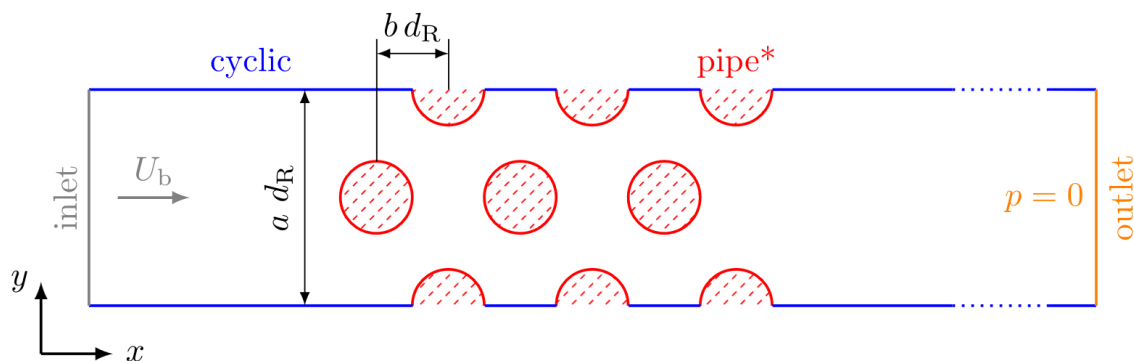




## Belegaufgabe WS 2025 / 2026

Berechnen Sie mit OpenFOAM die zweidimensionale inkompressible Strömung durch einen Wärmeübertrager (Rohrbündel mit Rohrdurchmesser  $d_R = 15 \text{ mm}$ ). Betrachtet wird der kleinste sich wiederholende Ausschnitt quer zur Strömungsrichtung. Die Anströmgeschwindigkeit der Luft ( $\nu_L = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\rho_L = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ) beträgt  $U_b = 1 \text{ m/s}$ . Gesucht wird der Druckverlust durch den Wärmeübertrager, um einen geeigneten Lüfter auswählen zu können, der die Strömung antreibt.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Problemstellung mit Rohrabständen  $a=3$ ,  $b=1$ .

### Aufgaben:

#### 1. Vorüberlegungen

- Schätzen Sie die Strömungsgeschwindigkeit  $U_e$  im engsten Querschnitt des Wärmeübertragers ab.
- Bestimmen Sie den Strömungscharakter (laminar/turbulent) mithilfe der

Reynoldszahl  $Re = \frac{U_e d_R}{\nu_L}$ . Bis zu einer Reynoldszahl von 100 ist die Strömung laminar. Ab einer Reynoldszahl von 10000 ist die Strömung voll turbulent.

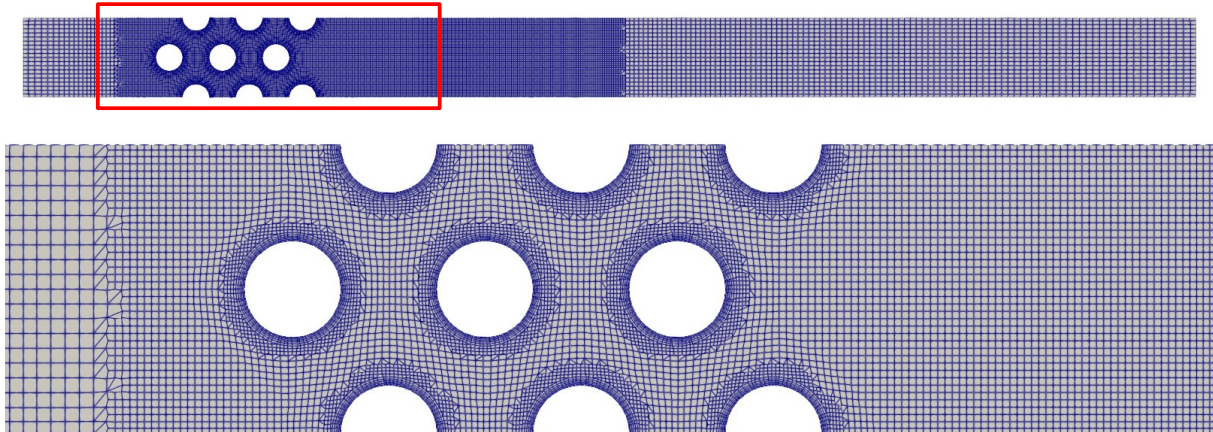
- Wird für die Simulation ein Turbulenzmodell benötigt? Falls ja, benutzen Sie z.B. das kEpsilon-Modell.

#### 2. Vernetzung im Unterordner „meshing“

- Analysieren Sie die gegebene .stl-Geometrie in „constant/triSurface“.  
Ermitteln Sie die Abmessungen des Gebiets ( $x_{\min}$ ,  $y_{\min}$ ,  $z_{\min}$ ) ( $x_{\max}$ ,  $y_{\max}$ ,  $z_{\max}$ ).  
Erstellen Sie eine Skizze des Gebiets und geben Sie darin die Namen der Teilflächen aus der .stl-Datei an.
- Lassen Sie sich eine Liste aller Todos anzeigen, indem Sie im Hauptordner das Skript „showTodos.sh“ ausführen.

Hinweise: Skript zuerst ausführbar machen `chmod +x showTodos.sh`  
dann ausführen mit `./showTodos.sh`

- c) Erstellen Sie das Hintergrundgitter mit blockMesh. Vervollständigen Sie zuvor die mit TODO gekennzeichneten Einträge in „system/blockMeshDict“.
- d) Erstellen Sie das vorläufige 3D-Gitter mit surfaceFeatures und snappyHexMesh. Vervollständigen Sie zuvor die übrigen mit TODO gekennzeichneten Einträge im „meshing“ Ordner.
- e) Aktivieren Sie die Teilschritte im „Meshrun“-Skript, um die Vernetzung zu automatisieren. Machen Sie die „Mesh\*“-Skripte ausführbar.



**Abb. 2:** Beispielhaftes Gitter nach erfolgreicher Vernetzung. Oben: vollständiges Gebiet, unten: vergrößerter Ausschnitt um Rohre.

### 3. Isotherme Berechnung im Hauptordner.

Hinweis: Die „All\*“-Skripte löschen bzw. starten Vernetzung und Simulation. Die „Sol\*“-Skripte löschen bzw. starten nur die Simulation, die Vernetzung bleibt erhalten.

- a) Stellen Sie die Randbedingungen der Felder im Ordner „0“ ein.
  - Anströmgeschwindigkeit  $U_b = 1 \text{ m/s}$
  - Turbulenzintensität  $I = 10\%$
  - turbulente Längenskala  $L = d_R/2$
- b) Integrale Strömungsgrößen sollen mit functionObjects berechnet werden, editieren Sie die Dateien „avgPres“ und „forcesPipe“ damit der mittlere Druck am Einlass, sowie die Kraft auf die Rohre des Wärmeübertragers berechnet werden.
- c) Bearbeiten Sie die verbleibenden ToDos und führen Sie die stationäre Simulation mit foamRun durch.
- d) Stellen Sie die Konvergenz der Lösung sicher. Stellen Sie dafür den Verlauf über den Iterationen von Residuen, mittlerem Druck am Einlass und der Gesamtkraft auf die Rohrwände grafisch dar.
- e) Passen Sie (wenn nötig) Rechendauer („controlDict“) bzw. Abbruchkriterien („fvSolution“) an, um die Konvergenz zu erreichen, und wiederholen Sie die Berechnung.

#### 4. Auswertung der Lösung

- Stellen Sie die Verteilung des Geschwindigkeitsbetrags, des Drucks, der turbulenten kinetischen Energie sowie der Wirbelviskosität in der x-y Ebene grafisch dar. Fügen Sie in der Abbildung des Geschwindigkeitsbetrags Stromlinien hinzu. Beschränken Sie die Darstellungen auf den Bereich um die Rohrbündel.
- Stellen Sie den Verlauf von Druck und Wandschubspannung auf der Oberfläche der ersten beiden Rohre (pipe-0, pipe-1) als Kurve entlang der Oberfläche dar. Worin unterschieden sich die Verläufe jeweils und warum? Hinweis: Nutzen Sie dafür z.B. die ParaView-Filter „Extract Block“, „Slice“ und „PlotData“.
- Auf welches Rohr wirkt die größte Kraft? Passen Sie das functionObject „forcesPipe“ an, um die Kraft auf die einzelnen Rohre zu berechnen.

#### 5. Parametervariation

- Kopieren Sie den Simulationsordner und ändern Sie die Anströmgeschwindigkeit. Führen Sie 2 weitere Simulationen für Anströmgeschwindigkeiten Ihrer Wahl zwischen 0.5 und 5 m/s durch. Erhöhen Sie, wenn nötig, die Anzahl der Wandschichten im „snappyHexMeshDict“, um das mittlere  $y^+$  kleiner als 3 zu halten.  
Hinweis: Als Referenz ist der Druckverlust, der nach VDI-Wärmeatlas für ein solches Rohrbündel berechnet wurde, in der folgenden Tabelle gegeben.

$U_b$ [m/s]	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$\frac{\Delta p}{\rho}$ [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	0,85	3,50	13,0	26,7	44,1	65,2

- Geben Sie für alle 3 Simulationen folgende Werte in einer Tabelle an.
  - Anströmgeschwindigkeit
  - Druckverlust zwischen Ein- und Auslass
  - Maximale und mittlere Geschwindigkeit der Strömung
  - Gesamtkraft auf Rohre in x-Richtung / Breite des Gebiets in z-Richtung
  - Maximaler und minimaler Druck an Rohrwänden
  - maximales und mittleres  $y^+$ , Anzahl der Wandschichten

#### Formalien:

- Es ist ein schriftlich ausgearbeiteter Beleg im .pdf Format anzufertigen.
- Abgabe des Belegs bis zum 05.01.2026.
- Abgabe erfolgt elektronisch an [matthias.joppa@tu-dresden.de](mailto:matthias.joppa@tu-dresden.de).

Viel Erfolg bei der Bearbeitung!

### **Zusatz für Interessierte:**

#### **6. Wärmeübertragung mit beheizten Rohren**

- a) Kopieren Sie den Simulationsorder der ersten Simulation. Fügen Sie dem neuen Ordner die Dateien aus dem Archiv „zusatz\_dateien“ hinzu bzw ersetzen Sie die vorhandenen.  
Hinweis: Die Anströmtemperatur in 0/T beträgt 20°C und die Wandtemperatur der Rohre 80°C. Der Umgebungsdruck in 0/p beträgt 1 bar. Die Vernetzung muss nicht verändert werden.
- b) Wiederholen Sie die Berechnung für den Fall mit Wärmeübertragung.
- c) Wie groß ist der Einfluss temperaturabhängiger Stoffdaten?. Betrachten Sie dafür die relativen Unterschiede bei Stoffeigenschaften, Druckverlust und der Kraft auf die Rohre zwischen isothermem Fall und dem Fall mit beheizten Rohren.
- d) Werten Sie mithilfe von functionObjects die Wärmestromdichte und den integralen Wärmestrom auf den Rohrwänden sowie die mittlere Temperatur am Auslass aus.
- e) Stellen Sie die Temperaturverteilung in der x-y Ebene dar. Stellen Sie die Kurve der Wärmestromdichte entlang einer Rohrwand dar. Wo ist der Wärmeübergang am besten, wo am schlechtesten?
- f) Geben Sie folgende Werte an:
  - Größen aus 5 b)
  - Temperaturanstieg zwischen Ein- und Auslass
  - Gesamter Wärmestrom über alle Rohrwände im Rechengebiet
  - Maximale, mittlere und minimale Wärmestromdichte an den Rohrwänden