

Multiphase Flow (MPF)

Dominik Huber, Simon Heinzmann, Hannes Albers

Experimental Methods for Engineers

ETH Zürich, D-MAVT, Group 4, 05.12.2019

1. Einleitung

In diesem Experiment wurde die Strömung eines Luft-Wasser Gemischs beobachtet. Dabei handelt es sich um eine Mehrphasenströmung. Mehrphasenströmungen sind im Vergleich zu den einfachen, homogenen Fluidströmungen schwieriger zu beschreiben, denn sie sind stark nichtlinear und unvorhersehbar (auch wenn die Fluideigenschaften bekannt sind). Zudem sind der Druck und der Hohlraumanteil stark variabel in Mehrphasenströmungen. Die sich in diesen Hohlräumen befindende Gasmenge beeinflusst nämlich die Form der Blasen und damit die Eigenschaft der gesamten Strömung. Die Beschreibung von Mehrphasenströmungen findet mehrere Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel in der Ölindustrie. Mit einem Drahtgittersensor können die oben genannten Eigenschaften von Mehrphasenströmungen untersucht werden. Der Sensor registriert die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit der Flüssigkeit, sowie des Gases in der Strömung. Dadurch kann festgestellt werden, wie viel von jeder Phase zu einem bestimmten Zeitpunkt durch die Messpunkte des Sensors laufen. Werden zwei dieser Sensoren in Serie geschaltet, und ist die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit A bekannt, kann so ebenfalls die Geschwindigkeit des Gases bestimmt werden.

2. Versuchsaufbau

Der Aufbau beinhaltet einen Wasserkreislauf mit Gasinjektion, einem Messsensor, einem Wasserspeicher, einem Wasserrücklauf und einer Wasserpumpe. Die gesamte Testanlage ist mit Wasser gefüllt. Der oberste Wasserbehälter trennt die Luft vom Wasser. Das Rohr hat einen quadratischen Querschnitt, was den Aufbau des Messsensors erleichtert. Der Prüfbereich befindet sich im vertikalen Teil des Kreislaufes. Der Rohrquerschnitt beträgt 50x50 mm. An der Unterseite des vertikalen Rohres, weit unterhalb des Messsensors, wird das Gas eingeschleust, was eine zweiphasige Strömung in der Messstrecke verursacht. Die Menge des eingespritzten Gases wird vom Sensor gemessen.

Der Drahtgittersensor liegt also im Messabschnitt der vertikalen Schleife und besteht aus drei Drahtebenen, eine Sendeebene zwischen zwei Empfangsebenen. Alle Drähte sind senkrecht zur Strömungsrichtung montiert und die Drähte berühren sich gegenseitig nicht, obwohl der Abstand dazwischen minimal ist. Jede zweidimensionale angesehene Kreuzung von Sende- und Empfangsdraht ist eine Messstelle. Ein an die Senderleitungen angelegter Strom führt zu einem induzierten Strom in den Empfangsleitungen, jedoch nur dann, wenn sich dazwischen ein leitfähiges Medium befindet, in diesem Fall Wasser. Der Drahtgittersensor erfasst Daten in 3 verschiedenen Dimensionen: x, y und Zeit.

Wir gehen davon aus, dass der Leitwert von Luft Null ist und der maximal aufgezeichnete Leitwert von reinem flüssigem Wasser ist.

3. Vorgehen

Wir können den Hohlraumanteil $\varepsilon_{i,j,k}$ des Flusses an jedem Messpunkt i, j in jedem „Frame“ k ableiten, indem wir den gemessenen Leitwert $u_{i,j}$ auf u_{liquid} beziehen.

$$\varepsilon_{i,j,k} = 1 - \frac{u_{i,j,k} - u_{\text{gas},i,j}}{u_{\text{liquid},i,j} - u_{\text{gas},i,j}} = (u_{\text{gas},i,j} \approx 0) = 1 - \frac{u_{i,j,k}}{u_{\text{liquid},i,j}} = \frac{u_{\text{liquid},i,j} - u_{i,j,k}}{u_{\text{liquid},i,j}} \quad (1)$$

Der Leitwert u_{gas} wird hierbei als Null angenommen. Der Leitwert u_{liquid} wird als Maximalwert für die gesamte Messung angenommen. Aufgrund der inhomogenen Verteilungen vom Gas im Fluid, und der Fertigungstoleranzen des Drahtgittersensors, sollte die u_{liquid} für jeden Messpunkt einzeln berechnet werden. Dieses Verfahren funktioniert gut, wenn das Messsignal wenig Rauschen aufweist. Dies ist in der Regel nicht der Fall, es gibt mehrere Quellen, die Messrauschen in unserem Sensor verursachen können: Zum einen gibt es bereits an unserem Stromnetz ein Rauschen im Bereich von 50 Hz. Die Drähte können durch ihre Maschenanordnung ebenfalls die Wirkung einer Antenne haben, welche Strahlungen, wie zum Beispiel von Mobilfunkgeräten, aufnimmt. Deshalb ist eine Filterung der Messdaten erforderlich.

Die Experimente finden bei Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur statt. Es werden vier Messungen durch Variationen der Volumenströme von Luft und Wasser gemäß Tabelle 1 durchgeführt. Das Drahtgitter-Datenerfassungssystem erfasst Daten mit einer Frequenz von 10'000 Bildern pro Sekunde. Die Dauer jeder Messung beträgt 5 Sekunden. Es werden somit pro Messung 50'000 Bilder aufgezeichnet.

Test Case	Flow Regime	Air Flow Rate [ln/min]	Water Flow Rate [ln/min]
1	bubly flow	0.3	50.2
2	bubly flow	1.5	51
3	bubly flow	7.5	54
4	slug Flow	25	61
5	pure fluid	0	51

Tabelle 1: Daten der Messungen

4. Resultate

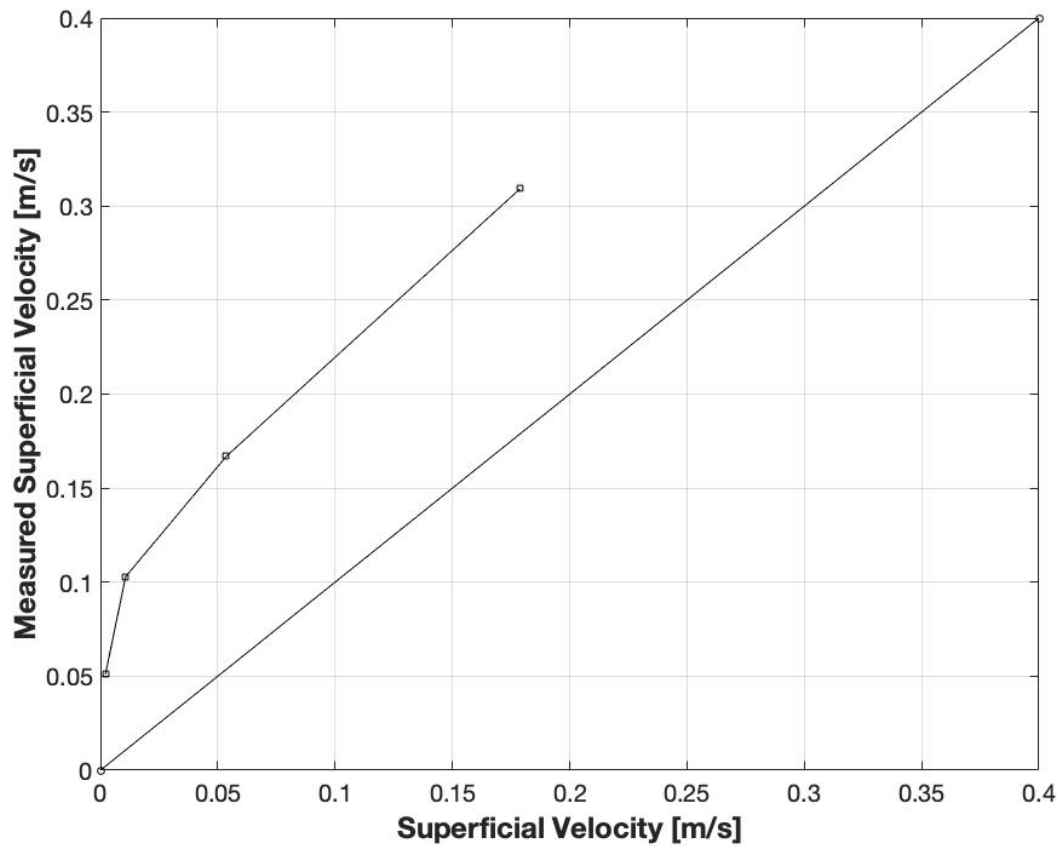


Abb. 1: Messungen der Oberflächengeschwindigkeit im Vergleich zu den theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten (Referenzlinie)

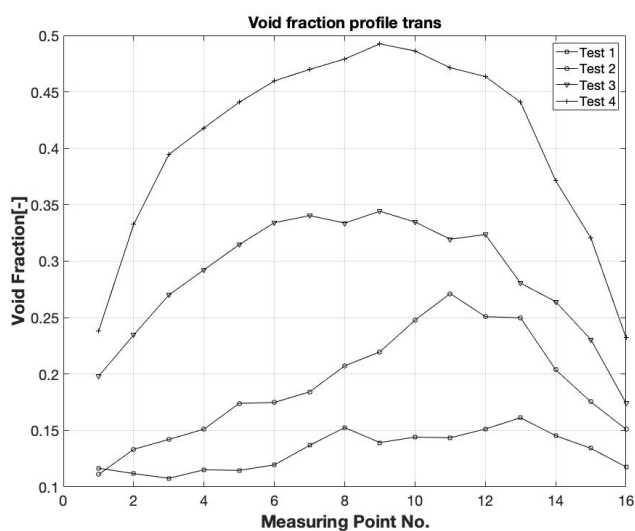


Abb. 3: Hohlraumprofil der Übertragungsdrähte, berechnet in Bezug auf den gesättigten Wasserstrom

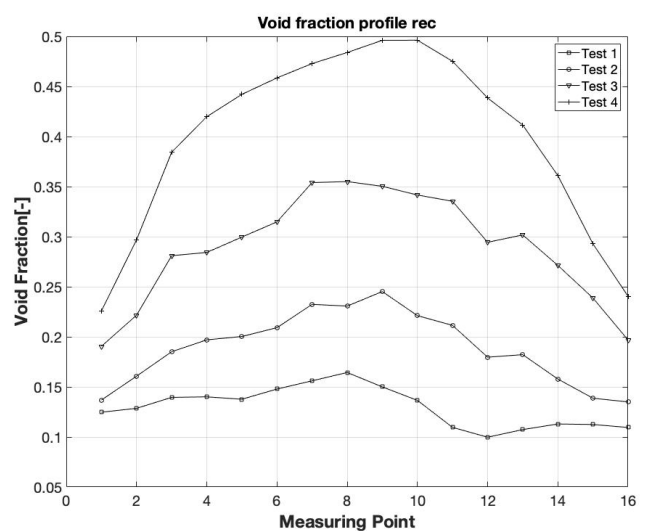


Abb. 3: Hohlraumprofil der Empfangsdrähte, berechnet in Bezug auf den gesättigten Wasserstrom

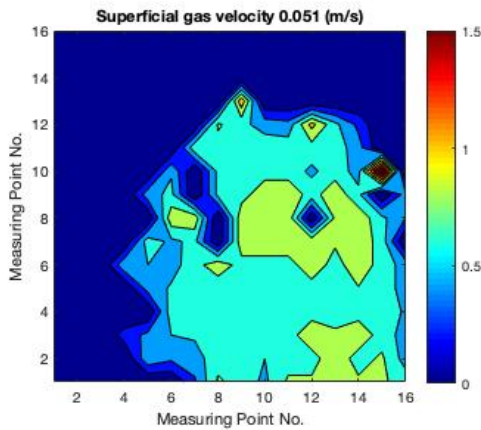


Abb. 4a: Test Case 1

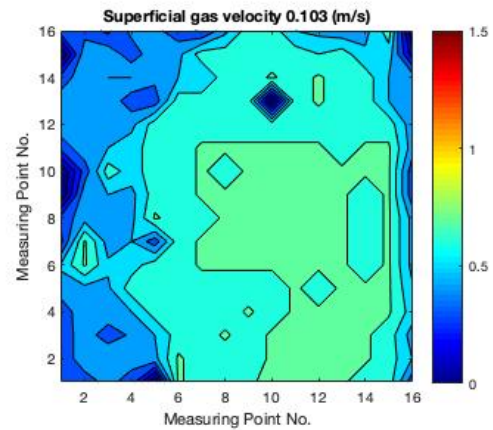


Abb. 4b: Test Case 2

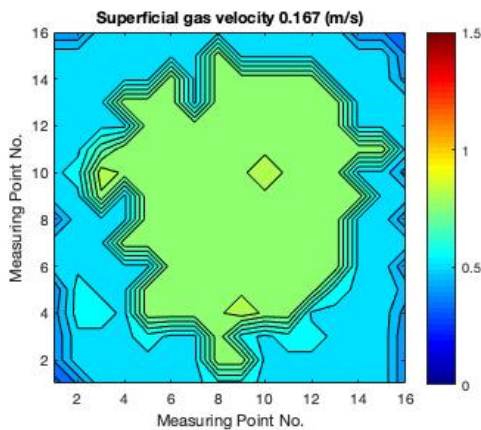


Abb. 4c: Test Case 3

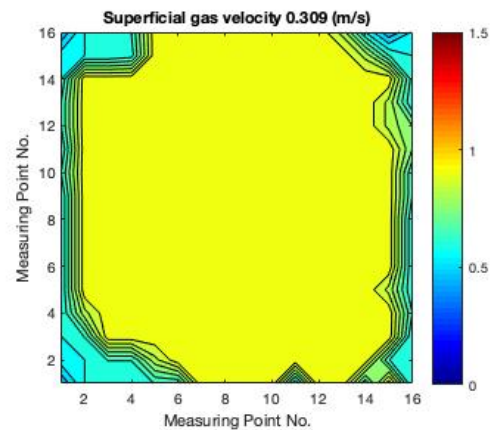


Abb. 4d: Test Case 4

Abb. 4: Konturdiagramme für alle vier Testfälle, welche die gemessenen Geschwindigkeiten in Bezug auf die berechneten Oberflächengeschwindigkeiten zeigen und aus den Strömungsdaten gewonnen wurde

5. Diskussion

5.1 Analyse der Konturdiagramme

In Test 1 werden die Blasen nahe der Wand detektiert, weil dort die Auftriebskraft durch die Wandreibung verursacht wird und deshalb grösser ist. Auffallend ist, dass die Blasen sich mehrheitlich in der unteren rechten Ecke des Querschnittes befinden. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass es mit der Position des Gaseinlasses zu tun hat. Das Gas wird nämlich am Rand, durch ein Loch in der Seitenwand injiziert. Es kann somit sein, dass die Gasverteilung auf der Höhe des ersten Sensors noch nicht komplett erfolgt ist.

In Test 2 sehen wir eine teilweise Churn-Strömung. Man sieht gut, wie die Blasen gleichmäßiger verteilt sind als beim Testfall 1. Eine asymmetrische Verteilung lässt sich aber dennoch feststellen. Das Zentrum der etwas grösseren Blase befindet sich nämlich im unteren rechten Viertel des Querschnittes.

In Test 3 sehen wir, wie die Strömung langsam von einer Churn-Strömung, in eine Plug-Strömung übergeht. Die Hauptblase der Strömung befindet sich nun mittig im

Querschnitt. Offenbar ist nun die die Strömungsgeschwindigkeit mit 54 l/min schnell genug, dass der Seiteneinlass des Gases keinen grossen Einfluss mehr hat.

In Test 4 haben wir einen klassischen Slug-Flow. Die Blase nimmt fast den ganzen Querschnitt ein.

Ebenfalls aufgefallen ist uns eine Undichtigkeit im Testbereich des Rohres. Jedoch ist die austretende Menge an Wasser sehr gering. Das Strömungsfeld wird dadurch somit nicht beeinflusst. Ein grösserer Einfluss könnte jedoch die grobe Auflösung des Sensors haben.

5.2 Analyse der Oberflächengeschwindigkeit

Abbildung 1 zeigt die gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten für alle vier Testfälle auf der Y-Achse im Vergleich zu ihrer theoretischen Geschwindigkeit auf der X-Achse. Eine Referenzlinie, die $Y = X$ Funktion, wird gezeichnet, um die Abweichung zu visualisieren. Offensichtlich gilt Parität nicht, da alle unsere erhaltenen Datenpunkte oberhalb der Referenzlinie liegen, und somit deutlich davon abweichen. Im Allgemeinen ist die gemessene Oberflächengeschwindigkeit höher als die theoretische Geschwindigkeit, und die Abweichung zur Referenzlinie scheint mit zunehmendem Luftstrom zu wachsen.

6. Fazit

Um mehrphasige Strömungen zu untersuchen, könne spezifische Gitter-Sensoren verwendet werden. Diese symbolisieren die Speerspitze der heutigen Messtechnik in diesem Bereich. Die erhaltenen Messdaten sind zufriedenstellend, und die Strömung somit effektiv untersucht werden. Der höhere Hohlraumanteil der Messungen (insbesondere bei niedrigeren Durchflussmengen) in den unteren Sensoren kann aus der Lage des Einlasses des Gases stammen, der nicht perfekt zentriert, sondern nur von einer Seite eingespritzt wird. Andererseits können die zu erwartenden Eigenschaften beobachtet werden. Die kleinen Blasen werden an die Wände gezogen, während größere (und unregelmäßige) Blasen in der Mitte verweilen. Es gibt jedoch Optimierungspotenzial für bessere Messdaten, denn die Erdung der nicht aktiven Sender mit dem dort aufgenommenen Vorbelüftungsgeräusch kann verbessert werden. Auch der Einlass des Gases könnte so gestaltet werden, dass das Vorbeiströmende Fluid praktisch ungestört bleibt, um eine Verfälschung der Daten zu vermeiden. Die Wichtigkeit dieser Forschung wird durch das grosse Einsatzgebiet, wie die Ölindustrie mit ihrer starker Nachfrage, klar wiederlegt.