

## Scale-up verbesserter Düsen zum Hochdruckhomogenisieren und -emulgieren

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle:</b>	Universität Karlsruhe (TH) Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik Prof. Dr. H. P. Schuchmann
<b>Industriegruppe:</b>	Milchindustrie-Verband e.V., Bonn
	Projektkoordinator: Dr. S. Palzer Nestlé Deutschland AG, Product Technology Center, Singen
<b>Laufzeit:</b>	2003 – 2006
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 228.500,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Emulsionen werden homogenisiert, um die Tropfengröße der dispersen Phase zu reduzieren, wodurch das Aufrahmen bzw. das Sedimentieren verlangsamt und die Langzeitstabilität erhöht wird. In der Rohmilch liegt der Durchmesser der MilCHFetttröpfchen zwischen 1 und 10  $\mu\text{m}$ . Ohne einen Homogenisierungsschritt bildet sich bereits nach wenigen Tagen eine i. d. R. unerwünschte Rahmschicht. In der Praxis wird Milch in Hochdruckhomogenisatoren bei Drücken von ca. 100 bar (pasteurisierte Milch) bis max. 300 bar (UHT-Milch) homogenisiert. Als Homogenisierungsdüsen werden meist Flachventile verwendet.

Im Rahmen eines vorangegangenen AiF/FEI-Forschungsvorhabens (AiF 12405 N) wurde eine zweistufige Homogenisierblende entwickelt, mit der Milch effizient homogenisiert werden kann. Nach Überschreitung der kritischen Dehnrate werden die vordefinierten Tropfen im turbulenten Strömungsbereich aufgebrochen. Ein Scale-up der neu entwickelten Düsen durch eine einfache geometrische Vergrößerung des Blendendurchmessers gelingt jedoch nicht. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es daher, Regeln für die Maßstabvergrößerung der Homogenisierblenden zu entwickeln. Des Weiteren sollte auch ihre Homogenisierungseffizienz gesteigert werden, u. a. indem die Verteilung und die Intensität der Turbulenz durch konstruktive Maßnahmen ver-

ändert werden. Zu diesem Zweck sollten zum Beispiel Blendengeometrien untersucht werden, in denen die Bohrungen zur Hauptströmungsachse geneigt sind und konvergieren. Dadurch soll ein rascher Anstieg der Turbulenz direkt hinter dem Lochblendenausgang hervorgerufen werden. Entwicklung und Scale-up der Homogenisierblenden sollten mit Hilfe einer einphasigen CFD-Simulation unterstützt werden. Eine verbesserte Homogenisierungseffizienz soll die Herstellung von Produkten mit vorgegebenen Eigenschaften unter geringerem Energieaufwand erlauben.

### Forschungsergebnis:

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass die Blendengeometrie auf das vorliegende Stoffsystem angepasst werden muss. Entscheidend ist hier, dass die Tropfen in der laminaren Dehnströmung am Blendeneinlauf deformiert werden können. Eine ausreichende Verformung ist für Stoffsysteme mit kleineren Verhältnissen zwischen der Viskosität der dispersen und der kontinuierlichen Phase gegeben. Hier genügt eine schnelle Strömungsstörung nach dem Blendenauslauf, um die deformierten Filamente effizient aufzubrechen, bevor sie wieder relaxieren können. Entscheidend ist eine schnelle Störung, weniger die Höhe der dazu eingebrachten Energie. Die Homogenisierungseffizienz der untersuchten

Lochblenden kann gesteigert werden, indem statt einer runden eine Schlitzform (Schlitzblenden) oder zur Hauptströmungsrichtung geneigte konvergierende Bohrungen verwendet werden. Beides bewirkt ein früheres Aufbrechen der vordefinierten Tropfen. Optimale geometrische Daten wurden erarbeitet.

Werden die Tropfen einer Emulsion aufgrund ihrer im Vergleich zur kontinuierlichen Phase hohen Viskosität nicht ausreichend deformiert, kann der Tropfenaufbruch dagegen nur verbessert werden, wenn die Turbulenzintensität am Blendenauslauf erhöht werden kann. Dies kann beispielsweise durch eine Vergrößerung des Blendendurchmessers, durch Einsatz von Schlitzgeometrien oder durch Strömungsumlenkungen innerhalb des Blendenkanal selbst erreicht werden. Dies ist insbesondere für das Zerkleinern von Milchtropfen wichtig. Hier sind Tropfendeformation und -aufbruch durch den spezifischen Aufbau der Fettkugelmembran der Milchtropfen erschwert. Die Tropfen können daher im Vergleich zu Pflanzenöl-in-Wasser-Emulsionen nicht ausreichend deformiert werden. Für das System Milch kann das Homogenisierungsergebnis im Vergleich zu Flachdüsen neuester Bauart nur verbessert werden, indem die Strömung durch zur Hauptströmungsachse senkrechte Kanäle umgelenkt wird (Umlenkblenden). Deren Geometrien wurden basierend auf den Ergebnissen einphasiger Strömungssimulationsrechnungen optimiert.

Im zweiten Teil sollten Regeln zur Maßstabvergrößerung für Lochblendensysteme ermittelt werden. Die Untersuchungen zeigten, dass ein Numbering-up problemlos möglich ist, wenn die Verhältnisse  $\xi$  zwischen dem Abstand  $h$  und dem Bohrungsdurchmesser  $d$  größer sind als  $\xi = h/d = 6$  (bzw. das optimale Abstands- zu Durchmesser-Verhältnis liegt bei  $\xi_{opt} \approx 6$ ).

Ein Scale-up von Schlitzdüsen ist einfach durchzuführen, da für die Tropfendeformation und den Tropfenaufbruch nur die Schlitzhöhe, nicht aber die Schlitzbreite wichtig sind. Eine Verlängerung der Schlitzlänge bei gleicher Schlitzbreite ermöglicht so ein problemloses Scale-up.

Standzeitversuche zeigten, dass ebenfalls in einer zweistufigen Fahrweise Materialschäden in den Homogenisierblenden auftreten können. Die Veränderung in der Blendengeometrie beeinflusst jedoch die Homogenisierungsergebnisse nicht, solange durch Abtragungen ein kritischer Durchmesser nicht überschritten wird. Allerdings nimmt bei gleichem Homogenisierdruck der Durchsatz zu, so

dass hier in der Produktion Anpassungen vorgenommen werden müssen. Daher wird gerade für höhere Homogenisierdrücke die Verwendung von Materialien höherer Festigkeit empfohlen.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Das Homogenisieren stellt bei der Herstellung vieler Lebensmittel, insbesondere in der Milchindustrie, einen wichtigen Verfahrensschritt dar. Die Ergebnisse des Vorhabens werden sowohl nutzbar sein für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, die Emulgierapparate für die Lebensmittelindustrie herstellen, als auch für die lebensmittelverarbeitende Industrie.

Durch die vorgeschlagenen Blendenmodifikationen gelingt es, unabhängig von den Stoffeigenschaften von Emulsionen das Homogenisierungsergebnis zu verbessern. Im Falle der Homogenisierung von Milch konnte ein neuer Blendentyp entwickelt werden (Umlenkblende), mit dem ein besseres Homogenisierungsergebnis als bei der Verwendung von konventionellen Flachventilen neuester Generation möglich ist.

Regeln zum Scale-up von Lochblenden wurden erarbeitet, so dass ihr Einsatz für industrielle Anwendungen möglich ist. Durch die höhere Homogenisierungseffizienz sind Energieeinsparungen zu erzielen, da gleiche Produkteigenschaften bei geringeren Homogenisierdrücken erzielt werden können. Ebenfalls ermöglichen die neuen Geometrien, auch für schwer zerkleinerbare Dispersionsphasen kleine Tropfendurchmesser industriell erzeugen zu können. Da wichtige Produkteigenschaften von Emulsionen durch die Tropfengröße bestimmt werden, ist dies die Basis für innovative Produkte mit verbesserten Eigenschaften. Da die Blenden keine beweglichen Teile enthalten, ist ihrer Reinigung unproblematisch. Im Hinblick auf die Standzeit der neuen Homogenisierblenden konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe von Strömungssimulationsrechnungen Materialschäden vorhergesagt und weniger schadensanfällige Geometrien entwickelt werden können.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2006.
2. Aguilar, F., Köhler, K., Schubert H. und Schuchmann, H. P.: Herstellen von Emulsionen in einfachen und modifizierten Lochblenden: Einfluss der Geometrie auf die Effizienz der Zerkleinerung und Folgen für die Maßstabsvergrößerungen. Chem. Ing. Techn. 80 (5), 607-613 (2008).
3. Aguilar, F., Freudig, B. und Schuchmann, H. P.: Herstellen von Emulsionen in Hochdruckhomogenisatoren mit modifizierten Lochblenden. Chem. Ing. Tech. 76 (4), 396-399 (2004)
4. Aguilar, F., Freudig, B. und Schubert, H.: Emulsification in High Pressure Homogenizers Equipped with Improved Orifice Valve. In: Proc. 9th Int. Cong. Eng. Food (ICEF9), 5 pages, 7.-11.03.2004, Montpellier, France (2004).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik  
Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe  
Tel.: 0721/608-2497, Fax: 0721/69 43 20  
E-Mail: heike.schuchmann@lvt.uni-karlsruhe.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn  
Tel.: 0228/372031, Fax: 0228/376150  
E-Mail: fei@fei-bonn.de