

## Leistungsverbesserung des CIP (Cleaning in Place)-Prozesses in Sprühtrocknungstürmen basierend auf der Detektion von Foulingbildung mittels Ultraschall

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle I:</b>	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Dipl.-Ing. Dominik Geier
<b>Forschungsstelle II:</b>	Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Freising Prof. Dr. Horst-Christian Langowski/Dr. Thomas Herfellner
<b>Industriegruppe:</b>	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
	Projektkoordinator: Dr. Peter Fichtl Uelzena AG, Uelzen
<b>Laufzeit:</b>	2015 - 2018
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 425.760,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Sprühtrocknungsprozesse spielen als schonende Trocknungstechniken in vielen Industriebereichen für die Herstellung von hochwertigen, pulverförmigen Produkten eine entscheidende Rolle. In der Milchindustrie wird voreingedickte Milch (45-45 % TS) in Sprühtrocknungstürme eingedüst und mit Heißluft (150-240 °C) im Gegen- oder Gleichstromverfahren getrocknet. Die Milch selbst wird während der Trocknung auf etwa 75 °C erwärmt. Durch die thermische Belastung bilden sich Produktablagerungen (Fouling) an den Gerätewänden aus. Die Ursachen liegen in der natürlichen Milchzusammensetzung sowie in den der Sprühtrocknung vorgelagerten Prozessen (Vorwärmen, Homogenisierung etc.). Zusätzlich haben auch die Prozessparameter der Sprühtrocknung Einfluss auf die Fouling-Ausbildung. Mit zunehmender Prozessdauer können Teile der Ablagerungen von der Wandung abplatzen und ins Produkt verschleppt werden. Dies führt zu einer sensorischen und qualitativen Minderung der Produktqualität. Hinsichtlich der Prozesssicherheit kann ein Abplatzen der Fouling-

Schicht auch zu Bränden und Explosionen in den Sprühtrocknungstürmen führen.

Eine ausreichende Vermeidung von Fouling ist bislang nicht möglich. Deshalb müssen nach Prozessende die Fouling-Ablagerungen über Cleaning-in-Place-(CIP)-Reinigungsprogramme entfernt werden. Üblicherweise ist die CIP-Reinigung so ausgelegt, dass der Reinigungserfolg auch bei starker, schwer zu entfernender Verschmutzung gewährleistet ist. Die CIP-Reinigungsprogramme sind deshalb für die meisten Anwendungsfälle deutlich überdimensioniert. Eine Überprüfung des Reinigungserfolgs und insbesondere die erfolgreiche Entfernung der Fouling-Ablagerungen konnte bisher allein durch das Öffnen der Anlagen nach Ablauf des Reinigungsprogramms und anschließender visueller Kontrolle überprüft werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die CIP-Prozesse bei der Sprühtrocknung von Milch zu verbessern und kosten- und ressourceneffizienter zu gestalten. Die CIP-Zyklen sollten an den tatsächlichen Verschmutzungszustand des Sprühtrocknungsturms angepasst werden, indem der

Verschmutzungszustand mit einer nicht-destruktiven, nicht-invasiven und kostengünstigen Ultraschalltechnik zur Detektion von Fouling ermittelt wird.

#### Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Projektes wurden grundlegende Ergebnisse zur Charakterisierung von Milchfouling und zur Leistungsverbesserung des CIP (Cleaning in Place)-Prozesses in Sprühtrocknungstürmen basierend auf der Detektion von Fouling mittels Ultraschall erarbeitet. Hierfür wurden die Einflüsse einzelner Parameter, z. B. der Sensordimension, des Feuchtigkeitsgehalts des Milchpulvers und der Temperatur, auf das Ultraschallsignal untersucht und ein Ultraschallmesssystem inkl. Hardware, Elektronik und Datenübertragung entworfen. Für reproduzierbare und flexible Messungen wurden spezielle Edelstahlstrukturen angefertigt, die an vorhandene Zugangsstellen des Sprühtrockenturms adaptiert wurden und das Ultraschallmesssystem aufnehmen. Die Edelstahlstrukturen wurden mit „Messstopfen“ ausgestattet und ermöglichten so eine definierte Probenahme während des Sprühtrocknungsprozesses und somit während der Fouling-Entstehung. Mit einer optischen Methode, basierend auf der Analyse von rasterelektronischen Aufnahmen, wurden die Fouling-Schichtdicken referenziert. Verschiedene Features der aufgenommenen Ultraschallsignale wurden unter Berücksichtigung von Sensoranregung und Signalerfassung analysiert und auf Korrelationen getestet. Darauf aufbauend wurde die Auswertalgorithmik zur Signalanalyse umgesetzt. Weiterführend wurden Versuche zur Charakterisierung der Fouling-Entstehung in Abhängigkeit von den Trocknungsbedingungen durchgeführt und eine akustische Fouling-Charakterisierung mittels den Methoden der Partial Least Square und der Künstlichen Neuronalen Netze durchgeführt. Weiterhin wurde das grundlegende Verständnis der Einflüsse der Betriebsparameter auf die Fouling-Entstehung bei der Sprühtrocknung von Magermilch und Molke erarbeitet. Dabei wurde der Fokus besonders auf die Menge und Beschaffenheit der Fouling-Schicht in Abhängigkeit der Betriebsparameter des Sprühtrockners gelegt und verschiedene Fouling-Zustände definiert. Anschließend wurde das Reinigungsverhalten

der unterschiedlichen Fouling-Zustände untersucht. Da sich im Verlauf des Projektes herausstellte, dass mit dem verwendeten Sprühtrockenturm eine geringere Fouling-Intensität als in der Industrie erzielt wurde, wurde ein weiterer Versuchstand konstruiert, der die Herstellung von starken, definierten Fouling-Belägen ermöglichte. Mit diesem Versuchstand wurden verschiedene Fouling-Zustände definiert hergestellt und deren Abreinigung per Ultraschall überwacht und so eine Wissensbasis aufgebaut. Abschließend wurde der Zusammenhang zwischen dem Fouling-Zustand und der zuvor experimentell ermittelten Wissensbasis über das Reinigungsverhalten analysiert, um eine optimierte CIP mit idealen CIP-Prozessparametern auszulegen. Mit dem Tabu-Search-Algorithmus wurden diese idealen Prozessparameter des CIP-Prozesses bestimmt und so eine wissensbasierte Optimierung des Prozesses durchgeführt. Abschließend wurde das entwickelte Konzept auf den CIP-Prozess des Sprühtrockenturms übertragen, die Übertragbarkeit auf industrielle Prozesse belegt und eine mögliche Anwendung zur Steuerung von CIP-Prozessen aufgezeigt.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Statistischen Studien zufolge betragen die Mehrkosten aufgrund von Foulingbildung in Deutschland zwischen 5 - 7 Mrd. € pro Jahr; bis zu 80 % der Produktionskosten stehen direkt oder indirekt mit Fouling in Verbindung. Gerade bei der Herstellung von Trockenmilcherzeugnissen ist durch die komplexe Zusammensetzung des Produkts erhitzenbedingtes Fouling unvermeidbar.

Die deutschen Milchunternehmen bilden eine der leistungsstärksten Branchen innerhalb der Lebensmittelindustrie: 152 Unternehmen mit über 36.000 Beschäftigten verarbeiteten jährlich ca. 32 Mio. Tonnen Milch und erwirtschafteten einen Umsatz von 23 Mrd. €. Die Produktion von Trockenmilcherzeugnissen betrug in Deutschland 2016 701.700 Tonnen bei einem Umsatz von ca. 3,5 Mrd. €.

Um am Markt zu bestehen, sind gerade kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) darauf angewiesen, kleine Chargen zu produzieren. Dabei bildet sich zwar häufig eine geringere Foulingschicht aus als bei industriellen Anlagen, dennoch ist eine gründliche

Reinigung notwendig, um keine Rückstände der Foulingschicht bzw. Produktreste in die nächste Charge zu verschleppen. Die derzeitigen CIP-Reinigungen sind meist überproportioniert, um den Reinigungserfolg sicherzustellen. Da bis zu 80 % der Produktionskosten der Reinigung zugeschrieben werden können, besteht hier ein enormes Einsparungspotential.

Da das Verfahren der Sprühtrocknung zur Trocknung einer Vielzahl von Lösungen, Suspensionen oder pastösen Massen eingesetzt wird, werden die erzielten Ergebnisse auf die Gegebenheiten von artverwandten Prozessen in anderen Industriezweigen angepasst werden können, wie z. B. auf Sprühtrocknungsprozesse in der keramischen Industrie oder in der pharmazeutischen Industrie.

Die Ergebnisse geben auch Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus Impulse für die Entwicklung neuer innovativer Geräte, Messtechniken und von Systemen zur Prozesssteuerung.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2018.
2. Beugholt, A., Metzenmacher, M., Geier, D. & Becker, T.: Ultraschall – eine nicht-invasive Online-Messtechnik. Weihensteph. 3, 118-120 (2019).
3. Metzenmacher, M., Beugholt, A., Geier, D. & Becker, T.: Ultraschall – Etablierte Methodik oder innovative Messtechnik. AMA Sci. 14. Dresd. Sensor-Symp. 137-142, DOI 10.5162/14dss2019/P1.10 (2019).
4. Úbeda, M., Whitehead, I., Frankl, M., Herfellner, M., Geier, D. & Becker, T.: Ultraschallbasierte Fouling-Überwachung während der Sprühtrocknung. Molkerei-Ind. 7, 19-19 (2018).

5. Úbeda, M., Whitehead, I., Frankl, M., Herfellner, M., Geier, D. & Becker, T.: Spray drying of milk - Ultrasonic fouling monitoring, Intern. Dairy Mag. 8, 22-24 (2018).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München  
Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW)  
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie  
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising  
Tel.: +49 8161 71-3261  
Fax: +49 8161 71-3883  
E-Mail: tb@tum.de

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik  
und Verpackung (IVV)  
Giggenhauser Straße 35, 85354 Freising  
Tel.: +49 8161 491-100  
Fax: +49 8161 491-111  
E-Mail: langowski@ivv.fraunhofer.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 125, 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



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.