

Numerische Untersuchung der Strömung von Taylor-Blasen in einem kleinen Kanal mit quadratischem Querschnitt

M. Wörner¹, B.E. Ghidersa¹, D.G. Cacuci²

¹ Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Reaktorsicherheit

² Universität Karlsruhe, Institut für Kerntechnik und Reaktorsicherheit

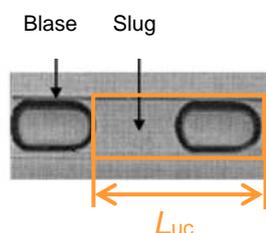
Einführung

Blasenströmung in kleinen Kanälen mit rechteckigem Querschnitt:

- Monolith mit katalytischer Wand: Gasblasen segmentieren die Flüssigkeit und verstärken deren Durchmischung
- Mikroverfahrenstechnik: Effiziente Stoffübertragung über die Phasengrenzfläche durch hohe Werte der Phasengrenzfläche pro Volumeneinheit
- Ziel: Einblick in lokale Strömungsphänomene durch detaillierte numerische Simulation der Strömung zweier nicht mischbarer Fluide in einem einzelnen Kanal

Charakter der Strömung

- Blasen sind lang gestreckt und füllen nahezu den gesamten Querschnitt aus (Taylorblasen)
- Blasen haben gleiche Form und gleiche Geschwindigkeit (U_B)
- Strömung ist vollständig beschrieben durch ‚Einheitszelle‘ der Länge L_{uc} mit *einer* Blase und *einem* Flüssigkeits-Slug



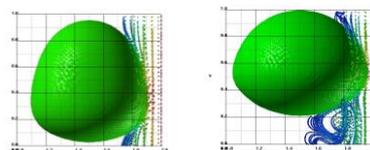
- Nachrechnung eines Experiments [1] mit Aufwärtsströmung von Luftblasen und Silikonöl in einem vertikalen quadratischen Kanal der Weite $W = 2\text{mm}$
- Kapillar-Zahl $Ca = \mu_{01} U_B / \sigma$: Verhältnis der relevanten Kräfte Reibung zu Oberflächenspannung

Numerische Simulation

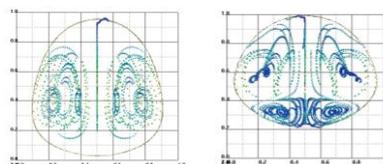
- In-Haus Code TURBIT-VOF
- Navier-Stokes-Gleichung mit Oberflächenspannung für zwei inkompressible Fluide
- Verfolgung der Grenzfläche mit ‚Volume-of-Fluid‘ Methode
- In Gitterzellen mit beiden Phasen wird Grenzfläche lokal durch eine Ebene angenähert
- Berechnung *einer* Einheitszelle mit Gasvolumenanteil $\varepsilon = 33\%$ (axial: periodische Randbed.)
- Gitter bis zu 262.144 Maschen

Ergebnisse

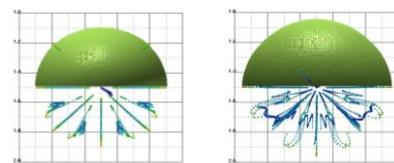
Einfluss von Ca für $L_{uc} / W = 1$



Seitenansicht der Blase und virtuelle Partikelbahnen in der Flüssigkeit für $Ca = 0,2$ (links) und $0,04$ (rechts)



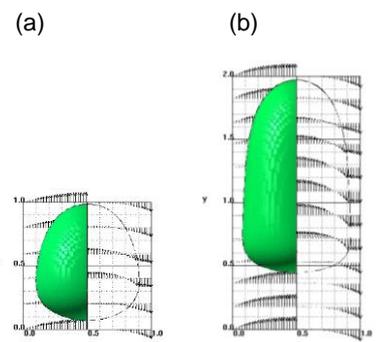
Virtuelle Partikelbahnen in der Blase für $Ca = 0,2$ (links) und $Ca = 0,04$ (rechts)



Draufsicht auf Blase und virtuelle Partikelbahnen in der Blase für $Ca = 0,2$ (links) und $Ca = 0,04$ (rechts)

Einfluss der Länge L_{uc}

- Simulationen für fünf verschiedene Werte L_{uc}/W und $Ca \approx 0,2$
- Bei festen Werten für ε und den axialen Druckgradienten nehmen Geschwindigkeit und Durchmesser der Blase zu und streben gegen Grenzwert



Geschwindigkeitsfeld in vertikaler Mittelebene im festen (linke Bildhälfte) und mitbewegten System (rechte Bildhälfte) für $L_{uc}/W = 1$ (a) und 2 (b)

Verifikation:

- Gute Übereinstimmung von berechneter Geschwindigkeit und Durchmesser der Blase mit experimentellen Daten aus [1]

Schlussfolgerungen

- Detaillierte Berechnung von Blasenform und Strömung in Blase und Flüssigkeit
- Großer Einfluss der Kapillar-Zahl Ca auf Blasenform und Strömung in Blase und Slug
- Einfluss von L_{uc} verschwindet für große Werte von L_{uc} / W

Literatur:

- [1] Thulasidas, Abraham, Cerro: *Chem. Eng. Sci.* **50** (1995) 183-199
- [2] Ghidersa, Wörner, Cacuci: *Chem. Eng. J.* **101** (2004) 285-294