

Strömungen in Wasser und Luft

Strömungssimulationen im UZWR

Daniel Nolte

März 2009

Mathematische Strömungsmodelle

Navier Stokes Gleichungen (Massenerhaltung, Impulserhaltung, Energieerhaltung)

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) &= 0 \\ \frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) &= -\nabla p + \nabla \cdot \tau \\ \frac{\partial(\rho h_{\text{tot}})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{\text{tot}}) &= \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau)\end{aligned}$$

mit Enthalpie $h_{\text{tot}} = h + \frac{1}{2} U^2$

k- ϵ -Turbulenzmodell (RANS)

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) &= 0 \\ \frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) - \nabla \cdot (\mu_{\text{eff}} \nabla U) &= -\nabla p' + \nabla \cdot (\mu_{\text{eff}} \nabla U)^T \\ \frac{\partial(\rho h_{\text{tot}})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{\text{tot}}) &= \nabla \cdot (\lambda \nabla T + \frac{\mu_t}{Pr_t} \nabla h) + \nabla \cdot (U \cdot \tau)\end{aligned}$$

mit gemitteltem Druck $p' = p + \frac{2}{3} \rho k + \frac{2}{3} \mu_t \nabla \cdot U$

Darcy's Gesetz

$$-\frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\mu}{K_{\text{perm}}} U_i + K_{\text{loss}} \frac{\rho}{2} |U| U_i$$

Strömungssimulation

Beschreibung eines Strömungszustands durch

- ▶ Geschwindigkeit
- ▶ Druck
- ▶ Dichte
- ▶ Temperatur

Weitere berechenbare Größen

- ▶ Kräfte (z.B. auf Oberflächen)
- ▶ Stoffverteilungen (bei Mehrphasenströmungen)
- ▶ Energien (z.B. Wirbelstärken)
- ▶ ...

Klassifizierung von Strömungsproblemen

Unterteilung der Probleme in

- ▶ laminare und turbulente Strömungen
- ▶ Unter- und Überschallströmungen
- ▶ stationäre und transiente Strömungen
- ▶ thermische und isothermale Strömungen
- ▶ Einphasen- und Mehrphasenströmungen
- ▶ Gekoppelte Probleme von Festkörpern und Strömungen
 - ▶ einseitig
 - ▶ zweiseitig

Werkzeuge

Lösungsmethoden

- ▶ Finite-Differenzen-Methode
- ▶ Finite-Elemente-Methode
- ▶ Finite-Volumen-Methode

Im UZWR verfügbare Software

- ▶ Ansys CFX
- ▶ Comet
- ▶ OpenFOAM
- ▶ Eigene Strömungslöser (FLENS)

Anwendungsbeispiele

Fünf praxisnahe Fragestellungen der Strömungsmechanik

1. Simulation einer Schweinestalllüftung
2. Abkühlung von Bauteilen
3. Durchmischung von Flüssigkeiten
4. Bewegliche Bauteile in einer Strömung
5. Simulation von freien Oberflächen

1. Simulation einer Schweinestalllüftung

Problem

- ▶ Gleichmäßige Durchlüftung eines Stalls
- ▶ Geringe Strömungsgeschwindigkeiten bei hohem Luftaustausch

Fragestellung

- ▶ Wie kann die Belüftung verbessert werden?

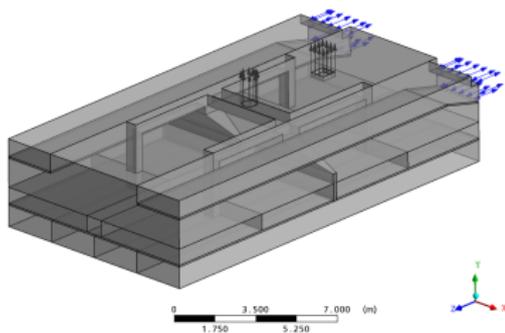


Stalllüftung

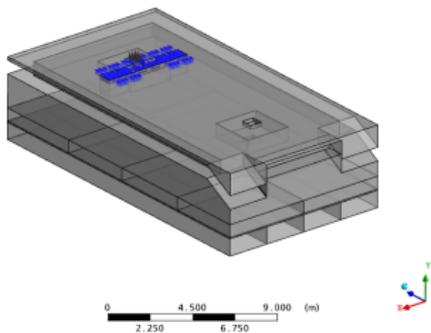
Modell

- ▶ Simulation von Stallsegmenten ($18\text{ m} \times 10\text{ m} \times 4\text{ m}$)
- ▶ Simulation der Strömung durch die Lochplatten
- ▶ Problem: Modellierung der Lochplattenöffnungen (ca. $3\text{ cm } \varnothing$)

ANSYS

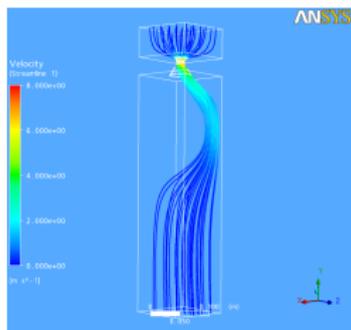
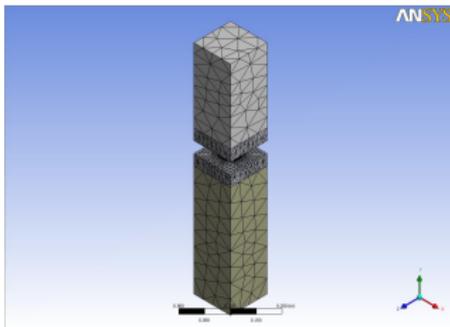
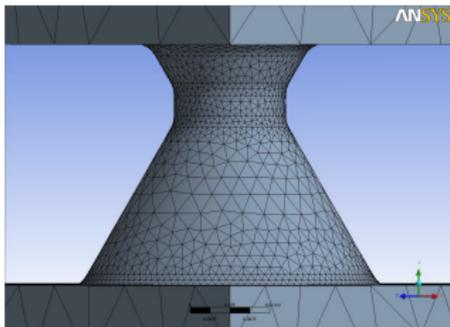


ANSYS

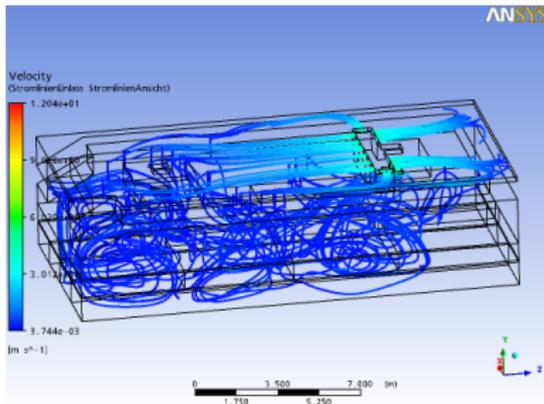
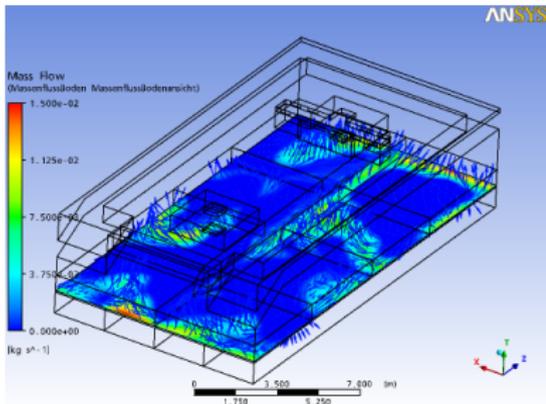


Teilproblem: Modellierung der Lochplatten als poröses Volumen

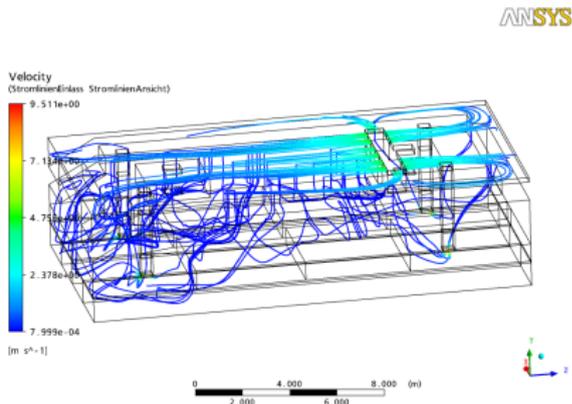
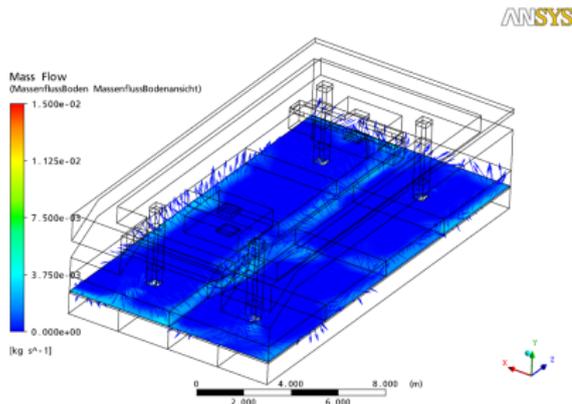
- ▶ Modellierung der Lochplatten als poröses Volumen
- ▶ Berechnung eines Widerstandsbeiwertes an einem kleinen Modell



Ergebnisse



Variation



2. Abkühlung von Bauteilen

Problem

- ▶ Heiße Bauteile sollen in einer festen Zeit auf eine bestimmte Temperatur abgekühlt werden
- ▶ Dazu werden Bauteile von einem kühlenden Fluid (Luft, Wasser, ...) umströmt

Fragestellung

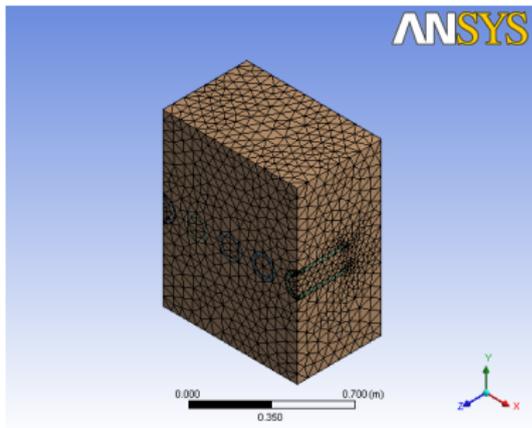
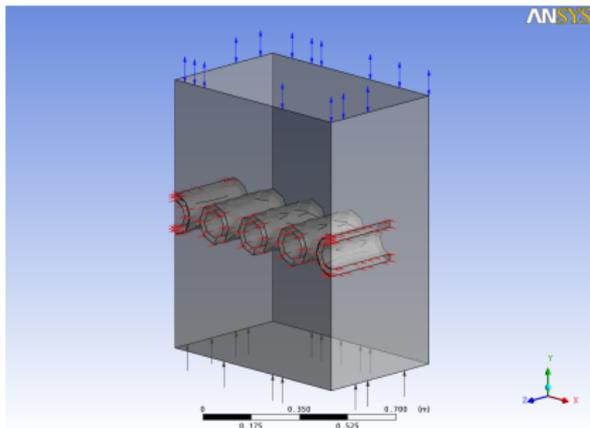
- ▶ Ist die gewünschte Abkühlung erreichbar?
- ▶ Wie müssen die Bauteile angeströmt werden, damit eine möglichst starke Abkühlung erreicht wird?

Modell

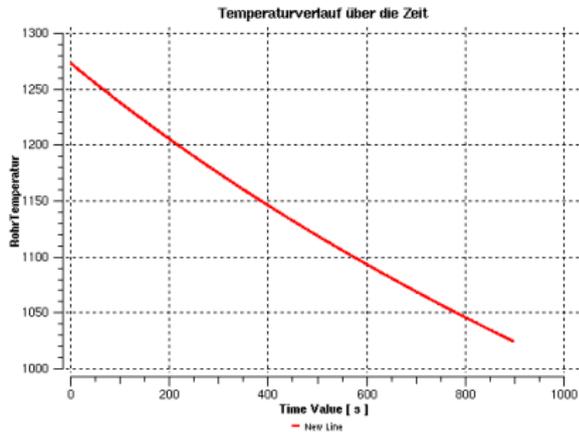
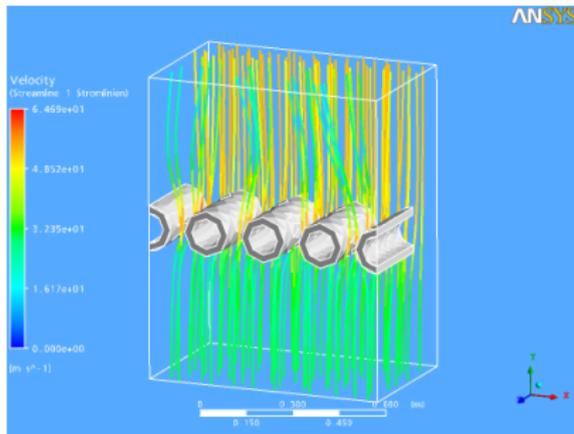
- ▶ Abkühlung von 1000°C heißen Enden von Stahlrohren bei gleichmäßigem Luftstrom
- ▶ Luftströmung mit $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Orkanstärke) und einer Lufttemperatur von 20°C
- ▶ Luftstrom vom Boden zur Decke

Ziel

- ▶ Abkühlung der Rohre auf Zimmertemperatur



Ergebnisse

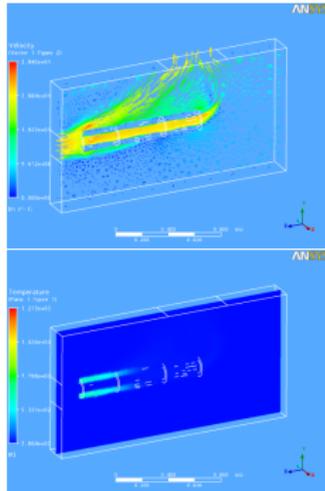


Abkühlung der Rohre um ca. 400°C

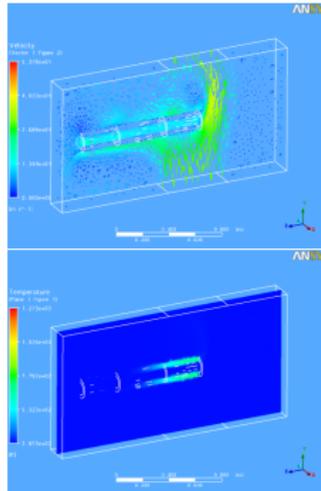
Variation der Anströmung

- ▶ Wie muss das Rohr angeströmt werden?

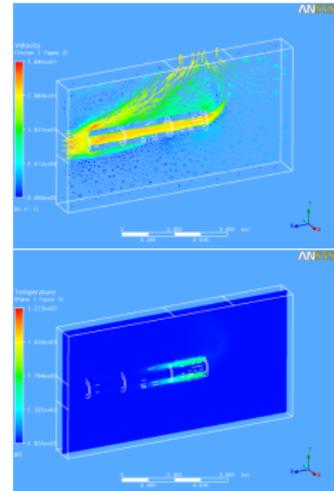
Variante I:
heißes Ende



Variante II:
unten



Variante III:
kaltes Ende



Maximale Temperatur nach 15 min

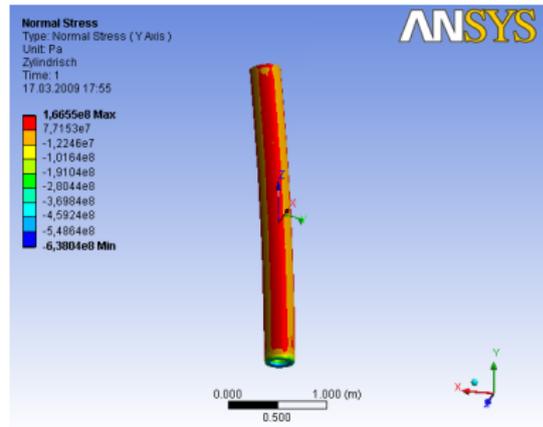
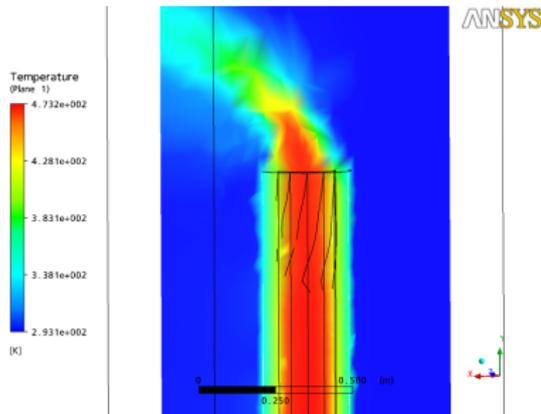
ca. 400°C

ca. 450°C

ca. 460°C

Erweiterung: Berechnung von thermischen Dehnungen in Bauteilen

- ▶ Thermische Dehnungen in einem Schornstein
- ▶ Kühlung durch Umströmung mit kalter Luft



3. Durchmischung von Flüssigkeiten

Problem

- ▶ Zwei verschiedene Flüssigkeiten werden in einem Gefäß vermischt
- ▶ Die Flüssigkeiten unterscheiden sich in ihren Eigenschaften (Viskosität, Dichte, Temperatur, ...)

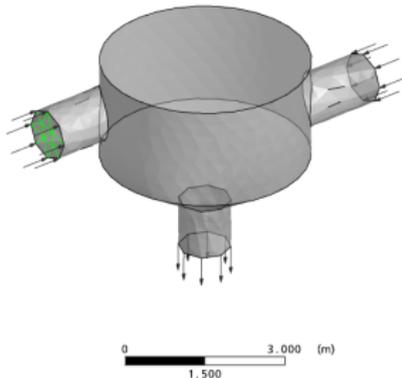
Fragestellungen

- ▶ Wie wird eine gleichmäßige Durchmischung erreicht?
- ▶ Wie erhalte ich möglichst undurchmischte Flüssigkeiten?
- ▶ Wie entmischen sich die Flüssigkeiten wenn der Zufluß abbricht?

Modell

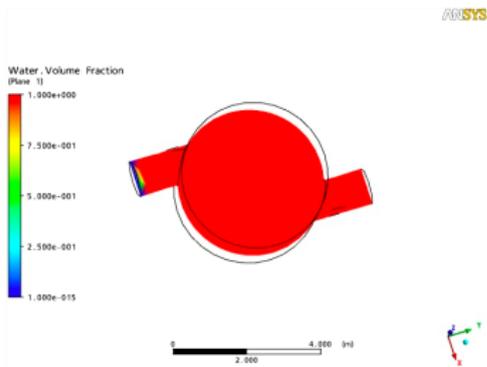
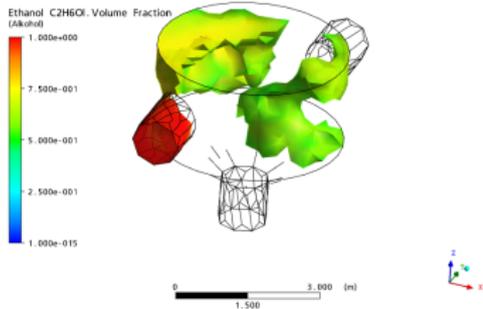
- ▶ Zwei Flüssigkeiten werden in einem Mixer gemischt¹
- ▶ Wasser fließt mit konstanter Geschwindigkeit von $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ein
- ▶ Alkohol wird gepulst mit einer Geschwindigkeit von $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ eingeleitet

ANSYS

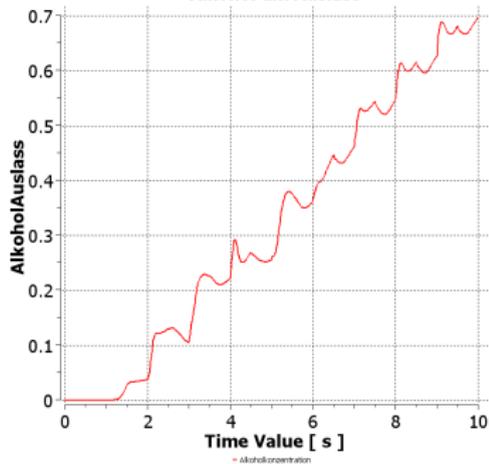


Ergebnisse

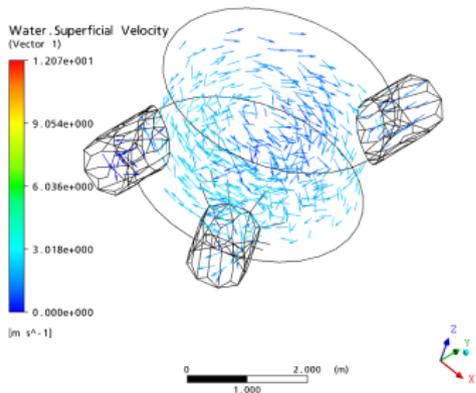
ANSYS



Alkohol am Auslass



ANSYS



4. Bewegliche Bauteile in einer Strömung

Problem

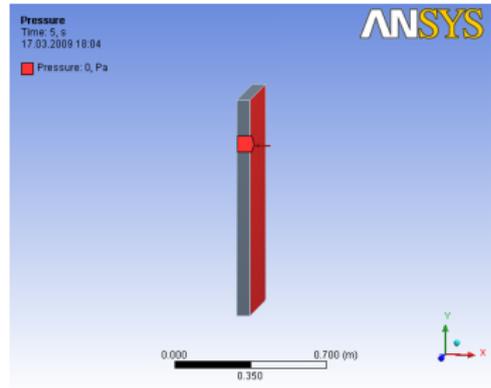
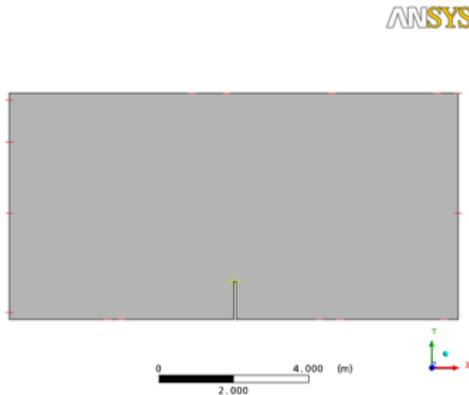
- ▶ Eine Flüssigkeitsströmung wird durch mechanische Bauteile beeinflusst, z.B.
 - ▶ Eine Platte erzeugt in einem Fluid eine Strömung
 - ▶ Eine Ventilklappe regelt eine Strömung

Fragestellungen

- ▶ Wie sieht die erzeugte Strömung aus?
- ▶ Welche Belastungen entstehen in den mechanischen Bauteilen?

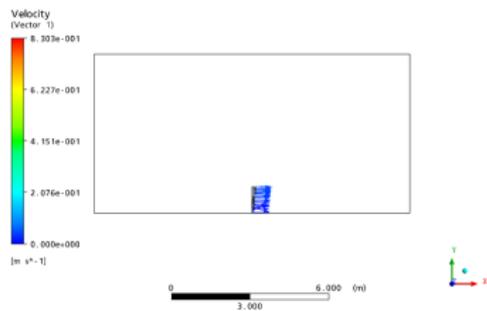
Modell

- ▶ Eine Platte wird in einem Fluid betrachtet
- ▶ Eine Fläche der Platte ist fixiert
- ▶ Anfangs wird die Platte durch eine Kraft ausgelenkt
- ▶ Nach Loslassen schwingt die Platte und erzeugt im Fluid eine Strömung

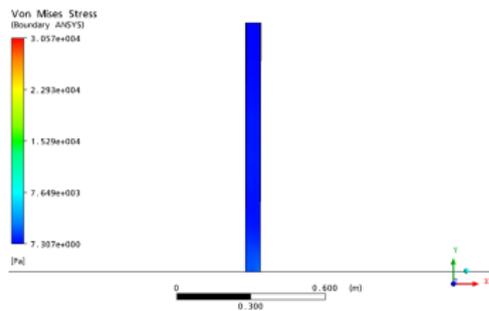


Ergebnisse

ANSYS



ANSYS

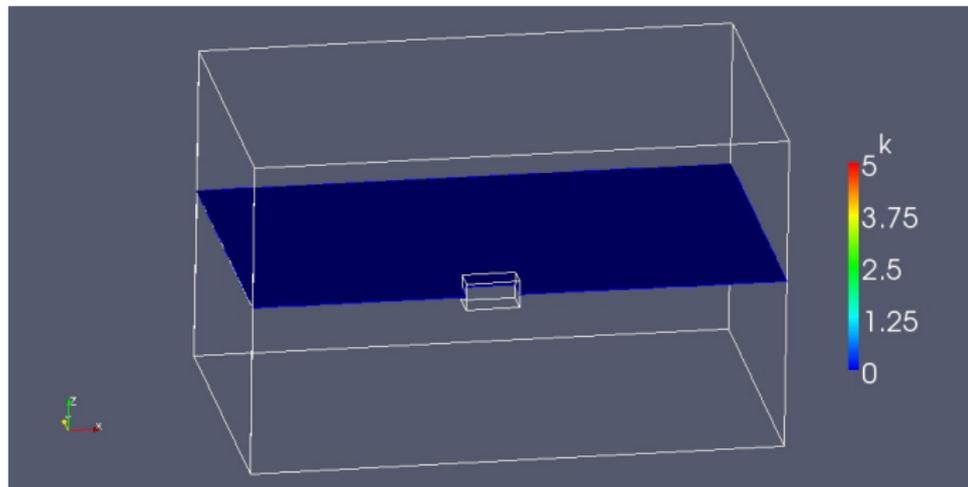


Probleme

- ▶ Simulation einer Wasseroberfläche

Fragestellungen

- ▶ Welche Kräfte wirken auf ein schwimmendes Schiff?



uzwr

ulmer zentrum für
wissenschaftliches rechnen

www.uzwr.de