

1

1 Schlierendynamik in einem Rührgerät: Diese zweidimensionale Studie zeigt, wie sich Schlieren und Turbulenzen beim Rühren verändern.

FPM für inkompressible Strömungen

Die Anwendung von Partikelmethode auf inkompressible Strömungsvorgänge ist Gegenstand aktueller Forschungsaktivitäten. Das besondere der am ITWM entwickelten Methode ist die vollständige Behandlung der für den Druck abzubildenden Poisson-Gleichung. Dies geschieht in Anlehnung an die aus gitterbasierten Verfahren bekannte Projektionsmethode nach Chorin. Die Beschleunigung des Codes durch Mehrgitterverfahren ist ebenfalls bereits in FPM realisiert. Nachfolgend ist ein Anwendungsbeispiel aus dem Bereich der Glasindustrie beschrieben. FPM eignet sich aber darüber hinaus insbesondere auch ausgezeichnet für die Behandlung von Strömungsproblemen mit freien Oberflächen, die beispielsweise bei Füllvorgängen auftreten.

Beispiel: Schlieren in einer Glasströmung

In der Glasproduktion treten häufig Schlieren in der Schmelze auf. Das sind unerwünschte Verunreinigungen des Glases, die an den Wänden der Schmelzwanne oder in Rinnen und Rohren entstehen, in denen das Glas fließt. Die Schlieren zeichnen sich durch unterschiedliche physikalische Eigenschaften gegenüber der Glasschmelze aus. Dabei sind besonders Dichte- und Viskositätsunterschiede zwischen Schliere und Glas zu verzeichnen. Vom technischen Standpunkt her ist es nur schwer möglich, Schlierenbildung komplett zu verhindern. Dagegen erscheint es wesentlich einfacher, die bereits existierenden Schlieren im flüssigen Glas durch Rührgeräte zu homogenisieren. Da flüssiges Glas allerdings ein äußerst zähflüssiges Medium ist, kommt der Optimierung der Rühraggregate eine besondere Bedeutung zu, insbesondere auch weil eine Vermischung des Glases ohne Turbulenz nur schwer realisierbar ist.

Grundidee dieses für die Firma Schott Glas in Mainz bearbeiteten Projektes ist es, die Effektivität des Rührers durch Simulationen zu verifizieren und gegebenenfalls Veränderungen der Rührergeometrie zu erproben. Man betrachtet dazu ein strömendes Zweiphasenmedium (Glas und Schliere) und bildet die Dynamik der Schliere innerhalb des Rühraggregates numerisch ab. Die FPM eignet sich hier prinzipiell sehr gut, da sie durch ihre Lagrange-Formulierung sich bewegende Phasen und Geometrien inhärent beherrscht. Weil aber die Schlieren sehr dünn sind, ergibt sich insbesondere bei der Behandlung dreidimensionaler Probleme eine besondere technische Schwierigkeit: Die erforderliche Auflösung führt zu erheblichen Rechenzeiten, die vor dem Hintergrund der gestellten Optimierungsziele durch eine problemadäquate Modellierung der Schlieren noch zu verbessern sind.

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern

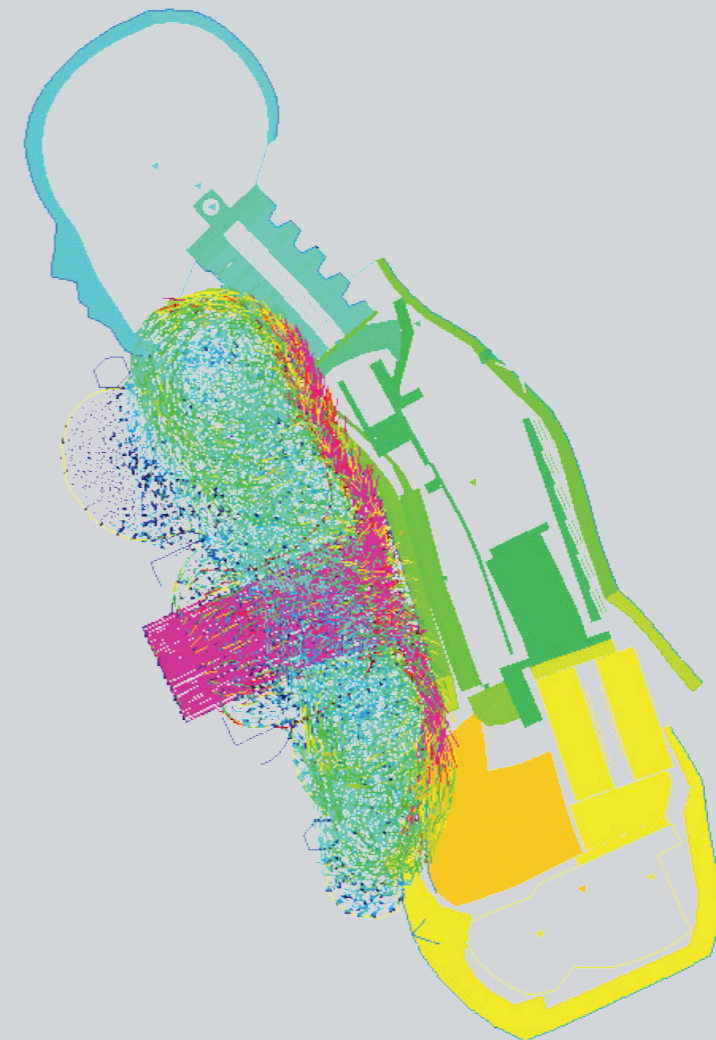
Kontakt

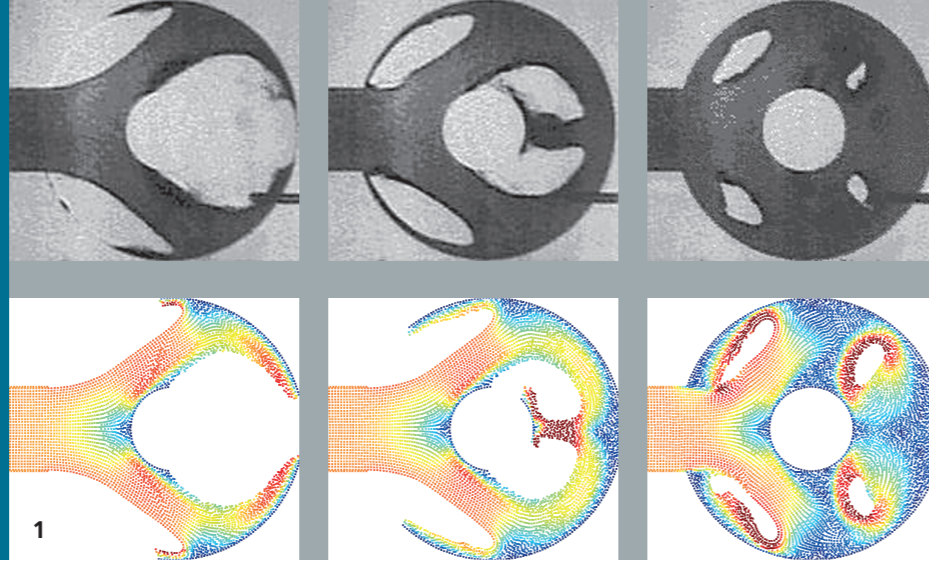
Dr. Jörg Kuhnert
Telefon +49 631 31600-4448
joerg.kuhnert@itwm.fraunhofer.de

Dr. Raimund Wegener
Telefon +49 631 31600-4231
raimund.wegener@itwm.fraunhofer.de

www.itwm.fraunhofer.de

FPM – FINITE POINTSET METHOD STRÖMUNGSSIMULATION IN ZEITLICH VERÄNDERLICHEN GEOMETRIEN





1 Studie eines Füllvorgangs:
Die obere Bildfolge zeigt
Aufnahmen des Füllvor-
gangs im Experiment, die
untere die Simulation.

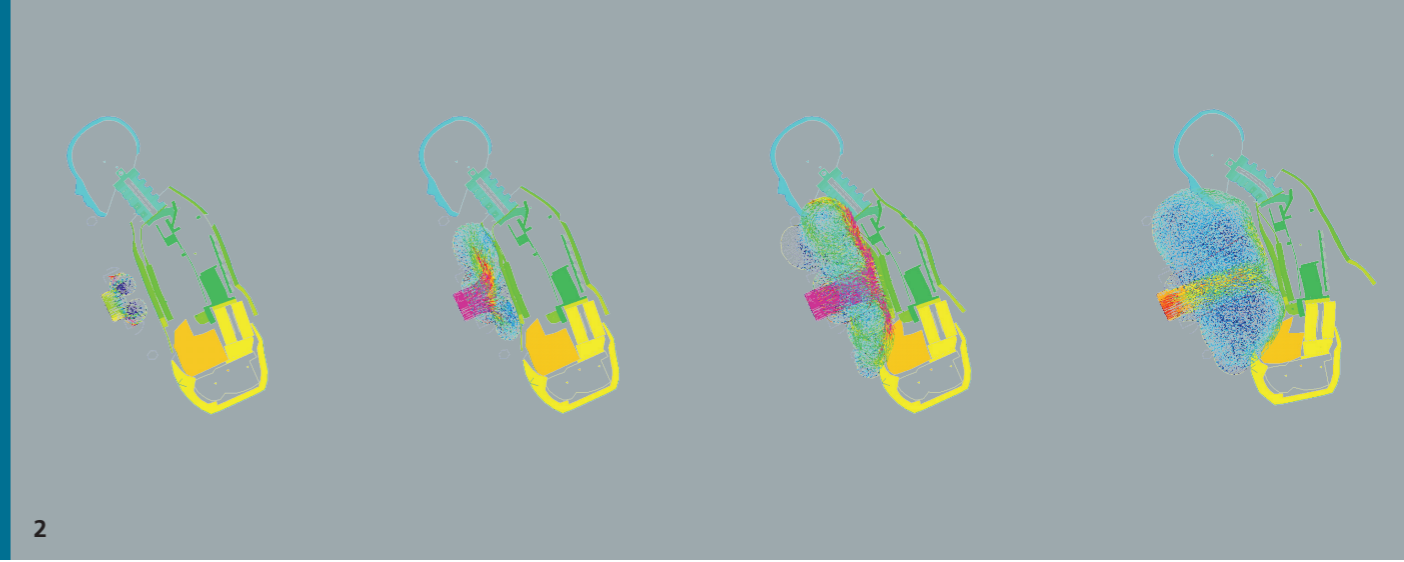
Finite Pointset Method – FPM

Die Entfaltung eines Airbags, das Verhalten einer Mehrphasenströmung in einem Rührwerk oder die Befüllung eines Tanks mit Kraftstoff sind allesamt Vorgänge, deren Modellierung durch strömungsdynamische Gleichungen (Euler- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen) weitgehend geklärt ist. Die Simulation solcher Vorgänge wirft trotzdem erhebliche Probleme auf, da die standardmäßig eingesetzten gitterbasierten Verfahren, wie Finite Elemente, Finite Differenzen oder Finite Volumen, bei solchen Prozessen an ihre Grenzen stoßen. Der tiefere Grund dieser Schwierigkeiten liegt in der teilweise extremen Veränderung des Strömungsgebietes im zeitlichen Verlauf des zu untersuchenden Prozesses. Insbesondere bei dreidimensionalen Problemstellungen versagen die bekannten Methoden zur dynamischen Gitteranpassung wie Moving Grids und Remeshing oder führen zu inakzeptablen Rechenzeiten. Partikelmethode zur numerischen Lösung strömungsdynamischer Gleichungen vermeiden diese Schwierigkeiten: Das Rechengebiet wird mit Informationsträgern besetzt, die im Gegensatz zu den Zellen eines Gitters an die Dynamik des Problems angepasst mitgeführt werden. Am Fraunhofer ITWM wurde in den vergangenen Jahren mit der Finite-Pointset-Method (FPM) ein eigenständiges Softwaretool entwickelt, dessen Ursprung in der sogenannten SPH-Methode (Smoothed Particle Hydrodynamics) zu finden ist.

Dem Verfahren liegt folgende Idee zugrunde: Die zu diskretisierenden strömungsdynamischen Gleichungen beschreiben die zeitliche Entwicklung der Felder für Dichte, Strömungsgeschwindigkeit und Temperatur als Resultat der physikalischen Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie. Die Werte dieser Felder werden an den diskreten Positionen der Informationsträger (Partikel) gespeichert und können durch ein geeignetes Approximationsverfahren an jedem anderen Punkt des Strömungsgebietes zusammen mit allen benötigten räumlichen Ableitungen berechnet werden. In einem Zeitschritt werden die Partikel nun mit der approximierten Geschwindigkeit bewegt. Die Werte der strömungsdynamischen Felder an den neuen Partikelpositionen erhält man durch Lösung der Grundgleichungen in der zugehörigen Lagrange-Formulierung unter Verwendung der erwähnten Approximationsstrategie. Eben diese Approximationsstrategie, die eine effiziente und genaue Berechnung der Felder und ihrer Ableitungen gewährleisten muss, zeichnet FPM aus. Am Fraunhofer ITWM wird neben einem Moving-Least-Square-Verfahren speziell für kompressible Strömungsprobleme ein geeignetes Upwind-Verfahren eingesetzt.

Anwendungen

- Strömungen in zeitlich veränderlichen Geometrien
- Freie-Oberflächen-Probleme, u. a. Füllvorgänge
- Mehrphasenströmungen
- Fluid-Struktur-Interaktion



2 Interaktion von Airbag und Insasse: Die Simulation zeigt die Druckverteilung während der Entfaltung des Airbags und verdeutlicht die auf den Fahrer wirkenden Kräfte.

FPM für kompressible Strömungen

FPM wurde am Fraunhofer ITWM zunächst für reibungsfreie und in einem späteren Schritt für reibungsbehaftete kompressible Gasströmungen entwickelt. Recht frühzeitig stand dabei die Anwendung der Methode auf Probleme der Fluid-Struktur-Interaktion und speziell auf die Simulation der Entfaltung eines Airbags im Vordergrund.

Beispiel: Entfaltung eines Airbags

Die Entfaltung eines Airbags ist ein hoch komplexer physikalischer Vorgang. In Zusammenarbeit mit der Firma ESI wird auf FPM-Basis ein Softwaretool für Fahrzeug- und Airbaghersteller entwickelt, das den Aufblasvorgang selbst sehr komplex gefalteter Airbags simulieren kann. Die mit diesem Tool auszuführenden Simulationen sollen insbesondere besseren Aufschluss über die Interaktion des sich entfaltenden Airbags mit den Insassen des Fahrzeugs geben. Im Hintergrund steht also die Frage nach Verletzungen und damit die Frage, ob der Airbag tatsächlich Unfallfolgen mindert oder in bestimmten Situationen sogar Schaden anrichten kann.

In gekoppelten Rechnungen wird in jedem Zeitschritt der Simulationen die Dynamik des Gases innerhalb des Airbags durch die am Fraunhofer ITWM entwickelte FPM behandelt. Im Wesentlichen liefert FPM als Resultat die Druckverteilung an der Airbagmembran. Eine zweite, von der Firma ESI entwickelte Finite-Elemente-Software, beschreibt dann die Dynamik der Airbagmembran in Abhängigkeit von der Druckverteilung und liefert als Resultat die veränderte Airbaggeometrie. Diese wird wiederum als Input für die Behandlung der Gasdynamik des nächsten Zeitschritts der FPM übergeben. So erhält man sukzessive die volle Dynamik der Membran während der Entfaltung. Die sich derart ausbildenden Druckverhältnisse sind letztlich verantwortlich für die auf den Insassen einwirkenden Kräfte.

In der Zusammenarbeit mit ESI konnten in jüngster Zeit wesentliche Fortschritte bei der Stabilität und der Rechenleistung der Software gemacht werden – Punkte, die für die Benutzer des Tools selbstverständlich von entscheidender Bedeutung sind. Dass die FPM in Kopplung mit der Membran-FuE sehr genaue Ergebnisse liefert, wurde durch Versuche insbesondere mit nicht gefalteten Airbags bereits unter Beweis gestellt.