

Zur Beantwortung strömungsmechanischer Fragestellungen, bei denen komplexe und bewegte Geometrien eine wesentliche Rolle spielen, bietet sich ein numerisches Verfahren an, welches als Immersed Boundary Methode (IBM) bezeichnet wird. Dabei werden die Navier-Stokes Gleichungen auf einem Hintergrundgitter diskretisiert, in welches die zu berücksichtigende Oberfläche geometrie eingetaucht wird (engl. *to immerse*) und an dessen Position die Randbedingungen erfüllt werden.

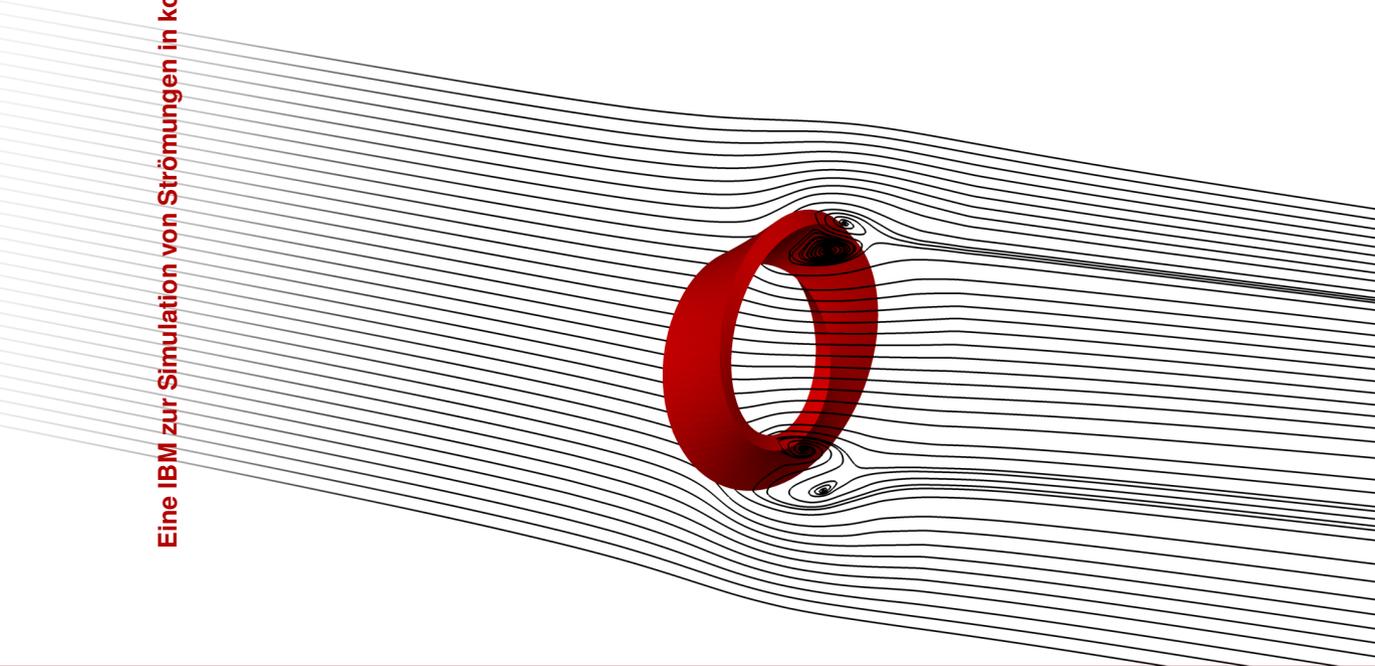
Die vorliegende Arbeit beschreibt die Umsetzung, Validierung und Anwendung einer IBM auf Basis eines bestehenden Finite-Volumen Strömungslösers. Die Bereitstellung der Randbedingungen, zu der ein s. g. Ghost-Cell Ansatz verwendet wird, stellt die zentrale Aufgabe dar. Hinzu kommen erforderliche Mechanismen zum schnellen Auffinden geschnittener Zellen, Techniken zur dynamischen Adaption des kartesischen Rechengitters sowie die Umsetzung numerischer Algorithmen zur Speicherung und Lösung der auftretenden Gleichungssysteme. Um diese Methode auch für Problemstellungen der Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) nutzbar zu machen, wurde ein auf Schalenelementen beruhendes FEM Verfahren zur Struktursimulation implementiert und validiert. Dieses ist über eine lose Kopplung mit dem CFD-Verfahren verbunden, wobei die vom Fluid hervorgerufenen Kräfte und die Geometrie des zeitlich veränderlichen Körpers zwischen beiden Verfahren ausgetauscht werden.

Das entwickelte Verfahren findet erfolgreich Anwendung in zwei Bereichen, bei denen sich der Einsatz einer IBM als besonders vorteilhaft erwiesen hat. Die erste Anwendung ist die Strömungsvorhersage in den zentralen Atemwegen verschiedener Lungengeometrien. Bei einem einfachen generischen Modell der oberen Atemwege nach Weibel entstehen an den Verzweigungen deutlich sekundäre Strömungsstrukturen in Form s. g. Deanwirbel, die jedoch bedingt durch die Geometrie symmetrisch und sehr regelmäßig ausfallen. Im komplexesten Fall, dem dynamischen Tracheobronchialbaum eines Schweins, zeigt sich zudem der Einfluss der Oberflächenbewegung. Während der Ein- und Ausatemungsphasen zeigen sich asymmetrische Paare gegensinnig rotierender Wirbel, deren Drehsinn über den Atemzyklus erhalten bleibt. Den zweiten Anwendungsfall aus dem Bereich der Fluid-Struktur-Interaktion stellt die quasi-stationäre Strömung um eine elastische Zylinderhülle dar. Schon nach wenigen Kopplungsiterationen stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der deformierten Geometrie und der umgebenden Strömung, die im Wesentlichen Druckkräfte verursacht, ein. Die Abflachung und Verbreiterung des Körpers führt zu einer Vergrößerung der Reynoldszahl. Die im Nachlauf des Zylinders auftretende stationäre Rückströmung vergrößert sich dadurch. Die Länge der Ablösung stimmt etwa mit der zu erwartenden Ablöselänge eines Kreiszylinders bei der entsprechend vergrößerten Reynoldszahl überein.

Eine IBM zur Simulation von Strömungen in komplexen und bewegten Geometrien

Eike Alexander Hylla

Eine Immersed Boundary Methode zur Simulation von Strömungen in komplexen und bewegten Geometrien



ISBN 978-3-7983-2530-2 (print)
ISBN 978-3-7983-2531-9 (online)

Universitätsverlag der TU Berlin

HYLLA



Technische Universität Berlin

Fachgebiet Numerische Methoden
der Thermofluidodynamik