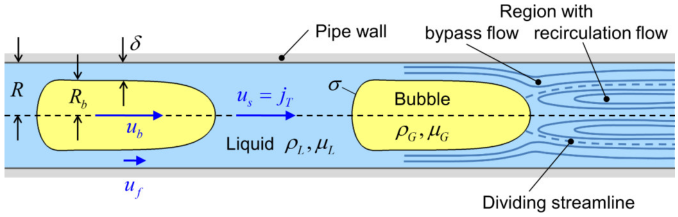
Hydrodynamische Charakterisierung der Taylorströmung in kreisförmigen Kapillaren auf Basis vorab bekannter Parameter

M. Wörner, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Katalyseforschung und -technologie

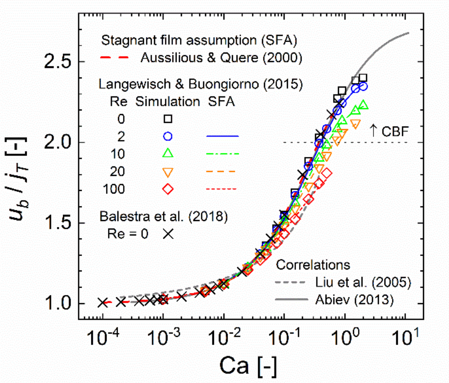
Motivation

- Das Verhältnis von Blasengeschwindigkeit (u_b) und mittlerer Geschwindigkeit der Zweiphasenströmung (j_T) ist ein Schlüsselparameter der Taylorströmung
- Korrelationen für dieses Geschwindigkeitsverhältnis (η), die über den gesamten Bereich der Kapillarzahl (Ca) gültig sind, fehlen bisher in der Literatur



Modellentwicklung

- Zusammenfassende Darstellung von theoretischen, experimentellen und num. Arbeiten aus der Literatur



$$\mathrm{Ca} = \frac{\mu_L u_b}{\sigma}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_L u_b 2R}{\mu_L}$$

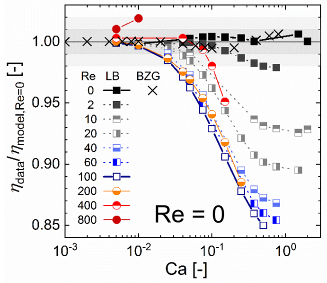
- Asymmetrische 5-Parameter logistische Funktion

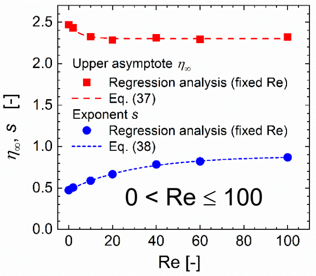
$$\eta_{5\mathrm{PL}} = \eta_0 + \frac{\eta_\infty - \eta_0}{\left[1+(\mathrm{Ca}/c)^{-h}\right]^s} \xrightarrow{\eta_0=1} \eta_{4\mathrm{PL}} = 1 + \frac{\eta_\infty - 1}{\left[1+(\mathrm{Ca}/c)^{-h}\right]^s}$$

- Eliminierung von c und h durch Bretherton-Limit [1]

$$\eta_{4\mathrm{PL}}(\mathrm{Ca}\to 0) = 1 + 1.29(3\mathrm{Ca})^{2/3}$$

- Bestimmung von η_∞ und s durch Regressions-Fit von $\eta_{2\mathrm{PL}}$ mit numerischen Daten aus [2] und [3]



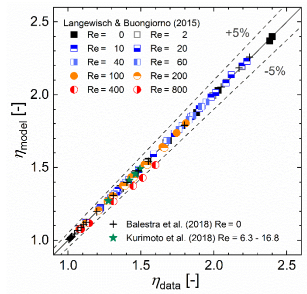


$$\eta_{2\mathrm{PL}} = 1 + (\eta_\infty - 1)\left[1 + \left(\frac{\eta_\infty - 1}{1.29}\right)^{1/s} (3\mathrm{Ca})^{-2/(3s)}\right]^{-s}$$

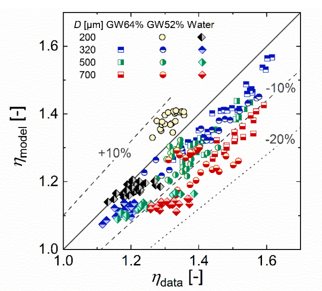
$$\eta_\infty(\mathrm{Re}) = 2.3 + 0.167 \times 0.83^{\mathrm{Re}}, \quad s(\mathrm{Re}) = 0.884 - 0.41 \times 0.968^{\mathrm{Re}}$$

Modellgenauigkeit

Simulationen [2-4]



Experiment [5]



Vorhersage Hydrodynamik

A-priori unbekannte Größe	Beziehung
Gasgehalt	$\alpha = \beta / \eta$
Blasengeschwindigkeit	$u_b / j_T = \eta$
Mittlere Flüssigkeits-Geschw.	$u_L / j_T = (1-\beta)/(1-\beta/\eta)$
Relative Drift-Geschwindigk.	$m = 1 - \eta^{-1}$
Blasenradius* (gleichförmig)	$R_b / R = \eta^{-1/2}$
Filmdicke* (gleichförmig)	$\delta / R = 1 - \eta^{-1/2}$
Bed. für Rezirkulationsgebiet	$\eta < 2$
Radius teilende Stromlinie	$R_{ds} / R = (2-\eta)^{1/2}$
Radius Nullgeschw. im MFR	$R_0 / R = (1-\eta/2)^{1/2}$
Dim.-lose Rezirkulationszeit	$\tau = 1/(\eta^{-1} - 0{,}5)$

* Annahme stagnierender Film

Schlussfolgerungen

Es wurde eine Korrelation entwickelt, die es mit guter Genauigkeit erlaubt, aus a-priori bekannten Größen zahlreiche a-priori unbekannte hydrodynamische Parameter der Taylorströmung abzuschätzen [6]

[1] F. P. Bretherton, *J. Fluid Mech.* **10** (1961) 166-188
[2] D. R. Langewisch, J. Buongiorno, *Int. J. Heat Fluid Flow* **54** (2015) 250-257
[3] G. Balestra, L. Zhu, F. Gallaire, *Microfluid. Nanofluid.* **22** (2018) 67
[4] R. Kurimoto et al., *Int. J. Heat Fluid Flow* **74** (2018) 28-35
[5] R. Kurimoto et al., *Exp. Therm. Fluid Sci.* **88** (2017) 124-133
[6] M. Wörner, *Theor. Found. Chem. Eng.* **54** (2020) 3-16

Kontakt:
Dr. Martin Wörner (martin.woerner@kit.edu)
Engesserstraße 20, 76131 Karlsruhe