TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Lehrstuhl für Magnetofluiddynamik

Salzwasseroszillator:
Experiment und Numerische Simulation

Großer Beleg

S. Bauer, A. Lange, S. Odenbach

Zielstellung

Charakteristisch für den Salzwasseroszillator ist sein oszillatorisches Flussverhalten. Bei anfänglich gleichem Füllstand fließt ein schweres Fluid durch eine Kapillare in ein Gefäß, das mit einem leichteren Fluid gefüllt ist. Nach dem Erreichen eines hydrostatischen Druckgleichgewichts kommt es zur Flussumkehr. Ein solches Experiment soll aufgebaut und sein Verhalten erfasst und ausgewertet werden. Bisher gab es keine direkte transiente numerische Abbildung dieses Systems mit Kapillare. Daher soll eine Simulation eingerichtet und mit Ergebnissen aus den Experimenten verglichen werden. Wenn die Simulation validiert ist, sollen weiterführende Aussagen auf das Experiment übertragen werden.

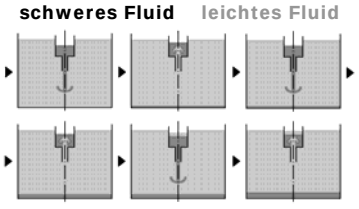

Bild 1: Zyklisches Verhalten des Systems

Experiment

Eine bereits am Institut vorhandene Konstruktion wurde erweitert, so dass die Pegelbewegung im oberen rechten Becher durch die Glasscheiben erfasst werden kann. Dafür wurde ein Messstand mit variabel einstellbarer Kamerahöhe aufgebaut. Dies ermöglichte die Beobachtung der Flussumkehrvorgänge in der Kapillare. Für die Fluide wurde die Kombination Salz- und Süßwasser gewählt. Die Kamera von Dalsa arbeitet nach dem Shadowgraphprinzip und kann die Phasengrenzen zwischen den beiden Fluiden abbilden. Die aufgenommenen Videos werden in Einzelbilder zerlegt und mit der kommerziellen Bilderkennungssoftware Halcon von MVTec ausgewertet. Dafür wurde eine Höhenbestimmungsroutine entwickelt, die in den Einzelbildern über einen Maßstab die Höhe einer Schwimmerkante ermittelt. Aus dem zeitlichen Pegelverlauf konnten weitere Eigenschaften wie Verlauf der Periodendauer und der Amplitude bestimmt werden.

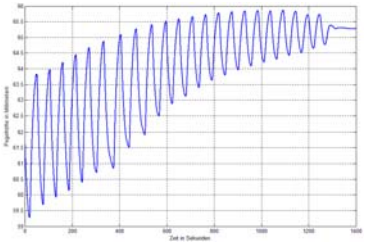

Bild 2: Zeitlicher Pegelverlauf eines Experiments

Bild 3: Verbesserte Konstruktion

Numerische Simulation

Das System wurde zweidimensional mit der Annahme, dass es sich um nicht mischbare Fluide handelt, in Ansys Fluent abgebildet. Das Gitter mit rechteckigen Zellen wurde in Gambit erstellt, wobei die Gittergröße mit fließenden Übergängen angepasst wurde. Für die Auswertung, die qualitative Überprüfung und die Ausführung auf Großrechnern wurden Skripte in Matlab programmiert. Nachdem das System begleitet von Strahlzerfall in der Kapillare Fehlverhalten zeigte, wurde eine Oberflächenspannung zwischen Salz- und Süßwasser eingefügt. Mit dieser Einstellung konnte das visuelle Verhalten verbessert werden, aber der Pegelverlauf lief vor dem Erreichen einer Oszillation in ein Gleichgewicht. Mit dem Setzen der Randbedingungen an den Kapillarwänden auf Slip, konnte die Oszillation über mehrere Zyklen abgebildet werden. Da das Verhalten Abweichungen zu den Experimenten gezeigt hat, wurden spezielle Randbedingungen entwickelt. Dadurch konnte das Verhalten verbessert werden, aber Eigenschaften wie Periodendauer, Abklingen der Amplitude und Ansteigen des Grundpegels zeigen immer noch quantitative Unterschiede.

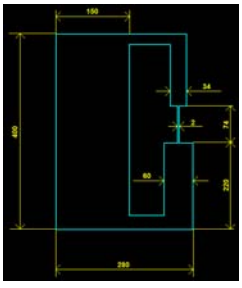

Bild 4: 2D-Abbildung des Systems mit Abmaßen in Millimetern

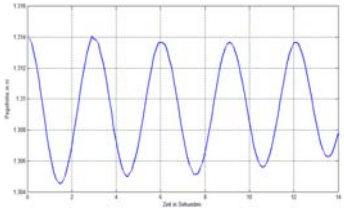

Bild 5: Zeitlicher Pegelverlauf einer numerischen Simulation

Zusammenfassung

Das Experiment konnte erfolgreich mit der Ausstattung des Instituts aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet werden. Damit ist die Grundlage für weitere Parameterstudien gelegt. Die Numerik ist in der momentanen zweidimensionalen Entwicklungsstufe noch nicht mit den Experimenten vergleichbar, da das Verhalten quantitative Unterschiede aufweist. Grund dafür ist vermutlich vorwiegend die Beschränkung auf zwei Dimensionen. Nach Einführen der Oberflächenspannung ist das Freistrahlverhalten beider Systeme visuell ähnlich. Die numerische Simulation konnte erfolgreich eingerichtet und durch die programmierten Skripte auf den Großrechnern des ZIH ausgeführt, ausgewertet und qualitativ überprüft werden.

Ausblick

Experiment

- Mittels Parameterstudien den Einfluss von Kapillarform, -durchmesser, -länge sowie Konzentrations-, Temperatur- und Dichteänderungen untersuchen
- Nach Möglichkeit die Kapillare konstruktiv auf ganzer Länge für eine komplette Beobachtung der Flussumkehrvorgänge sichtbar machen
- Erfassen der Geschwindigkeitsfelder per PIV für einen Vergleich mit der Numerik

Numerische Simulation

- Aufbau eines dreidimensionalen Gitters unter Nutzung von Symmetrien und speziellen Randbedingungen, da die zweidimensionale Abbildung fehlerhaft ist
- Einbinden eines Konzentrationsmodells für die korrekte Phasengrenzenabbildung
- Temperaturabhängige Viskositätskurve für Salzwasser für exakte Stoffparameter