

Abschlussbericht

Neuartige Messtechnik für dreidimensionale Schaumströmung

*Sascha Heitkam, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, TU Dresden,
01069 Dresden*

Fördernummer: 3534

Förderzeitraum: 01.07.2016 – 30.06.2017

1. Einleitung

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens besteht in der Erprobung und Validierung neuartiger messtechnischer Ansätze für wässrige Schäume.

In vielen Anwendungsbereichen der Verfahrenstechnik treten wässrige Schäume auf. Dabei spielen sie in einigen Prozessen eine entscheidende Rolle, beispielsweise bei der Flotation von Enzymen oder anderen oberflächenaktiven Stoffen. In anderen Prozessen, wie z.B. der Abwasserbehandlung sind Schäume unerwünscht, jedoch kaum zu vermeiden.

Trotz ihrer großen industriellen Bedeutung ist das strömungsmechanische Verhalten von Schäumen noch immer zu großen Teilen unverstanden. Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Gründe. Zum Einen beruht das Verhalten von Schäumen auf der komplexen Interaktion einer Vielzahl von Mechanismen auf unterschiedlichen Zeit- und Längenskalen [1]. Zum anderen gibt es bisher kaum geeignete Messtechniken, um Schaumströmungen zu untersuchen. Etabliert haben sich bisher lediglich elektrische Leitfähigkeitsmessungen zur Bestimmung des lokalen Fluidgehaltes [2] und optisches Blasentracking zur Bestimmung der Blasengrößen und wandnahen Geschwindigkeit [3]. Wegen der Lichtbrechung an den zahlreichen Grenzflächen kann die Strömung im Kernbereich des Schaums jedoch nicht mittels Blasentracking oder anderer optischer Messverfahren bestimmt werden. Tomographische Methoden wie Röntgen oder MRT sind bei den benötigten Auflösungen und Kontrasten zu langsam um die Bewegungen des Schaums aufzulösen.

Im Rahmen dieses interdisziplinären Forschungsstipendiums wurden verschiedene innovative Messtechniken auf ihre Einsetzbarkeit in Schaumströmungen untersucht. Zur Anwendung kamen dabei die Ultraschall-Doppler-Velozimetrie [4], der Laser-Doppler-Profilsensoren [5], sowie Neutronenstrahl-Imaging. Zusätzlich wurden etablierte Messmethoden wie Leitfähigkeitsmessung, Volumenstrommessung und optisches Blasentracking als Referenzmethoden eingesetzt.

2. Messtechniken

a. Ultraschall-Doppler-Velocimetrie (UDV)

Bei der UDV wird mittels piezoelektrischen Transducern ein kurzer Schallimpuls in den Schaum gesendet. Der Impuls wird an Inhomogenitäten der akustischen Impedanz (Gas-Flüssig-Grenzflächen, Partikeln) reflektiert und das Echo von den Transducern aufgezeichnet. Aus der Laufzeit kann die Position des Streuobjekts in Strahlrichtung berechnet werden. Aus der Phasenverschiebung aufeinander folgender Schallimpulse folgt die Geschwindigkeit in Strahlrichtung des Streuobjekts.

Zunächst wurde im Projekt die hierfür benötigte Schallgeschwindigkeit und die Echointensität

in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsgehalt des Schaums bestimmt.

Anschließend wurde die Strömung von Schaum durch einen Kanal (3cm x 10cm) und durch eine Düse (10...3cm x 10cm) vermessen. Die Geschwindigkeitsmessung wurde mit optischem Blasentracking validiert.

Es ergab sich bei einer Messrate von 2.5 Hz eine Unsicherheit in der Geschwindigkeitsmessung von unter 15%. Die Eindringtiefe betrug bis zu 20 cm und die Ortsauflösung war besser als 1 cm [6,7]. Damit ist das UDV für wissenschaftliche Untersuchungen als auch für industrielle Überwachung geeignet. Limitiert ist das UDV auf Schäume mit geringen Flüssigkeitsgehalten.

b. Laser-Doppler-Profilsensor (LDP)

Das Messsystem des LDP basiert auf der Laser-Doppler-Anemometrie. Mit einem Laser wird ein Streifensystem im Messobjekt erzeugt. Enthaltene Tracerpartikel passieren das Streifensystem und streuen dabei das Laserlicht mit einer bestimmten Intensitätsmodulation. Aus deren Frequenz lässt sich nach Kalibrierung die Geschwindigkeit des Tracers ermitteln. Beim LDP werden zwei Streifensysteme überlagert und geometrisch verzerrt. Man erhält zwei Streulichtsignale mit verschiedenen Frequenzen, aus denen sich die Geschwindigkeit und die Position in Strahlrichtung des Tracers berechnen lässt.

Im Projekt wurde mit dieser Technik versucht, das Geschwindigkeitsprofil im dünnen Flüssigkeitsfilm zwischen Blase und Wand zu vermessen. Über eine Auswertung des diffusen Reflexes des Laserlichts an der Blase wurde zusätzlich die Position der Blase relativ zum Messvolumen erfasst [8].

Trotz intensiver Bemühungen wurden nicht ausreichend Streusignale gemessen, um eine Zeitaufgelöste Darstellung des Geschwindigkeitsprofils zu erzielen. Insgesamt wurden ca. $O(10e+3)$ auswertbare Signale erfasst, während ca. $O(10e+6)$ Signale notwendig gewesen wären. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die verwendeten Tracer (Polystyrol) an den Blasenoberflächen adsorbiert wurden und keine sinnvollen Streusignale mehr liefern konnten. In zukünftigen Arbeiten sollen hydrophile Tracerpartikel getestet werden.

c. Neutronenstrahl-Imaging (NI)

Diese Messungen wurden am Paul-Scherrer-Institut (PSI) in der Schweiz durchgeführt. NI funktioniert im Wesentlichen wie Röntgen, jedoch werden statt Photonen hier Neutronen verwendet. Diese werden wesentlich stärker von Wasser abgeschwächt, wodurch sehr gute Visualisierung von Wasser und wässrigem Schaum möglich ist. Zusätzlich wurden 200 μm große Gadolinium-Partikel zugefügt, die 99.9% der Neutronen abschwächen und damit sehr gut sichtbar sind.

Mittels NI wurde als erstes der Flüssigkeitsgehalt des Schaums zeit- und orts aufgelöst quantifiziert. Das ermöglicht die Untersuchung der Drainagegeschwindigkeit in Schaum. Des Weiteren war es möglich, einzelne Gadoliniumpartikel zu verfolgen. Auf diese Weise kann man die Bewegung von Partikeln in partikelbeladenen Schäumen untersuchen. Es stellte sich heraus, dass stark hydrophobe Partikel sich fast gar nicht relativ zum Schaum bewegen, während schwach hydrophobe Partikel durch Zugabe von Wasser aus dem Schaum ausgewaschen werden können [9].

d. Druckmesstechnik

Im Projekt wurde außerdem versucht, über Wanddruckbohrungen den Druckverlust einer vertikalen Kanalströmung und damit deren Verlustbeiwert zu bestimmen. Es zeigte sich jedoch, dass die (vermutlich) sehr geringen Werte von Niederfrequenten Störungen überlagert werden und damit unbrauchbar sind. Diese werden vermutlich von langsamen Änderungen des Flüssigkeitsgehaltes und damit der Gravitationskraft hervorgerufen.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Projektes wurden vorhandene Messmethoden für Schaum (optisches Blasentracking, Leitfähigkeitsmessung) verfeinert und neuartige Methoden (UDV, LDP, NI) für Schaum erprobt.

Mit UDV lassen sich orts- und zeitaufgelöst Geschwindigkeiten im Inneren des Schaums messen. Die Technik soll im Rahmen eines AIF-Projektes auf eine „Phased-Array“-Technik erweitert werden und für den industriellen Einsatz vorbereitet werden.

Mittels NI lassen sich vielseitige Aspekte der Schaum- und Froth-Dynamik untersuchen. Diese Daten sind insbesondere für die Flotation seltener Erden interessant. Hier wurde ein fruchtbarer Kontakt zum PSI geschaffen, der durch Beantragung weiterer Strahlzeit in den nächsten Jahren gefestigt werden soll. Auch die Verwendung anderer Strahltypen am PSI wird diskutiert.

Der Einsatz des LDP scheiterte vermutlich an der Hydrophobität der Tracer. Hier sollen die Messungen mit anderen, stärker hydrophilen Tracern wiederholt werden.

4. Veröffentlichungen

Ein Manuskript über die Erfolgreiche Anwendung der UDV Messtechnik befindet sich aktuell (Stand 09/2017) in Begutachtung bei „*Physical Review E*“ [6]. Außerdem sind diese Resultate auf der Internationalen Tagung „Flotation 17“ in Kapstadt, Südafrika als Vortragspräsentation angenommen [7].

Die Ergebnisse des LDP wurden in einem Vortrag auf der 25. Fachtagung „*Experimentelle Strömungsmechanik*“ in Karlsruhe präsentiert [8].

Die Daten der NI liefern Material für zwei Publikationen. Das erste Manuskript befindet sich aktuell (09/2017) bei „*Minerals Engineering*“ in der Begutachtung [9], Das zweite Manuskript wird aktuell erstellt.

5. Literatur

[1] I. Cantat, et al. (2013). *Foams: structure and dynamics*. Oxford University Press.

[2] Park, C., & Hermanowicz, S. W. (2014). *AIChE Journal*, 60(9), 3143-3150.

[3] Dollet, B., & Graner, F. (2007). *Journal of Fluid Mechanics*, 585, 181-211.

[4] Nauber, R, et al. (2013). *The European Physical Journal Special Topics*, 220(1), 43-52.

[5] Czarske, J, et al. (2002). *Measurement Science and Technology*, 13(12), 1979.

[6] Naubert, R. et al. (2017). *Physical Review E*, submitted.

[7] Heitkam, S. et al. (2017). *8th Int. Flotation Conference*, Cape Town, South Africa Nov. 13-16.

[8] Bermuske, M. et al. (2017). *Fachtagung Experimentelle Strömungsmechanik*, Karlsruhe, Sep. 5-7.

[9] Heitkam, S. et al. (2017). *Minerals engineering*, submitted.