



Numerische Vorhersage von Kavitationserosion mit einem Multiskalen-Euler-Lagrange-Verfahren

Andreas Peters, Udo Lantermann, Ould el Moctar

Universität Duisburg-Essen

Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme (ISMT)

Hydrodynamische Kavitation entsteht in technischen Strömungen infolge Druckschwankungen. Sobald der Druck in der Flüssigkeit Werte im Bereich des Fluid-Dampfdruckes erreicht, beginnt das Wachstum von mikroskopischen, gasgefüllten Kavitationskeimen zu Kavitationsblasen. Unter größeren Flüssigkeitsdrücken kollabieren die dampfgefüllten Blasen schlagartig und emittieren Druckwellen, deren Druckspitzen in der Größenordnung von einem Gigapascal liegen können. Das wiederholte Auftreten dieser Blasenkollapse in der Nähe von festen Strukturen kann selbst Werkstoffe von großer Härte schädigen und zum Materialabtrag (Erosion) führen. In ingenieurtechnischen Anwendungen sind neben Schiffspropellern und –rudern auch Dieseleinspritzdüsen und Pumpen von kavitationsinduzierter Erosion betroffen. Zwar bieten experimentelle Methoden eine Möglichkeit zur Vorhersage von Kavitationserosion für makroskopische, technische Strömungsprobleme, allerdings sind diese Methoden von Maßstabeffekten, sowohl in Bezug auf die Abbildung der Strömung und des Blasenverhaltens, als auch im Hinblick auf die Abbildung des Werkstoffverhaltens, betroffen. Im Zuge dessen bedarf es numerischer Vorhersagen von Kavitationserosion zur Ergänzung der experimentellen Methoden.

Zur Simulation der kavitierenden Strömung in einer rotationssymmetrischen Düse verwenden wir ein Multi-Skalen-Euler-Lagrange-Verfahren, welches große Dampfstrukturen in einem Euler'schen Bezugssystem behandelt und kleine Dampfstrukturen als sphärische, Lagrange'sche Einzelblasen abbildet. Das numerische Verfahren zur Strömungslösung auf Basis der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANSE) verwendet die Finite-Volumen-Methode (FVM) zur räumlichen Diskretisierung der Strömungsgleichungen und die Volume-of-Fluid (VoF)-Methode zur Erfassung von Phasengrenzen zwischen Euler'schen Dampfstrukturen und der Flüssigphase. Für jede sphärische Einzelblase wird die Bewegung anhand der Lagrange'schen Bewegungsgleichung berechnet, so dass Blasentrajektorien von den Stromlinien der Trägerströmung abweichen können. Die Dynamik der Lagrange'schen Dampfblasen – Wachstum und Kollaps – wird unter Berücksichtigung der Kompressibilität der Flüssigphase, Oberflächenspannung und Viskositätseffekten bestimmt. Auf Basis der berechneten Lagrange'schen Blasenkollapse in der Nähe von festen Wänden, werden Effekte des asymmetrischen Kollapsverhaltens, wie z.B. Microjet, Bewegung der Blase zur Wand, emittierte Stoßwellenenergie, anhand von fundierten experimentellen und theoretischen Untersuchungen aus der Literatur modelliert. Der Vergleich unserer numerischen Erosionsvorhersage mit der gemessenen Erosion aus dem Versuch weist gute Übereinstimmungen der erosiven Regionen auf.

Kontakt: andreas.peters@uni-due.de