



Foto: Zffoto@www.fotolia.de

# Die Mischung macht's

## Mehrphasengemische mit Konfokalmikroskop untersuchen

Hagen Lang, Heinz-Jürgen Zamzow

**Reaktionen in Prozessen der stoffwandelnden Industrie erzielen oft nur Ausbeuten von 10 bis 20 %.**

**Das Hamburger Institut für Mehrphasenströmungen (ims) widmet sich deshalb der Erforschung von Transport- und Mischungsvorgängen in verfahrenstechnischen Prozessen. Konfokale Laser-scanning-Mikroskope ermöglichen einen Quantensprung in der Forschung.**

**Autoren:** Hagen Lang, Heinz-Jürgen Zamzow, beide Zamzow Beberitz + Partner, Berlin

Der Weg in das Institut für Mehrphasenströmungen an der Technischen Universität Hamburg-Harburg ist ungewöhnlich. Er führt über eine Empore, die keinen Hörsaal, sondern eine riesige Maschinenhalle überblickt. In der Tiefe vibrieren und rumoren Maschinen, Reaktoren und Mischer. Hier wird für industrielle Anwendungen geforscht.

Das Institut betreibt Grundlagenforschung in bester deutscher Tradition: Aus der Perspektive eines definierten Problems wird die Welt durchdacht und das Problem so aufgeklärt, dass aus ihm eine Lösung wird – wenn alles klappt. Professor Michael Schlüter und sein Team untersuchen das Strömungs- und Mischungsverhalten von Gasen und Flüssigkeiten, Blasen und Tropfen, die als „Phasen“ bezeichnet werden.

### Abläufe beim Mischen erforschen

„Die meisten können sich nicht vorstellen, dass es hier noch irgendetwas zu erforschen gibt“, erklärt Institutsleiter Schlüter. „Mischen? Hat man das nicht seit dem Mittelalter im Griff? Stofftransport, chemische Reaktionen, das sind doch alte Hüte ... Eben nicht wirklich“, sagt der Ingenieur für Verfahrens-

technik. Obwohl in der stoffwandelnden Industrie jährlich Milliarden Tonnen von Stoffen gemischt werden, liegen grundlegende Prinzipien noch im Dunkeln. Die Industrie verlässt sich auf ihr Erfahrungswissen, die praktisch erprobte Heuristik. „Von einem wissenschaftlich grundlegenden Verständnis der Abläufe ist man häufig noch ein gutes Stück entfernt“, so Professor Schlüter.

Warum das relevant ist? „Hier gibt es enormes Optimierungspotenzial“, sagt Schlüter. „Sie müssen sich vorstellen, dass Reaktionen in Prozessen der stoffwandelnden Industrie häufig nur eine Ausbeute von 10 bis 20 % erreichen, d. h. die wertvollen Rohstoffe nur ineffizient in Produkte umgewandelt werden und der Rest als Abfall und Abwasser entsorgt werden muss. In Zeiten von Rohstoffknappheit, steigender Rohstoffpreise und des Umweltschutzes müssen wir zu effizienteren Verfahren kommen. Das grundlegende Verständnis dafür erarbeiten wir hier.“

Weil die Erforschung der Transportprozesse wissenschaftlich grundlegende Ergebnisse liefert, ist auch deren Vernetzung leicht und bringt erhebliche Synergieeffekte. Ob Chemie- oder Pharma-Industrie, Biotechnologie, Petrochemie, Kosmetik-Industrie oder Lebensmitteltechnik – mischen müssen alle.

## Mehrphasenströmungen vorhersehbar machen

Ein Beispiel ist das BMBF-Verbundprojekt „Multi-Phase“, „Chemische Prozesse – Multiskalenmodellierung von Mehrphasenreaktoren“. Interdisziplinär kooperieren ein Dutzend privater und öffentlicher Forschungsträger, um Mehrphasenströmungen und -reaktionen rechnerisch vorhersagbar zu machen. Sind die Vorgänge im Labormaßstab verstanden, werden sie in vergrößertem Maßstab für industrielle Anwendungen optimierbar. Dazu müssen passende Versuchsaufbauten im Labor, Messtechniken und Modelle eigens entwickelt werden. Sind Strömungszustände im Mikromischer präzise reproduzierbar, lassen sich an ihnen die numerischen Modelle überprüfen, mit denen die Mathematiker des Verbundforschungsprojektes die Mehrphasenströmungen „berechnen“ und letztlich vorhersehbar machen wollen. Bessere numerische Modelle bedeuten verbesserte Prozesse, gesteigerte Effizienz, Zeit- und Ressourceneinsparung in großindustriellem Ausmaß.

„Unser Institut steuert im BMBF-Forschungsverbund ‚Multi-Phase‘ das Labor- und das Modul zur Berechnung der Stofftransportprozesse (CFD) bei“, erklärt Florian Kopf, wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Professor Schlüter. Mittels Versuchsanordnungen steuern und dokumentieren die Forscher Aufbau, Verhalten und Charakteristiken von Strömungs- und Konzentrationsfeldern in Mehrphasenströmungen. Die Skalenbereiche variieren dabei vom Mikrometerbereich bis zu Zentimetern.

## Versuchsaufbau mit Hohlfasermembranen

Das Mischungsverhalten von Flüssigkeiten wird in verschiedenen Apparaturen wie Wendel-Mischern, Vortex-Mischern und  $\mu$ -Mischern untersucht.

Der Diffusionsanalyse von Gasen in Flüssigkeiten dienen Versuchsaufbauten mit Hohlfasermembranen und sogenannte Taylor-Strömungen. Taylor-Strömungen zeigen anschaulich, wie komplex Vorgänge wie „Strömen“, „Diffundieren“ oder „Mischen“ eigentlich sind. Hier durchströmen Gasblasen und Flüssigkeitstropfen alternierend eine Mikrokanüle als zweiphasiges Gemisch. „Wir untersuchen, wo genau die Vermischung zwischen Gas und Flüssigkeit eigentlich stattfindet“, sagt Florian Kopf. „Passiert sie im Nachlauf der Gasblasen in Mikrowirbeln oder an der Grenzschicht zwischen Gasblase und Flüssigkeit. Was geschieht in der mikrometerdünnen flüssigen Grenzschicht zwischen Gasblase und Kanüle? Verändert sich die Diffusion bei un-

terschiedlichen Fördergeschwindigkeiten? Wie viel Stoff geht über? Das sind die Fragen, die uns interessieren.“ Wenn alles optimal verläuft, kennt man letztlich die Parameter, mit denen man den Diffusionsprozess bei größtmöglicher Geschwindigkeit mit höchster Effizienz steuern kann.

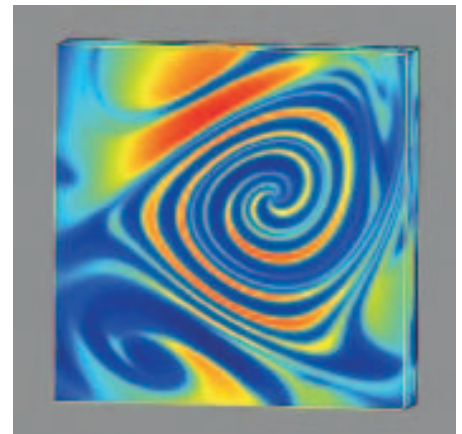
## Mikroskope ermöglichen Quantensprung

Dass die Hamburger Forscher den Mehrphasenströmungen so gut „auf die Finger“ schauen können, verdanken sie auch der Weiterentwicklung der Mikroskopie. Dem Anwendungsfeld der Histologie längst entwachsen, gehören Epifluoreszenzmikroskope und konfokale Laserscanningmikroskope zum unverzichtbaren Werkzeug. Eine wichtige Methode zur Aufklärung der Geschwindigkeitsfelder im Massenstrom ist die Micro-Particle-Image-Velocimetry ( $\mu$ -PIV). Nach Zugabe von fluoreszierenden Mikropartikeln in den Flüssigkeitsstrom und Anregung durch einen Laser wird die Hydrodynamik der mikrofluidischen Mischung im Fluoreszenzmikroskop von Olympus beobachtbar.

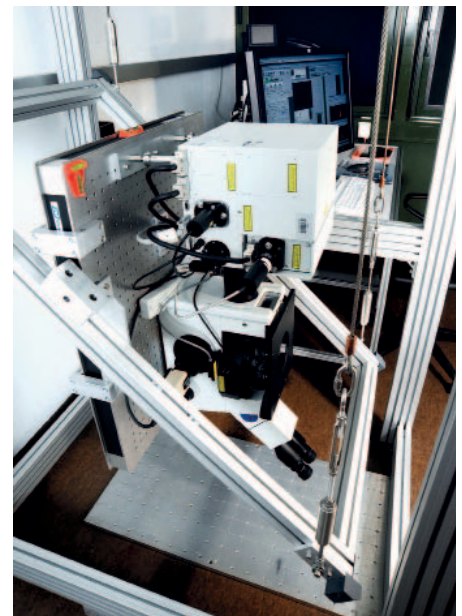
Einen Quantensprung machte die Forschung zur Mehrphasenströmung in den letzten Jahren durch die konfokale Laserscanning-Mikroskopie. Bei der Untersuchung von Flüssig-Flüssig-Mischern nutzen die Forscher dabei den Vorteil konfokaler Lasermikroskope, eine Fokusebene scharf abbilden zu können. Sie machen einen „Schnitt“ durch die Mikrokanüle und das Phasengemisch. Da die Wirbel der Phasen stabil sind, können mit dem Mikroskop etappenweise mehrere Fokusebenen gescannt und anschließend im Computer zu einem 3-D-Bild des Mischungszustandes in der Mikrokanüle zusammengesetzt werden. Wie in der zytologisch orientierten Lasermikroskopie stehen den Wissenschaftlern eine Vielzahl fluoreszierender Farbstoffe zur Verfügung, mit denen sie das Geschehen im Mikromischer sichtbar machen können. Micro-Laser-Induced Fluorescence ( $\mu$ -LIF) nennt sich das Verfahren.

## Der Schwerkraft ein Schnippchen schlagen

Kürzlich gelang den Hamburgern die Lösung eines besonders kniffligen Problems. Transportprozesse von Phasen unterschiedlicher Dichte müssten eigentlich unter Schwerelosigkeit untersucht werden, da in horizontalen Kanülen die schwerere Phase immer in Richtung Schwerkraft nach unten sinkt. Idealtypische Mehrphasenströmungen lassen sich so nicht herstellen. Angesichts prohibitiver Preise der Internationalen Raumstation ISS für Versuchsaufbauten war Erfindergeist gefragt.



Wirbelbildung aus zwei Flüssigkeitsströmungen am Anfang des Kanals



Das Mikroskop FV1000 wird um 90° gekippt betrieben, um die Auswirkungen der Schwerkraft auf die Strömungsbildung zu eliminieren

Dank der Kooperation mit dem Partner Olympus und den Technikern der Universität gelang es, ein konfokales Laserscanning Mikroskop Olympus FluoView1000 in ein schwenkbare Tischsystem einzubauen. Das Konfokalmikroskop kann jetzt um 90° vertikal gekippt werden. Dies ermöglicht die rotationsymmetrische Bewegung des Mehrphasengemisches ohne Beeinträchtigungen durch die Schwerkraft und ihre mikroskopische Untersuchung in vertikal aufrecht verlaufenden Kanülen und Mixern. „Der Schwerkraft haben wir auch ohne ISS ein Schnippchen geschlagen“ schmunzelt Professor Schlüter. „Das gesparte Geld geht voll in die terrestrische Forschung.“