

Mathematische Modellierung und vergleichende Untersuchungen zur Beschreibung von transienten Ein- und Mehrphasenströmungen in Rohrleitungen

von Dipl.-Ing. Thorsten Neuhaus

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden Modelle zur Beschreibung von instationären, ein- und zweiphasigen Rohrströmungen untersucht bzw. entwickelt und anhand experimenteller Daten vergleichend bewertet.

Kommerziell erhältliche Programme zur Beschreibung von Zweiphasenströmungen verwenden zumeist das Standard 6-Gleichungsmodell mit jeweils zwei Massen-, Impuls- und Energiebilanzen oder das „homogenous equilibrium model“ mit je einer Bilanz für die Erhaltungsgrößen. Die für die Berechnung der Strömungsprozesse relevanten Massen- und Impulsbilanzen werden hinsichtlich ihrer Stabilität analysiert und die berechneten Eigengeschwindigkeiten experimentell bestimmten Druckwellenausbreitungsgeschwindigkeiten gegenübergestellt, wobei eine Unterscheidung anhand der Strömungsform getroffen wird.

Die Eigenschaften der für die Stabilität entwickelten Ansätze der virtuellen Masse und der „interfacial pressure“ Korrelation werden untersucht und mit Hilfe eines neuen Oberflächenwellenmodells ein zusätzlicher Stabilitätsansatz entworfen.

Anhand theoretischer Testfälle werden numerische Schemata - zwei explizite Finite-Differenzen-Verfahren und ein „flux difference splitting“ Verfahren - auf ihre Fähigkeit hin überprüft, die Ausbreitung von steilen Wellenfronten ohne unphysikalische Oszillationen oder Verschmierungen wiederzugeben. Hierzu wird eine Parameterstudie der relevanten numerischen Parameter durchgeführt. Zudem wird das Charakteristikenverfahren zur Lösung von einphasigen Rohrströmungen kombiniert mit dem Ko-Da-Kav-Modell zur Berechnung von lokalen Dampfblasen geringer Ausdehnung dahingehend analysiert, inwieweit sich die zu Grunde gelegten vereinfachenden Annahmen negativ auf die Berechnungsergebnisse auswirken.

Bestehende Modelle für verschiedene physikalische Effekte, die bei transienten, zweiphasigen Strömungsprozessen auftreten, sind untersucht oder neue Modelle entwickelt worden. Dazu gehören die Phänomene der instationären Reibung, der Fluid-Struktur-Wechselwirkungen (FSI) und der Ausgasung einer sekundären Komponente. Zur Beschreibung von FSI wird ein vereinfachtes Strukturmodell entworfen und ein neuer Ansatz für die Rückwirkung der Strukturbewegung auf die strömungsmechanische Berechnung erstellt.

Die entwickelten Modelle sind in ein Rechenprogramm umgesetzt worden. Die erzielten Simulationsergebnisse werden anhand experimentell bestimmter Daten, die an der Versuchsanlage PPP von Fraunhofer UMSICHT ermittelt worden sind, vergleichend bewertet. Dabei zeigt sich, dass die entworfenen Modelle die in der Realität stattfindenden Prozesse gut wiedergeben können.