

# Optimierung von Reinigungsprozessen mit 3D-Computersimulationen

## Reinigungsprozesse mit numerischen Methoden optimieren

Basierend auf der numerischen Strömungsmechanik wurden in der AG Prof. Velten mathematische Modelle zur Beschreibung der Reinigung entwickelt. Die Modelle wurden erfolgreich zur Simulation der Flaschenreinigung eingesetzt und zeigen hohe Übereinstimmung mit experimentellen Daten. Die nach Reynolds gemittelten Navier-Stokes-Gleichung (RANS: Reynolds-Averaged-Navier-Stokes-Equation) und die Volume-of-Fluid-Methode (VOF) bilden die Grundlage der Modelle:

$$\frac{\partial(\rho_m \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \mathbf{U} \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \mu_{eff} (\nabla \mathbf{U}) + \rho_m \mathbf{g} + \sigma \kappa \nabla \alpha \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho_m k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m k \mathbf{U}) = \nabla \cdot [\alpha_k \mu_{eff} \nabla k] + \tau_{ij} \cdot S_{ij} - \rho_m \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho_m \epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \epsilon \mathbf{U}) = \nabla \cdot [\alpha_\epsilon \mu_{eff} \nabla \epsilon] + C_{1\epsilon}^* \frac{\epsilon}{k} \tau_{ij} \cdot S_{ij} - C_{2\epsilon} \rho_m \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

$$\mu_t := \rho_m C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{U} \alpha) + \nabla \cdot (\mathbf{U}_r \alpha [1 - \alpha]) = 0 \quad (6)$$

$$\rho_m := \alpha \rho_w + (1 - \alpha) \rho_a \quad (7)$$

$$\mu_m := \alpha \mu_w + (1 - \alpha) \mu_a \quad (8)$$

## Vorteile durch Verwendung von Open-Source-Software

Da dieses nichtlineare partielle Differentialgleichungssystem nicht in geschlossener Form lösbar ist, muss es mit numerischen Methoden (z. B. FE- oder FV-Methoden) am Computer berechnet werden. Eine Reihe von Softwarepaketen steht zur numerischen Simulation von Strömungsvorgängen zur Verfügung, unter anderem auch Open-Source-Software. Sie bietet gerade im Bereich der Strömungsberechnung erhebliche Kostenvorteile und erlaubt aufgrund des offenen Source-Codes eine große Variabilität, weil sie auf die Anforderungen der jeweiligen Anwendung genau zugeschnitten werden kann. Die mathematischen Reinigungsmodelle und die Offenheit des Quellcodes von Open-Source-Software bilden die Grundlage für vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten auf weitere Reinigungsprozesse.



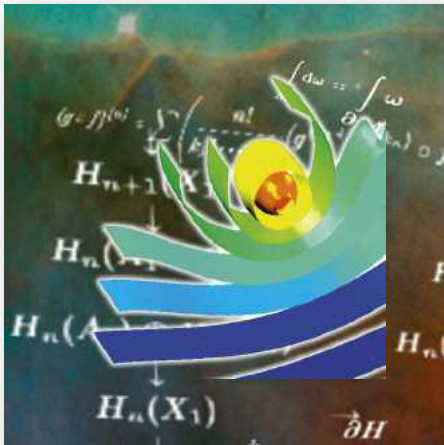
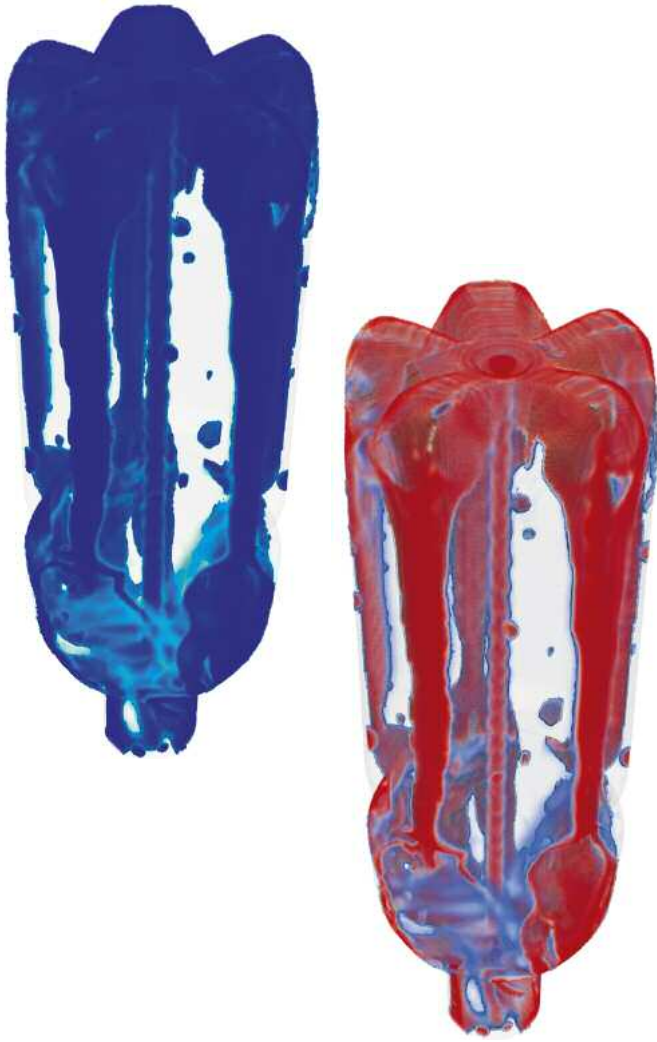
Hochschule **RheinMain**  
University of Applied Sciences  
Wiesbaden Rüsselsheim Geisenheim

**Prof. Dr. Kai Velten**  
kai.velten@hs-rm.de, T 06722 502-734

**Dipl.-Math. Claus Meister**  
claus.meister@hs-rm.de, T 0611 9495-1447

**Dipl.-Ing. Friedrich Geiger**  
friedrich.geiger@hs-rm.de, T 06722 502-730

Hochschule RheinMain  
Fachbereich Geisenheim  
AG Modellierung und Simulation  
Von-Lade-Straße 1, 65366 Geisenheim



## Die Arbeitsgruppe Mathematik

An der Hochschule RheinMain hat sich eine leistungsfähige Arbeitsgruppe auf dem Gebiet der Angewandten Mathematik herausgebildet, die inzwischen zu den forschungs- und drittmitelstärksten Einheiten der Hochschule gehört. In der Arbeitsgruppe wurden englische Fachbücher in angesehenen Verlagen international publiziert, und von der Arbeitsgruppe auf der Seite

[sites.google.com/site/booksoftware/mms](http://sites.google.com/site/booksoftware/mms).

Die angebotene Open-Source-Software wurde 2011 weltweit über 1000 mal heruntergeladen (davon Deutschland: 20%, übrige Europa: 32%, Nordamerika: 34%, Asien: 7%, Australien: 6%).

Die besonderen Stärken der Arbeitsgruppe liegen auf den Gebieten:

- Systemtheorie, Systemidentifikation, Parameterschätzung, Bildverarbeitung, Kontrolltheorie;
- Optimierungsverfahren, insbesondere bei geometrisch strukturierten Problemen;
- nichtlineare Differentialgleichungen, singular gestörte Differentialgleichungen;
- numerische Mathematik, Finite-Elemente-Verfahren, Randelementemethoden;
- Kontinuumsmechanik (insbesondere Elasto- und Strömungsmechanik), Starrkörperbewegung;
- statistische Verfahren, Biometrie.

Am Studienort Wiesbaden der Hochschule RheinMain wird seit dem Wintersemester 2010/2011 ein Studiengang „Angewandte Mathematik“ angeboten. Der Studiengang schließt die bestehende Lücke zwischen Ingenieurwissenschaften und Mathematik. Die in diesem Studiengang ausgebildeten Mathematiker werden fundierte Kenntnisse sowohl in der Mathematik als auch im physikalisch-technischen Bereich haben. Weitere Information hierzu:

[www.hs-rm.de/fab/studiengaenge/angewandte-mathematik-bachelor-of-science/](http://www.hs-rm.de/fab/studiengaenge/angewandte-mathematik-bachelor-of-science/)

## OPEN SOURCE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

The work group of Prof. Velten developed mathematical models of cleaning processes. These models were successfully used in 3D computer simulations of bottle cleaning. Since the software implementation is based on free open source software, this approach can be easily adapted to other cleaning processes.