

Untersuchungen zur Integration der Simultanen Homogenisier- und Misch- (SHM-) Technologie in konventionelle Homogenisationsprozesse mit Flachventilen zur Verarbeitung von Milchprodukten

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle:	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik Prof. Dr. Heike P. Schuchmann/Dr. Karsten Köhler/ Dipl.-Ing. Marc Schlender
Industriegruppen:	Milchindustrie-Verband e.V., Berlin VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e.V., Frankfurt
	Projektkoordinator: Dr. Peter Fichtl Uelzena eG, Uelzen
Laufzeit:	2010 - 2013
Zuwendungssumme:	€ 242.750,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Hochdruckhomogenisiersysteme sind in technischen Prozessen weit verbreitet. Deutschlandweit werden sie zur Produktion von jährlich ca. 12 Mio. t Milchprodukten eingesetzt, wobei die Durchsätze bei bis zu einigen 10.000 l/h und die Drücke um 200 bar liegen. Durch das Homogenisieren können Produkteigenschaften, wie Farbe, Konsistenz oder Geschmack, verbessert und eine höhere Langzeitstabilität erreicht werden. Investitions- und Prozesskosten entstehen durch die zu homogenisierenden Produktmengen, die die Größe der Pumpen und die auf hohe Drücke zu verdichtenden Volumenströme bestimmen, sowie durch Verschleißteile (z. B. Kolbenpackung und Flachventile). Insbesondere bei partikelhaltigen Produkten (wie Schokodrinks oder -desserts) sind die Standzeiten signifikant reduziert (z. B. 100 statt 700 h bei reiner Milch für die Kolbenpackungen). Beim Homogenisieren von Milch müssen selbst bei angepasster Materialwahl alle 2.000 bis 10.000 Betriebsstunden die Homogenisierventile gewechselt werden. Energieeinsparpotential bietet das Verfahren der Teilstromhomogenisierung. Allerdings ist dies heute auf einen Fettanteil von max. ca. 17 Vol.-% in der zu homogenisierenden Rahm-

phase begrenzt. Höhere Fettgehalte führen aufgrund von Koaleszenz und v. a. Aggregatbildung der Fettkugeln zu signifikant verschlechterten Produktqualitäten. Wünschenswert wäre eine Homogenisation bei im Milchverarbeitungsprozess typischerweise anfallenden Fettgehalten (32-42 % ab Separator). Im IGF-Projekt AiF 14073 N wurde dazu der Grundtyp einer Simultanen Homogenisier- und Mischblende (SHM-Blende) entwickelt, mit dem im Labormaßstab Rahm bei Fettanteilen von bis auf 42 Vol.-% ohne Qualitätsverlust homogenisiert werden kann. Dies ermöglicht rechnerisch Energieeinsparungen um 65 bis zu 92 % verglichen mit den konventionellen, heute eingesetzten Teilstrom- bzw. Vollstrom-Homogenisationsprozessen. Auch ist eine kostengünstige Kapazitätssteigerung bestehender Anlagen um den Faktor 3 bis 13 vorstellbar. Daneben bietet diese Prozessführung die Chance, Partikeln (beispielsweise Kakao) homogen zu dispergieren, ohne über die Kolbenpackung oder das Ventil selber fahren zu müssen. Dies sollte zu einer deutlichen Verlängerung der Standzeit und damit verbunden zu deutlich reduzierten Investitions-, Umrüstungs-, Instandhaltungs- und Reinigungskosten führen. Auch eine Erhöhung der Rahmtemperatur zur Verbesserung der Zerkleinerungseffizienz

und damit der Energieausnutzung beim Homogenisieren ist erst bei hohen Fettgehalten der Rahmphase ohne kritische Proteinschädigung umsetzbar, was die SHM-Technologie erstmalig ermöglicht.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, grundlegende Erkenntnisse für die Anwendung der SHM-Technik in Flachventilen als Zerkleinerungseinheiten aufzubauen und das Potential dieser Technologie für einen Einsatz in der Milchverarbeitenden Industrie aufzuzeigen.

Forschungsergebnis:

Um das Energieeinsparpotential bei der Milchhomogenisation aufzuzeigen, wurde geprüft, ob die neu entwickelte Idee des Simultanen Homogenisierens und Mischens (SHM) in einem konventionellen Flachventil, wie es heute in der Milchindustrie standardmäßig zur Milchhomogenisation genutzt wird, realisiert werden kann. Hierzu wurden verschiedene Konzepte eines sog. „SHM-Flachventils“ auf Basis von numerischen Strömungsberechnungen entwickelt und verbessert sowie deren Homogenisationseigenschaften mit dem Zielstoffsystem Milch charakterisiert.

Auf Basis der numerischen Strömungsberechnungen wurden verschiedene konstruktive Lösungen zur Zumischung von Magermilch in einen Rahm-Hauptstrom realisiert. Die besten Ergebnisse lieferte der Prototyp, bei dem der Ventilsitz konstruktiv verändert werden musste. Mit den SHM-Ventilen im Labormaßstab wurden jedoch sowohl im einstufigen als auch im zweistufigen Prozess nicht die Ergebnisse der Milch-Vollstromhomogenisation erreicht. Strömungsberechnungen zeigten, dass es aufgrund der fertigungstechnisch nach unten limitierten Abmaße nicht möglich ist, in diesem Maßstab die für eine ausreichende Durchmischung benötigte Strömungsgeschwindigkeit zu erreichen, also die SHM-Technik in Flachventilen zu realisieren. Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses der Industrie bestätigen, dass solche Probleme bereits von konventionellen Flachventilen bekannt sind, was bisher eine sinnvolle Produktentwicklung im Labormaßstab verhinderte. Die von der Forschungsstelle entwickelte Blenden-technik könnte hier eingreifen und eine Alternative bieten, um Produktentwicklungen sinnvoll im Labormaßstab durchzuführen.

In Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden

Ausschuss wurde daher nach Wegen gesucht, um eine Umsetzbarkeit in den industriellen Maßstab zu prüfen. Das Upscale wurde auf Basis der vorher gewonnenen Erkenntnisse aus dem Labormaßstab durchgeführt. Integriert in eine Anlage mit 1.000 L/h Produktionsvolumen, lieferte das SHM-Flachventil bei einem Homogenisationsdruck von 200 bar noch einen kleinen Anteil (10 Gew.-%) an nicht zerkleinerten Tropfen. Ab einem Homogenisationsdruck von 220 bar sind die Werte des repräsentativen Tropfendurchmessers $x_{90,3}$ ähnlich denen der Referenzmilch. Des Weiteren kann keine messbare Agglomeration von zerkleinerten Fetttropfen festgestellt werden. Somit scheint die Vermischung von Rahm und Magermilch in der Mischkammer der SHM-Flachventils zufriedenstellend zu funktionieren. Höhere Drücke führen zu kleinen Tropfengrößen. Dies bedeutet, dass - wenn gewünscht, wie beispielsweise für ESL-Milch, - der Zerkleinerungseffekt weiter gesteigert werden kann, ohne eine Agglomeration zu riskieren. Eine Übertragung der SHM-Technik in das Flachventil ist also im großen Maßstab möglich, im Labormaßstab jedoch verhindert die geringe Größe der Bauteile eine fluidtechnisch sinnvolle Lösung. Man spricht hierbei von einem sog. „Down-Scale“-Problem.

Die SHM-Versuche im größeren technischen Maßstab wurden bei unterschiedlichen Zumischtemperaturen der Magermilch durchgeführt. Dabei zeigte eine Erhöhung der Temperatur auf 35-40 °C deutlich bessere Ergebnisse (Homogenisationsgrad von ca. 65 %) als eine Magermilchtemperatur von nur 25 °C (Homogenisationsgrad von ca. 45 %). Nach momentanem Kenntnisstand ist eine Zumischtemperatur von $T_{\text{Magermilch}} > 35 \text{ °C}$ für ein zufriedenstellendes Homogenisationsergebnis im Industriemaßstab zu empfehlen. In den Versuchen wurde zudem über den Seitenstrom eine Mischung aus Magermilch und Kakaomasse zugeführt, wie sie bei der Herstellung von Trinkkakao benutzt wird. Es konnte in ersten Tests kein signifikanter Unterschied zum standardmäßig hergestellten Trinkkakao festgestellt werden. Dies bedeutet, dass neben der Mischung auch die Desaggregation zufriedenstellend war. Da die SHM-Technik per se deutlich höhere Standzeiten der Homogenisatoren erlaubt, kann dies nun auch im industriellen Maßstab umgesetzt werden.

Um eine wirtschaftliche Betrachtung der SHM-Technologie durchzuführen, wurde beispielhaft eine mögliche Betriebsart eines im normalen Milchprozess integrierten SHM-Prozesses aufge-

zeigt. Das Prozessbeispiel geht von einem Produktionsvolumen von ~ 1.000 L/h, einer Separationsstufe vor und einer UHT-Behandlung nach der Homogenisation aus. Zur Wahrung der Vergleichbarkeit wurde eine Vollstromhomogenisierung (mit einem konventionellen Flachventil) auf derselben Anlage durchgeführt. Der Bilanzraum reduziert sich somit für die Betrachtung auf die mechanische Energie des Homogenisators (mit der integrierten SHM-Technik) und, im Fall der Prozessführung mit SHM, auf die mechanische Energie des Homogenisators und der erforderlichen Pumpe des Seitenstroms. Es wurde für die beiden Prozessvarianten jeweils während der Produktion die Leistungsaufnahme der Homogenisatorpumpe aufgezeichnet. Die Leistungsaufnahme bei einem Homogenisationsdruck von 250 bar für eine Vollstromhomogenisierung liegt bei ca. 10,5 kWh. Im SHM-Betrieb reduziert sich die Leistung des Homogenisators auf 3,0 kW. Die Seitenstrompumpe (welche in diesem Prozessbeispiel durch einen weiteren Homogenisator im Leerlaufbetrieb realisiert wurde) arbeitete mit einer Leistung von 0,9 kW. Für die Homogenisierung einer vergleichbaren Produktmenge von ~ 1.000 L/h hat sich mit dem SHM-Prozess die Leistungsaufnahme somit um 6,6 kW reduziert, was eine Einsparung von ca. 62 % mechanischer Energie ausmacht. Durch eine geeignete Dimensionierung der Anlagenkomponenten kann weitere Energie eingespart werden. In Anbetracht der deutlichen Überdimensionierung der Seitenstrompumpe und des eher schlechten Wirkungsgrads der Hochdruckpumpe des SHM-Homogenisators im Unterlastbetrieb ist ein reales Einsparpotential von ca. 70 - 80 % zu erwarten.

Ein weiterer Aspekt bei Nutzung der SHM-Technik ist das enorme Einsparungspotential bei der technischen Dimensionierung einer Homogenisationsanlage. Bei gleicher angestrebter Produktmenge können Prozessanlagen, die mit der SHM-Technik ausgestattet sind, wesentlich kompakter gebaut werden, da z.B. der Pumpenmotor, Frequenzumrichter und die Trafoanlagen kleiner dimensioniert werden. Des Weiteren wird mit der Einsparung einer zweiten Stufe ein verschleißintensiver Bauteil aus der Prozesskette entfernt.

Wird eine bestehende Produktionsanlage mit der SHM-Technik im Flachventil ausgestattet, ist es möglich, bei gleicher Pumpenlaufleistung die ca. 8-fache Produktmenge zu realisieren.

In ersten Versuchen konnte auch eine Variation

des Endfettgehalts im Produkt durch Anpassung des Seitenvolumenstroms auf $\sim 7,5$ Vol.-% bei gleichbleibendem Homogenisationsergebnis erreicht werden. Das erhöht die Variabilität der auf einer SHM-Prozessanlage produzierbaren Produktpalette.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Mit den gewonnenen Erkenntnissen dieses Projektes können insbesondere kleinere Unternehmen ihren Milchprozess auf die SHM-Technik umstellen und so ohne große Investitionen ihr Produktionsvolumen steigern. Der neue Prozess ist deutlich ressourcenschonender. Des Weiteren ist es Unternehmen des Anlagenbaus und des lebensmittelproduzierenden Bereichs jetzt möglich, Prozesse innerhalb weniger Monate zu etablieren. Es ist zu erwarten, dass die Technik über den milchverarbeitenden Bereich hinaus auch in anderen Wirtschaftszweigen zum Einsatz kommt.

Im Massenmarkt Milch und Folgeprodukte, der mit kleinen Deckungsbeiträgen auskommen muss, können gerade kleinere Unternehmen bisher nur unzureichend ‚Economies of Scale‘ ausnutzen. Die Ergebnisse des Vorhabens belegen, dass die SHM-Technologie es ermöglicht, auch mit kleinen Anlagen große Mengen zu homogenisieren oder Anlagen langfristig flexibler zu betreiben. So können beispielsweise Mischströme zu- oder abgeschaltet werden. Dies ist gerade für kleinere Unternehmen interessant, da diese häufig auf kleinem Raum operieren, eine hohe Raum-Produkt-Ausbeute und eine hohe Flexibilität benötigen und zusätzlich auf diesem Weg die ‚Economies of Scale‘ ausnutzen können. Besonders für kleinere Unternehmen ist eine mögliche Energieersparnis von 70 - 80 % vor dem Hintergrund steigender Energiepreise interessant. Von Bedeutung ist auch die mögliche Kapazitätssteigerung bestehender Anlagen um den Faktor 8, ohne neue Pumpen (Hauptkostenpunkt am Homogenisator) anschaffen zu müssen. Beides wird die Wettbewerbsfähigkeit gerade für KMU deutlich erhöhen. Auch der mögliche Einsatz von SHM-Ventilen zur Herstellung partikelbeladener Milchlischgetränke ist gerade für diese Unternehmen von Interesse, da derartige Produkte häufig nur in kleinen Losen hergestellt werden und Nischenprodukte sind.

Zu erwarten sind von dem Vorhaben zudem Spin-off-Effekte für andere Zweige der Lebensmittelindustrie, da sehr viele Produkte homoge-

nisiert werden müssen, und energetische Fragestellungen zukünftig von deutlich höherer Bedeutung sein werden als heute. Auch andere Industriezweige, wie die Spezialchemie, die pharmazeutische, kosmetische oder (agro-)chemische Industrie, in der ähnliche Fragestellungen beim Emulgieren und Dispergieren auftreten, werden von den Ergebnissen des Projekts profitieren.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2013.
2. Schlender, M., Köhler, K. und Schuchmann, H.P.: Neue Technologie ermöglicht Energieeinsparungen beim Hochdruckhomogenisieren. Rundsch. Fleischhyg. Lebensmittelüberw. 1, 10-12 (2014).
3. Schlender, M. und Schuchmann, H.P.: Fortschritte bei der Milchhomogenisation - Simultanes Emulgieren und Mischen (SEM) ermöglicht Energieeinsparung. Food-Lab 1, 40-43 (2014).

Weiteres Informationsmaterial:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik
Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-8797
Fax: +49 721 608-5967
E-Mail: heike.schuchmann@lvt.uni-karlsruhe.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

