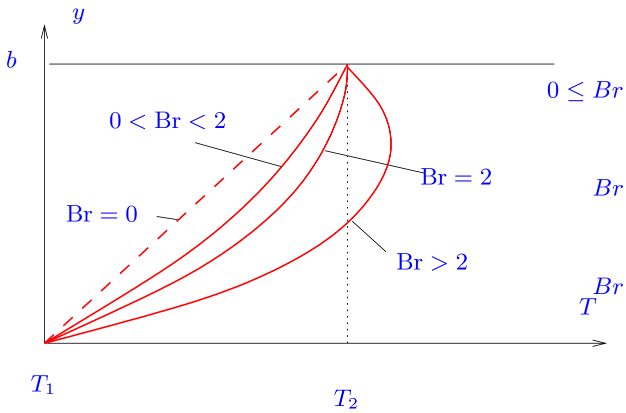
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7854\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3125\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$

kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 44{,}0417\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

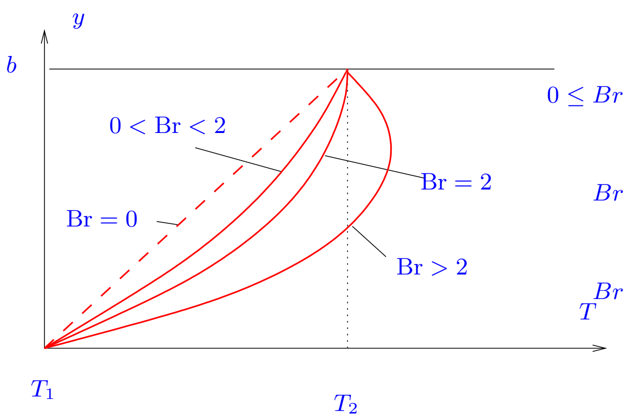
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7854\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2018\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 42{,}3139\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

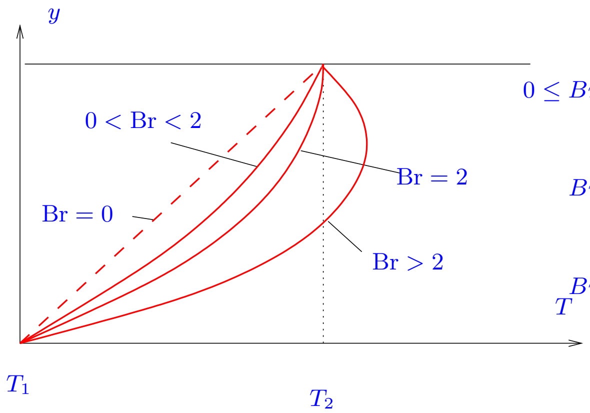
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7854\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2123\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 40{,}7747\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

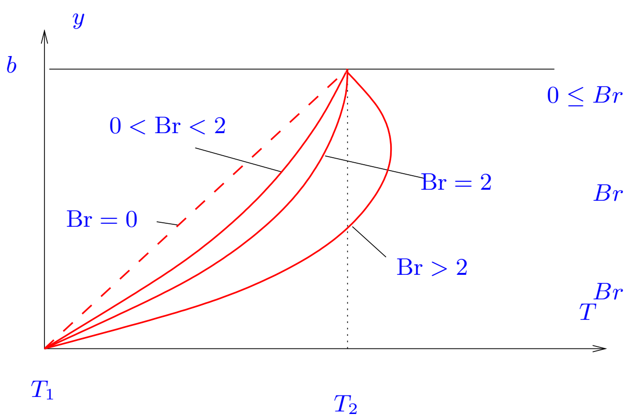
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7854\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}3235\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 39{,}3921\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

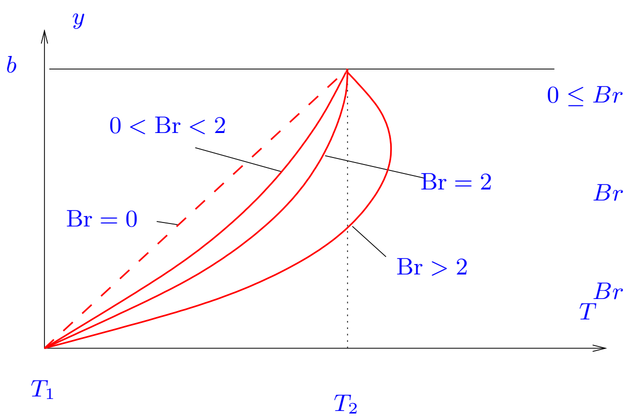
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7854\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}184\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}2453\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

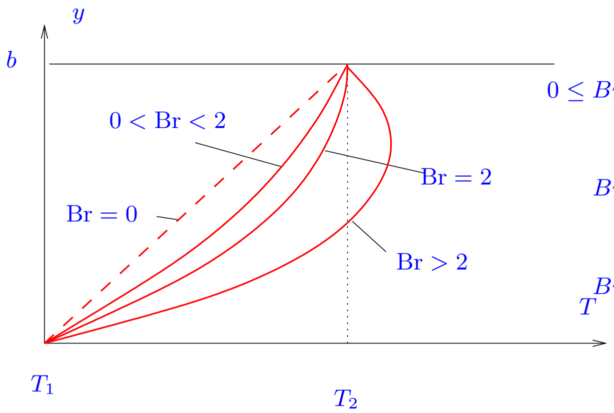
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}743\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}0313\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 44{,}0417\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

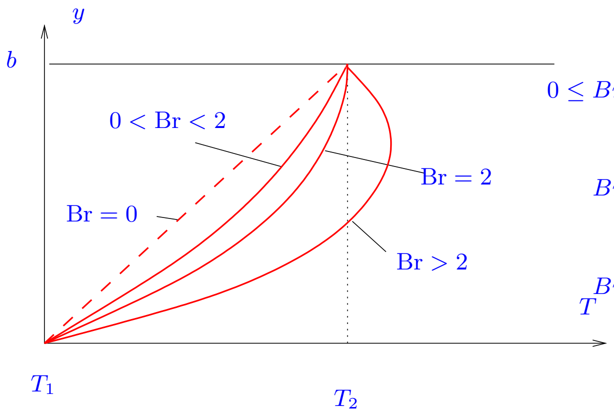
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}743\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}7354\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 42{,}3139\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

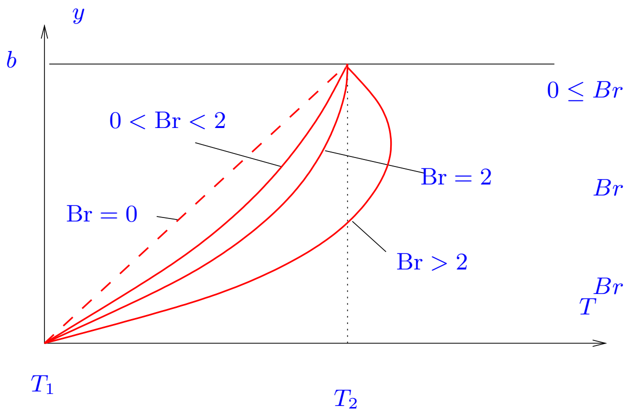
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}743\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 30{,}581\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 40{,}7747\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

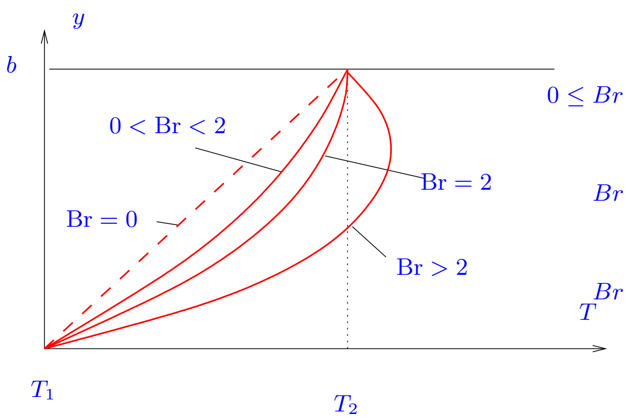
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7429\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 29{,}5441\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 39{,}3921\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

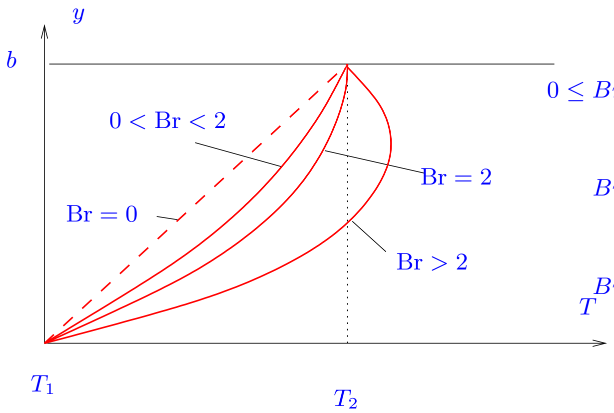
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7429\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}2453\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

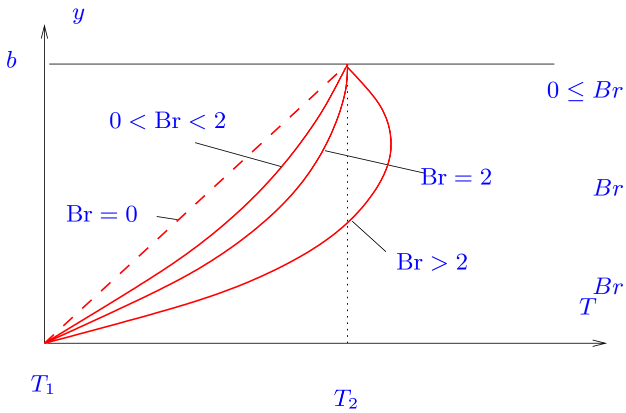
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8158\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 44{,}0417\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

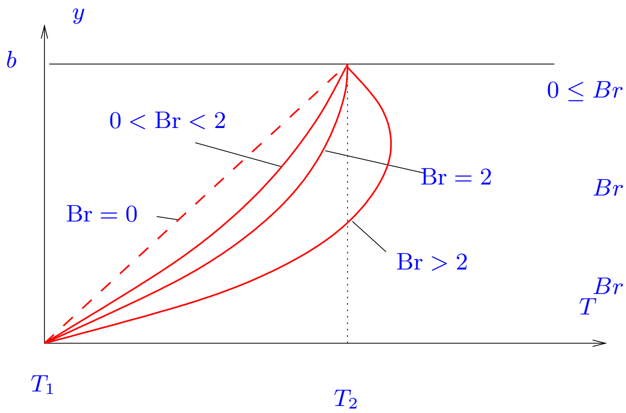
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8158\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 42{,}3139\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

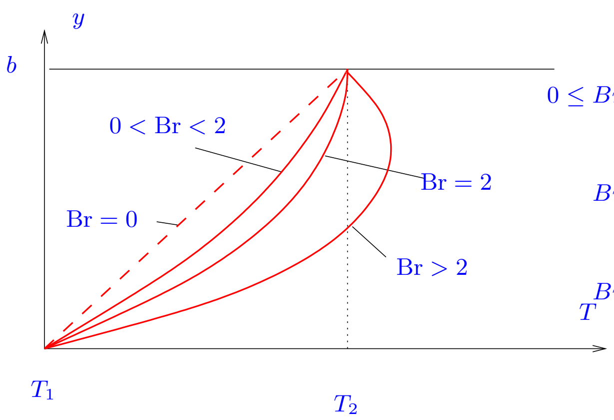
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^{8} > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8158\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 40{,}7747\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

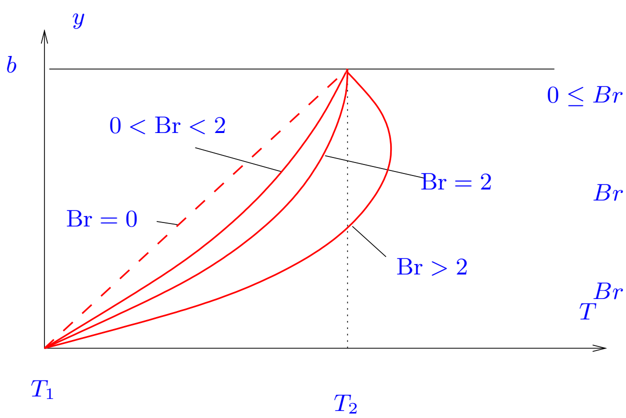
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8158\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 39{,}3921\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

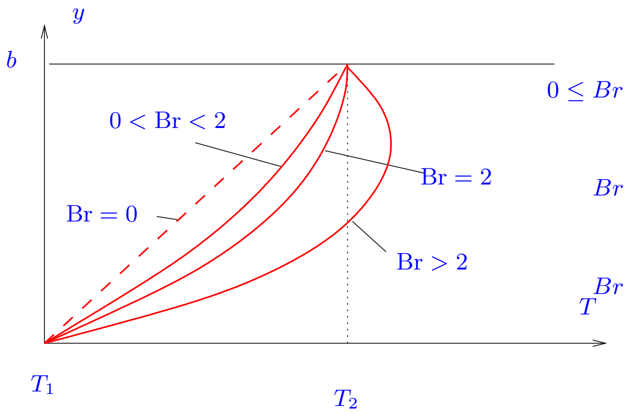
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8158\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 46{,}5222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}2453\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

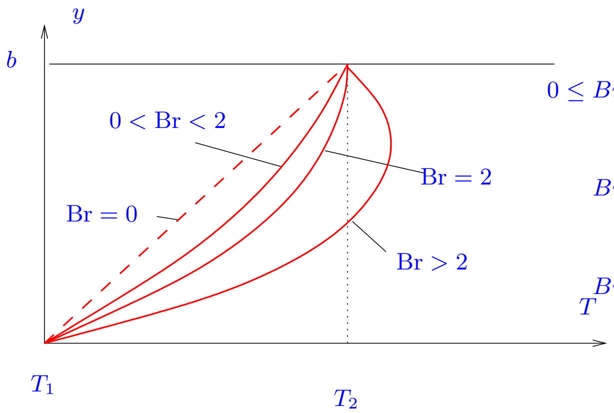
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8387\,°\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 42{,}4688\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 44{,}0417\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

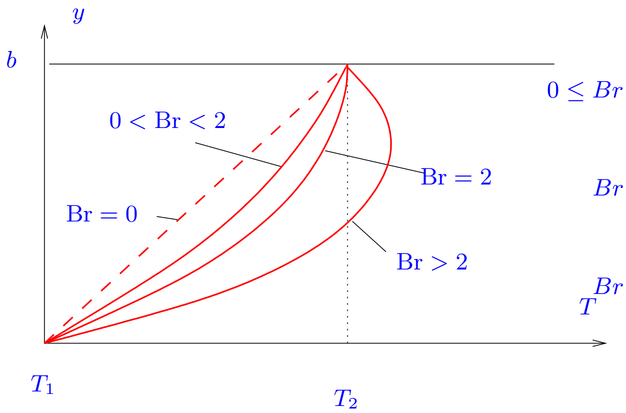
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8387\,^\circ\mathrm{C}$$

Name:

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 40{,}8027\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 42{,}3139\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

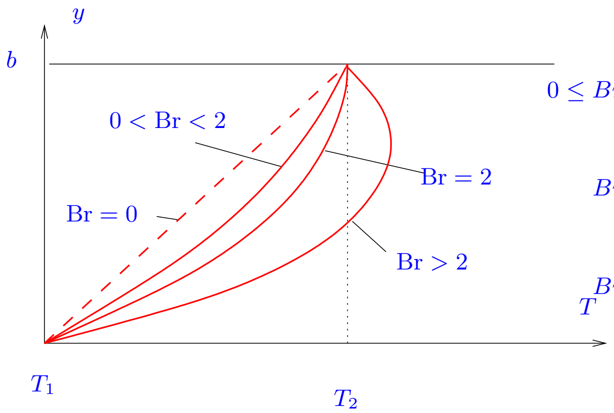
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8387\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 39{,}3185\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 40{,}7747\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

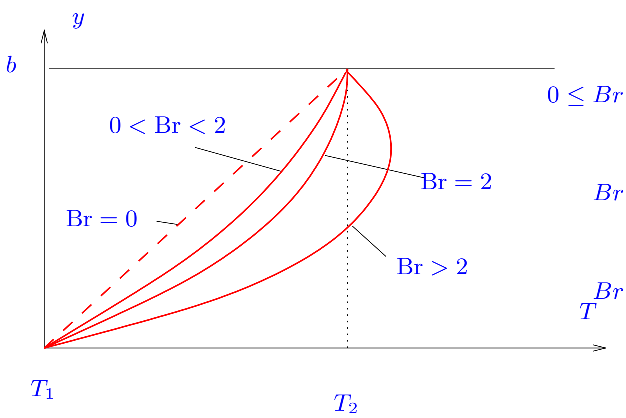
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8387\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}9852\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 39{,}3921\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

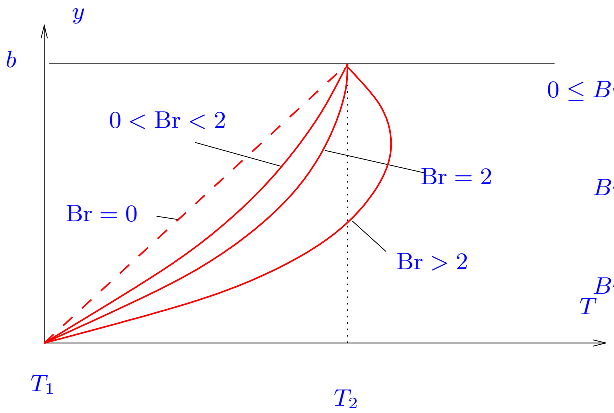
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 177{,}1694\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8386\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}0148\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 55{,}1375\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

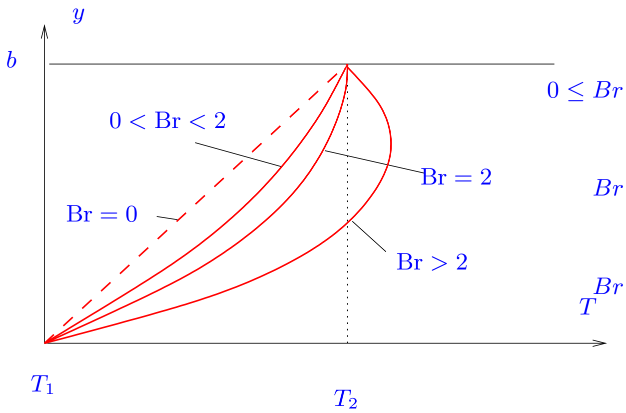
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8185\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3125\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}3334\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

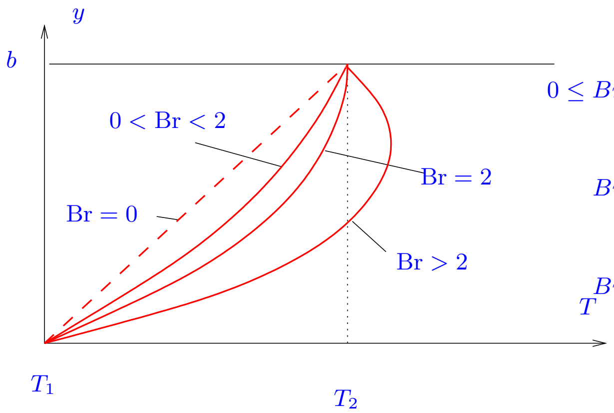
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8184\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2018\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}3588\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

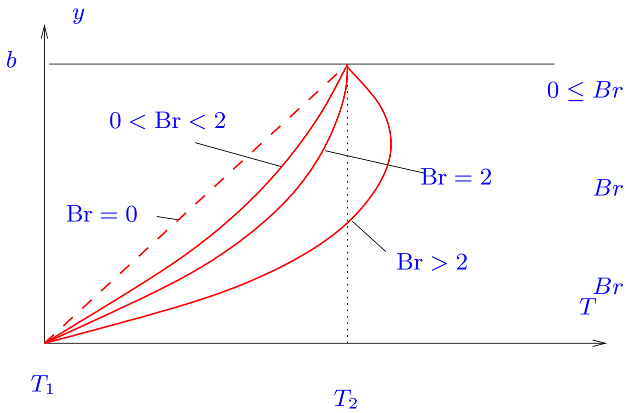
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8184\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2123\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 46{,}5997\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

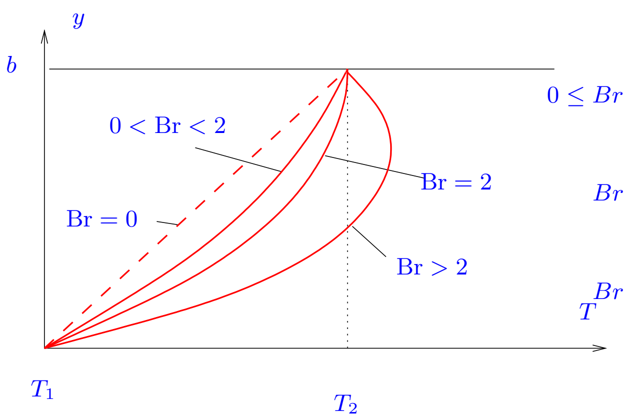
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8184\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}3235\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 45{,}0196\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

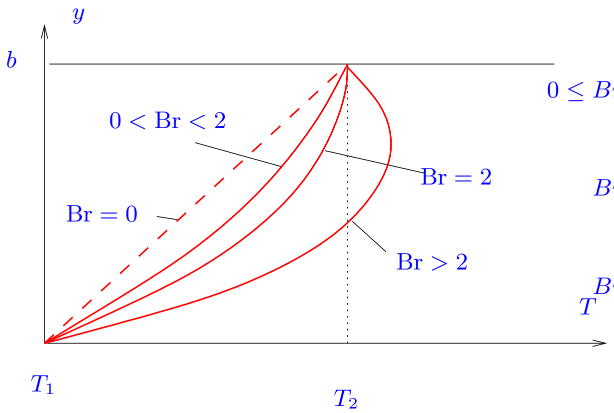
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8184\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}184\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 55{,}1375\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

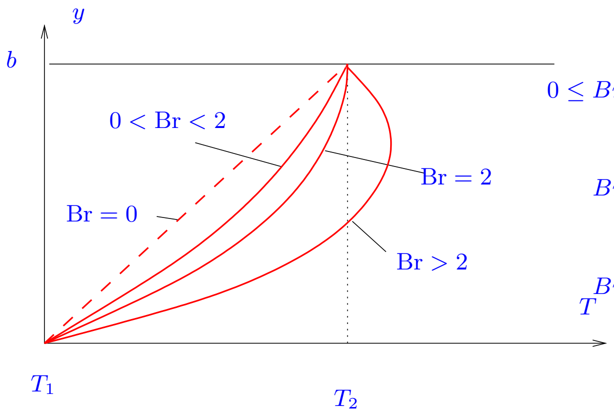
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7826\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}0313\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}3334\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

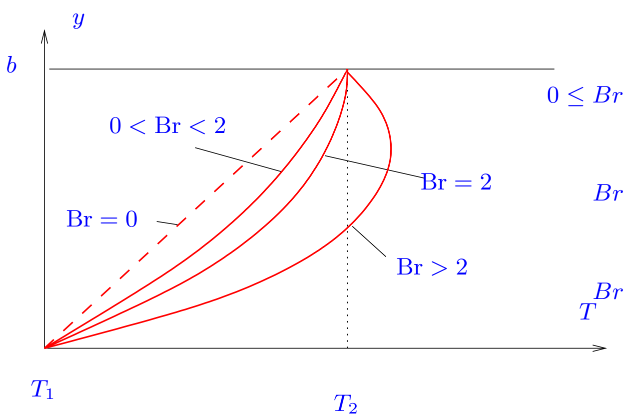
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7825\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}7354\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}3588\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

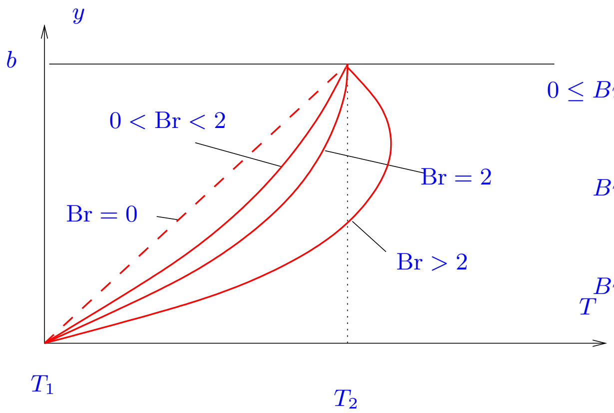
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7825\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 30{,}581\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 46{,}5997\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

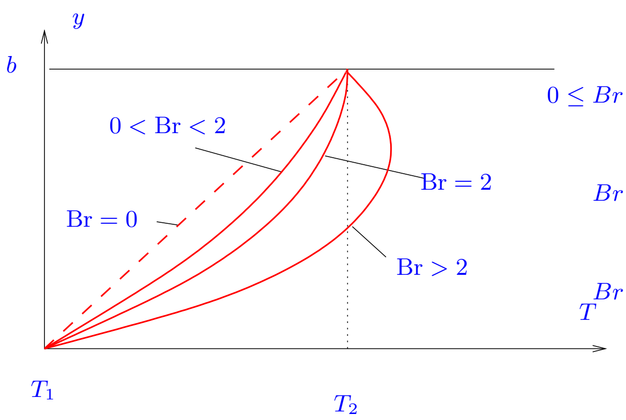
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7825\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 29{,}5441\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 45{,}0196\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

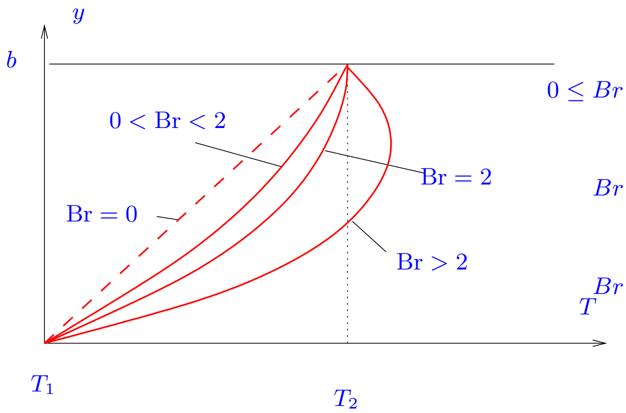
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}7825\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 55{,}1375\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

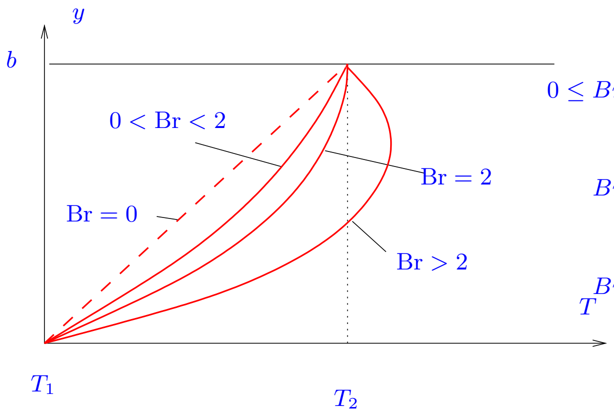
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8442\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}3334\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

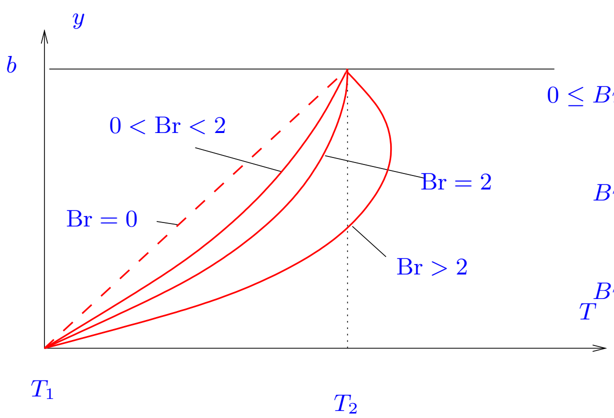
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8442\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17\cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 48{,}3588\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

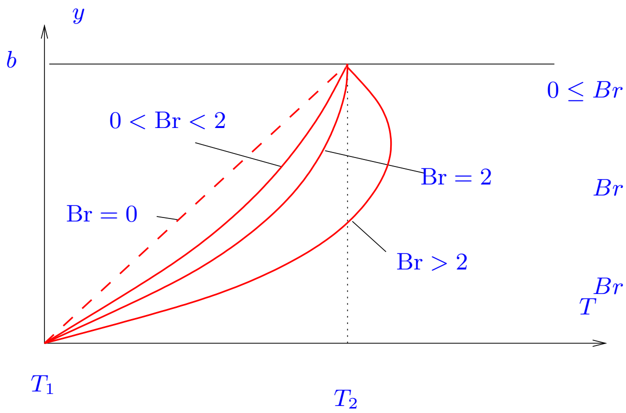
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8441\ ^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 46{,}5997\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

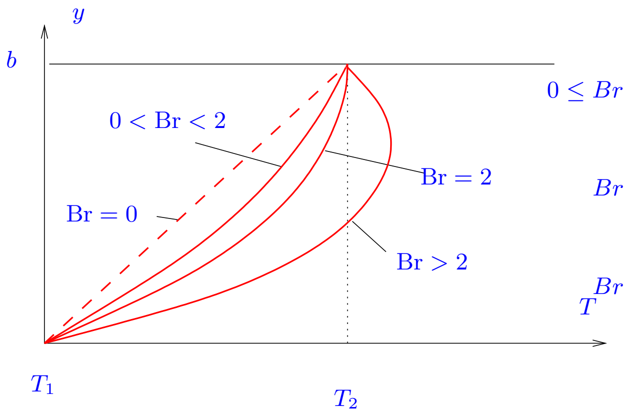
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8441\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 45{,}0196\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

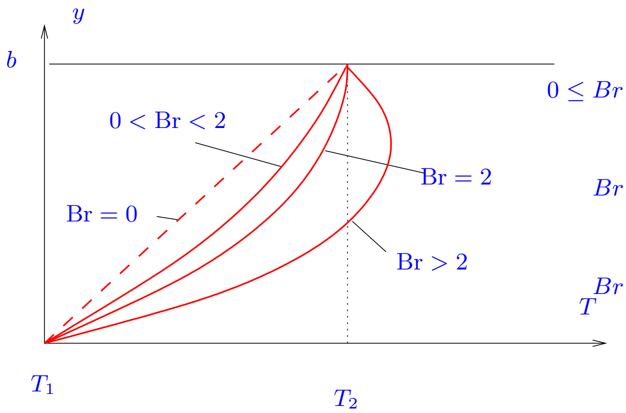
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8441\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 46{,}5222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 55{,}1375\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

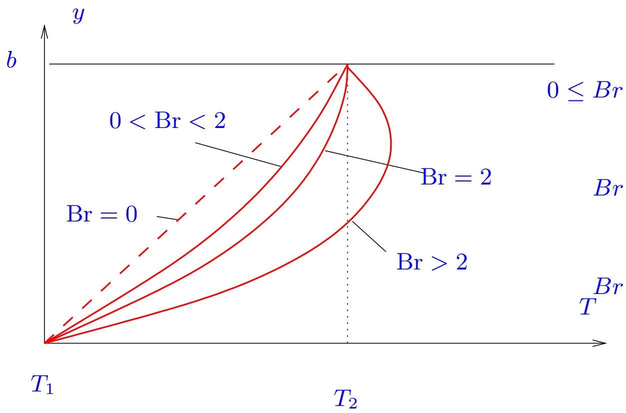
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8635\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 42{,}4688\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}3334\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

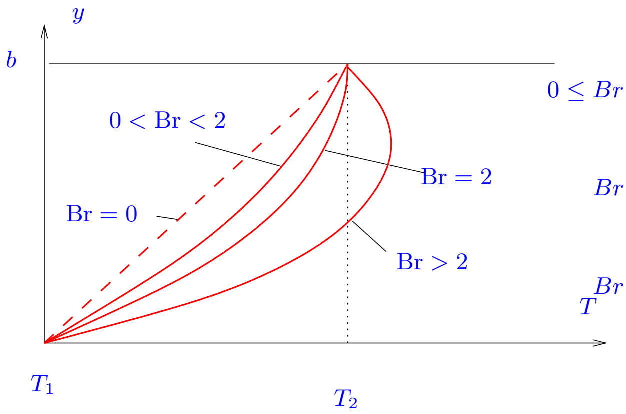
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8635\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 40{,}8027\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 48{,}3588\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

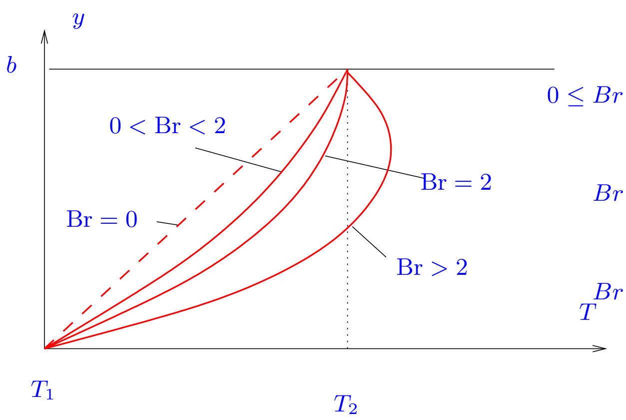
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8635\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 39{,}3185\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 46{,}5997\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

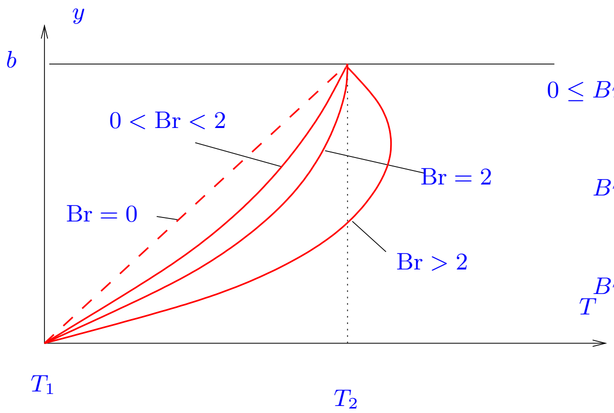
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8635\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}9852\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 45{,}0196\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

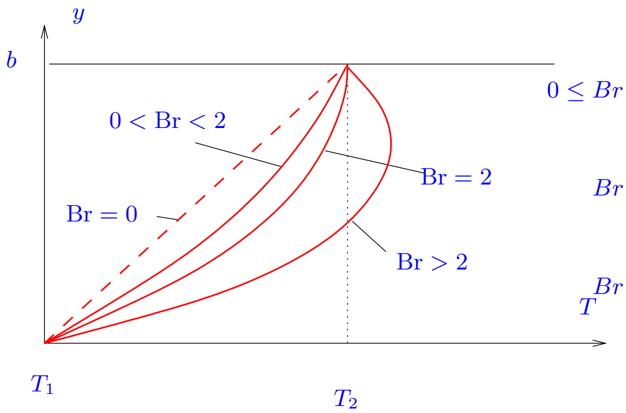
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 296{,}7128\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8635\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}0148\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 62{,}0296\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

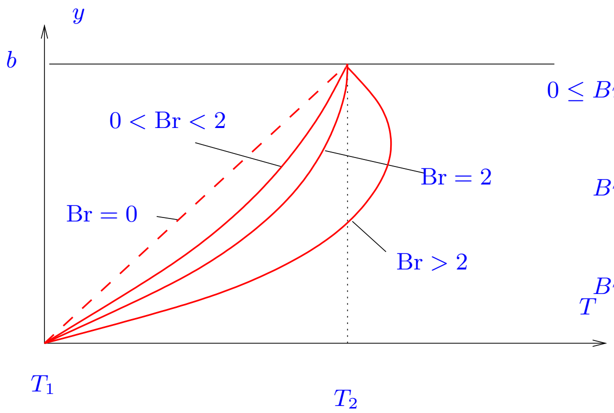
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8515\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5$ mm) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9$ W abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12$ m/s angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9$ W bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3125$ K gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300$ K , $p = 1$ bar
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003$ J/kg K

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 56{,}6251\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07$ Pa s, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8$ W/mK , Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4$ kJ/kg K zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7$ m/s in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1$ mm.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

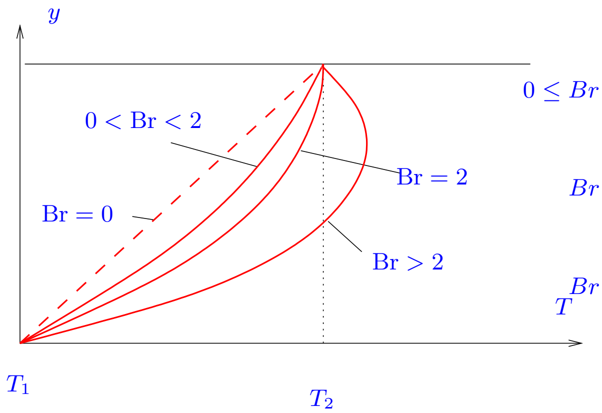
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8514\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2018\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 54{,}4036\,\text{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\text{Pa s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\text{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\text{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\text{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\text{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

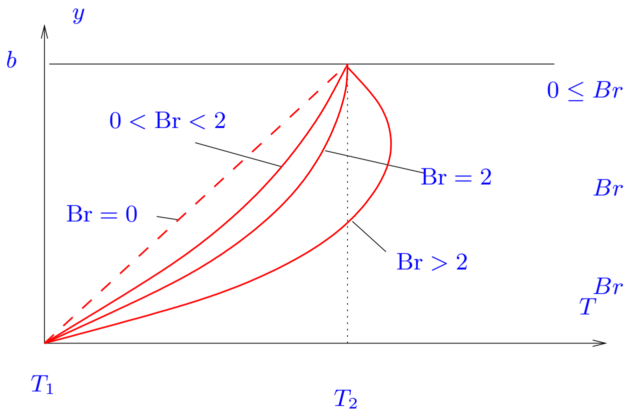
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\text{d}u}{\text{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\text{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\text{Br} = 0$, $\text{Br} = 1$, $\text{Br} = 2$, $\text{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8514\,°\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2123\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 52{,}4246\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

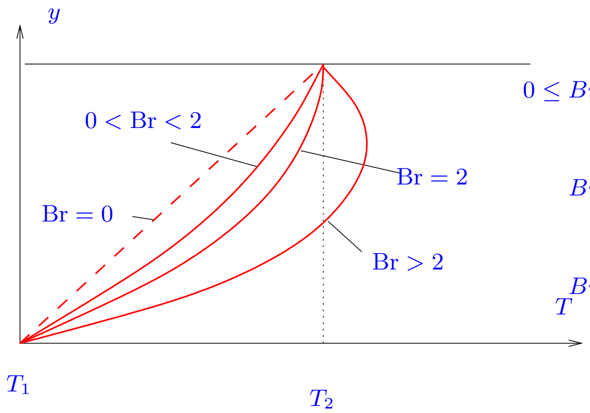
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8514\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}3235\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

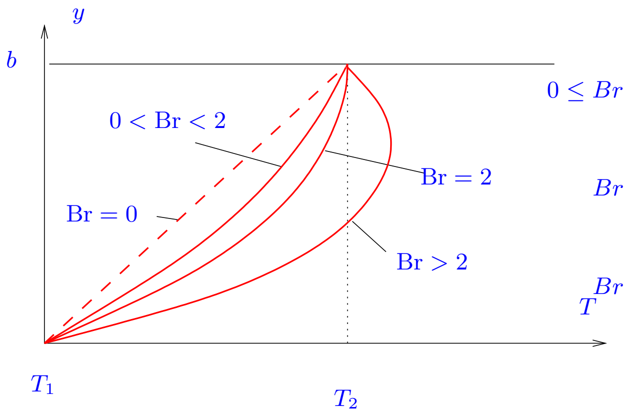
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8514\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}184\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu} \frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 62{,}0296\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

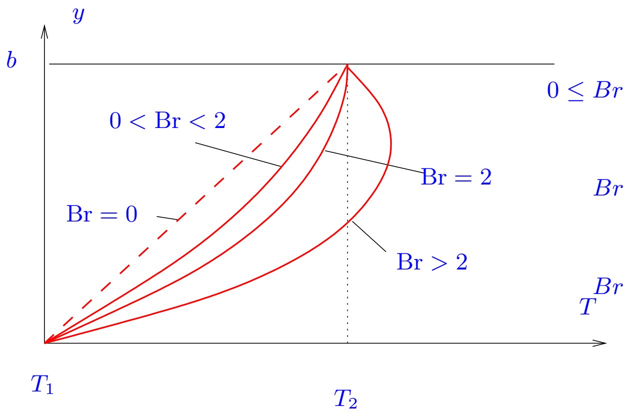
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y} \right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8221\,°\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}0313\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 56{,}6251\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

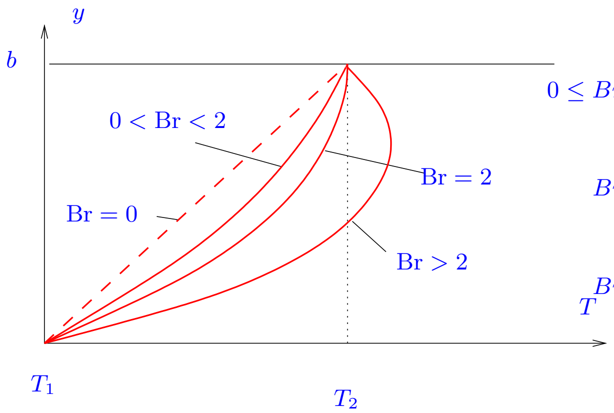
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8221\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}7354\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 54{,}4036\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

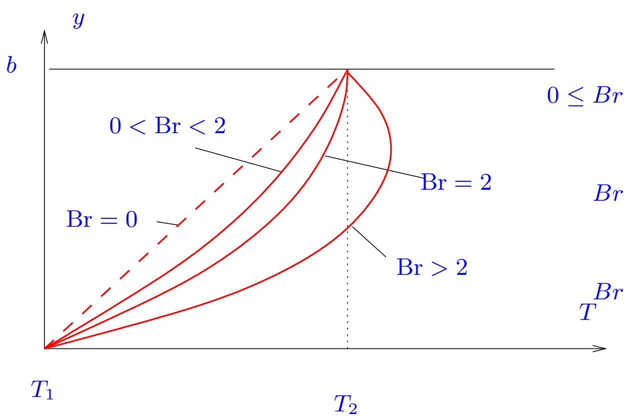
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8221\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 30{,}581\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 52{,}4246\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

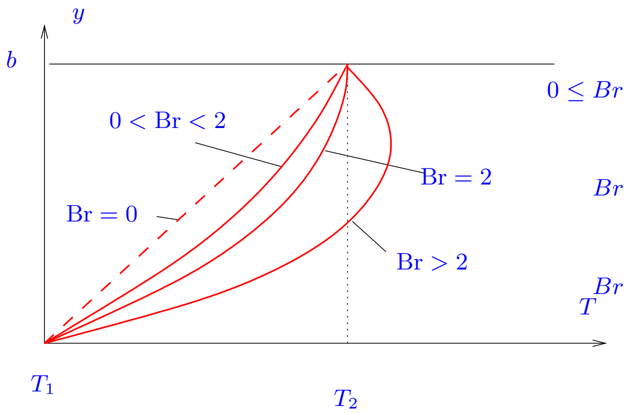
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}822\,°\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 29{,}5441\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

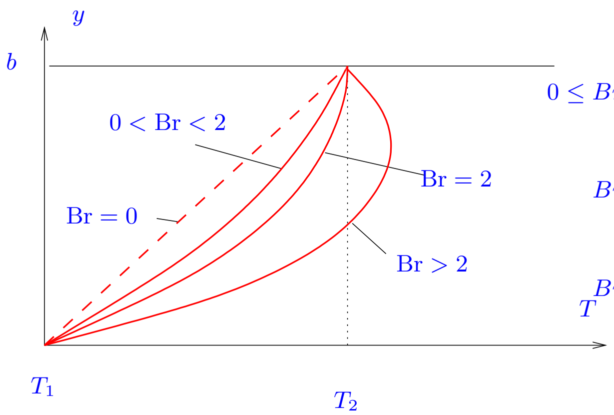
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}822\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 62{,}0296\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

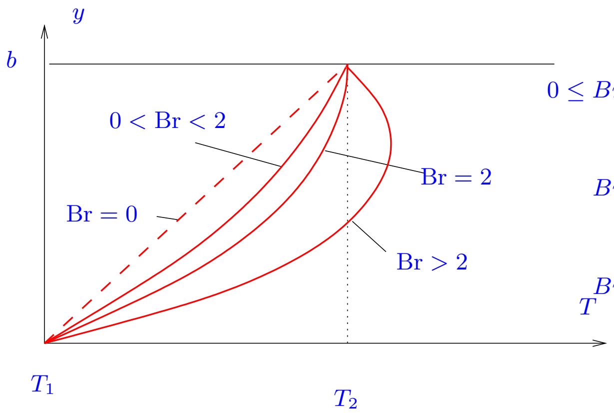
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8725\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 56{,}6251\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

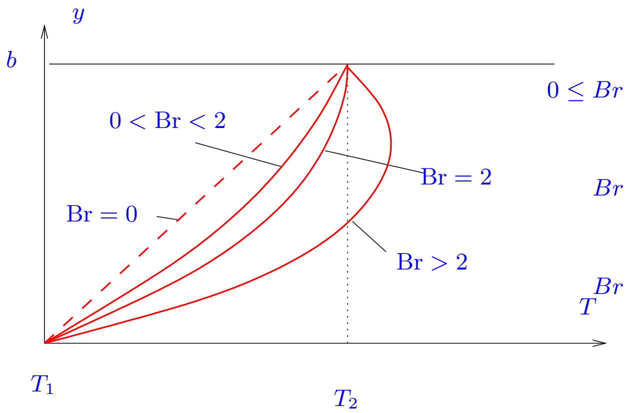
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8725\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}2691\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 54{,}4036\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

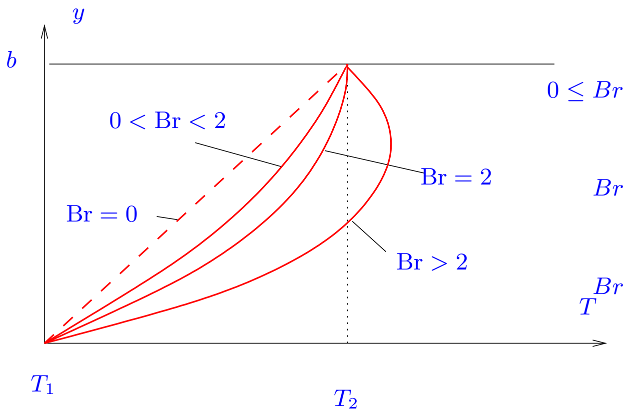
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8725\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 52{,}4246\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

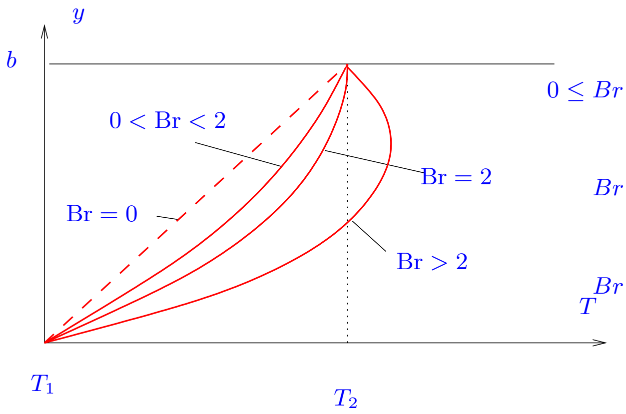
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8725\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

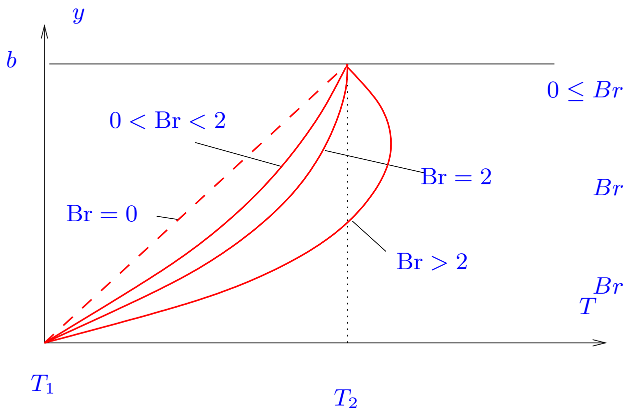
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8725\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 46{,}5222\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 62{,}0296\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

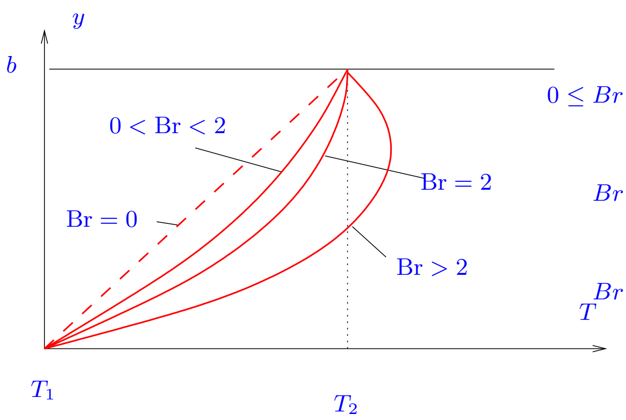
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8883\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 42{,}4688\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 56{,}6251\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

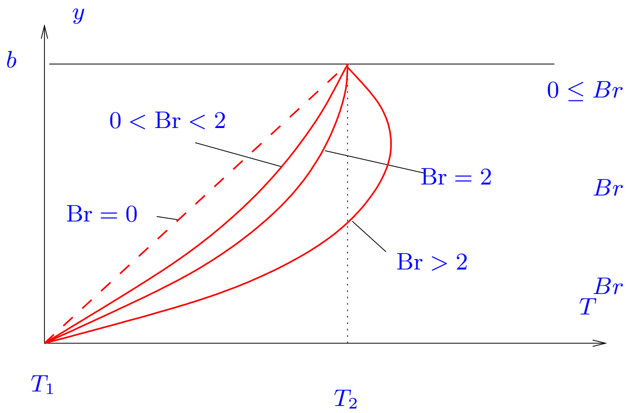
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^{8} > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8883\,^{\circ}\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 40{,}8027\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 54{,}4036\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

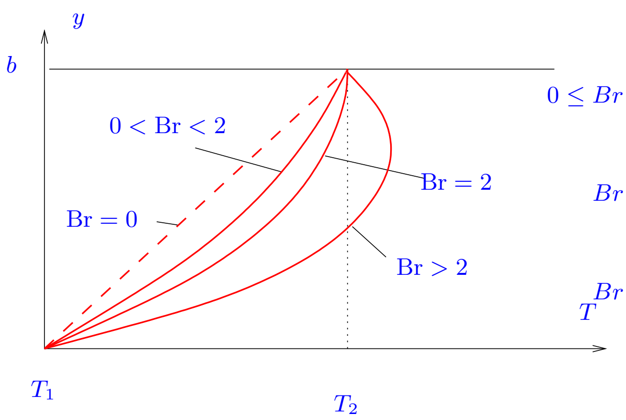
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8883\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 39{,}3185\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 52{,}4246\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

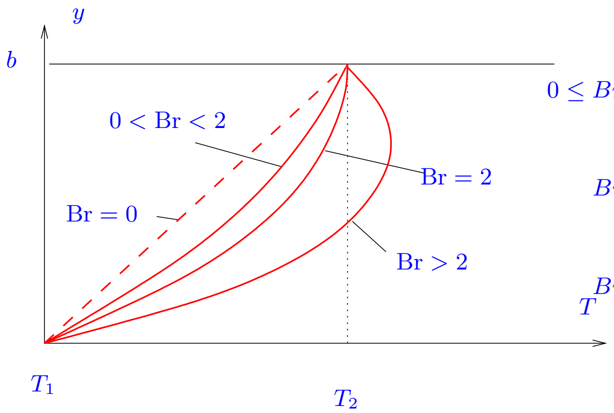
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8883\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}9852\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 50{,}647\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

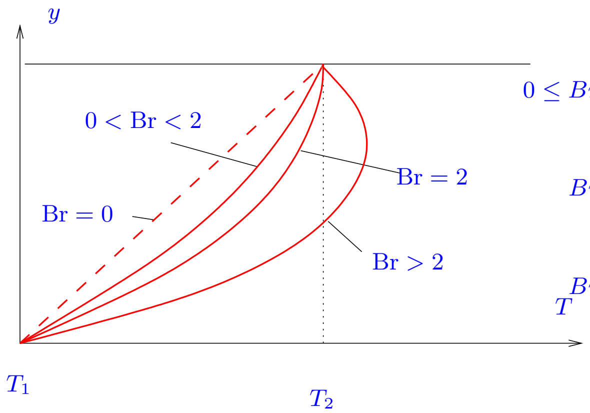
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 131{,}8724\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\text{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\text{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\text{Re}_\text{crit} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_\text{max} = \frac{\text{Re}_\text{crit}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\text{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_\text{ein} = 30\,°\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_\text{Is} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\text{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\text{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\text{W/m}^2\text{K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}8883\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}0148\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}5687\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

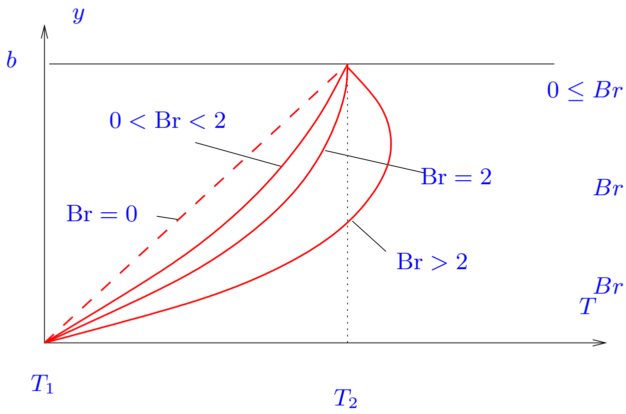
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9175\,°\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3125\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 25{,}1667\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

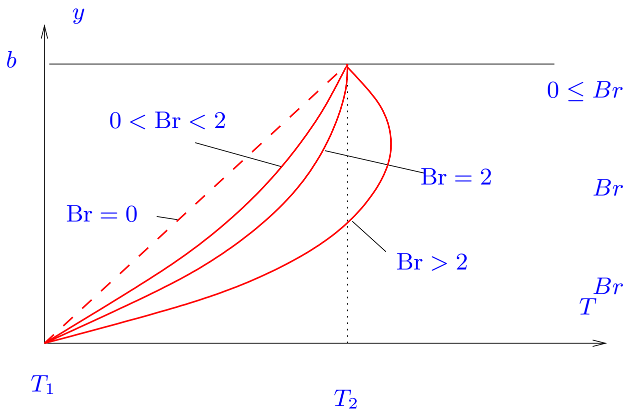
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9175\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2018\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}1794\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

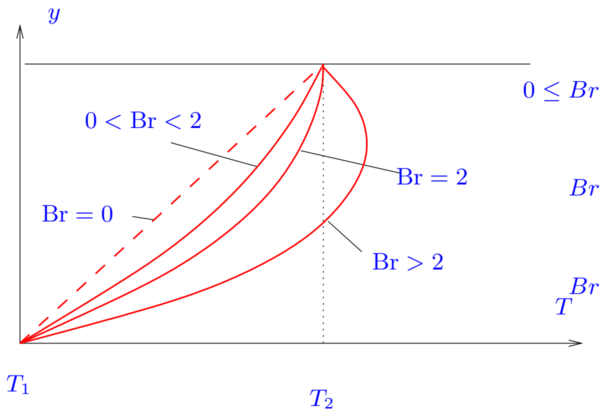
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9175\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2123\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17\cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}2998\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

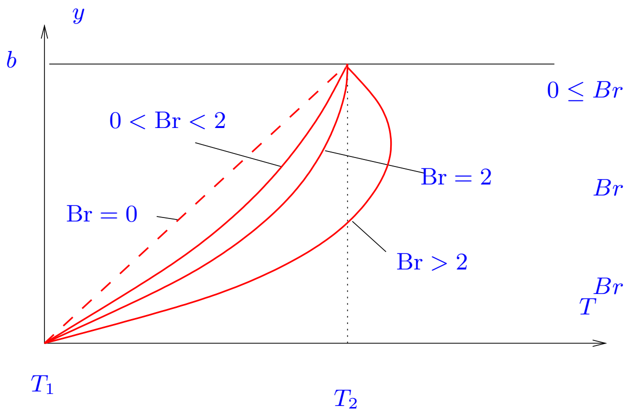
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9175\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}3235\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}5098\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

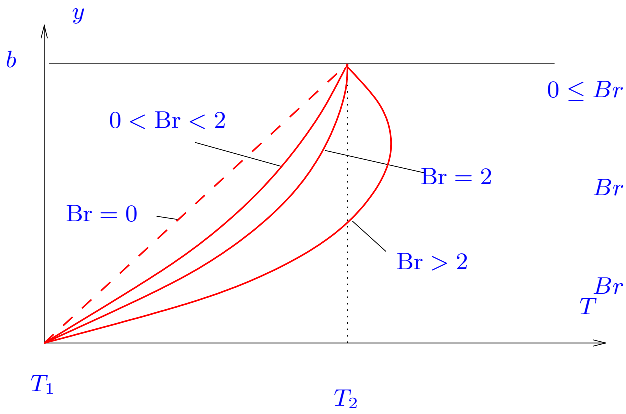
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9174\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}184\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}5687\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

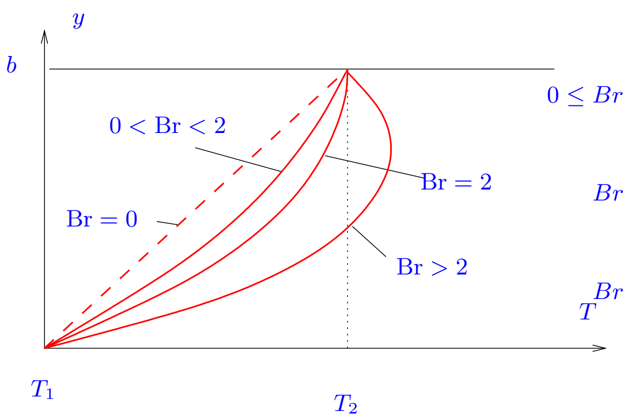
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9012\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}0313\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}1667\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

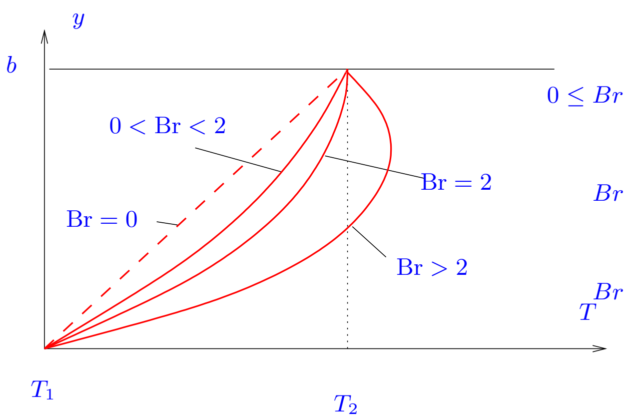
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9012\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}7354\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}1794\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

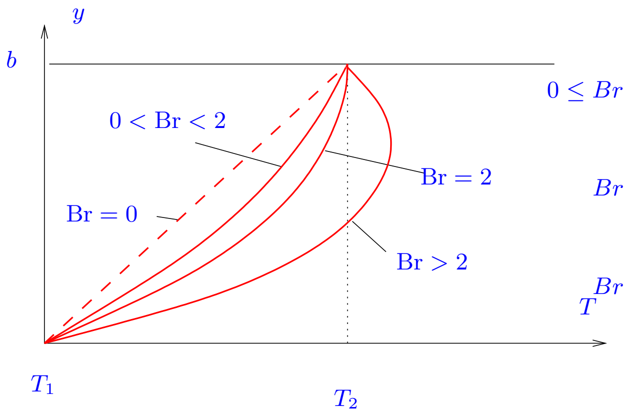
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



- $0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,
- $Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9011\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 30{,}581\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}2998\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

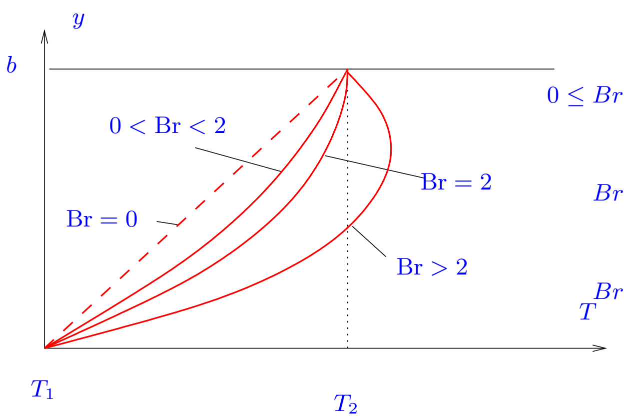
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9011\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 29{,}5441\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}5098\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

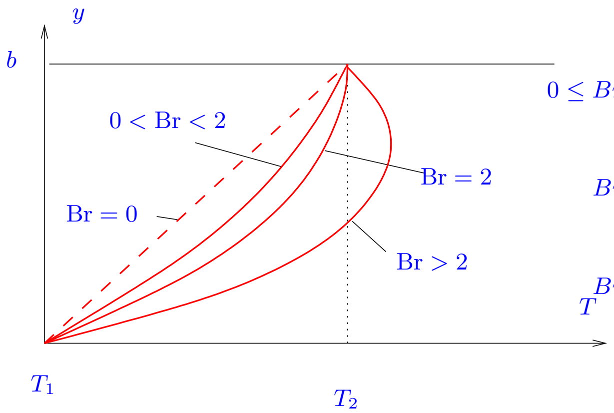
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9011\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 41{,}3531\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}5687\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

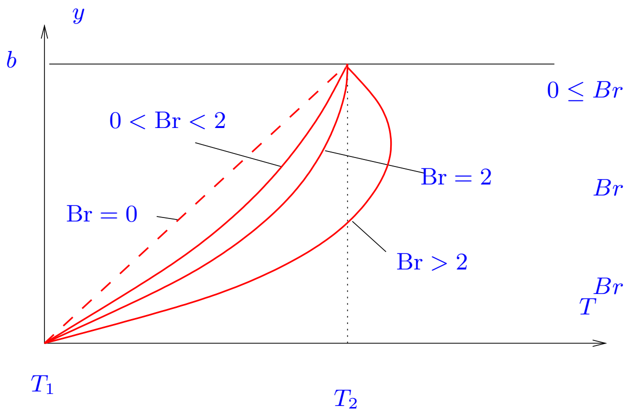
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\,\times 10^{8} > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9292\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}75\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}1667\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

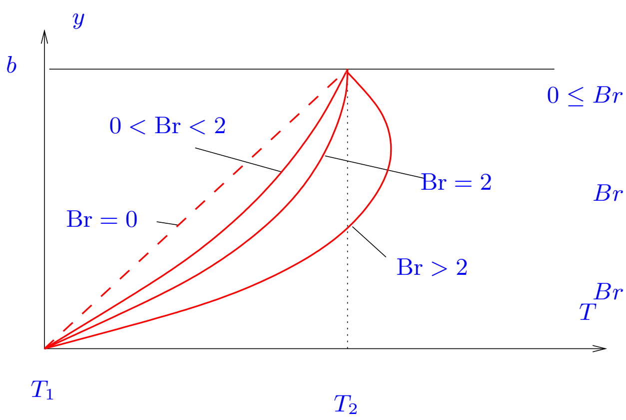
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9292\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 36{,}2691\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}1794\,\text{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\text{Pa s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\text{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\text{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\text{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\text{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

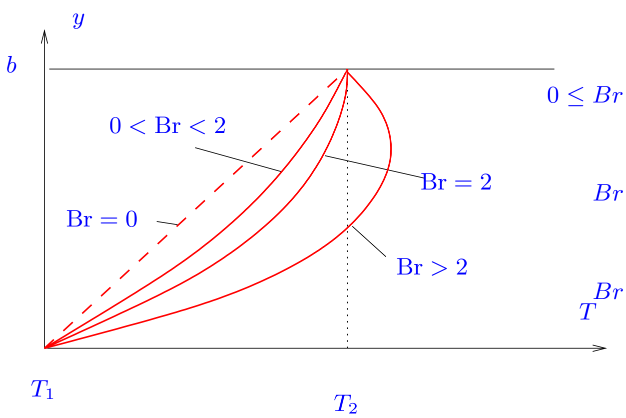
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\text{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\text{Br} = 0$, $\text{Br} = 1$, $\text{Br} = 2$, $\text{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9292\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; $(s_M = 2s_0)$.

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 34{,}9497\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 23{,}2998\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

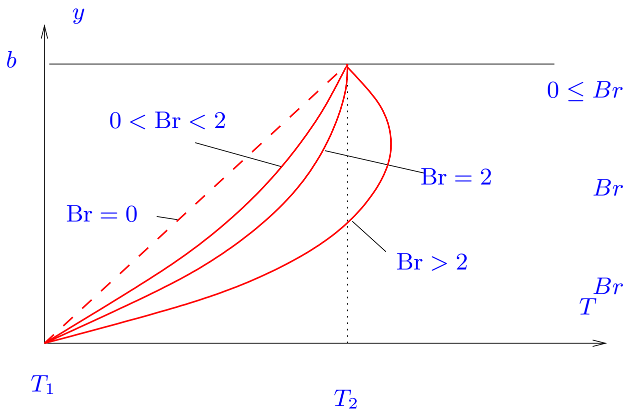
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m}^3$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9291\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 33{,}7647\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\ \mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}5098\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

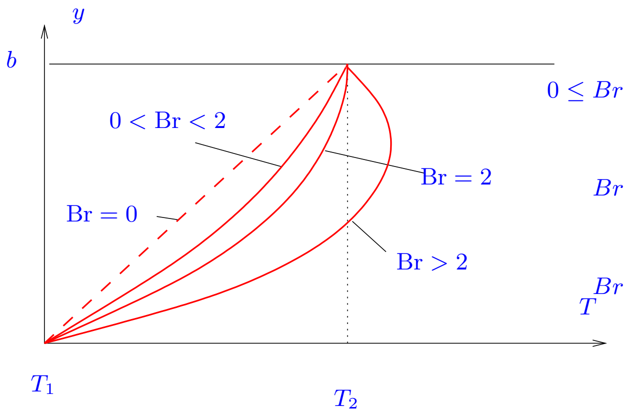
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9291\,^\circ\text{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 46{,}5222\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 41{,}0582$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}7064\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}5687\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

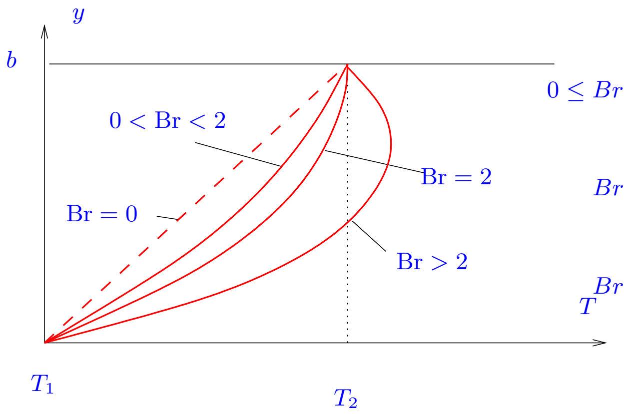
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\,\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}938\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 42{,}4688\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 44{,}977$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 188{,}0949\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}1667\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

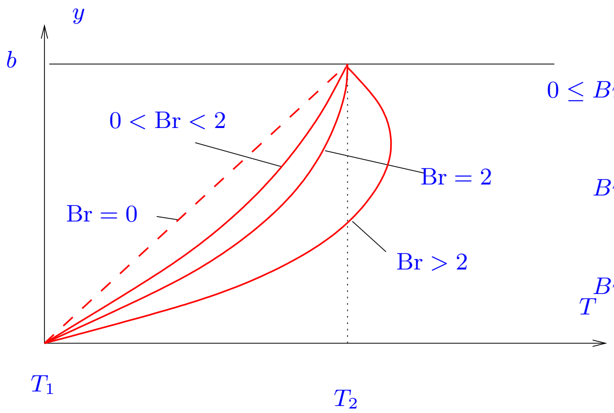
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}938\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 40{,}8027\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}8136$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 195{,}7754\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}1794\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

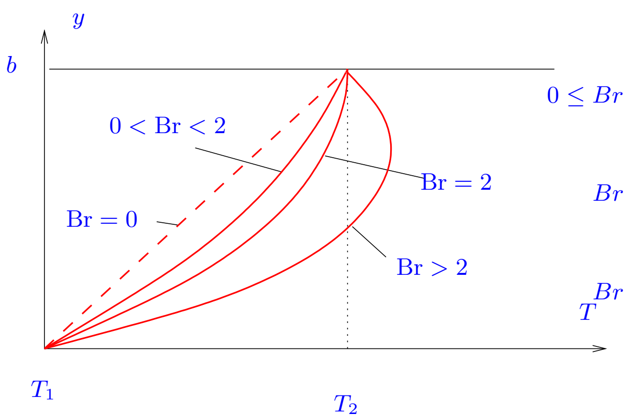
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9379\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 39{,}3185\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 48{,}5808$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 203{,}1658\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}2998\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

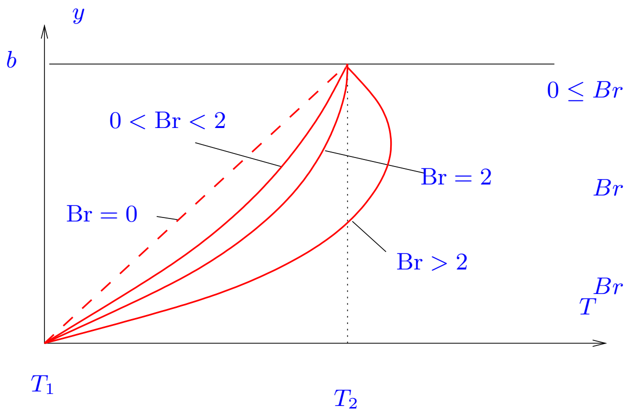
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\text{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9379\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 6{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 37{,}9852\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 50{,}2859$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 210{,}2965\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}5098\,\mathrm{K}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m}^3$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 7\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

6) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

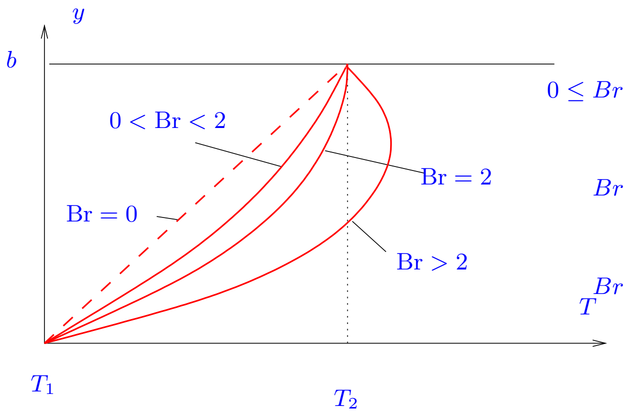
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

7) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 204{,}0452\,\mathrm{kW/m^3}$$

8) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

9) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}5359\,\mathrm{K}$$

10) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0213\,\mathrm{m}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 30\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

11) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

12) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

13) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

14) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

15) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 29{,}9379\,^\circ\mathrm{C}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}7401\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6699\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

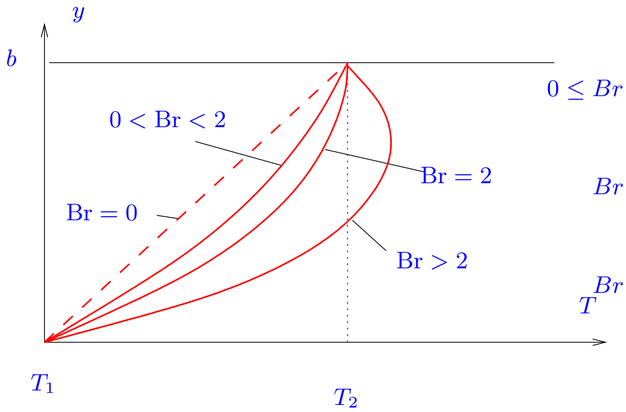
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}933\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}2441\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6699\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

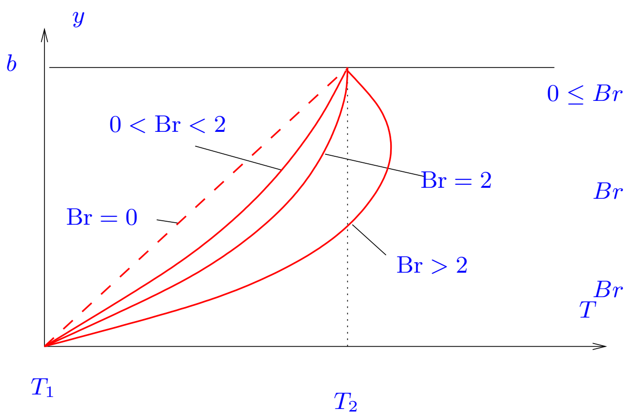
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}1903\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6698\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

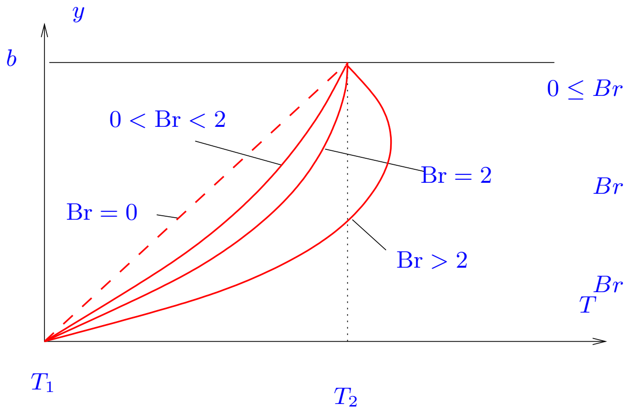
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 17{,}5286\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6698\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

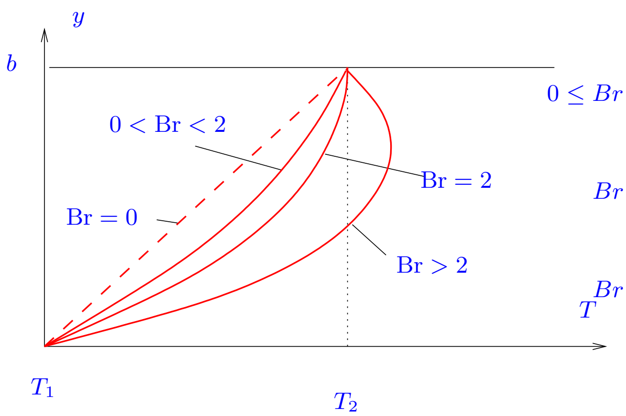
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 16{,}9342\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6698\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

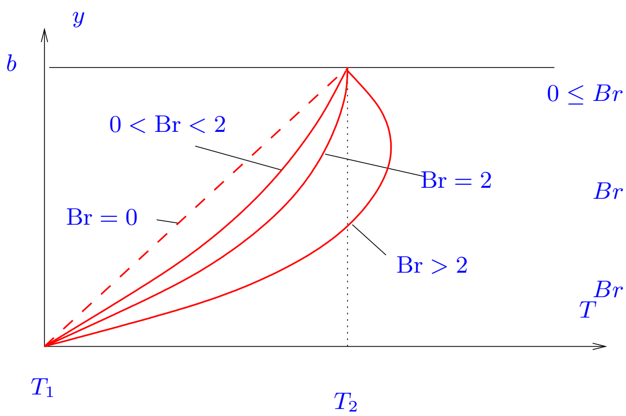
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}1968\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6047\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

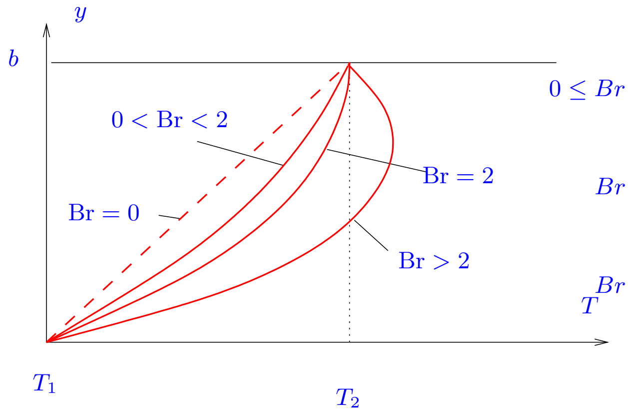
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}0885\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$

kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.

Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?

Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)

Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?

Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!

Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}2441\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6046\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

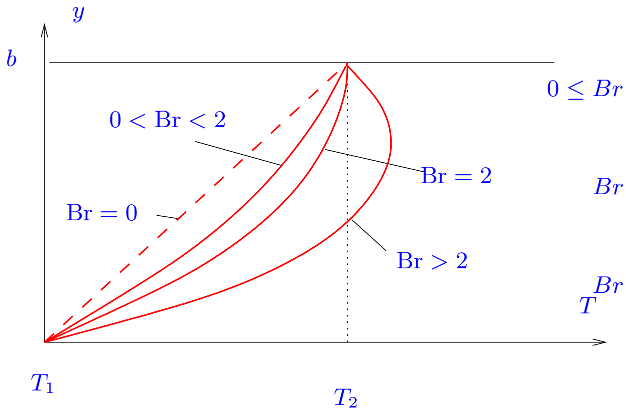
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 21{,}222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6046\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

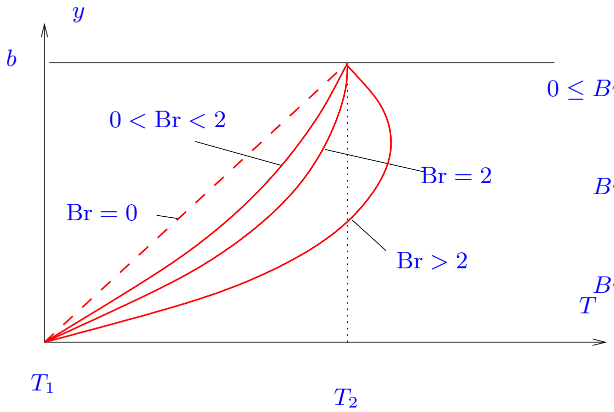
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}45\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6045\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

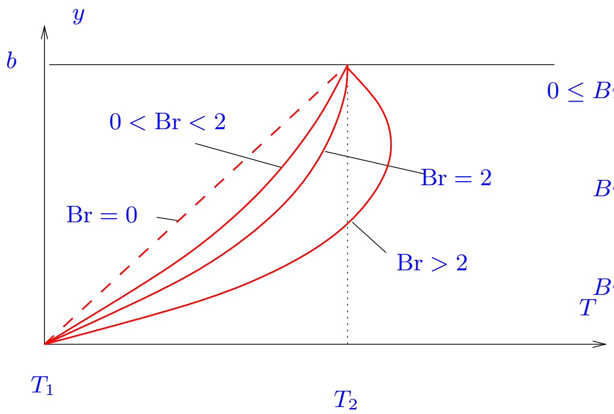
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 19{,}7566\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6045\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

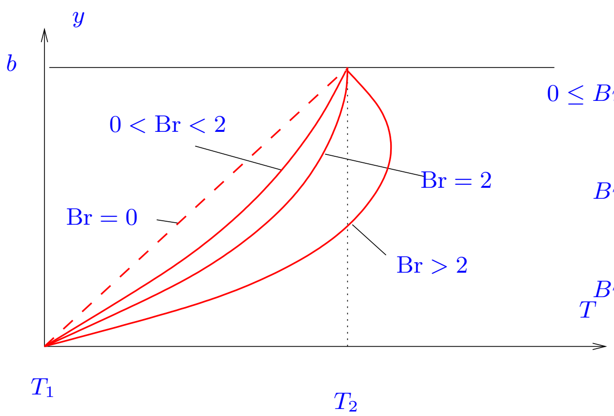
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7167\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

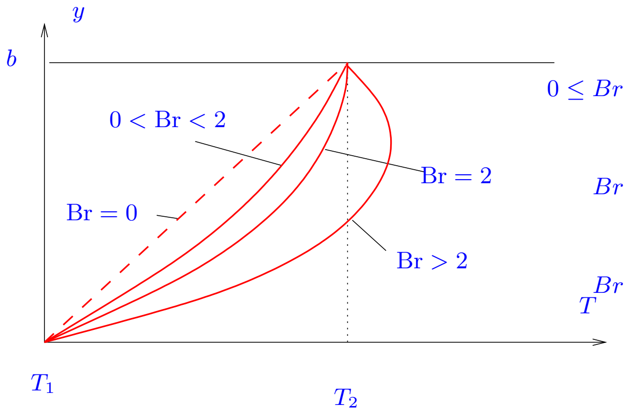
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}2441\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}2441\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7166\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

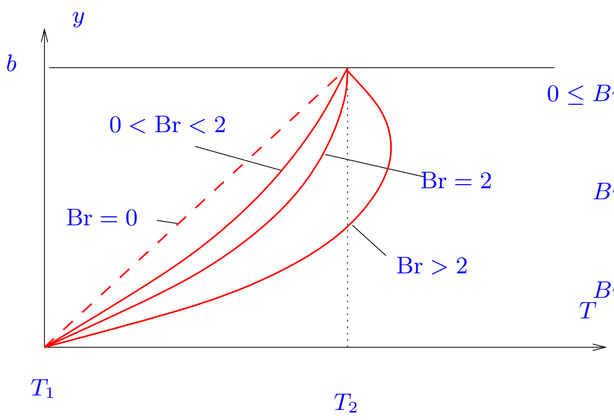
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7166\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

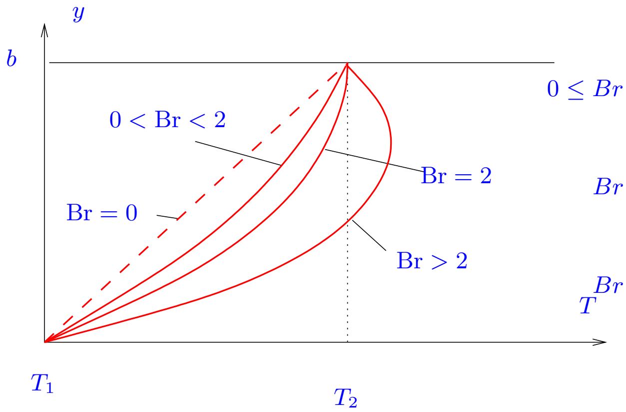
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7166\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

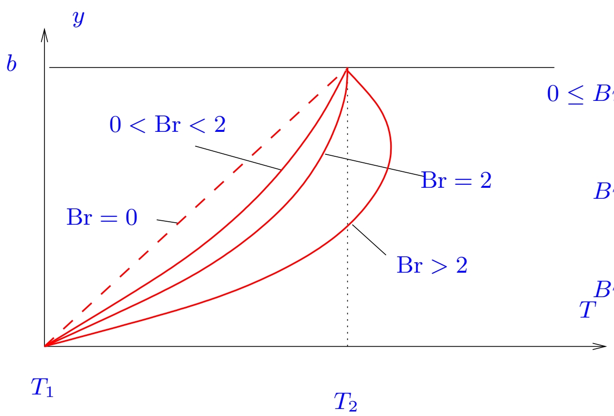
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\;\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\;\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7166\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

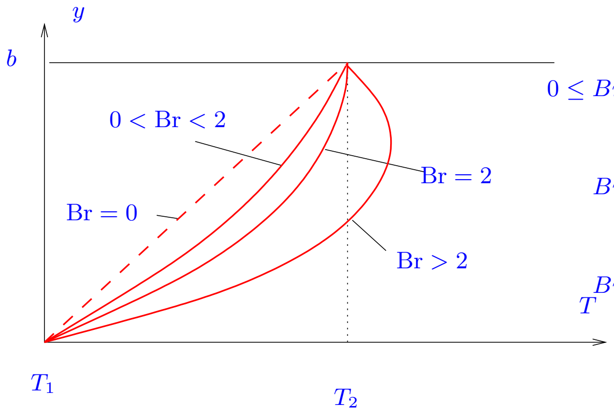
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}1102\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$

kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.

Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?

Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)

Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?

Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!

Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7518\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

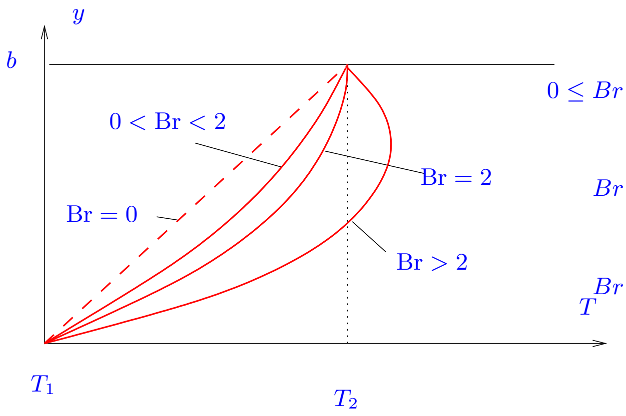
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3996\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 25{,}2441\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7518\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

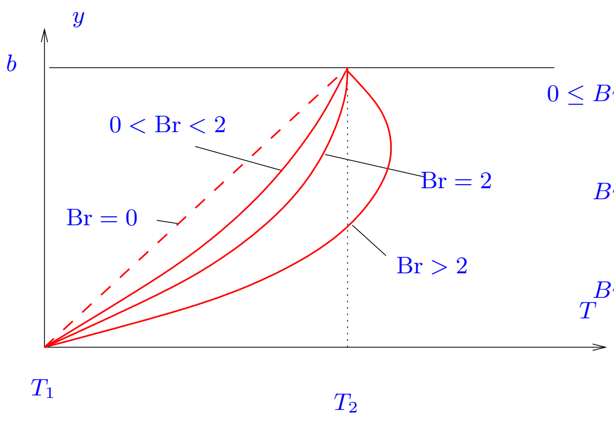
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2854\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\, \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\, \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7518\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

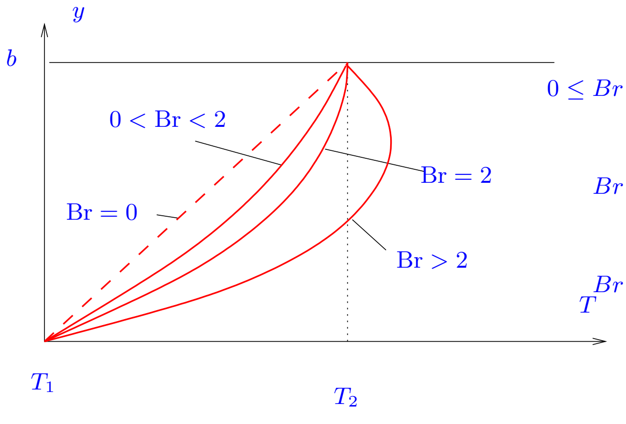
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2929\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,{}^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,{}^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7518\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

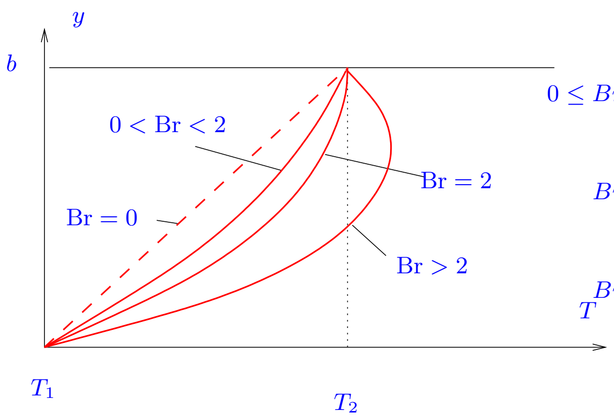
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}6\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}4013\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu} \frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 22{,}579\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 15\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t} \frac{\lambda_R}{8}, \; \text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7518\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

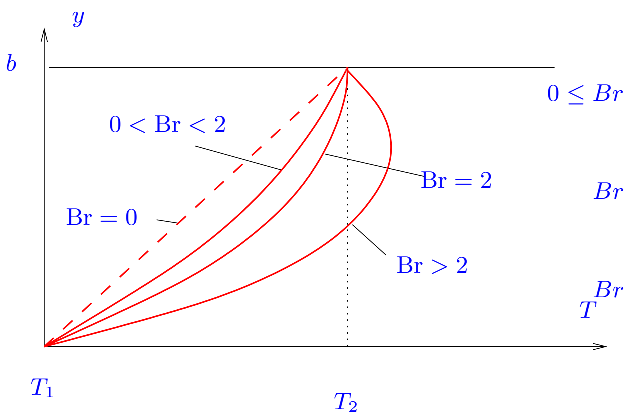
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 153{,}6351\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}7401\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}2624\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7029\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

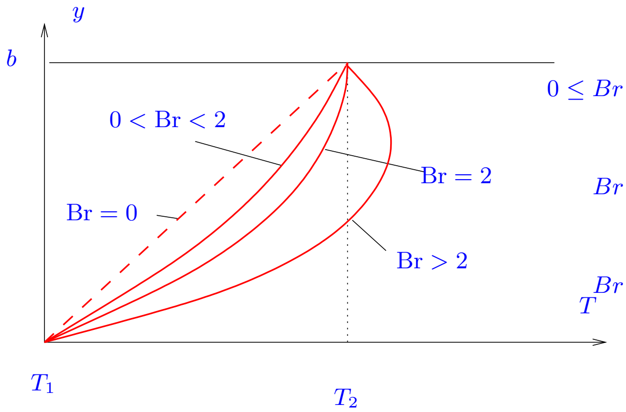
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}933\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 29{,}4514\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7029\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

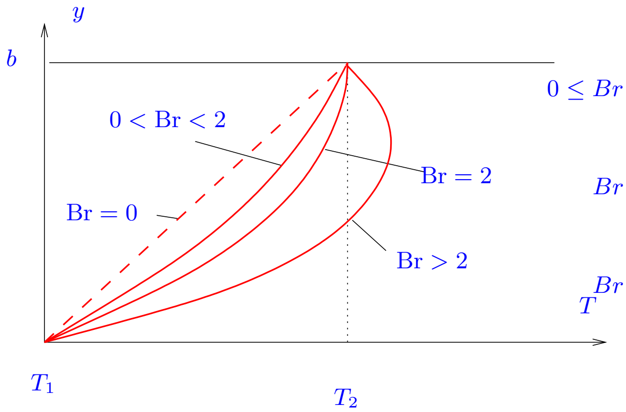
$$\dot\phi = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}1903\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 28{,}296\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7029\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

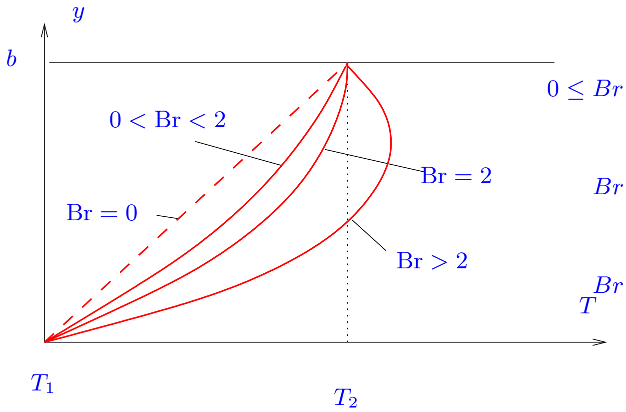
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 17{,}5286\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}2667\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7028\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

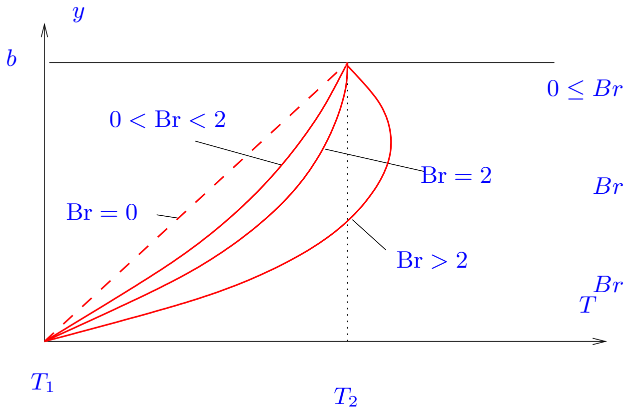
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 16{,}9342\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 26{,}3421\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7028\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

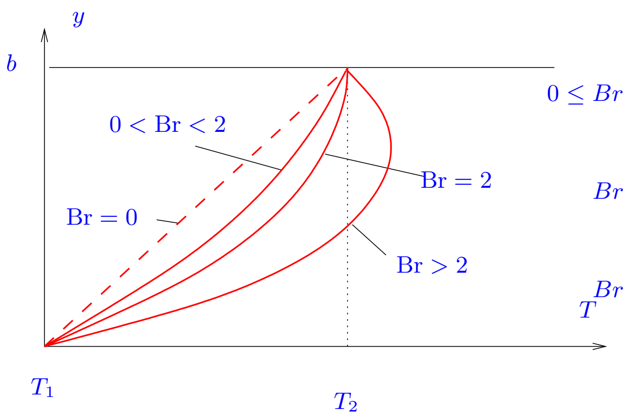
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}1968\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}2624\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6442\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

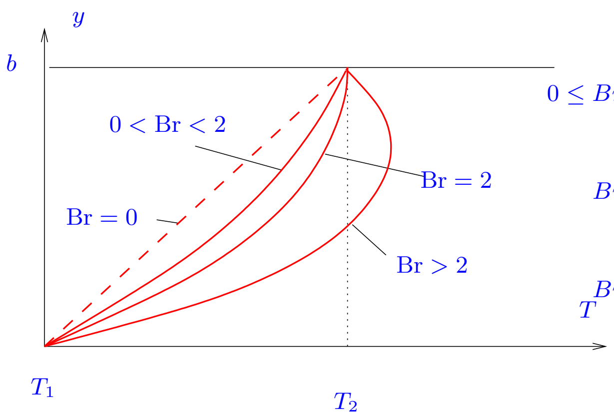
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}0885\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 29{,}4514\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6442\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

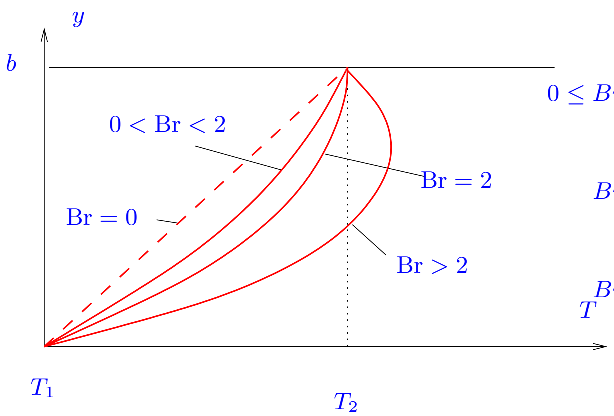
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 21{,}222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 28{,}296\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6441\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

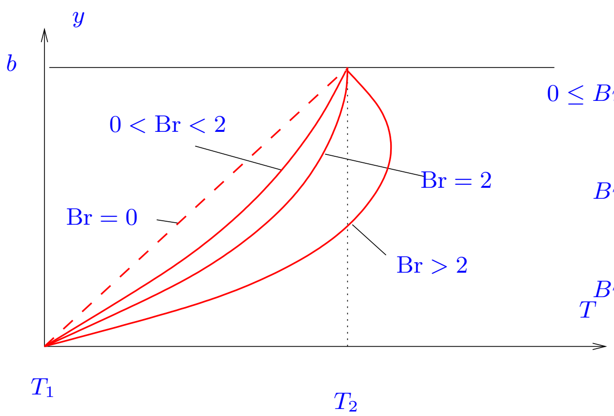
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}45\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}2667\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6441\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

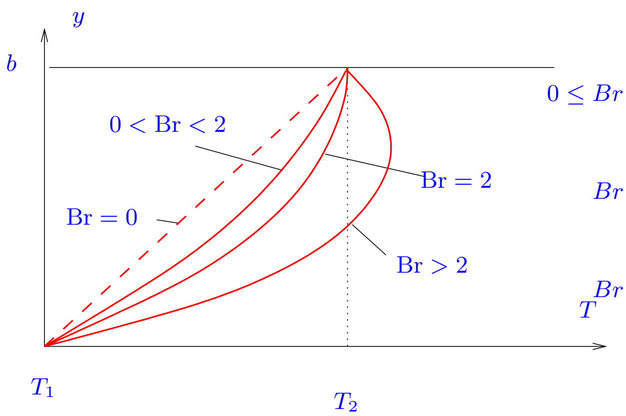
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 19{,}7566\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 26{,}3421\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}644\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

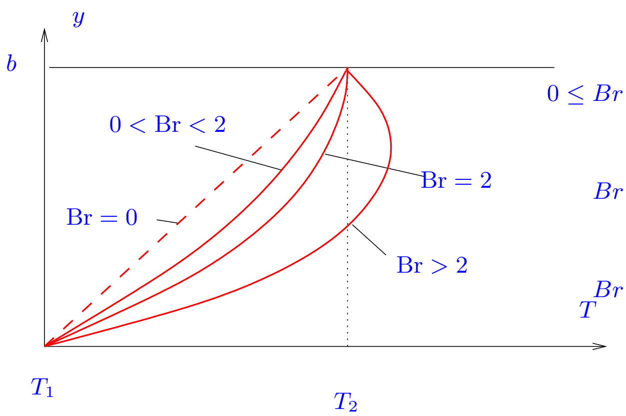
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}6535\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}2624\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \dfrac{1}{\text{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}745\,°\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

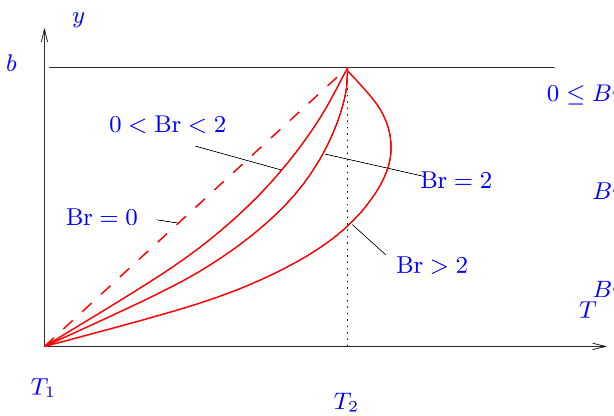
$$\dot\phi = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}2441\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 29{,}4514\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}745\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

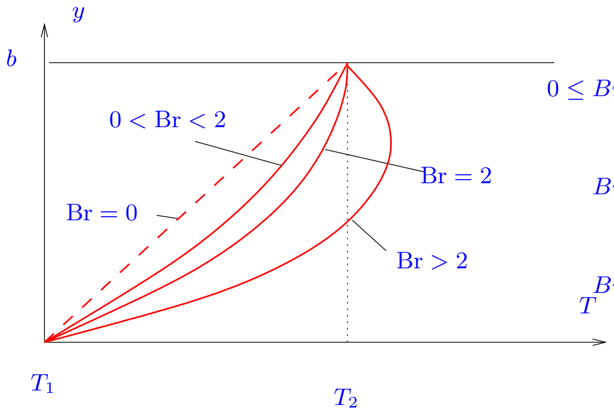
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}2537\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 28{,}296\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,°\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \dfrac{1}{\text{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}745\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

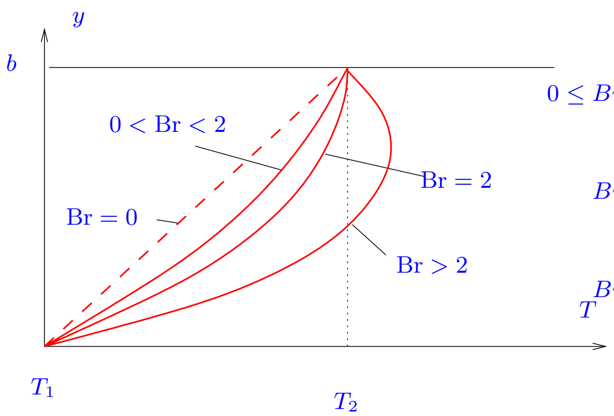
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}2667\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7449\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\ \mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\ \mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\ \mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\ \mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\ \mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\ \mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

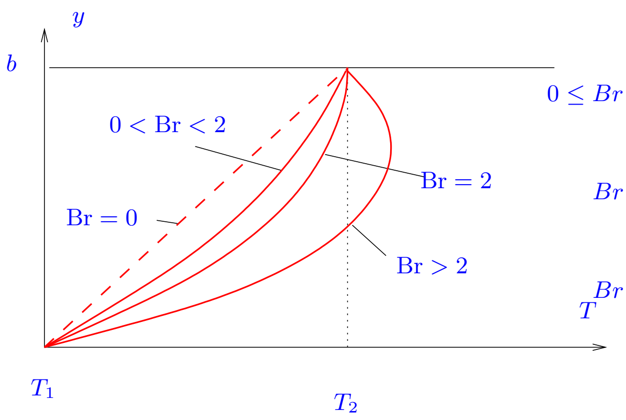
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\ {}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 26{,}3421\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7449\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

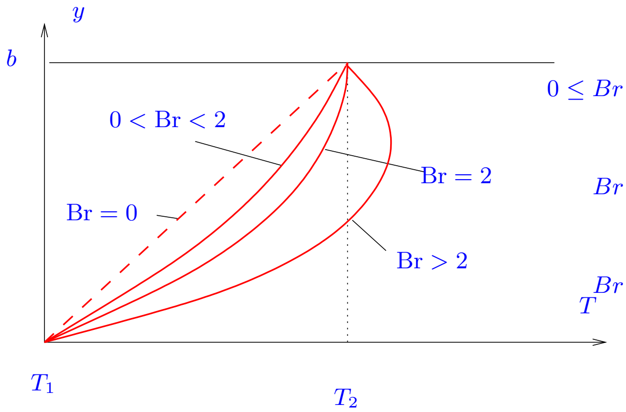
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}1102\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}2624\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7767\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

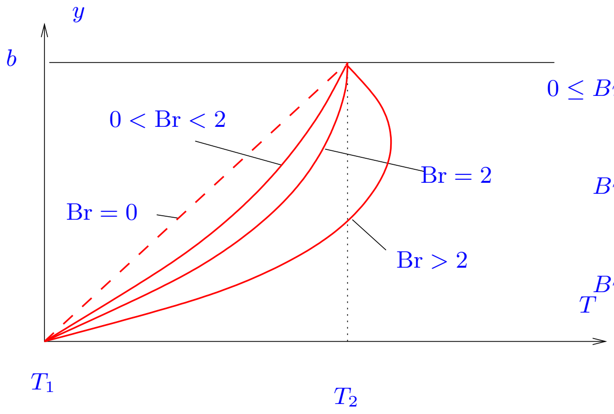
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3996\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 29{,}4514\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7766\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

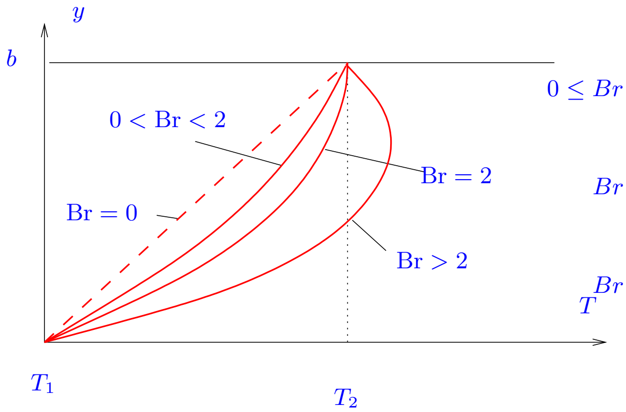
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2854\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 28{,}296\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7766\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

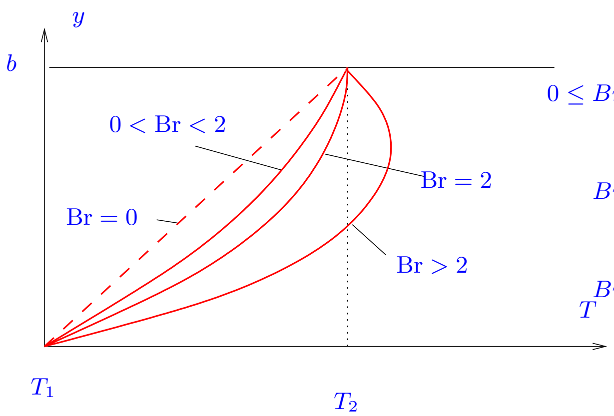
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2929\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 27{,}2667\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7766\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

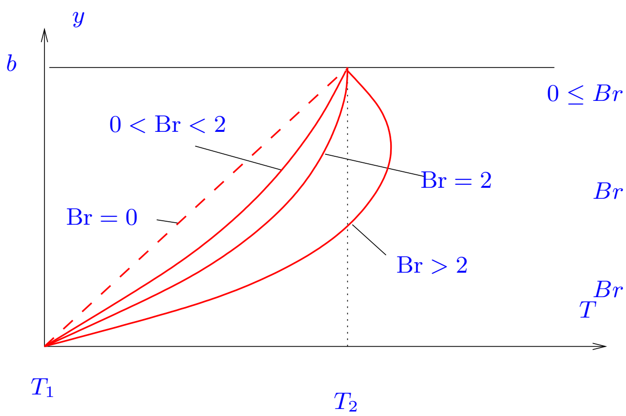
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}7\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}4013\,\text{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu} \frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 26{,}3421\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 17\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t} \frac{\lambda_R}{8}, \ \text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7766\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

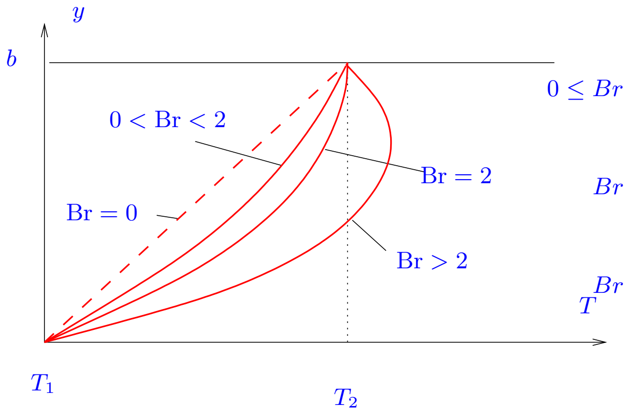
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 231{,}405\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}7401\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}8713\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7359\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\ \mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\ \mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\ \mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\ \mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\ \mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\ \mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

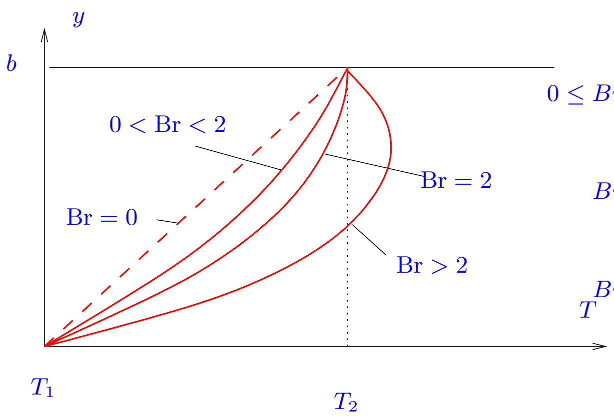
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\ {}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}933\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 33{,}6587\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}} \dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7359\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

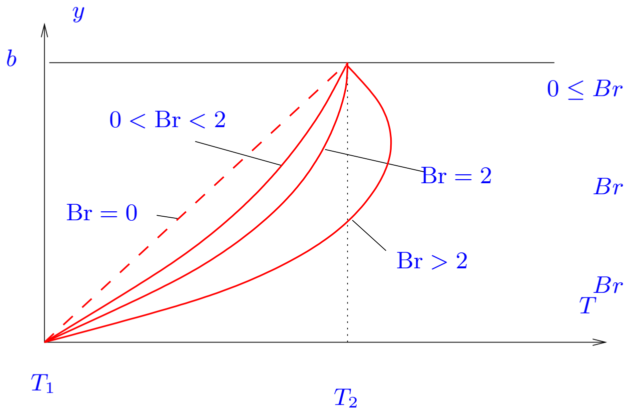
$$\dot\phi = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}1903\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}3383\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7359\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

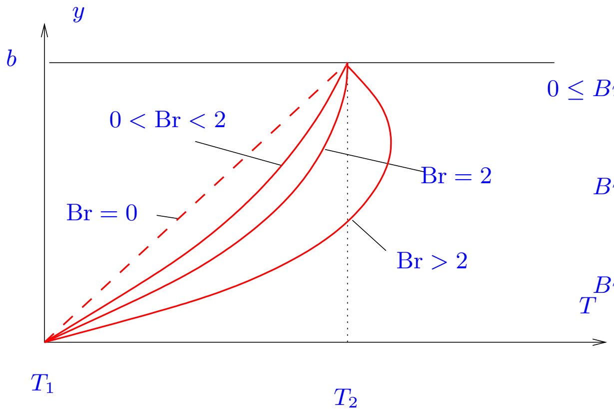
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 17{,}5286\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 31{,}1619\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7358\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

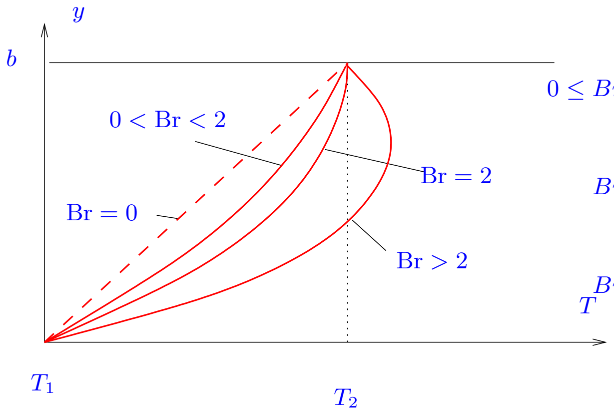
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 16{,}9342\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 30{,}1053\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7358\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

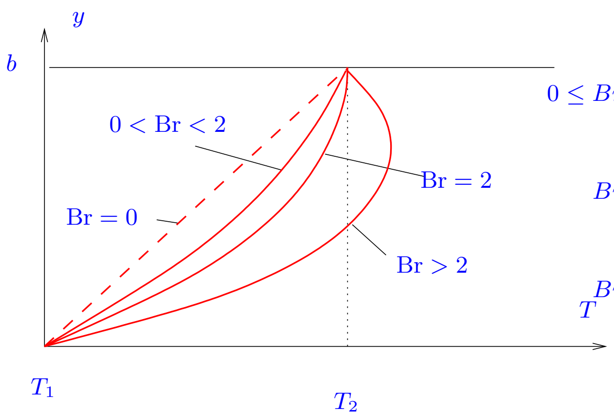
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}1968\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}8713\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6837\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

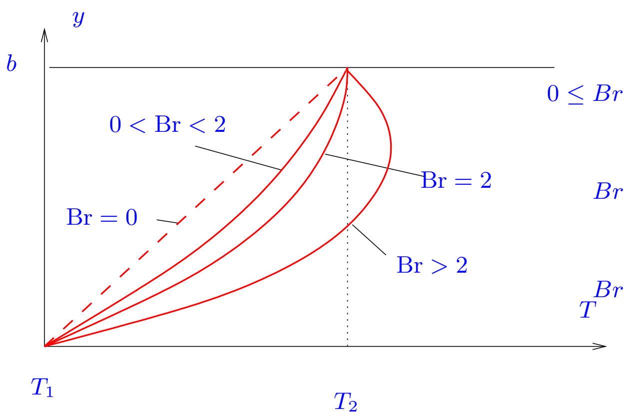
$$\dot\phi = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}0885\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}6587\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6837\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

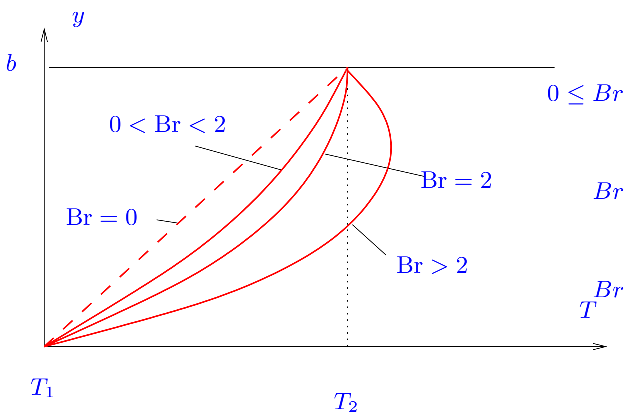
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 21{,}222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}3383\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6836\,°\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

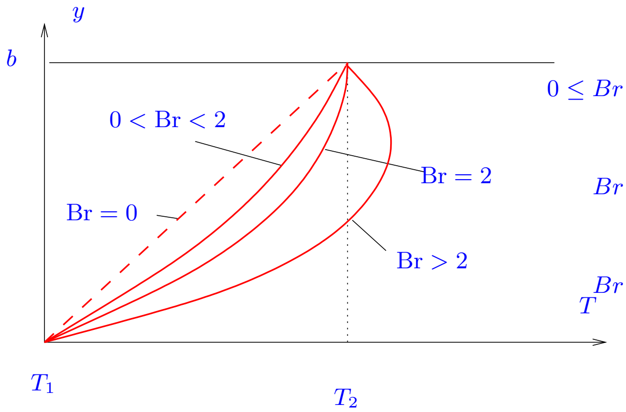
$$\dot\phi = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}45\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$

kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.

Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?

Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)

Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?

Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!

Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 31{,}1619\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6836\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

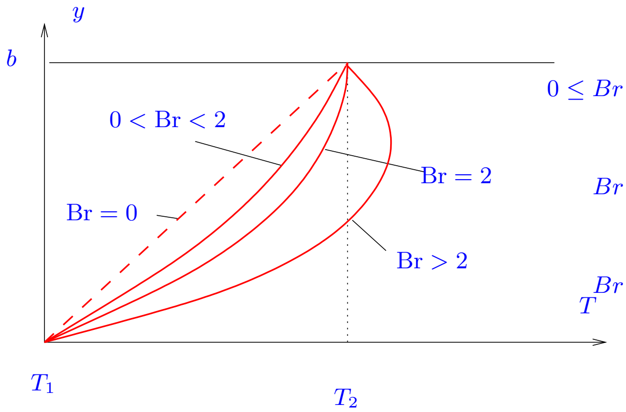
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 19{,}7566\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$

kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.

Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?

Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)

Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?

Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!

Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 30{,}1053\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.

Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.

Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$

Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}6836\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

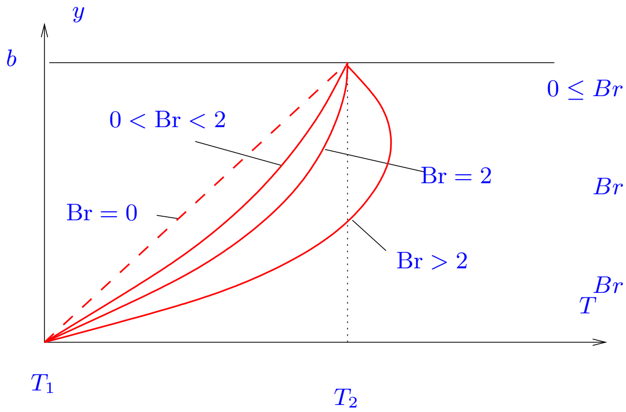
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}8713\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7733\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

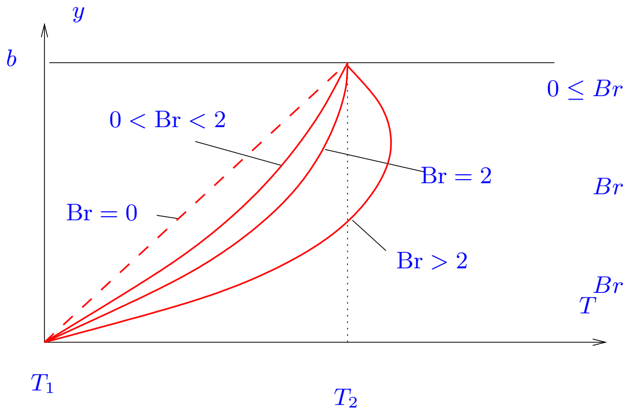
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}2441\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}6587\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7733\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

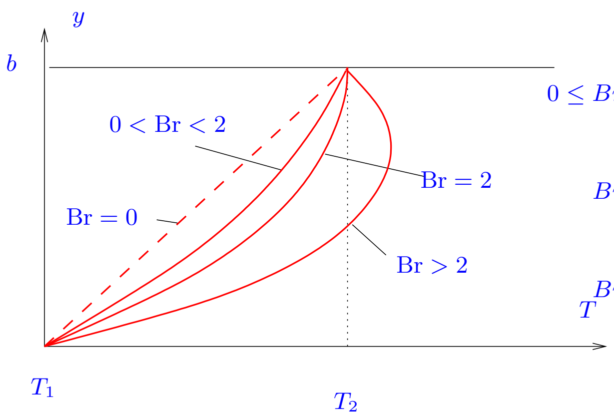
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}3383\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7733\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

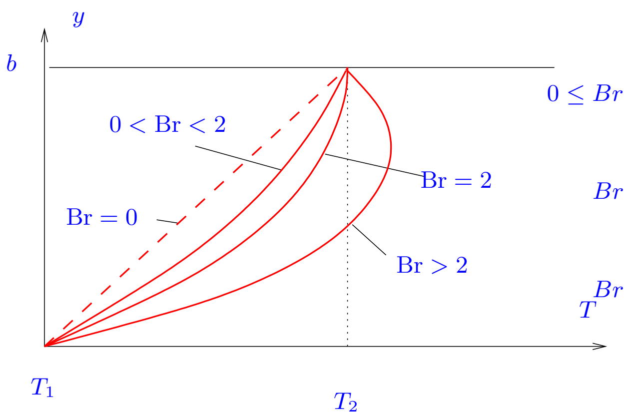
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 31{,}1619\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7733\ ^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\ \mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\ \mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\ \mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\ \mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\ \mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\ \mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

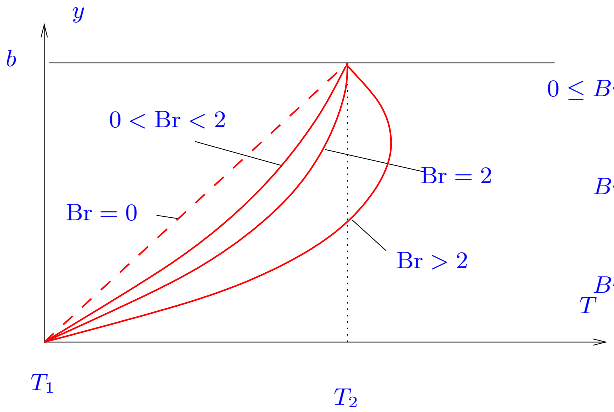
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\ ^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 30{,}1053\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7733\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

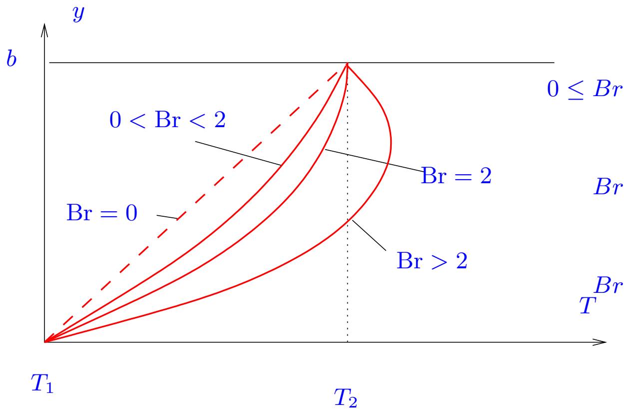
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}1102\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}8713\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8015\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

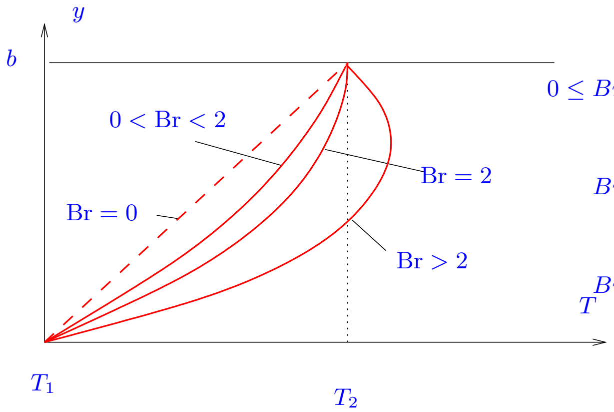
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3996\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu} \frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 33{,}6587\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8014\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

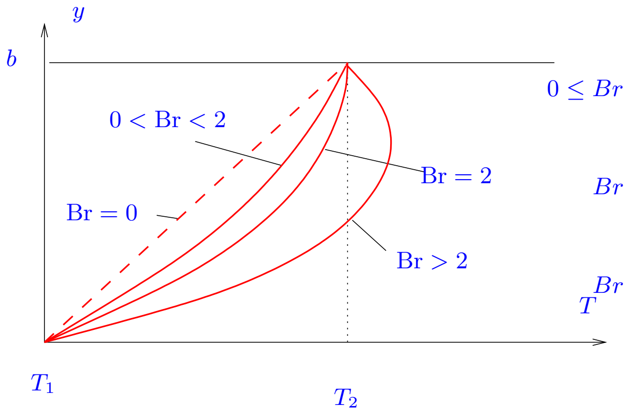
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2854\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 32{,}3383\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8014\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

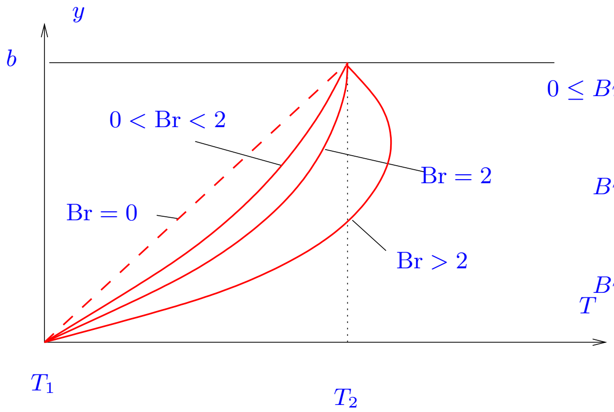
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2929\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 31{,}1619\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8014\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

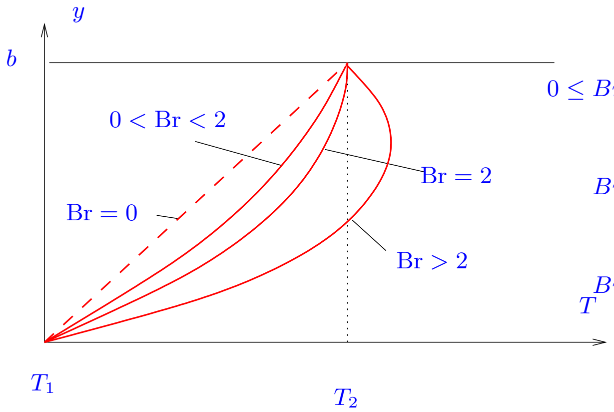
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}8\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}4013\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 30{,}1053\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 19\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8014\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 3{,}4\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

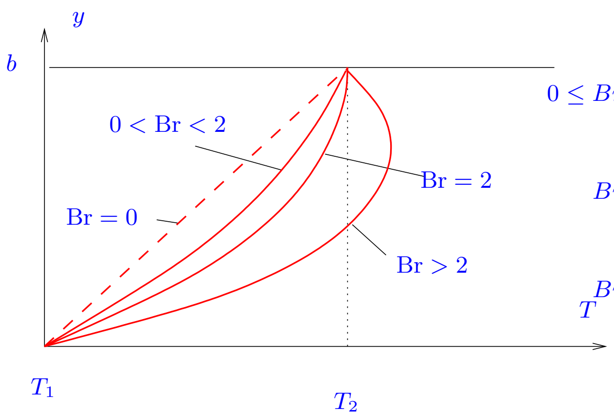
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 387{,}5433\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5$ mm) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9$ W abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10$ m/s angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9$ W bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}7401$ K gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300$ K , $p = 1$ bar
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}4802\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3$ m/s durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50$ mm. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5$ mm mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1$ W/mK ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50$ m. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72$ bar.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7689\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

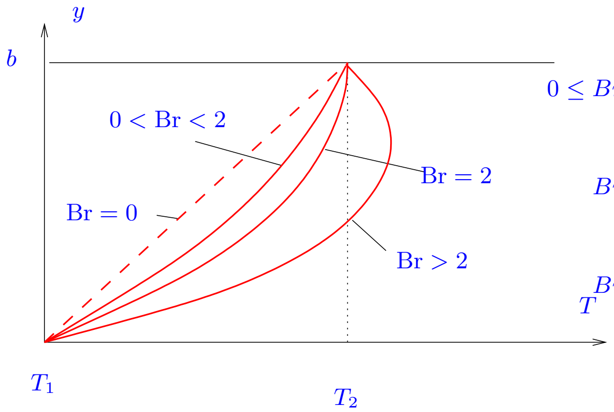
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}933\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}8661\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7689\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

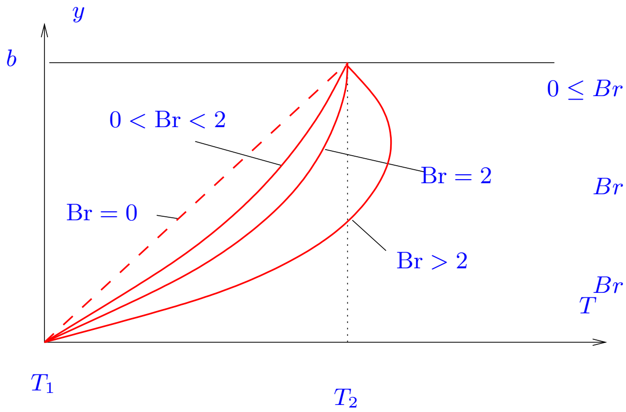
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}1903\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}3806\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7689\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

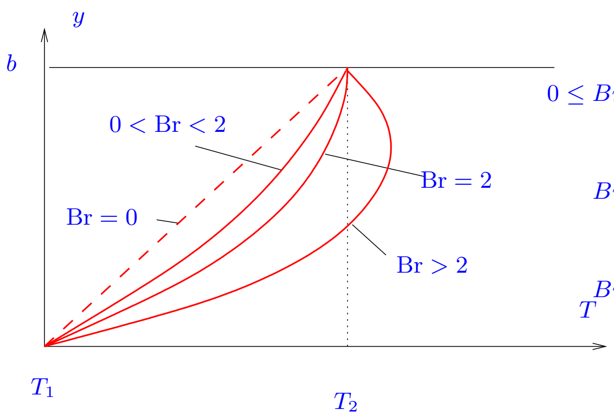
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 17{,}5286\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 35{,}0572\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7689\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

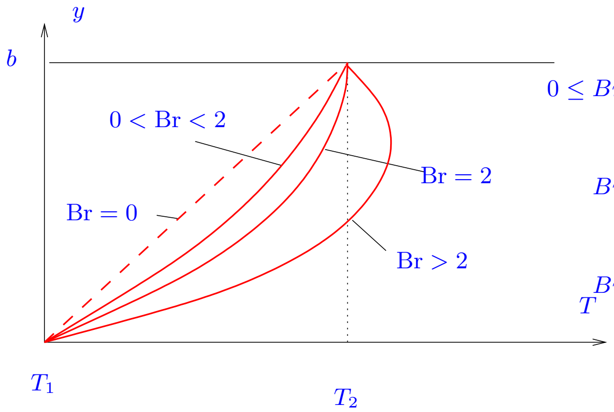
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 16{,}9342\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}8685\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7688\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

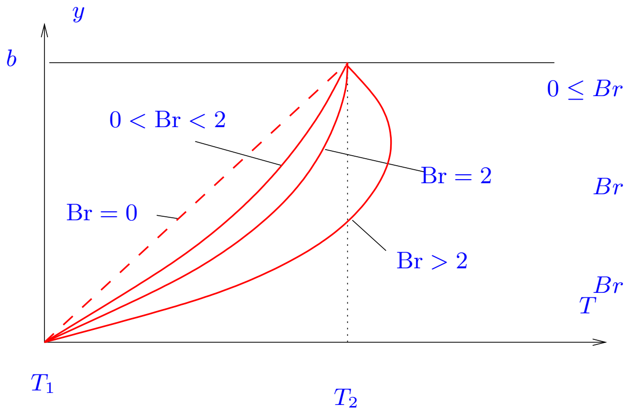
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}1968\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}4802\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7233\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

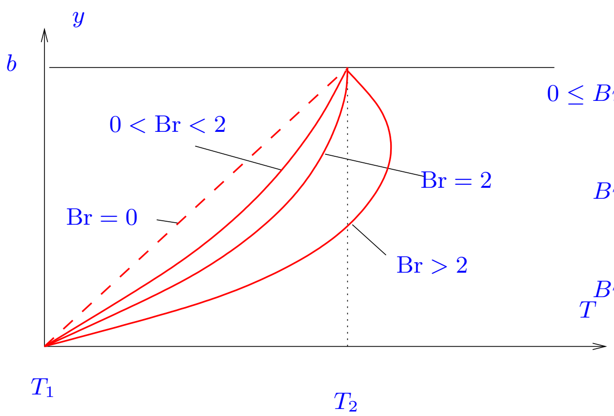
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}0885\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}8661\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \dfrac{1}{\text{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7232\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

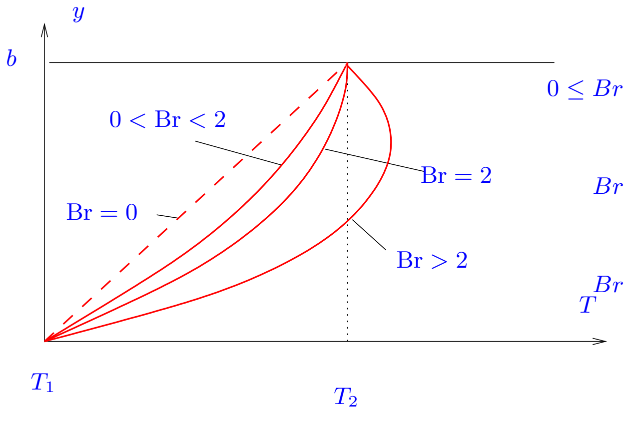
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 21{,}222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}3806\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7232\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

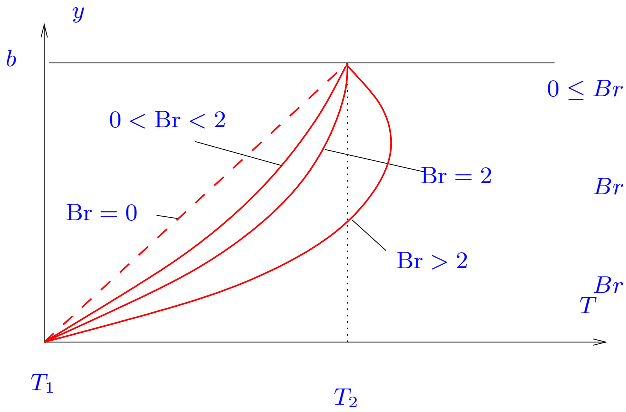
$$\dot\phi = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}45\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 35{,}0572\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7232\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

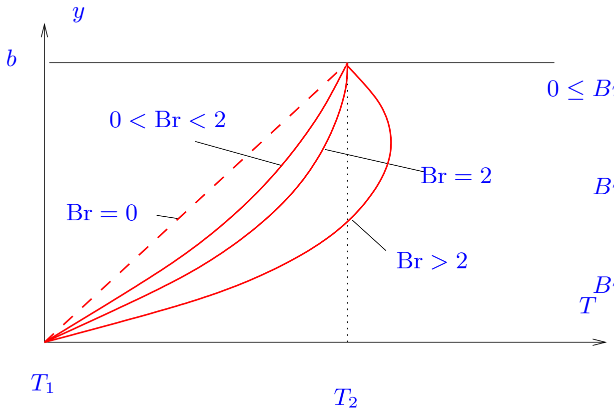
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 19{,}7566\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}8685\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}7231\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

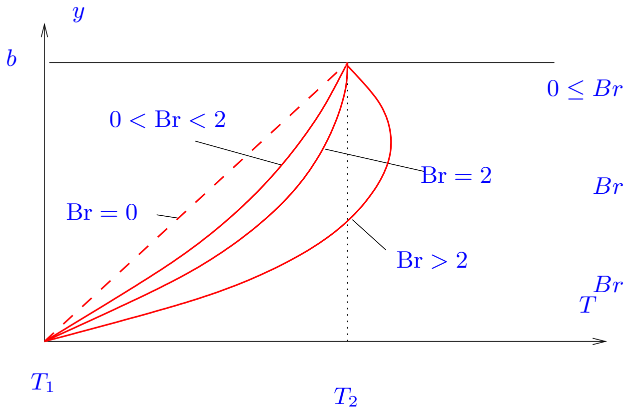
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad\Longrightarrow\quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}4802\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad\Longrightarrow\quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8017\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

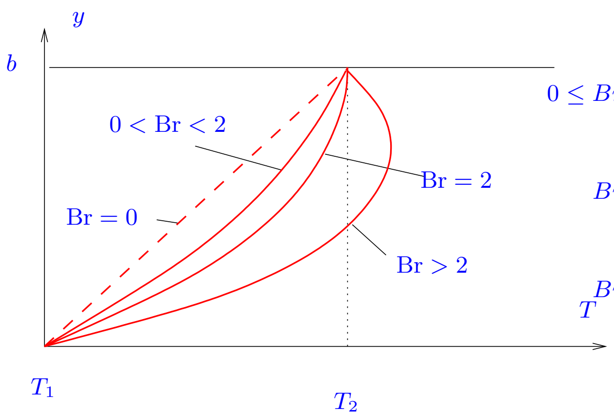
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}2441\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}8661\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,°\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8017\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

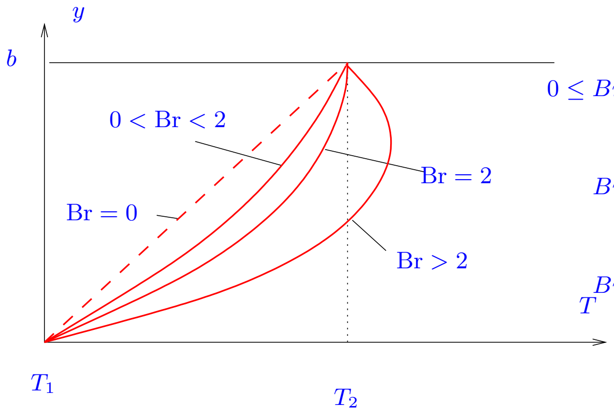
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}3806\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8016\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

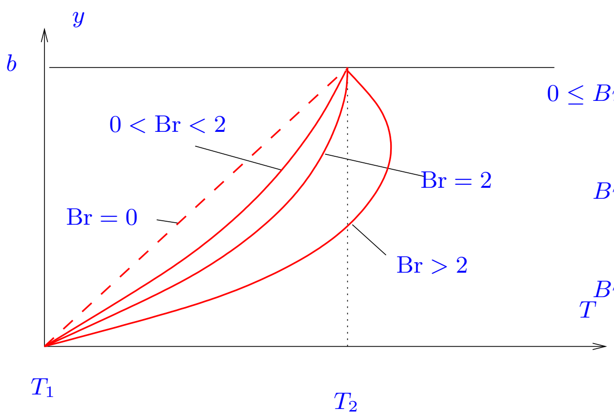
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 23{,}3715\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 35{,}0572\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\ \mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8016\ {}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

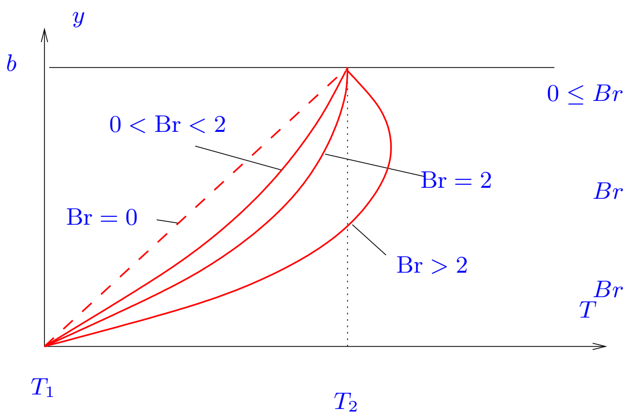
$$\dot\phi = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot\phi = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\ \mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot\phi b^2}{8\lambda} = 20{,}7\ \mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\ \mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}8685\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8016\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

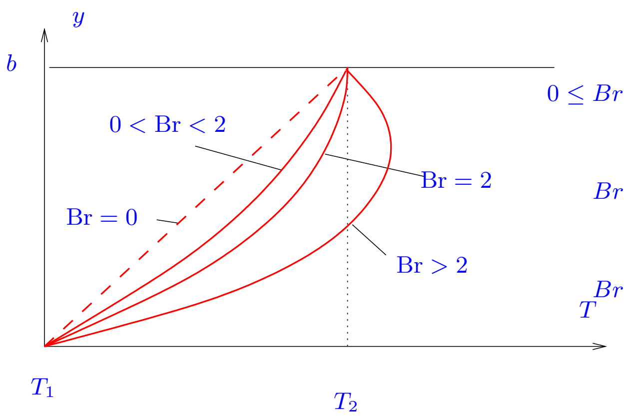
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}1102\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 41{,}4802\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8263\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

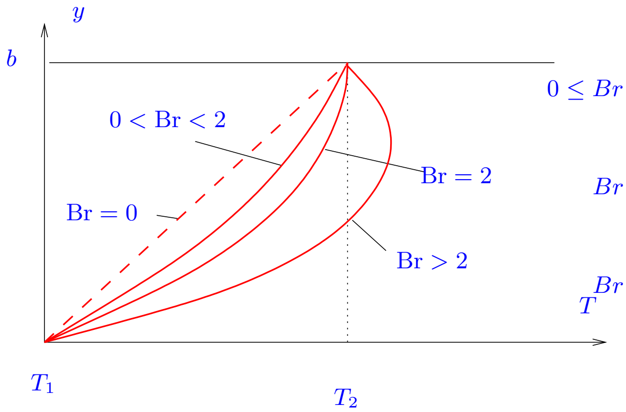
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3996\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 37{,}8661\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8263\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

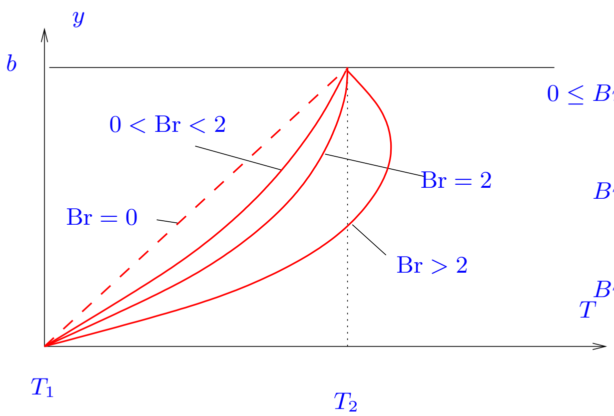
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2854\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 36{,}3806\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8263\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

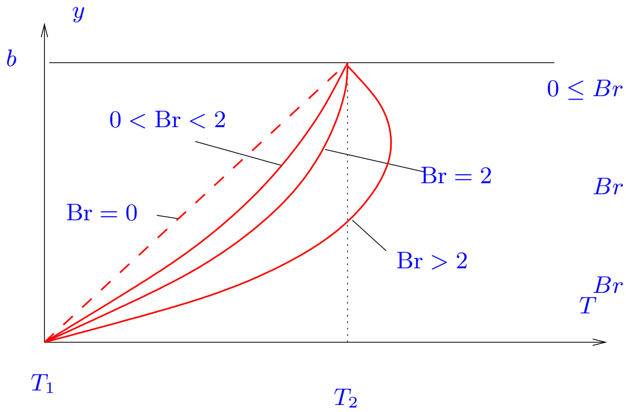
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2929\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 35{,}0572\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\, \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\, \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}} \frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8262\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

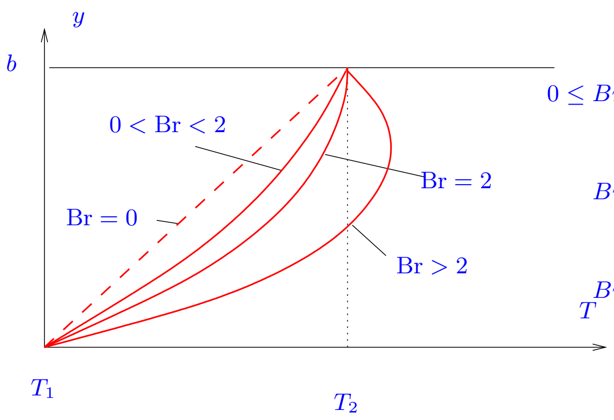
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}9\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}4013\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 33{,}8685\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 21\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8262\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 5{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

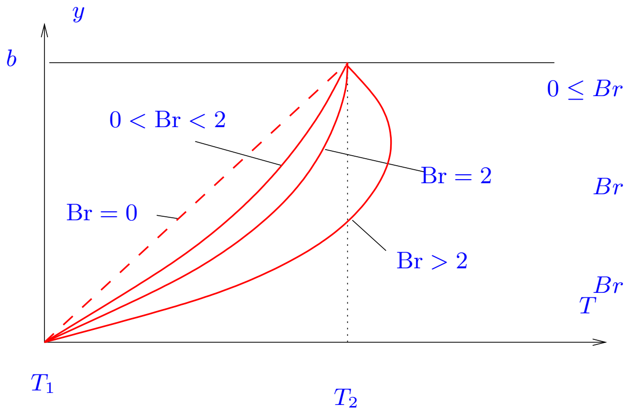
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 172{,}2414\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}7401\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\; s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 18{,}4356\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\, \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}72\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\, \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w) e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}835\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y} \right)^2$$

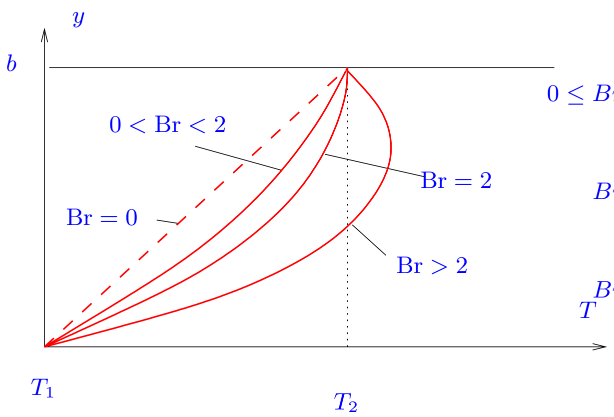
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}933\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 16{,}8294\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9455\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8349\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

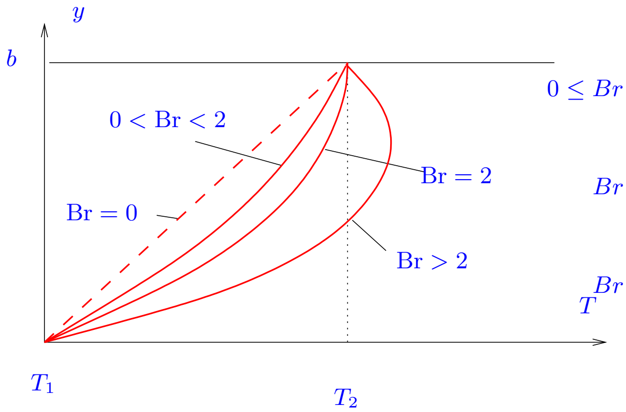
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 18{,}1903\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 16{,}1691\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}864\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}, \ \text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9501\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8349\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

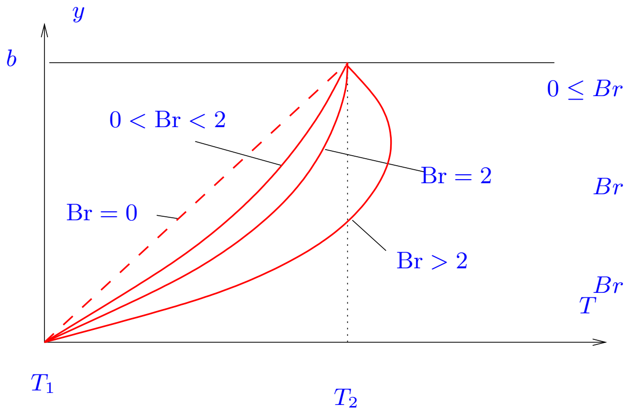
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 17{,}5286\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}581\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}936\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\text{St} = \dfrac{1}{\text{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9539\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8349\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

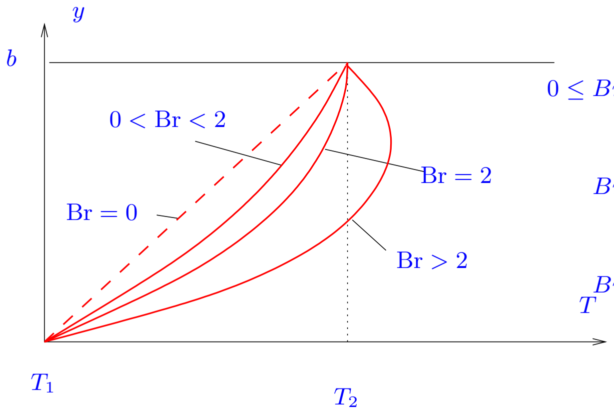
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 0{,}9\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 16{,}9342\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}0526\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}008\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}4\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8349\,°\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

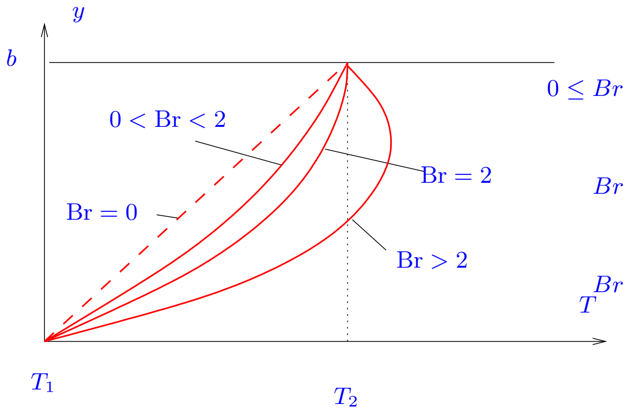
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}1968\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 18{,}4356\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}5\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9281\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8023\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

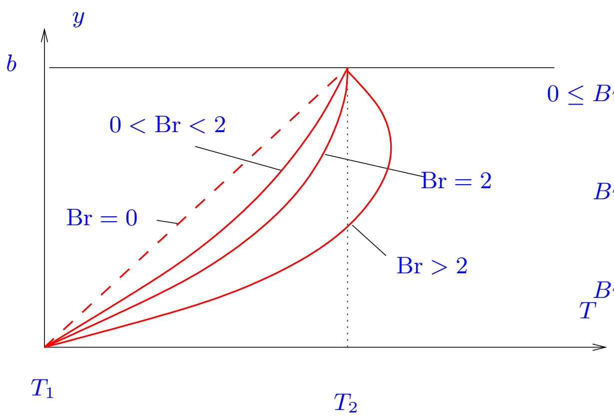
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}0885\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 16{,}8294\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}55\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9347\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8023\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

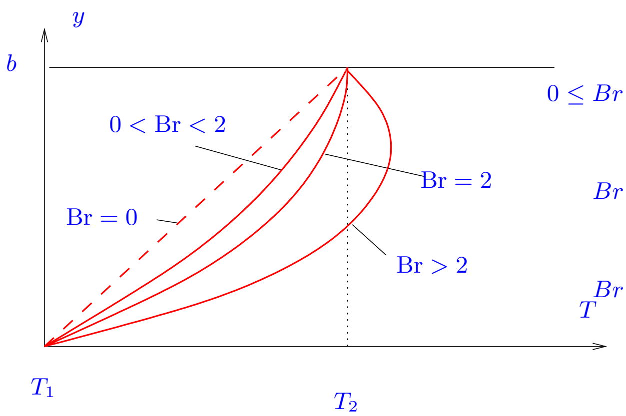
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 21{,}222\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 16{,}1691\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,{}^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,{}^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}6\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9401\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8023\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

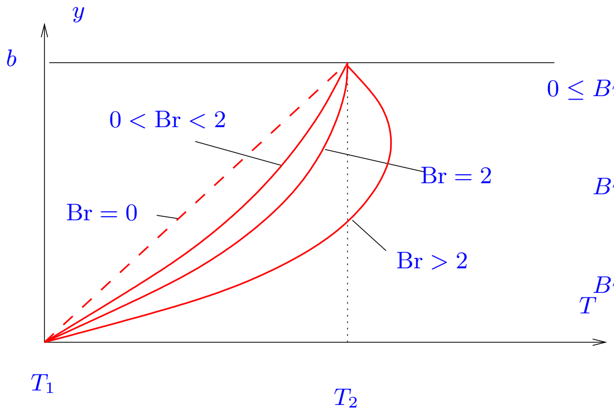
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 20{,}45\,\mathrm{K}$ gemessen.

Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}581\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}65\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9447\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8023\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

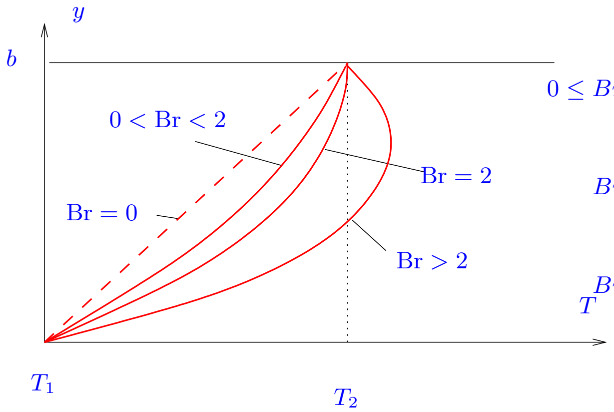
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}05\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 19{,}7566\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}0526\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,°\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 2{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,°\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}7\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8022\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

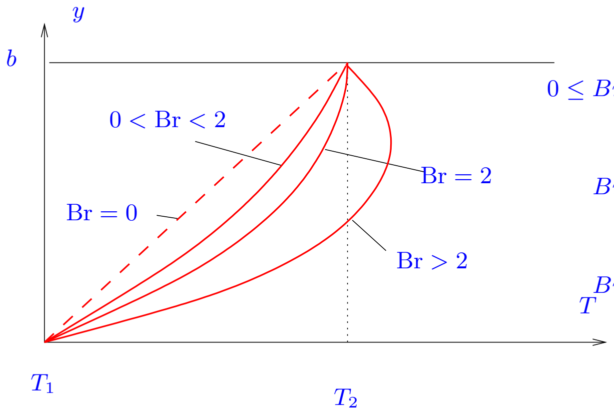
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}6535\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 18{,}4356\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 0{,}98\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr}_t}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)

Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9486\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.

Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8583\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

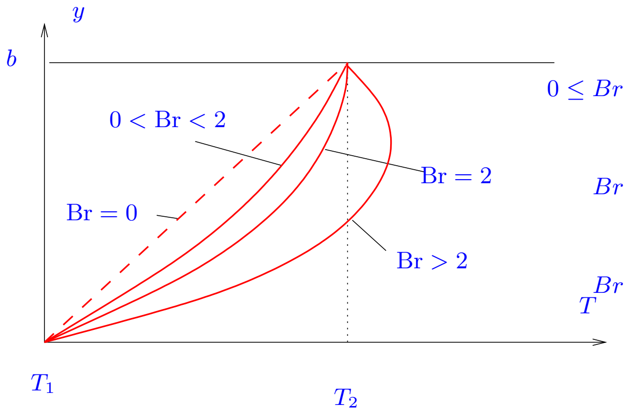
12) Wie groß ist die Dissipation?

Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?

Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5$ mm) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4$ W abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12$ m/s angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2$ W bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}2441$ K gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300$ K , $p = 1$ bar
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003$ J/kg K

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 16{,}8294\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4$ kJ/kg K, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}$ Pa s) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ$C strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5$ m/s durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50$ mm. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5$ mm mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1$ W/mK ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ$C gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50$ m. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}078$ bar.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9533\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8583\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

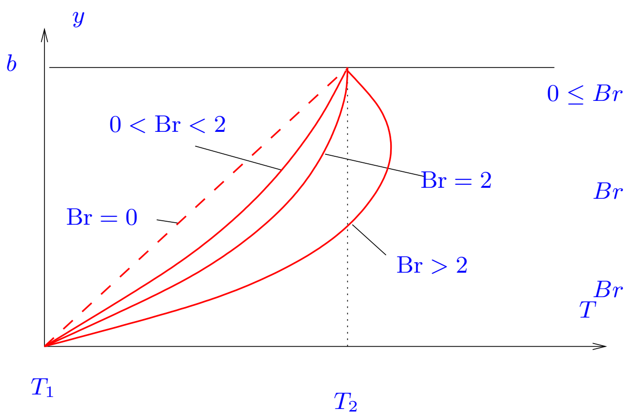
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 24{,}2537\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M} \frac{s_M}{s_0} \Delta T_M = 16{,}1691\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}176\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9572\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8583\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

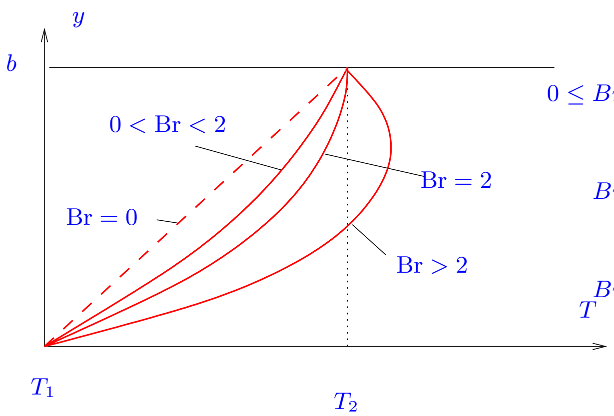
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5$ mm) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4$ W abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14$ m/s angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2$ W bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 23{,}3715$ K gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300$ K , $p = 1$ bar
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl Pr $= 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003$ J/kg K

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 177{,}6633\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}581\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4$ kJ/kg K, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}$Pa s) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ$C strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5$ m/s durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50$ mm. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5$ mm mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1$ W/mK ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ$C gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50$ m. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}274$ bar.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9605\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8583\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

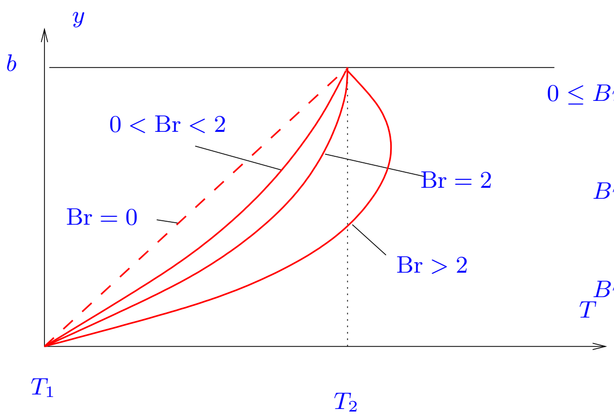
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für $\mathrm{Br} = 0$, $\mathrm{Br} = 1$, $\mathrm{Br} = 2$, $\mathrm{Br} = 4$. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}2\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 22{,}579\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}0526\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\ \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 3{,}5\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}372\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 2{,}8\ \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \dfrac{1}{\mathrm{Pr_t}}\dfrac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9633\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8583\,°\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

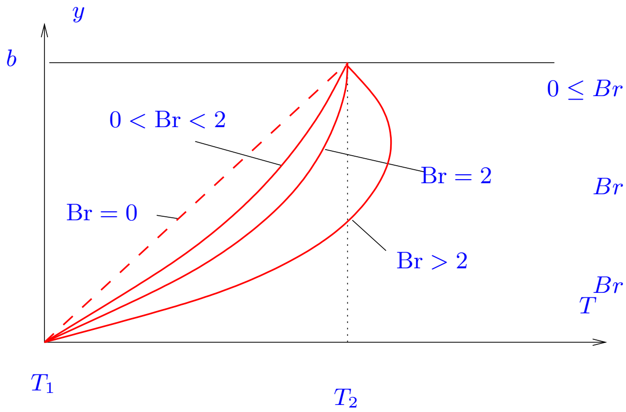
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,°\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 10\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 31{,}1102\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 46{,}9519$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 150{,}1529\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 18{,}4356\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5 \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}28\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2 \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}02$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0028$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9551\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8759\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

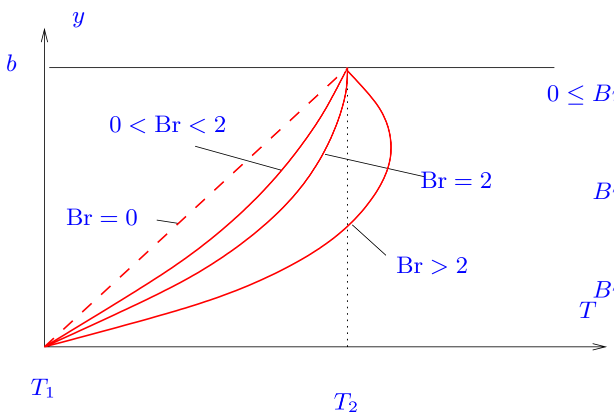
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\,\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 12\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 28{,}3996\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 51{,}4332$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0 \Delta T_M} = 164{,}4843\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 16{,}8294\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}408\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}022$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0031$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9591\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8759\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

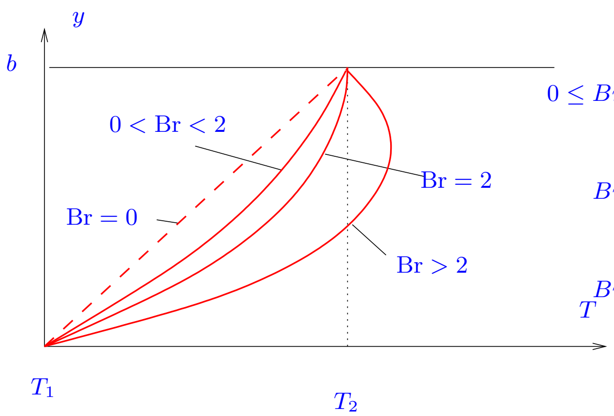
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 13\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 27{,}2854\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 6{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 53{,}5334$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 171{,}2006\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 16{,}1691\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m^3}$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\, \times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}536\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\, \times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}024$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0033$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9625\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8759\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

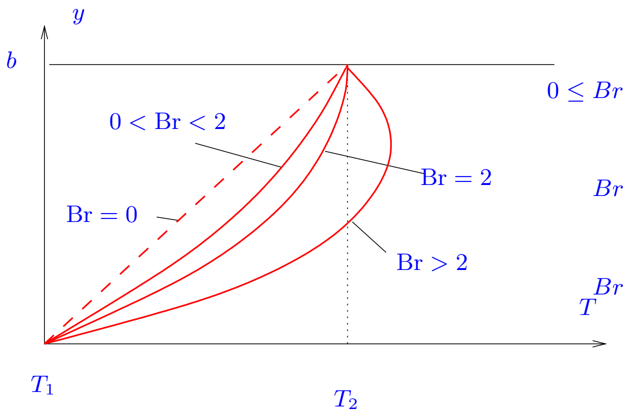
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\text{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\text{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 14\,\text{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\text{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 26{,}2929\,\text{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\text{K}$, $p = 1\,\text{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, Prandtl- Zahl $\text{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\text{J/kg K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\text{Luft}} = \frac{\nu\rho c_p}{\text{Pr}} = 0{,}0272\,\text{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\text{Re}_0 = \text{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0\frac{s_0}{s_M} = 7\,\text{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\text{Nu} = \frac{\dot{Q}_M\ s_M}{2s_m^2\lambda\Delta T_M} = 55{,}5542$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \text{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2s_M s_0\Delta T_M} = 177{,}6633\,\text{W/m}^2\text{K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}581\,\text{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\text{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\text{kJ/kg K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\text{Pa s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\text{ein}} = 35\,^\circ\text{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\text{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\text{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\text{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Is}} = 0{,}1\,\text{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\text{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\text{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}664\,\text{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}026$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \text{St} = \frac{1}{\text{Pr}_t}\frac{\lambda_R}{8}$, $\text{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\text{St} = 0{,}0036$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9654\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)\mathrm{e}^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8759\,{}^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

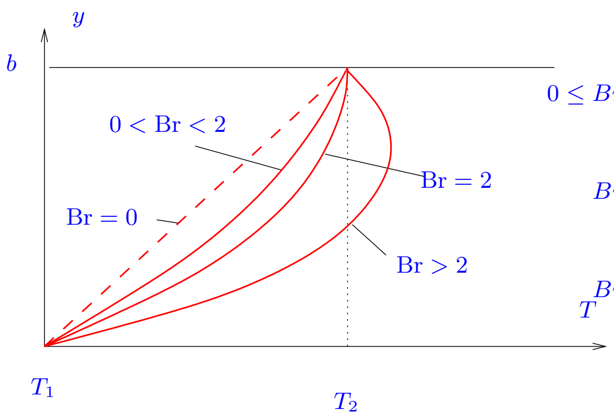
$$\dot{\phi} = \mu \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu \frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \leq Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,{}^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi} b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re}_{\mathrm{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$

Kühlung eines Bauteils

Ein elektrischer Bauteil soll mittels eines quadratischen Kühlblechs (Seitenlänge $s_0 = 8{,}5\,\mathrm{mm}$) einen Wärmestrom $\dot{Q}_0 = 0{,}4\,\mathrm{W}$ abgeben. Der Wärmeübergang erfolgt auf beiden Seiten des Kühlblechs! Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wird das Blech mit einem Luftstrom der Geschwindigkeit $u_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ angeblasen. Zur Auslegung wird ein Modellversuch im Maßstab 2:1 in Luft durchgeführt; ($s_M = 2s_0$).

Im Modellversuch wird ein Wärmestrom $\dot{Q}_M = 1{,}35\,\mathrm{W}$ bei einer Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Umgebung von $\Delta T_M = 25{,}4013\,\mathrm{K}$ gemessen.
Stoffwerte für Luft bei $T = 300\,\mathrm{K}$, $p = 1\,\mathrm{bar}$
kinematische Viskosität $\nu = 17 \cdot 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$, Prandtl- Zahl $\mathrm{Pr} = 0{,}71$ $\rho = 1{,}1319\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 1003\,\mathrm{J/kg\,K}$

1) Berechnen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Luft.
Lösung:

$$\lambda_{\mathrm{Luft}} = \frac{\nu \rho c_p}{\mathrm{Pr}} = 0{,}0272\,\mathrm{Wm/K}$$

2) Mit welcher Geschwindigkeit muss das Modell angeströmt werden?
Lösung:

$$\mathrm{Re}_0 = \mathrm{Re}_M \quad \Longrightarrow \quad u_M = u_0 \frac{s_0}{s_M} = 7{,}5\,\mathrm{m/s}$$

3) Wie groß ist die Nußelt-Zahl? (*Als Bezugslänge nehmen Sie die Seitenlänge des Kühlblechs!*)
Lösung:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\dot{Q}_M \; s_M}{2 s_m^2 \lambda \Delta T_M} = 57{,}5041$$

4) Wie groß ist der Wärmeübergangskoeffizient im Original?
Lösung:

$$\alpha_0 = \mathrm{Nu}\frac{\lambda}{s_0} = \frac{\dot{Q}_M}{2 s_M s_0 \Delta T_M} = 183{,}899\,\mathrm{W/m^2K}$$

5) Bestimmen Sie die Temperaturdifferenz zwischen dem Kühlblech und der Luft im Original!
Lösung:

$$\Delta T_0 = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_M}\frac{s_M}{s_0}\Delta T_M = 15{,}0526\,\mathrm{K}$$

Rohrströmung

Eine Flüssigkeit ($\rho = 800\,\mathrm{kg/m}^3$, $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$, $\mu = 0{,}5\,\times 10^{-6}\mathrm{Pa\,s}$) mit der Einströmtemperatur $\vartheta_{\mathrm{ein}} = 35\,^\circ\mathrm{C}$ strömt mit der mittleren Geschwindigkeit von $u_m = 4\,\mathrm{m/s}$ durch ein Rohr mit Innendurchmesser $d = 50\,\mathrm{mm}$. Das Rohr sei mit einer dünnen Isolierschicht der Dicke $s = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\mathrm{Is}} = 0{,}1\,\mathrm{W/mK}$ ummantelt. An der Außenseite der Isolierschicht sei die Temperatur $\vartheta_o = 25\,^\circ\mathrm{C}$ gegeben. Das Rohr habe die Länge von $L = 50\,\mathrm{m}$. Der Druckverlust beträgt $\Delta p = 1{,}792\,\mathrm{bar}$.

6) Berechnen Sie die Reynolds-Zahl und bestimmen Sie, ob die Strömung laminar oder turbulent ist.
Lösung:

$$Re = 3{,}2\,\times 10^8 > 2300 \quad \Longrightarrow \quad \text{turbulente Strömung!}$$

7) Berechnen Sie den Rohrwiderstandsbeiwert λ_R.
Lösung:

$$\lambda_R = \frac{\frac{\Delta p}{L}}{\frac{\rho u_m^2}{2d}} = 0{,}028$$

8) Berechnen Sie die Stanton-Zahl. $\quad \mathrm{St} = \frac{1}{\mathrm{Pr_t}}\frac{\lambda_R}{8}$, $\mathrm{Pr}_t = 0{,}9$
Lösung:

$$\mathrm{St} = 0{,}0039$$

9) Berechnen Sie den Wärmeübergangskoeffizient zwischen der strömenden Flüssigkeit und der Außenseite der Rohres. (*Da die Isolierschicht dünn im Vergleich zum Rohrdurchmesser ist, können Sie den Wärmedurchgang durch die Isolierung wie durch eine ebene Wand berechnen. Da die Rohrwand als dünn mit im Vergleich zur Isolierschicht hoher Wärmeleitfähigkeitt vorausgesetzt wird, kann die Rohrwand hier vernachlässigt werden.*)
Lösung:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\mathrm{St}\,\rho u_m c_p} + \frac{s}{\lambda_{Is}}} = 39{,}9679\,\mathrm{W/m^2K}$$

10) Berechnen Sie die mittlere Temperatur der Flüssigkeit beim Ausströmen aus dem Rohr.
Lösung:

$$\vartheta_{Aus} = \vartheta_w + (\vartheta_{\mathrm{ein}} - \vartheta_w)e^{-\frac{4\alpha L}{\rho u_m c_p d}} = 34{,}8759\,^\circ\mathrm{C}$$

Couette-Strömung

Gegeben sei eine Couetteströmung einer Flüssigkeit mit den Stoffeigenschaften Viskosität $\mu = 0{,}07\,\mathrm{Pa\,s}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}8\,\mathrm{W/mK}$, Dichte $\rho = 893\,\mathrm{kg/m^3}$, spezifische Wärmekapazität $c_p = 4\,\mathrm{kJ/kg\,K}$ zwischen zwei parallelen Platten. Eine Platte sei in Ruhe, die andere bewege sich mit der Geschwindigkeit $u_w = 8\,\mathrm{m/s}$ in ihrer Ebene. Der Abstand der Platten betrage $b = 4{,}1\,\mathrm{mm}$.

11) Geben Sie die Dissipation in einer Scherströmung eines Newtonschen Fluid formelmäßig an.
Lösung:

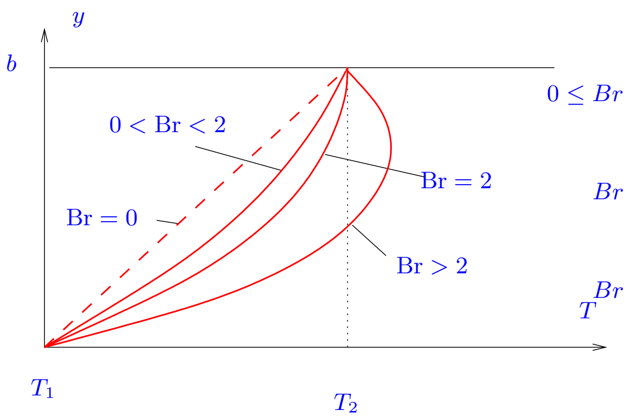
$$\dot{\phi} = \mu\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right)^2$$

12) Wie groß ist die Dissipation?
Lösung:

$$\dot{\phi} = \mu\frac{u_w^2}{b^2} = 266{,}508\,\mathrm{kW/m^3}$$

13) Skizzieren Sie das Temperaturprofil in einer Couette-Strömung für Br = 0, Br = 1 , Br = 2, Br = 4. In welche Richtung sind die Wärmeströme an den begrenzenden Wänden gerichtet?

Lösung:



$0 \le Br < 2$ heißere Wand: Wärmestrom von der Wand weg, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br = 2$ heißere Wand: kein Wärmestrom, kältere Wand: Wärmestrom zur Wand hin,

$Br > 2$ Wärmeströme an beiden Wänden zur Wand hin.

14) Falls beide Platten die gleiche Temperatur ($\vartheta_w = 20\,^\circ\mathrm{C}$) haben, wie groß ist die maximale Temperatur in der Flüssigkeit?
Lösung:

$$\vartheta_{Max} = \vartheta_w + \frac{\dot{\phi}b^2}{8\lambda} = 20{,}7\,\mathrm{K}$$

15) Wie groß darf der Abstand zwischen den beiden Platten bei gleicher Geschwindigkeit maximal sein, sodass die Strömung laminar ist? ($\mathrm{Re_{crit}} \approx 1900$).

Lösung:

$$b_{\max} = \frac{\mathrm{Re_{crit}}\mu}{\rho u_w} = 0{,}0186\,\mathrm{m}$$