

Modellierung des Materialverhaltens von Zementsuspensionen

BFT-Fachforum 2019: Der perfekte Mix

M. Dietzel, K. Krenzer, **J. Lipowsky**, U. Palzer

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- Numerische Simulation technischer Prozesse zur Handhabung von Suspensionen

Transport- und Pumpvorgänge



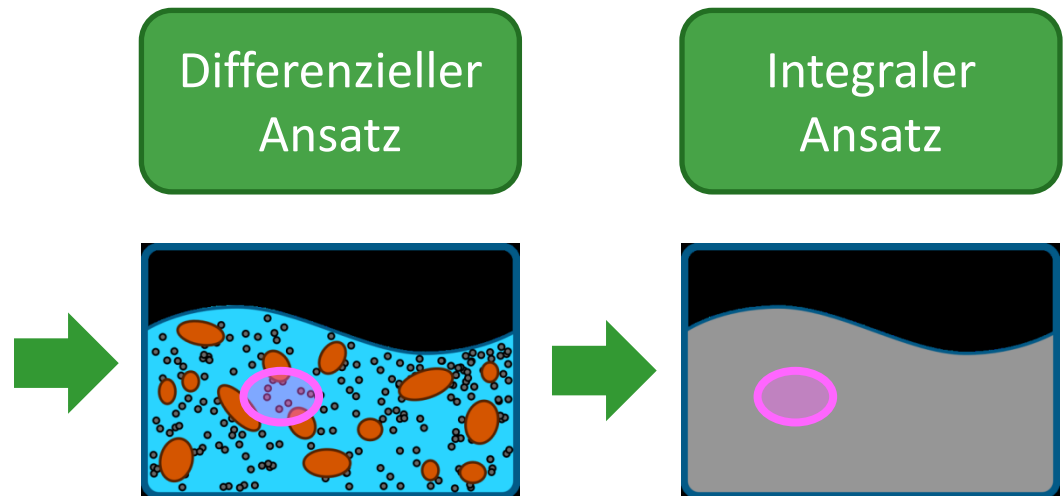
Foto: CEMEX Deutschland AG / Armin Okulla

Mischverfahren



Foto: IAB Weimar gGmbH

- **Entwicklung eines Suspensionsmodells**
 - Abbildung technischer Suspensionen sowie relevanter Prozesse
 - Anwendung numerischer Methoden (CFD)



- Skalärer Transport zweier Feststoffanteile als Grundlage lokaler Suspensionseigenschaften:

Mischungsdichte

$$\rho_{mix} = \sum \phi_j \rho_j$$

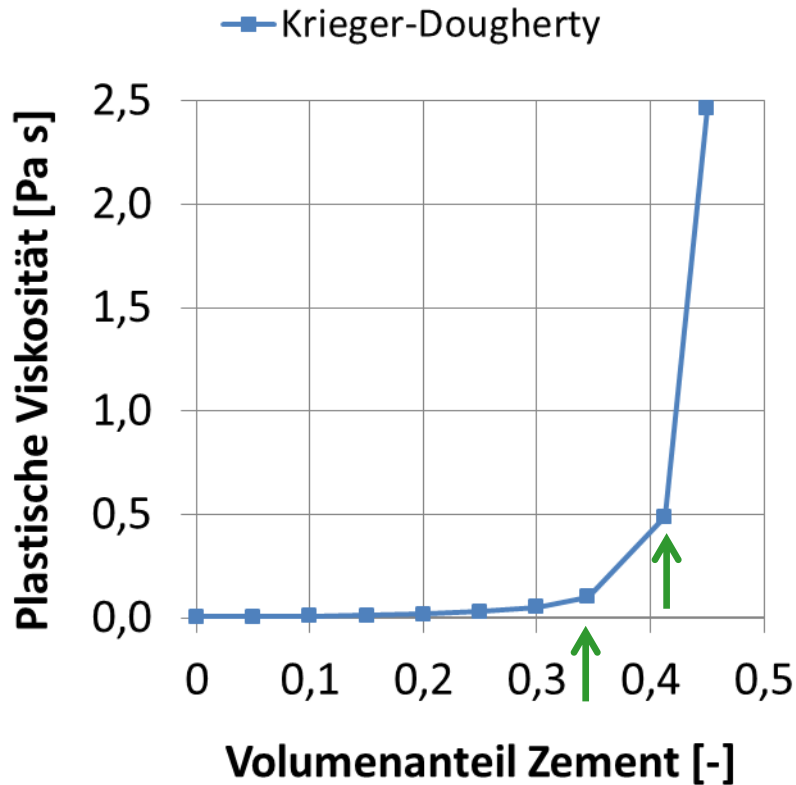
Viskositätsansatz:
Herschel-Bulkley Modell

$$\eta_{mix} = \frac{\tau_0(\phi_i)}{\dot{\gamma}} + k(\phi_i) \dot{\gamma}^{n-1}$$

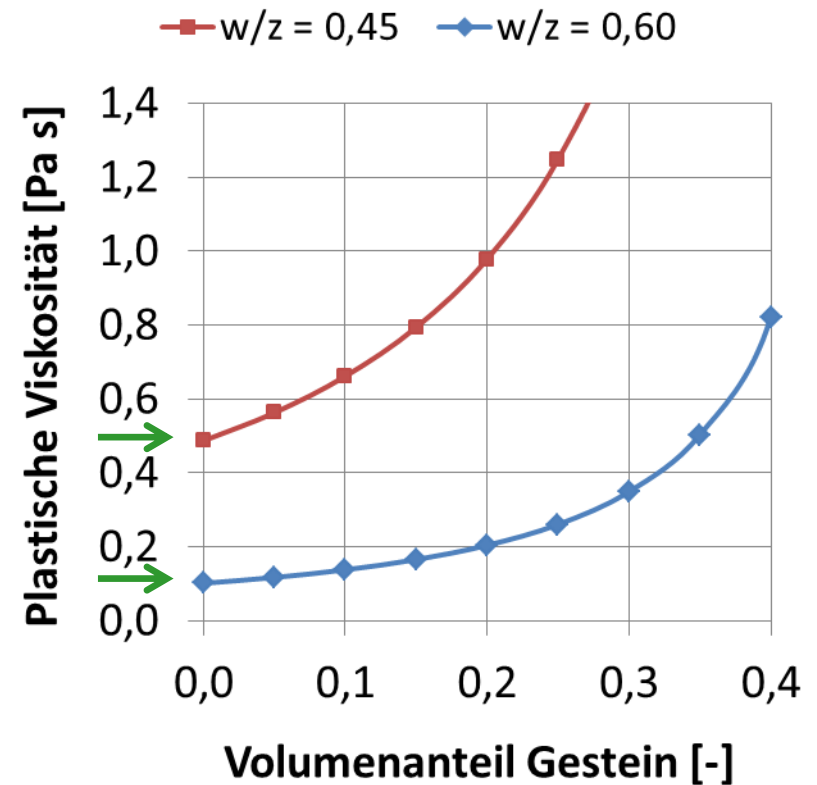
ϕ_i ... Feststoffanteil
 k ... Konsistenzparameter
 τ_0 ... Fließgrenze

Plastische Viskosität

Zementleim – K.-Dougherty

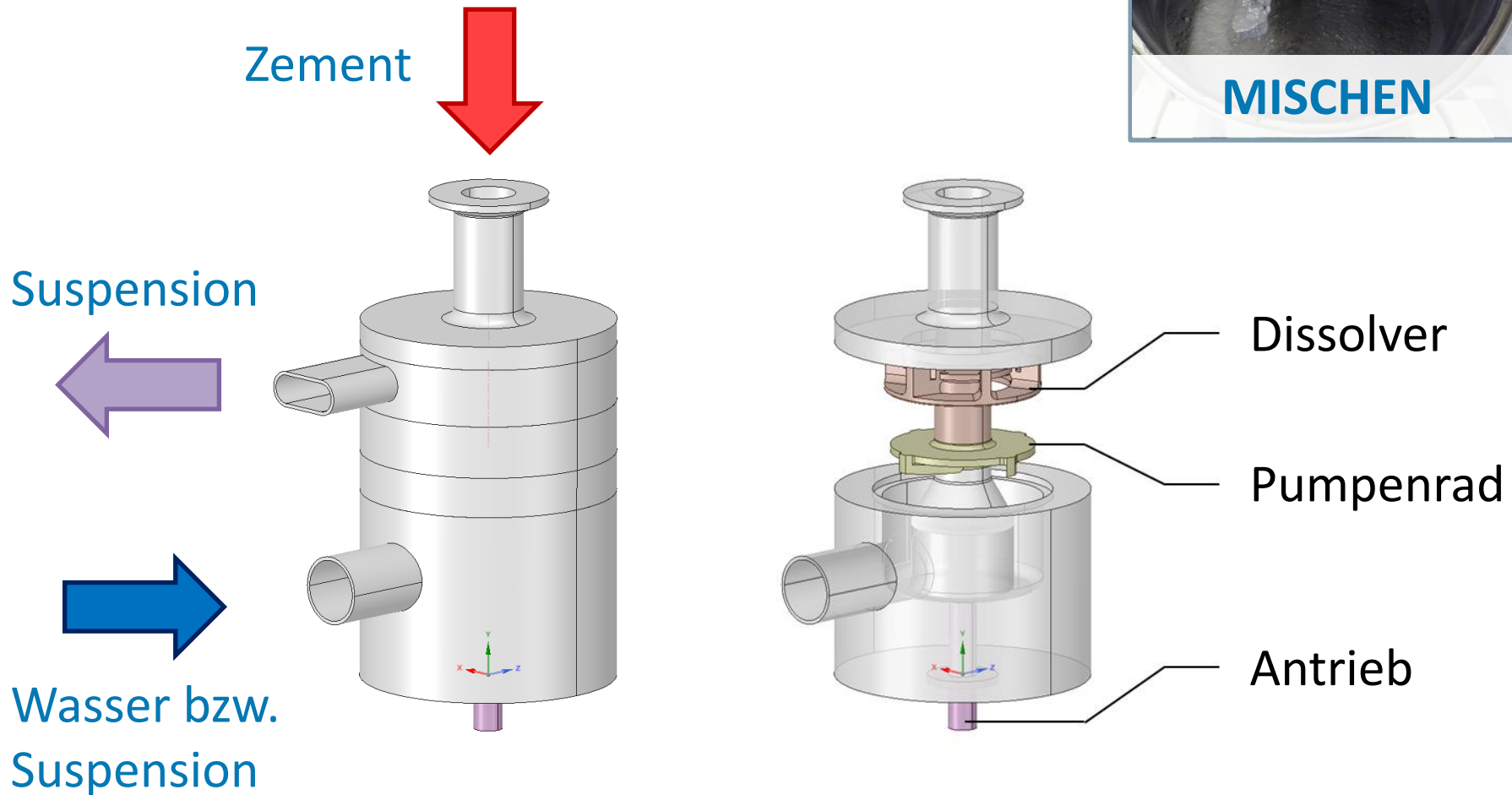


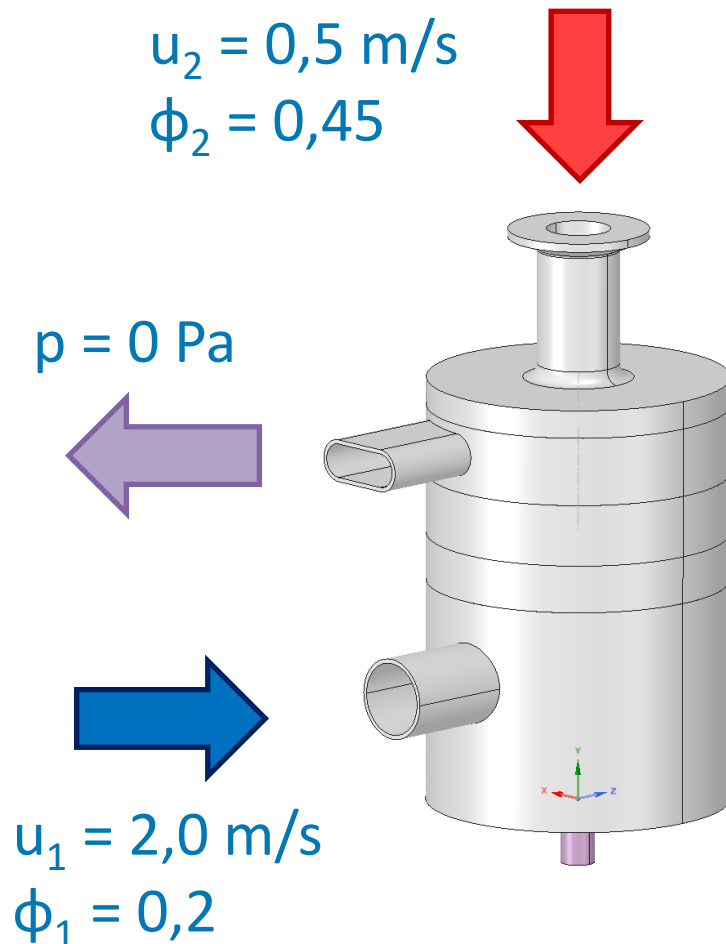
Mörtel – Nielsen



Suspensionsmischer

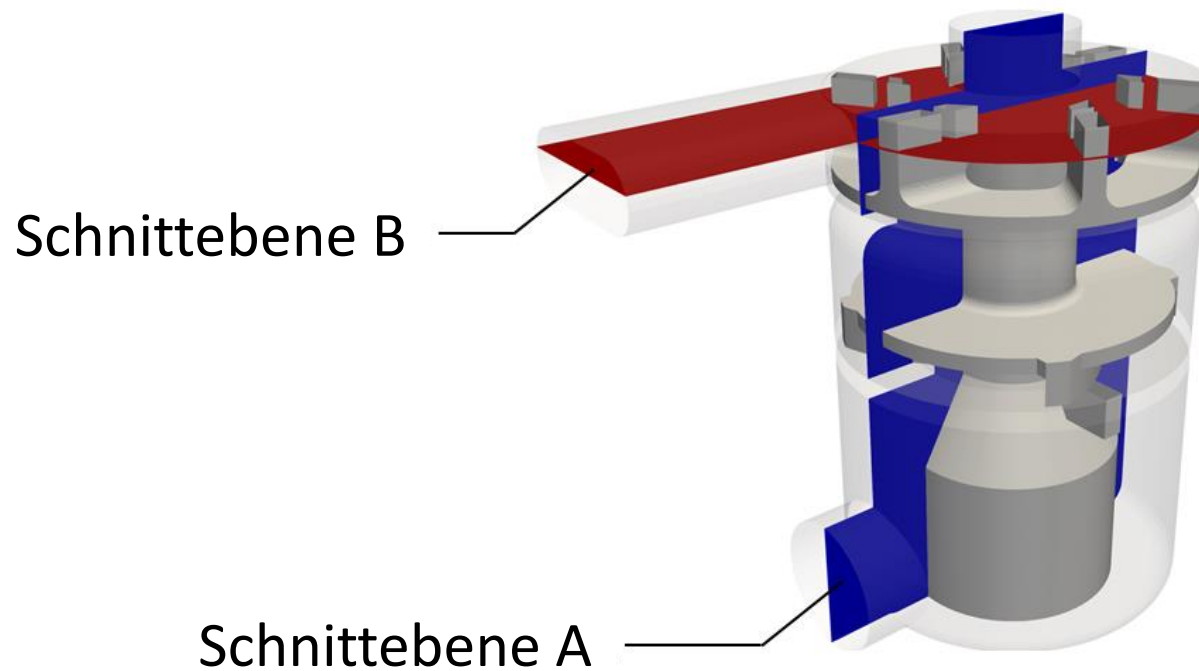
- Anwendung: Kontinuierliche Mischzelle



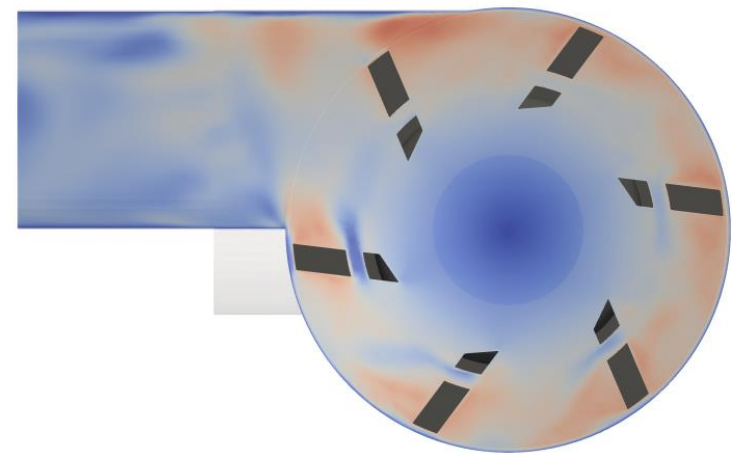
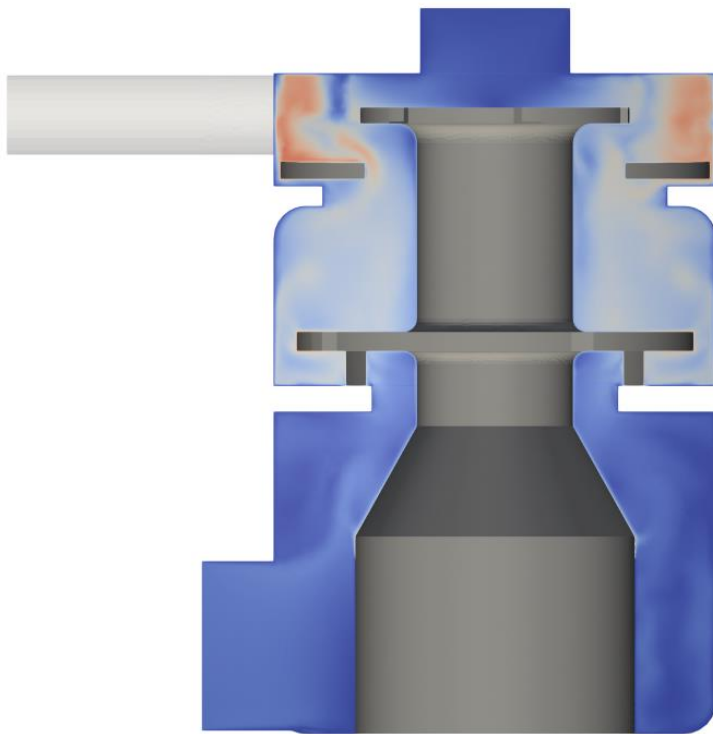


- Numerisches Setup:
 - Stoffsystem Zementleim:
 $\rho = f(\varphi_z)$; $\eta = f(\varphi_z, \gamma)$
 - Drehzahl: 3.000 U/min
 - Durchsatz: 75 l/min
 - transiente Simulation mit bewegtem Gitter

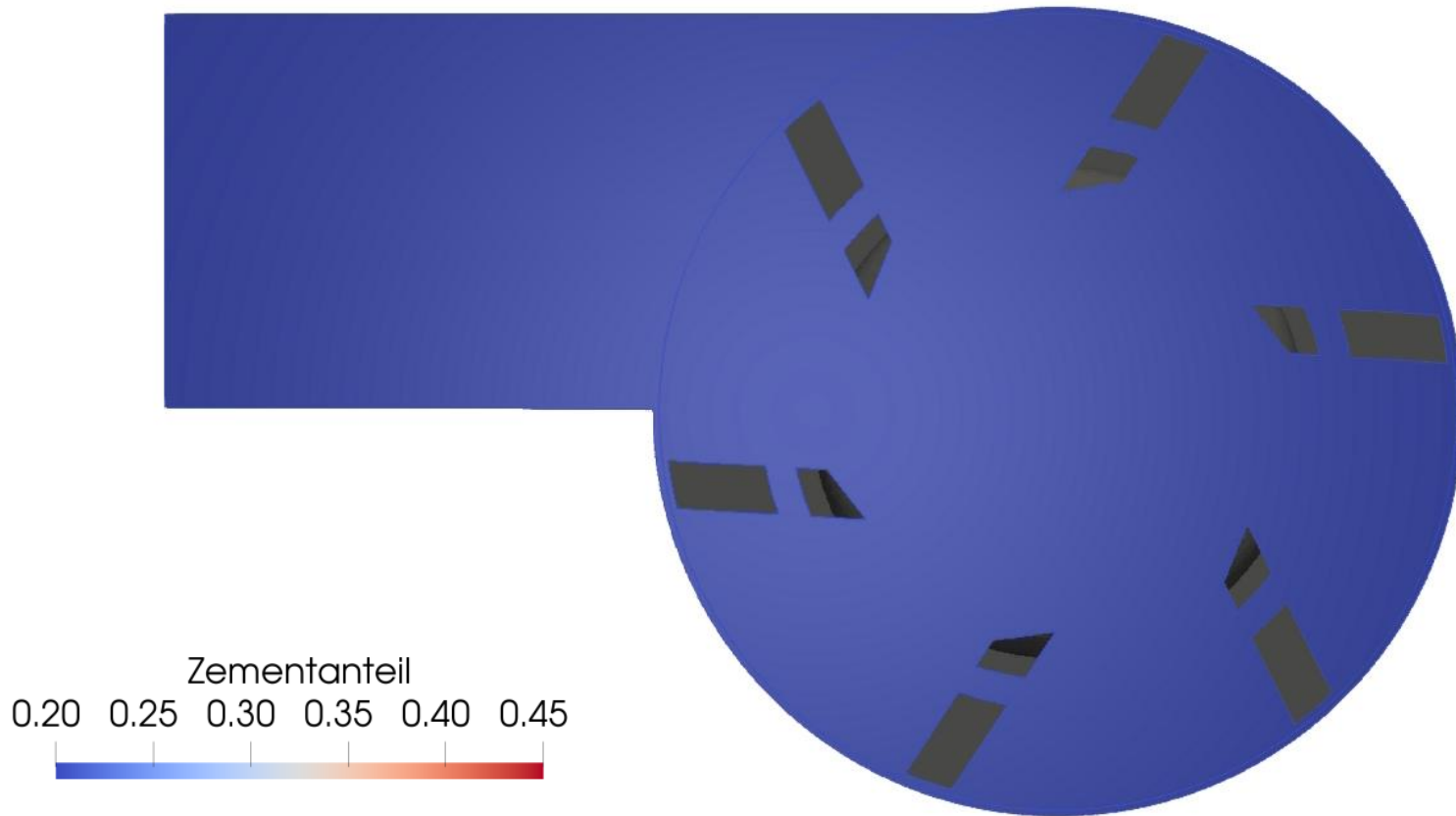
- Ergebnisdarstellung mittels Schnittebenen



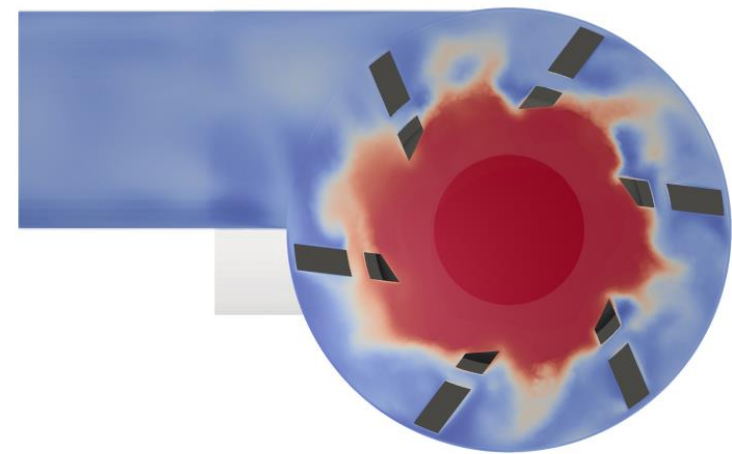
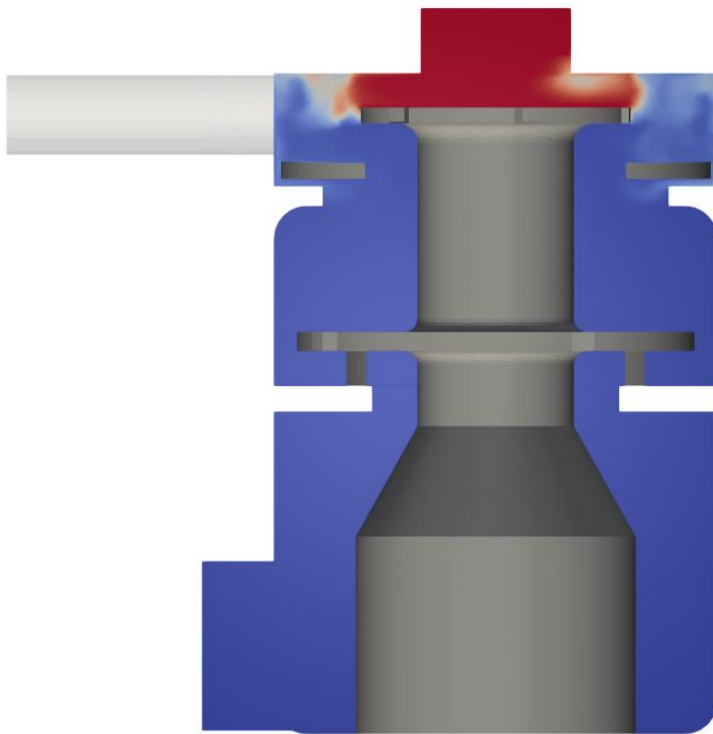
- Geschwindigkeitsverteilung im Zementleim ($t = 0,8 \text{ s}$)



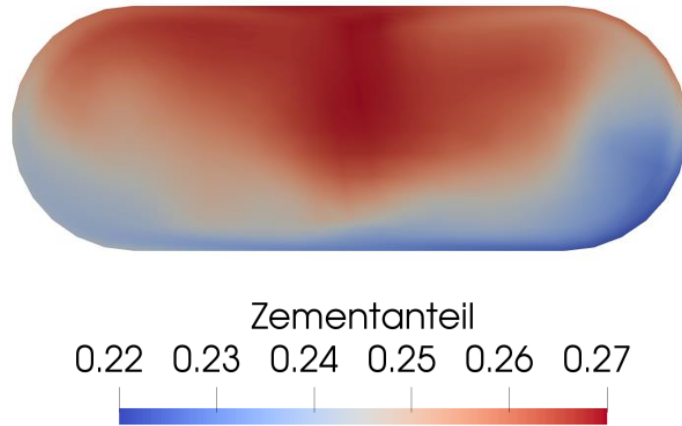
- Zeitlich-räumliche Verteilung des Zementanteils



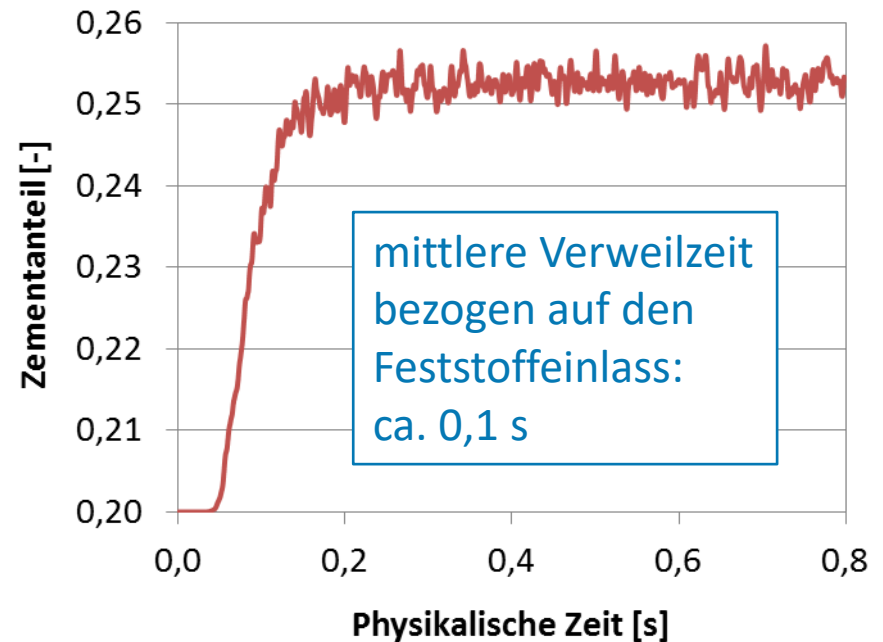
- Verteilung des Zementanteils ($t = 0,8$ s)



- Zeitverlauf und Verteilung des Zementanteils am Mischzellen-Auslass



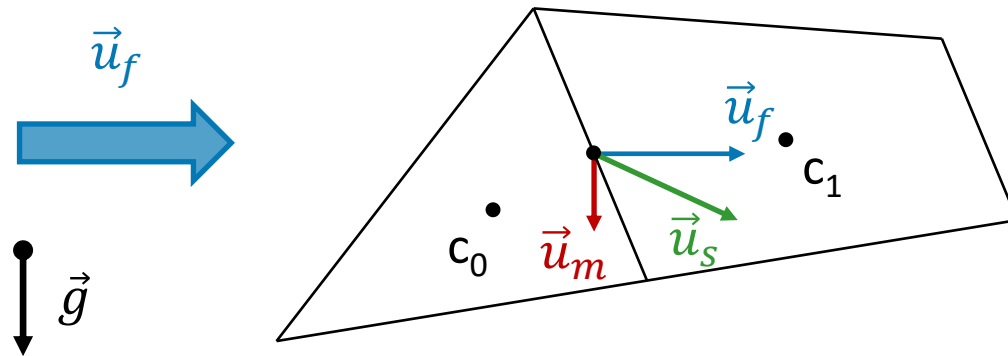
→ Bewertung der Mischgüte



- Ziel: dynamische Berechnung von Entmischungseffekten
- Abgrenzung: keine vollständige Kopplung der Phasen
- Ansatz: Implementierung in skalarer Transportgleichung



- Implementierung:
 - Überlagerung von Fluidgeschwindigkeit und Migrationsgeschwindigkeit
 - Kopplung der Feststoffanteile



Gitterzellen c_0, c_1

Fluidgeschwindigkeit

Migrations-
geschwindigkeit

effektive skalare
Transportgeschwindigkeit

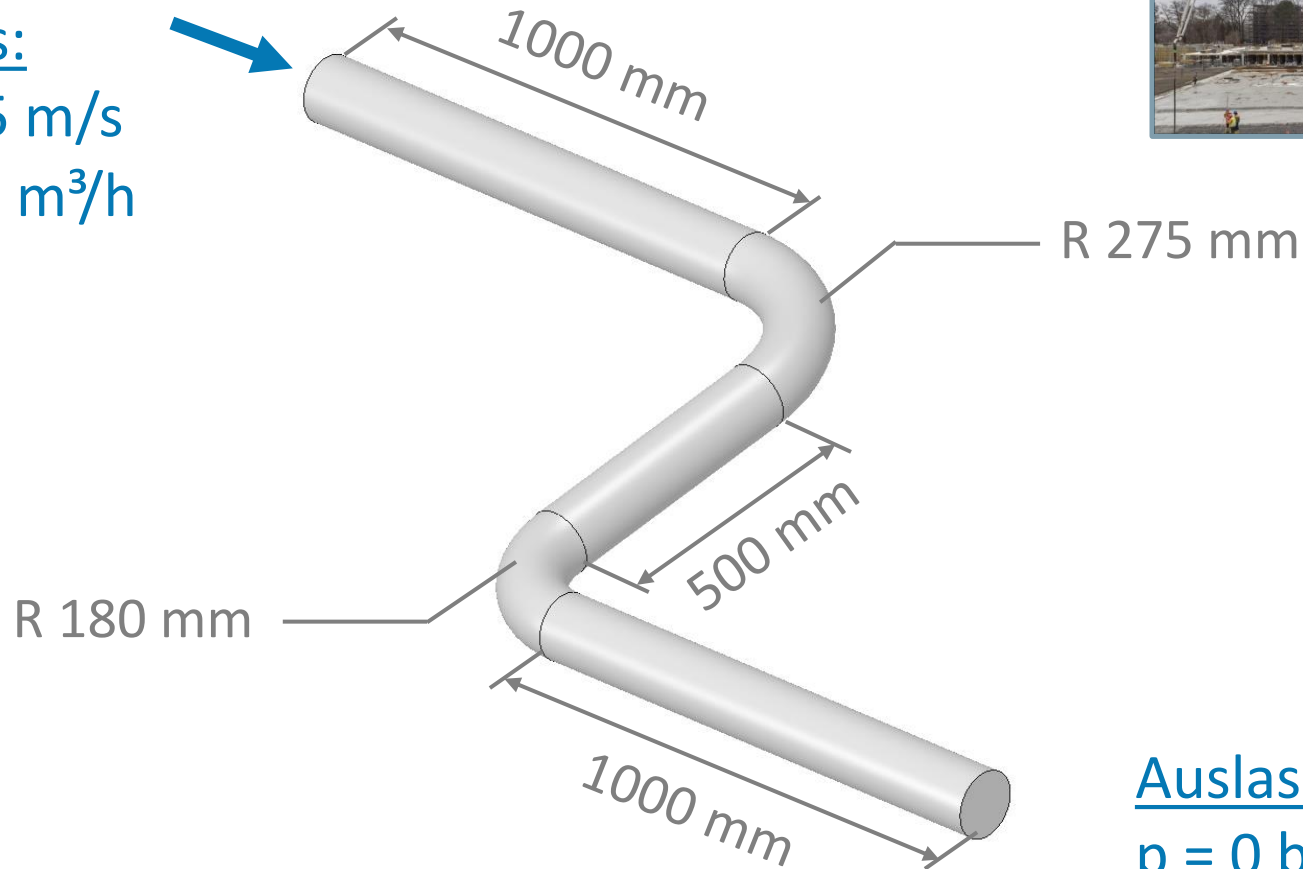
Pumpvorgang

- Rohr DN 125 mit 2 Rohrbögen

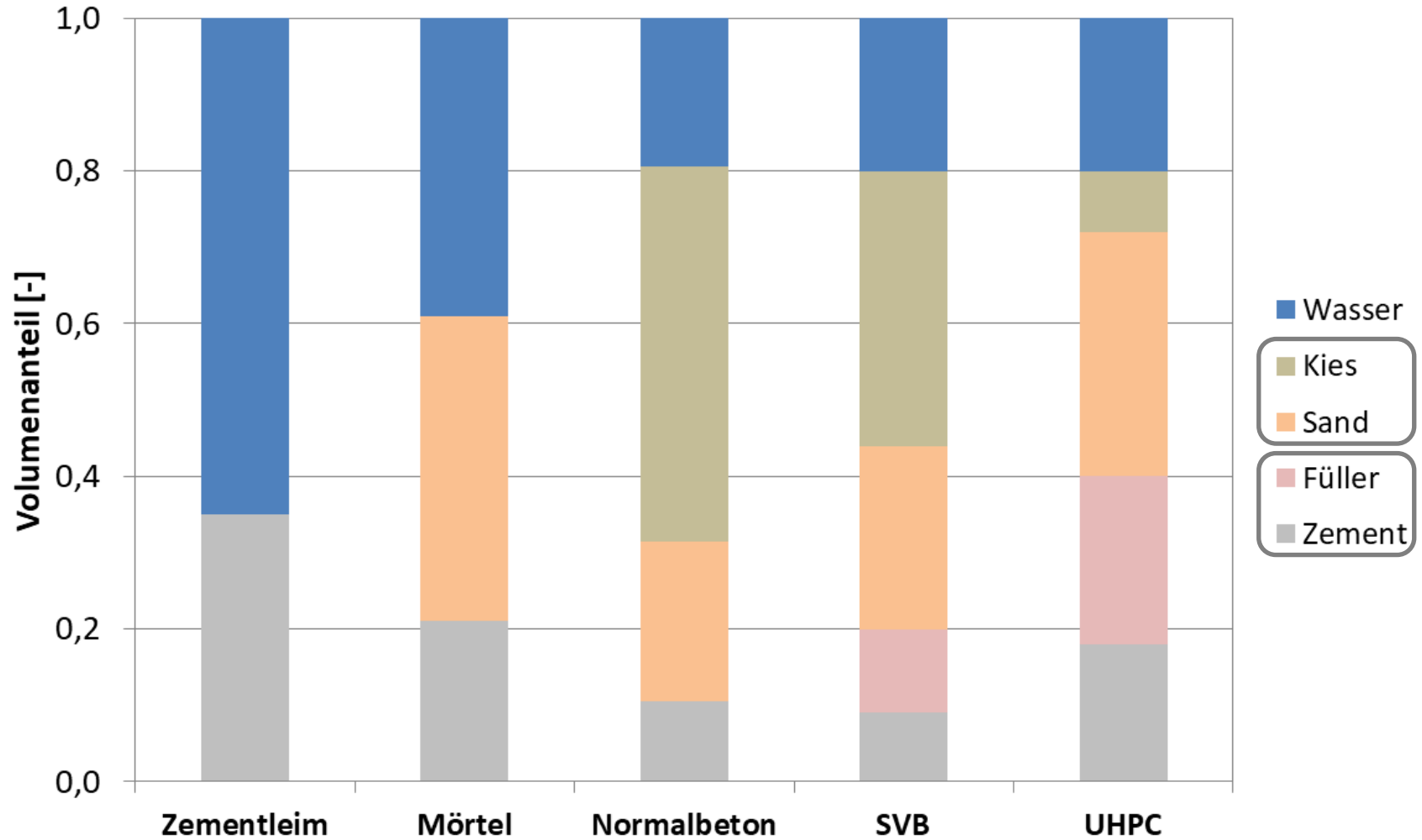
Einlass:

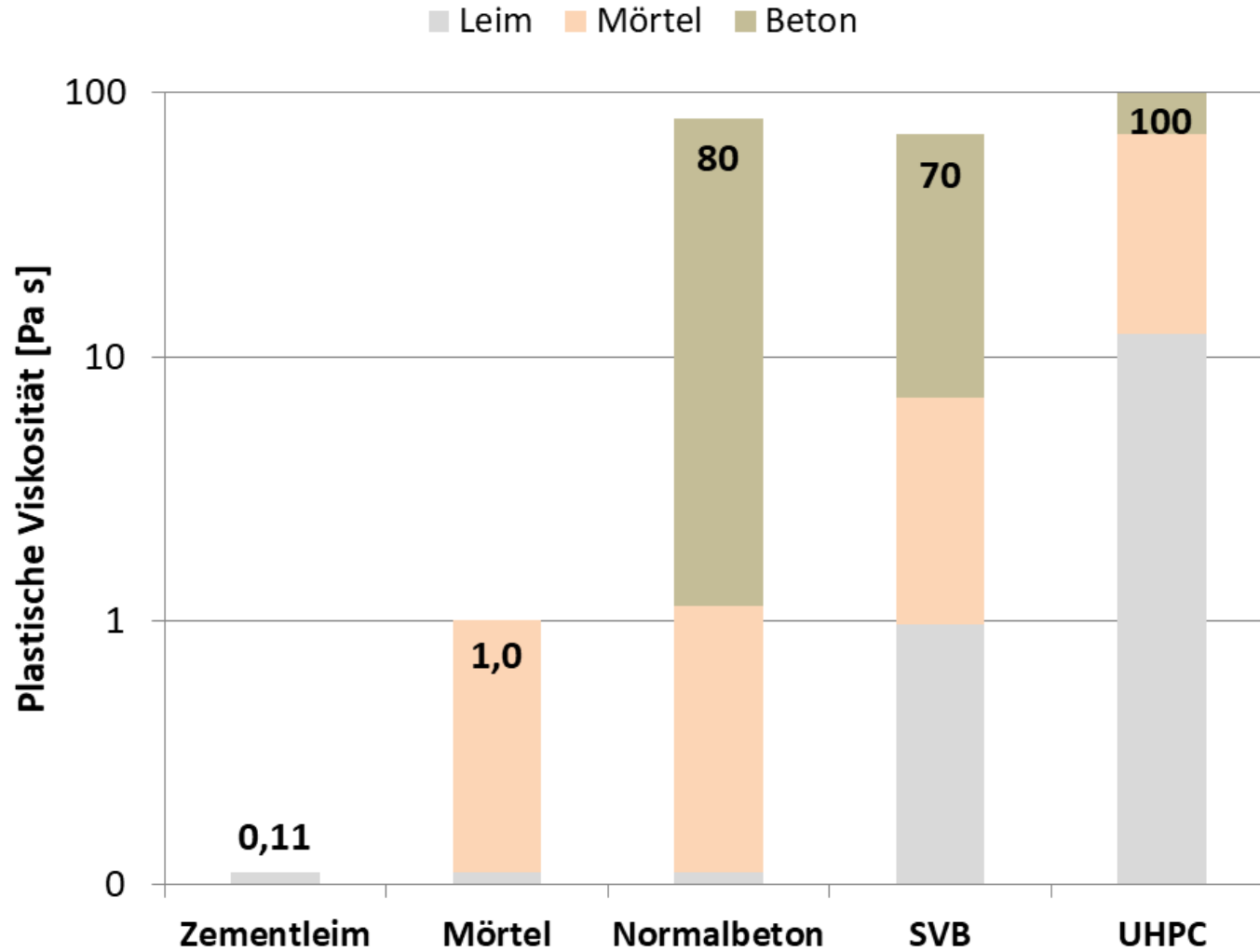
$$u = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = 66 \text{ m}^3/\text{h}$$

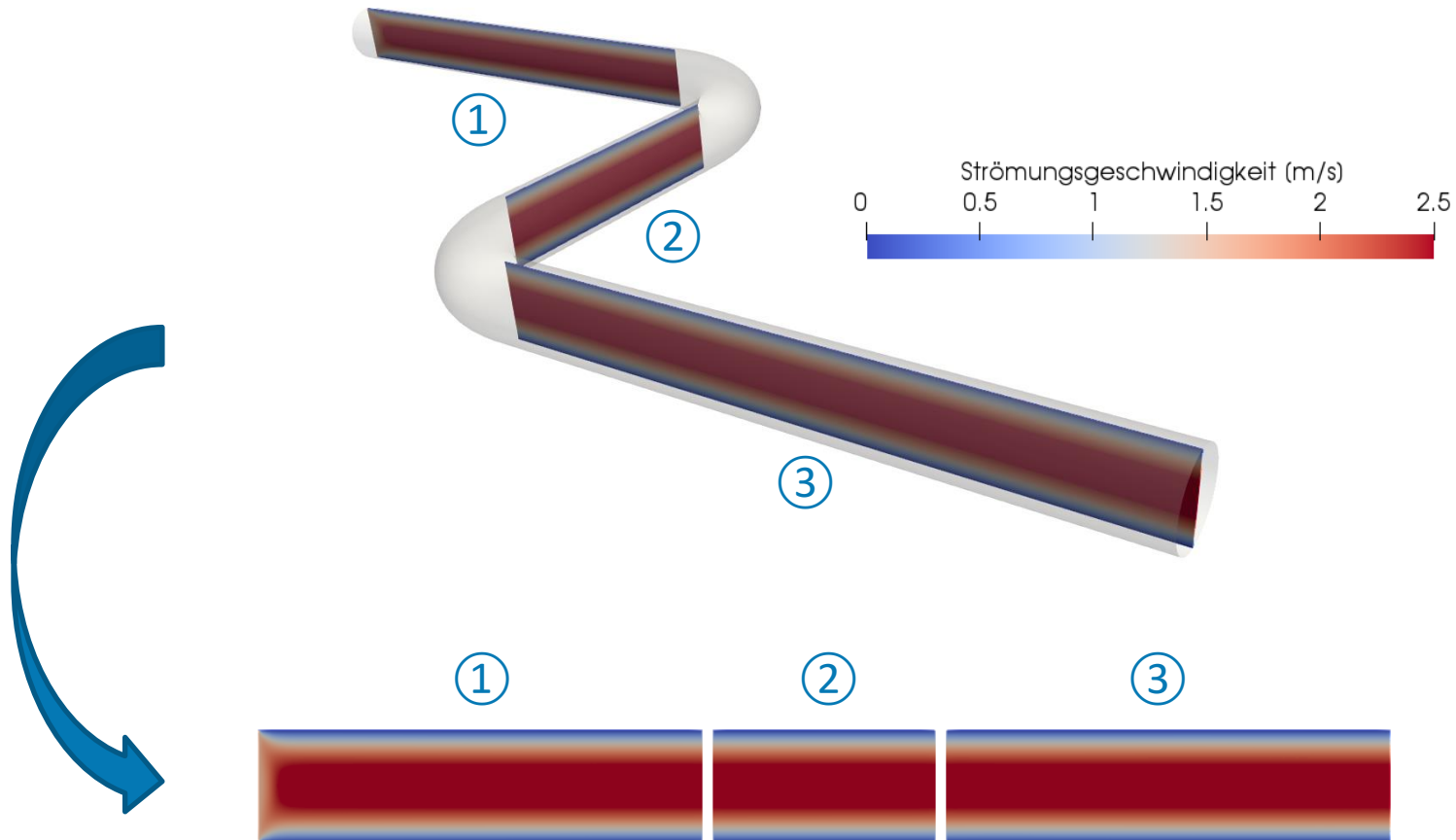


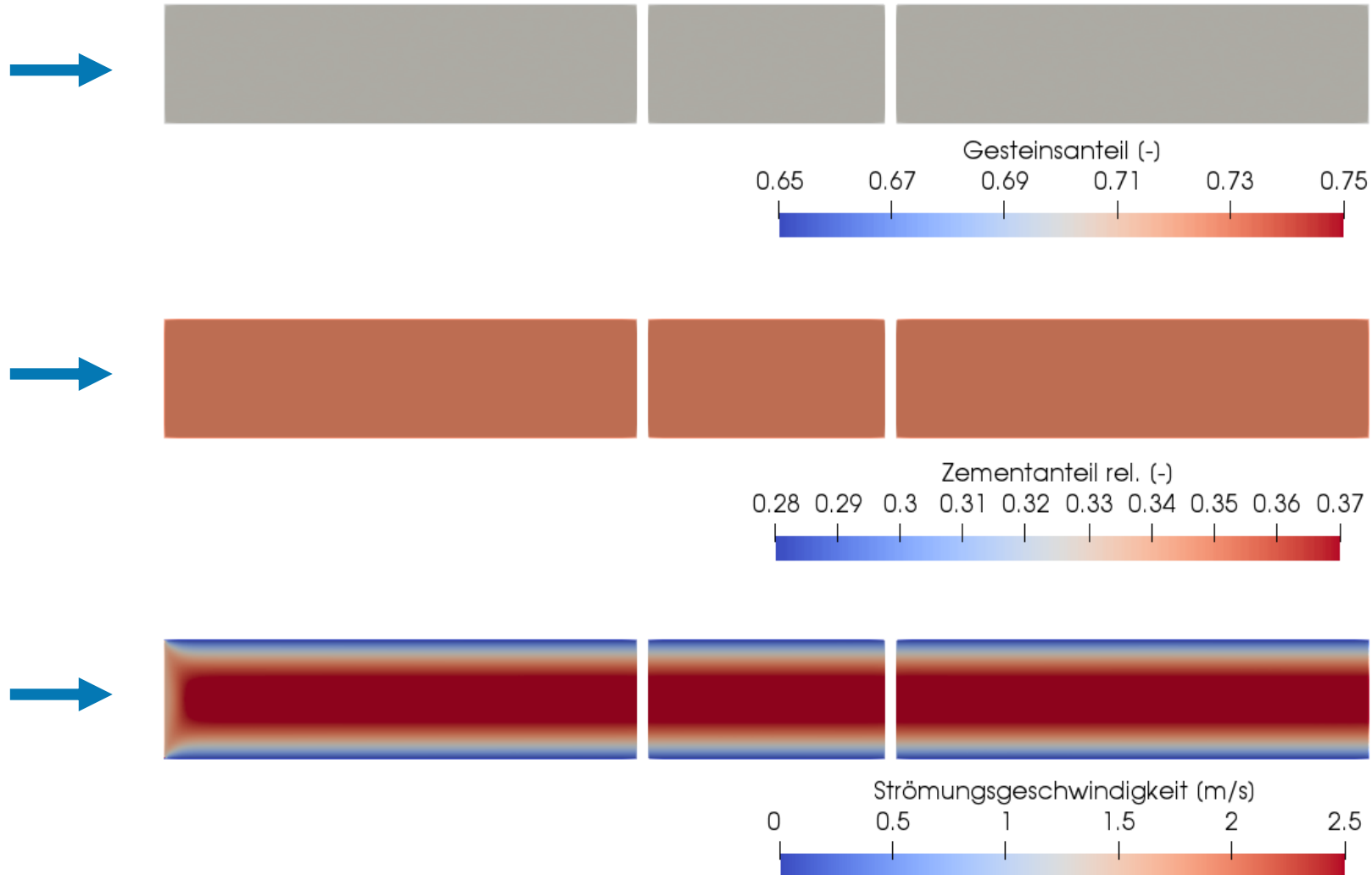
Auslass:
 $p = 0 \text{ bar}$

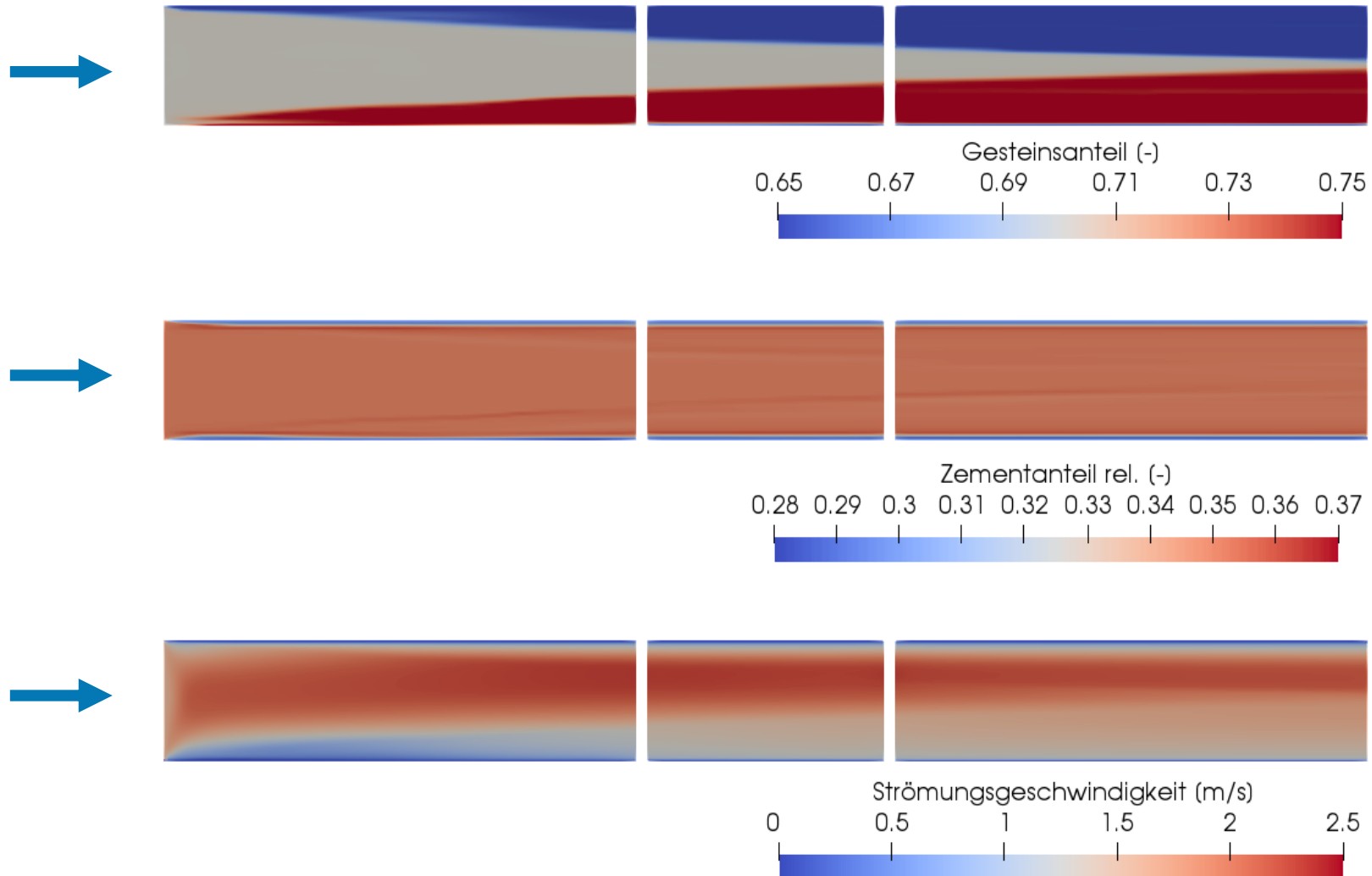


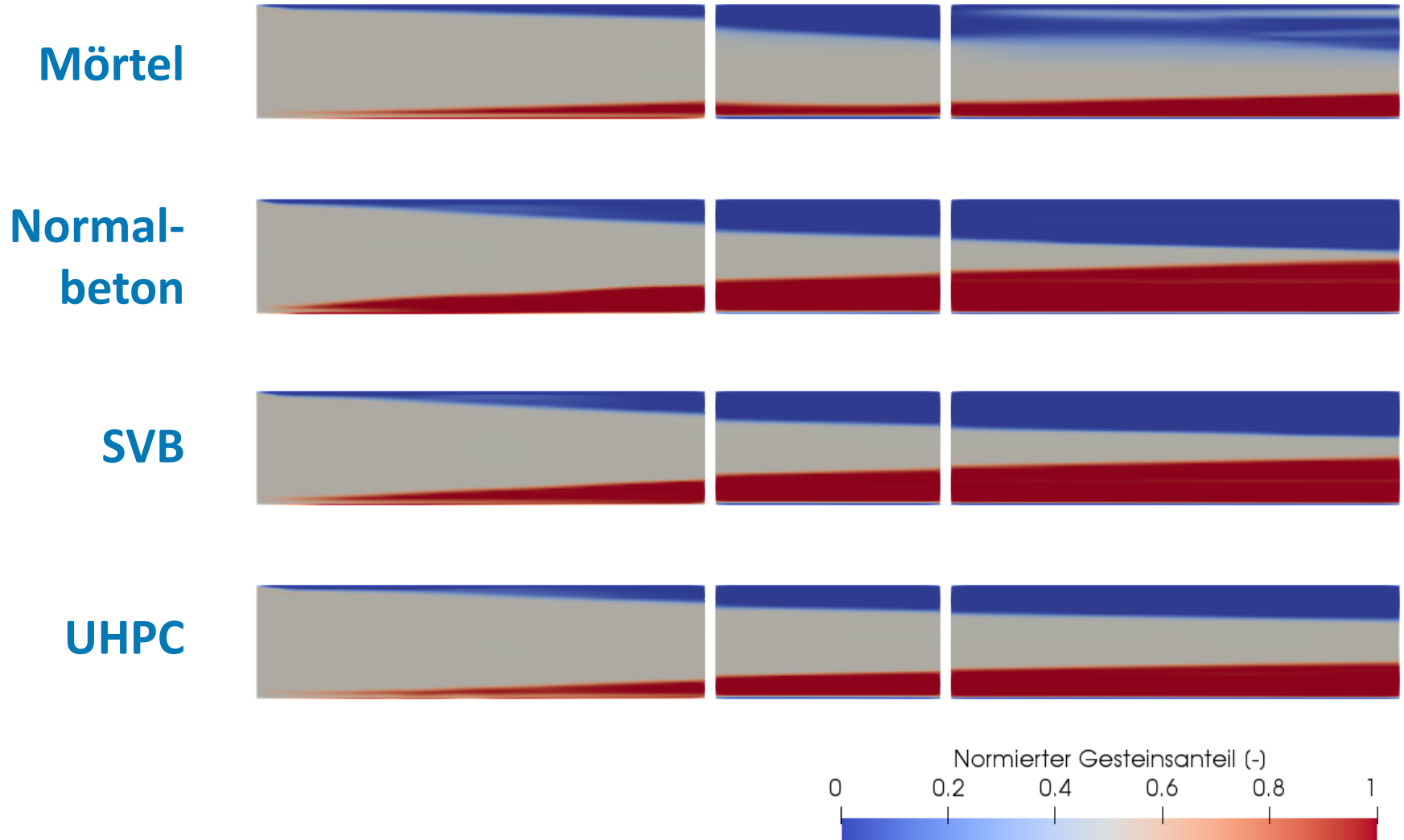


- Ergebnisdarstellung: Projektion & Skalierung

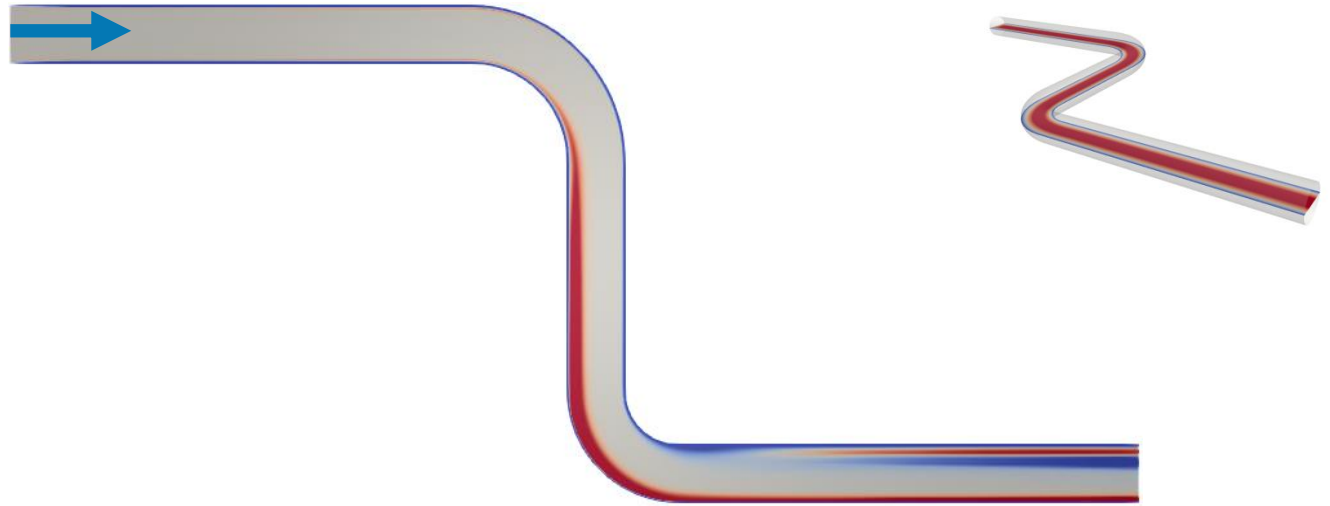




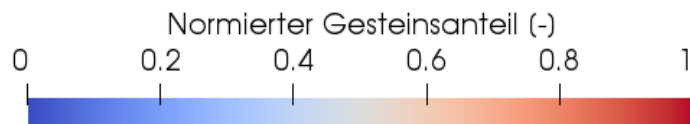
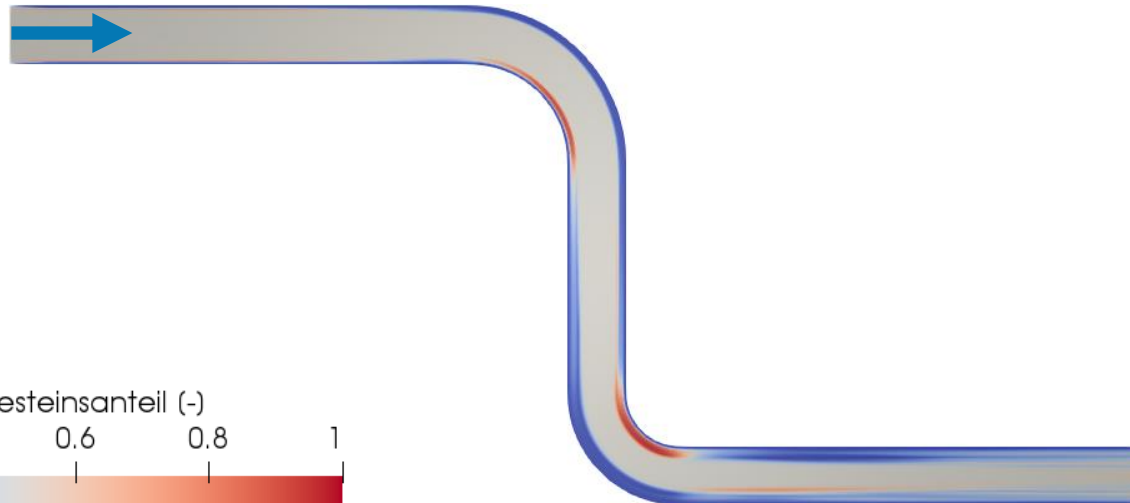


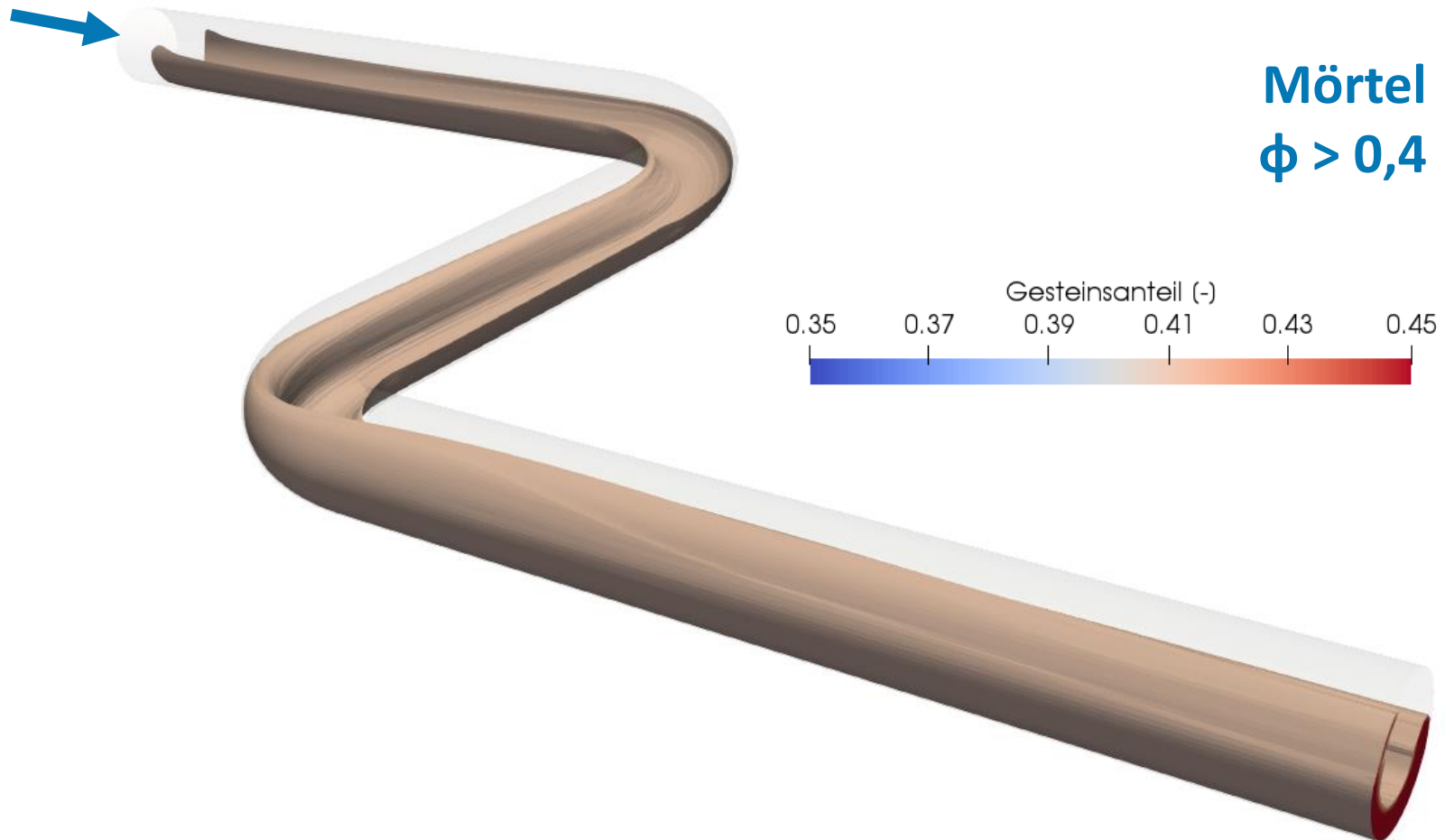


Mörtel

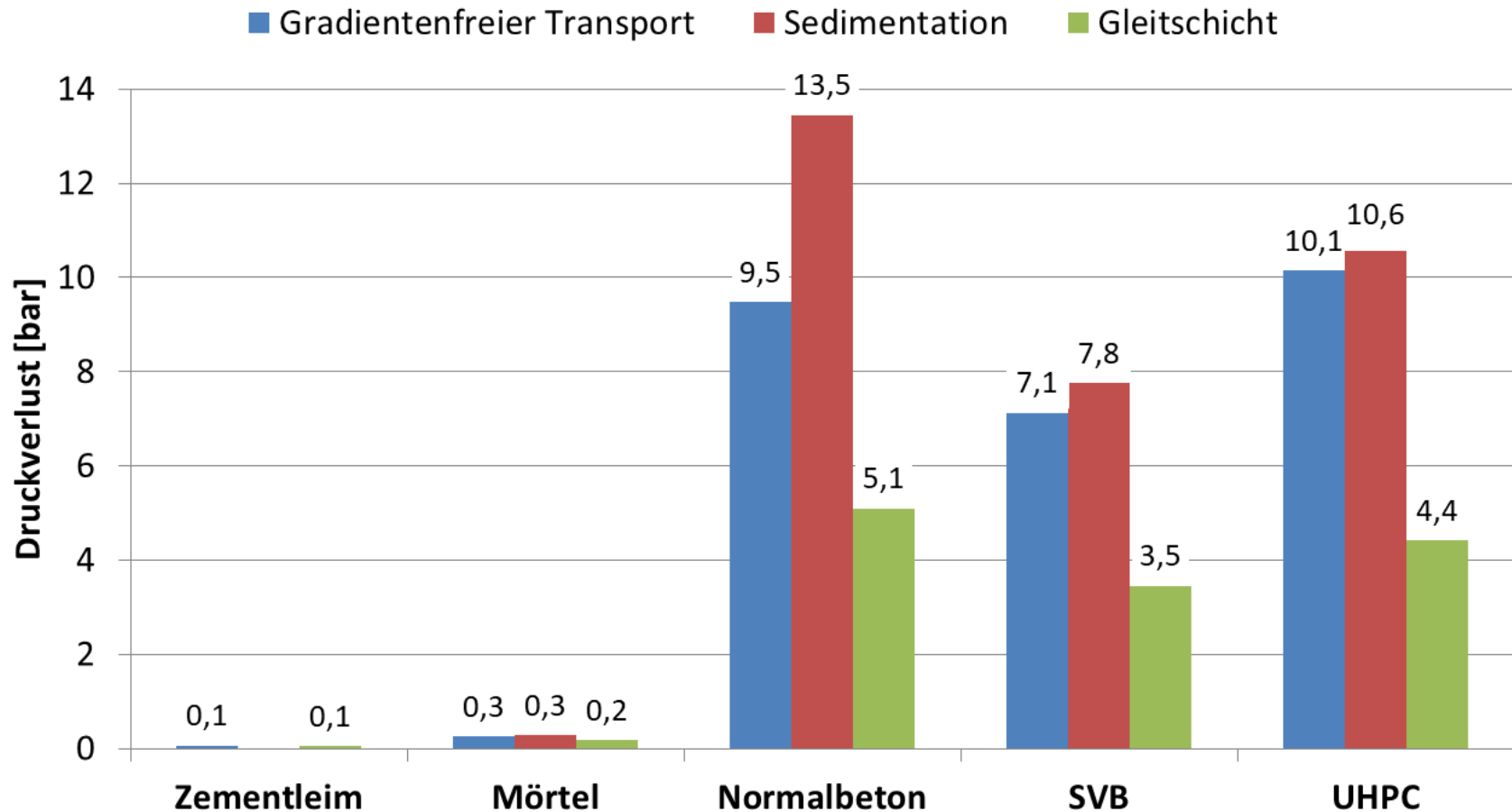


Normalbeton

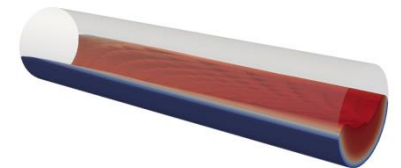
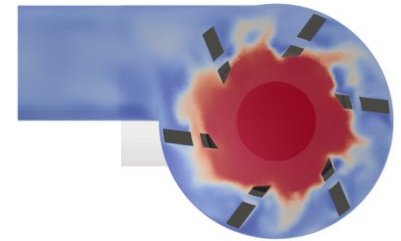
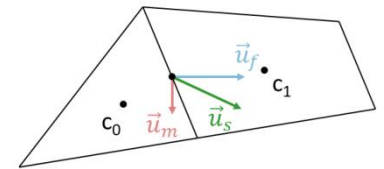
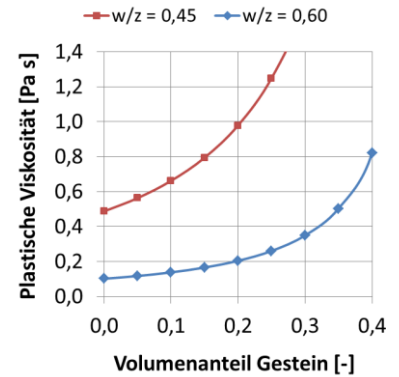




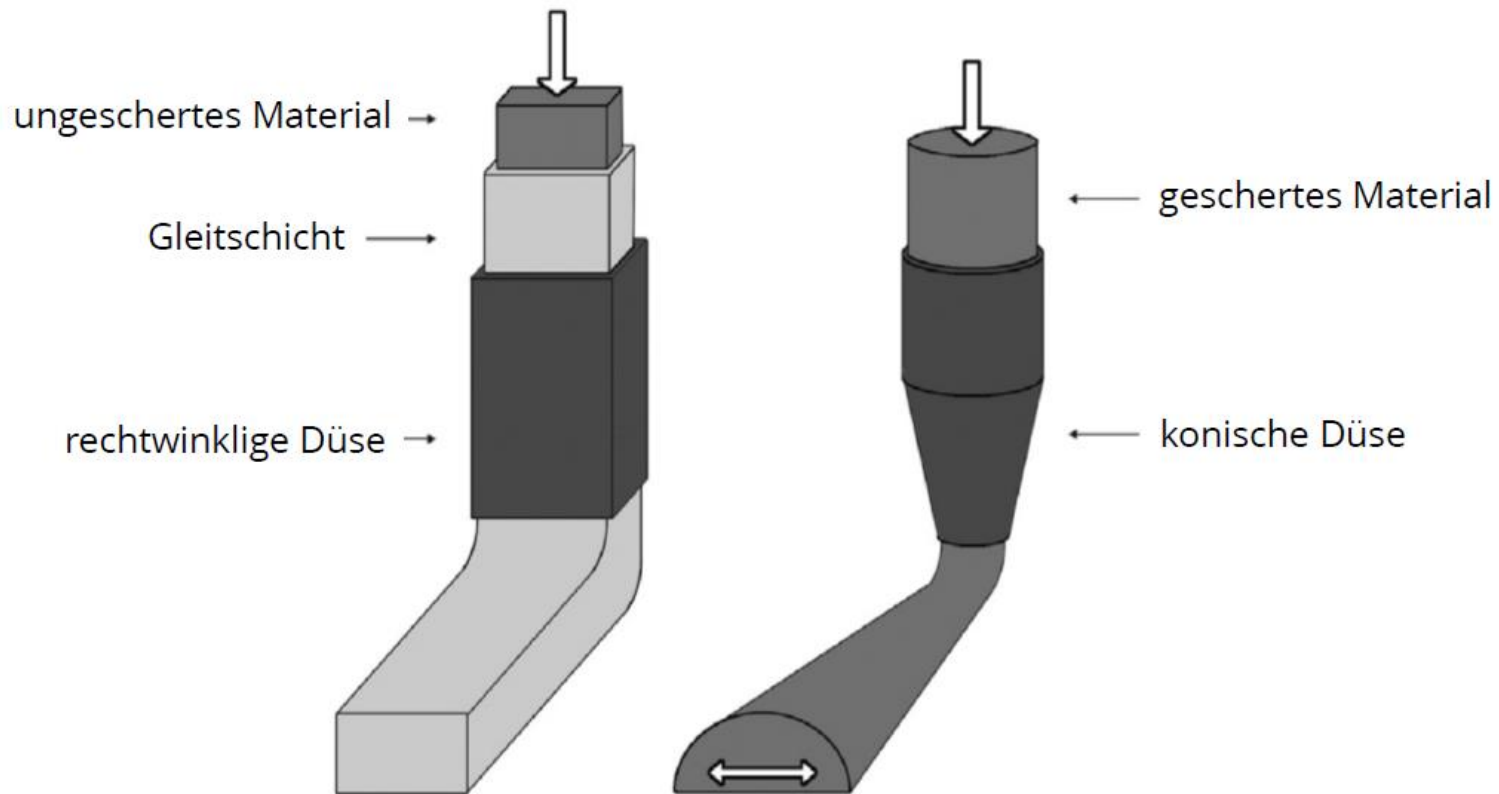
- Druckverlust in Abhängigkeit des Transportregimes



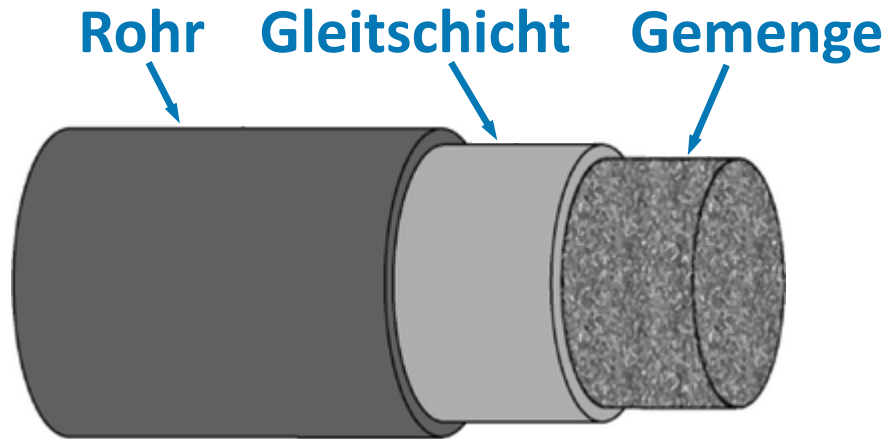
- ✓ Skalarer Transport von Feststoffanteilen
- ✓ Material- und Viskositätsmodell
- ✓ Entmischungsmodelle
- ✓ Misch- und Transportvorgänge
- ✓ Tool zur Prozessauslegung und -optimierung



- Anwendung des Modells für **3D-Druck-Entwicklung**:
Extrusionsverfahren, Verformungsverhalten, Scale-up



Roussel, *Cement and Concrete Research* 112 (2018) 76-85



Prediction of Concrete Pumping Using Various Rheological Models
Myoung Sung Choi^{1,2),*}, Young Jin Kim¹⁾, and Jin Keun Kim²⁾



Justus Lipowsky

Tel.: +49 3643 8684-156

E-Mail: m.dietzel@iab-weimar.de

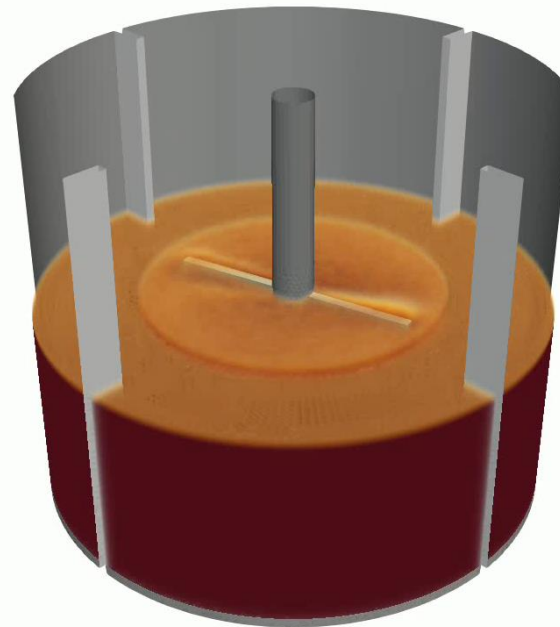
IAB Weimar gGmbH

Fachbereich Simulation

Über der Nonnenwiese 1

99428 Weimar

Germany



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

AiF Projekt GmbH

IGF-Vorhaben-Nr.: 19329 BR/1

AiF-Forschungskuratorium
Maschinenbau e. V.

 **FKM**
Forschung im VDMA