

Charakterisierung der Zerteilungsdynamik von Blasen an Zylindern

M. Börnhorst¹, T. Homan², P. Rohlf¹, N. Deen², M. Wörner¹

¹Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

²Technische Universität Eindhoven, Eindhoven, Niederlande

Einleitung

Blasensäulen sind weit verbreitete Mehrphasenreaktoren für industrielle Anwendungen. Ihr Umsatz wird wesentlich durch den Stoffaustausch zwischen den Phasen bestimmt und hängt von der Austauschfläche und der Blasenverweilzeit ab. Häufig werden strukturierte Packungen oder Drahtnetze als Reaktoreinbauten verwendet, um die Blasengröße durch Zerteilung zu verringern. In früheren Studien wurde die Wechselwirkung einer einzelnen Blase mit einem Draht für eine Vielzahl von Parametern wie Blasengröße und -geschwindigkeit untersucht [1, 2], wobei der Einfluss der Benetzbarkeit nicht berücksichtigt wurde. Numerische Simulationen deuten darauf hin, dass letztere die Hydrodynamik des Zerteilungsprozesses insbesondere unter hydrophoben Bedingungen beeinflussen kann [3]. Allerdings wurden diese Simulationen bisher nicht durch Experimente validiert, und der genaue Ablauf der Blasen-Interaktion mit festen Strukturen ist noch weitgehend unbekannt.

Experimentelle Methoden

In dieser Arbeit wird die Blasenzerlegung an horizontal positionierten Zylindern unterschiedlicher Materialien/Benetzbarkeit untersucht. Eine Luftblase wird am Boden eines Behälters erzeugt, der mit einem hochviskosen Glycerin-Wasser-Gemisch gefüllt ist. Neben dem Zylinderkontaktwinkel ($40 - 150^\circ$) und -durchmesser (3 - 5 mm) wird auch die Blasengröße (Volumen 10 - 1000 μl) und damit die Aufstiegs geschwindigkeit der Blase variiert. Die Interaktion der Blase mit dem Zylinder wird mittels Highspeed-Shadowgraphie erfasst. Eine Bildanalyse liefert detaillierte Informationen zur Position von Mutter- und Tochterblasen sowie potentieller Satellitenblasen über der Zeit.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass es bei allen Experimenten im untersuchten Viskositätsbereich keinen tatsächlichen Kontakt zwischen Blase und Zylinder gibt. Anders als in numerischen Vorhersagen [3] zeigt die Benetzbarkeit im gemessenen Parameterbereich keinen Einfluss auf den Blasenzerlegungsprozess. Während der Blase-Zylinder-Interaktion bildet sich ein Flüssigkeitsfilm homogener Dicke zwischen Blase und Zylinder aus (Abb. 1, Zeitpunkte 2 und 3).

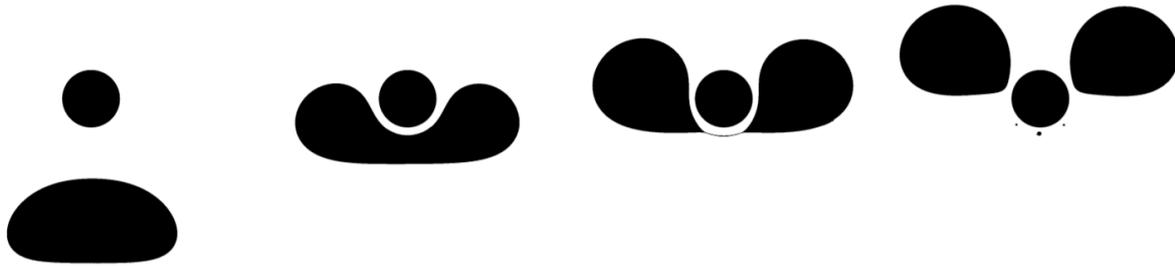


Abb. 1 Zerteilung einer aufsteigenden Blase ($V = 500 \mu\text{L}$) an einem horizontalen Zylinder ($d = 4 \text{ mm}$) zu zwei symmetrischen Tochterblasen (Frontansicht zu vier verschiedenen Zeitpunkten). Das Aufreißen des sich unterhalb des Zylinders bildenden Gasfadens (Zeitpunkt 3) erzeugt drei Satellitenblasen (Zeitpunkt 4).

Durch die detaillierte Bildanalyse können globale Blaseneigenschaften während des Zerteilungsprozesses quantifiziert werden. Abb. 2 zeigt den Effekt der Blasengröße auf den Zerteilungsprozess. Mit steigender Blasengröße ist der Einfluss des Zylinders auf die Blasengeschwindigkeit geringer und es bildet sich ein längerer Gasfaden vor dem Blasenaufbruch aus. Die Dicke des sich bildenden Flüssigkeitsfilms nimmt mit dem Blasenvolumen zu. Weiterhin zeigen die Ergebnisse einen Einfluss des Verhältnisses von Blasen- zu Zylinderdurchmesser auf den Zerteilungsprozess.

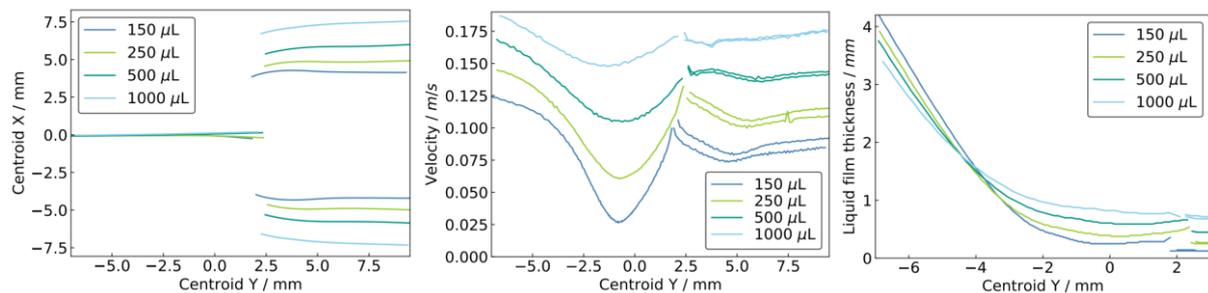


Abb. 2 Durch Bildanalyse ermittelte Schwerpunktkoordinaten, Geschwindigkeit sowie Flüssigkeitsfilmdicke während der Zerteilung von Blasen verschiedener Volumina an einem Zylinder mit 4 mm Durchmesser. Die Y-Schwerpunktkoordinate ist als Distanz zum Zylinderzentrum angegeben.

Im Kontext der Mehrphasenreaktoren mit katalytisch beschichteten Strukturen zeigen die Ergebnisse, dass der Diffusionsweg für gelöste Edukte mit größerem Blasen- volumen trotz erhöhter Aufstiegs- geschwindigkeit zunimmt. Dies unterstreicht die große Bedeutung der Blasen- zerteilung, insbesondere für viskose Flüssigkeiten.

Referenzen

- [1] Baltussen, M.W., Segers, Q.I.E., Kuipers, J.A.M., Deen, N.G. Cutting bubbles with a single wire. Chem. Eng. Sci., Vol. 157, pp. 138 – 146 (2017)
- [2] Segers, Q.I.E., Cutting Bubbles using Wire-Mesh Structures - Direct Numerical Simulations, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, 2015
- [3] Cai, X., Wörner, M., Marschall, H., Deutschmann, O. Numerical study on the wettability dependent interaction of a rising bubble with a periodic open cellular structure. Catalysis Today, Vol. 273, pp. 151 – 160 (2016)