

Energie- und ressourcenschonende Sprühtrocknung von hochviskosen molkebasierten Flüssigkeiten mittels "effervescent atomization"

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. Karbstein/Dr. Volker Gaukel
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
	Projektkoordinator: Jasper Vollenbroek, FrieslandCampina AG, Wageningen
Laufzeit:	2014 - 2016
Zuwendungssumme:	€ 223.150,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Ein weit verbreitetes Verfahren, um Milcherzeugnisse in ihre haltbare Form zu überführen, ist die Sprühtrocknung. Hierbei wird meist im Kopf eines Trocknungsturmes die zu trocknende Flüssigkeit in einem Zerstäuber in feine Sprühtropfen zerstäubt. Die dabei aufzuwendende Trocknungsenergie ist wesentlich durch die zu entfernende Wassermenge bestimmt und damit vom Trockenmassenanteil der Flüssigkeit abhängig. Dies liegt daran, dass dem Sprühtrocknungsprozess vorgeschaltete Konzentrationsverfahren energetisch günstiger Wasser aus der Flüssigkeit entfernen (20-40 MJ/pro Tonne verdampften Wassers) als dies im Sprühtrocknungsprozess (3.500-4.000 MJ/pro Tonne verdampften Wassers) möglich ist. Es ist daher energetisch sinnvoll, den Trockenmassengehalt der Flüssigkeit vor dem Sprühtrocknungsprozess so weit wie möglich zu erhöhen. Mit steigender Trockenmasse nimmt jedoch die Viskosität der Flüssigkeit stark zu, was die Zerstäubung bei allen bekannten Sprühverfahren erschwert. Für milchbasierte Flüssigkeiten werden für die Zerstäubung hauptsächlich Druckdüsen eingesetzt, mit denen nur niedrigviskose Flüssigkeiten zerstäubt werden können.

Mit luftunterstützten (pneumatischen) Zweistoffzerstäubern können auch Flüssigkeiten mit höherer Viskosität zerstäubt werden. Diese kommen allerdings meist nicht zum Einsatz, da herkömmliche Zweistoffzerstäuber einen hohen Zerstäubungsgasverbrauch haben, der ihren Einsatz unwirtschaftlich macht. Ende der 1980er Jahre wurde eine Alternative zur Zerstäubung von Flüssigkeiten, der Effervescent Atomizer, vorgestellt. Der wesentliche Unterschied zum herkömmlichen Zweistoffzerstäuber liegt in der gezielten Zusammenführung von Zerstäubungsgas und Flüssigkeit in einer Mischkammer vor dem Düsenaustrittskanal, was eine vergleichbare Zerstäubungsleistung bei deutlich reduziertem Gasverbrauch ermöglicht. Damit können Flüssigkeiten mit deutlich höherem Trockenmassenanteil zerstäubt werden, was den Energieaufwand des gesamten Trocknungsprozesses deutlich reduziert oder bei gleicher Energieaufwendung eine Durchsatzsteigerung ermöglicht. Ein weiterer Vorteil einer erhöhten Flüssigkeitstrockenmasse ist die verringerte Neigung zur Schaumbildung. Außerdem erfährt das zu zerstäubende Produkt durch die vergleichsweise große Düsenöffnung beim Austritt aus dem Zerstäuber eine geringere mechanische Beanspruchung. Das kann insbesondere für

proteinhaltige Systeme interessant sein, da durch die Scherbelastung die Proteinfunktion im späteren Produkt beeinträchtigt werden kann.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, das Potential eines auf der Effervescent Atomization beruhenden Sprühsystems zur energie- und ressourcenschonenden Sprühtrocknung von hochviskosen molkebasierten Flüssigkeiten aufzuzeigen. Dazu sollte der Zusammenhang von Prozessparametern beim Zerstäuben und Trocknen mit den entstehenden Tropfengrößen sowie Partikelgrößen und -eigenschaften ermittelt und mit dem industriell eingesetzten druckzerstäuberbasierten Prozess verglichen werden.

Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Modellsystem auf Basis von Maltodextrin und rekonstituiertem WPC 80 an die rheologischen Eigenschaften frischer molkebasierter Proteinkonzentrate angepasst, wobei Trockenmassen bis 50 % mit einer maximalen Viskosität von 690 mPa·s erreicht wurden. Die Viskosität wurde über die Steigerung des Gesamttrockenmassegehalts oder über die Steigerung des WPC 80-Gehalts im Medium erhöht. Bei der Effervescent Atomization wurde neben der im Forschungsantrag vorgestellten Geometrie (EA) ein weiterentwickelter Air-Core-Liquid-Ring (ACLR)-Zerstäuber eingesetzt. Im untersuchten ALR-Bereich von 0,1-0,45 konnte mit dem ACLR-Zerstäuber für alle untersuchten Flüssigkeitsviskositäten ein vergleichbares oder besseres Zerstäubungsergebnis erzielt werden. Als Vergleich für den industriellen Prozess wurde ein Druckzerstäuber Schlick 121 verwendet. In der Pilotsprühtrocknungsanlage Werco SD 20 der Forschungsstelle konnte eine mittels ACLR-Zerstäubung eingebrachte Modelllösung mit einer Viskosität von 114 mPa·s zuverlässig getrocknet werden. Dieser Wert liegt um ca. 90 mPa·s höher als bei der Verwendung des Druckzerstäubers und damit beim ca. 3,3-fachen Wert. Bei einer weiteren Steigerung der Viskosität kommt es bei Verwendung des ACLR-Zerstäubers zu Ablagerungen in der Prozessanlage, welche auf eine schlechtere Zerstäubung und dabei entstehende größere Sprühtropfen zurückgeführt werden können. Ähnliche Ablagerungen werden bei der Verringerung des Zerstäubungsgasdrucks, der

Ausgangstemperatur und der Verweilzeit im Sprühtrockner gebildet.

Für die Übertragung auf reale Prozesse wurde ein frisches Molkenproteinkonzentrat bei einer Vorwärmtemperatur von 40°C und einer Viskosität von 89 mPa·s sprühgetrocknet. Im industriellen Prozess wird eine Vorwärmtemperatur von 60°C verwendet, wodurch die Viskosität um ca. 30 % niedriger ist. Die Partikelgrößenverteilung, die Partikelmorphologie und Proteinlöslichkeit sind mit dem industriell hergestellten Referenzpulver vergleichbar, wobei die Restfeuchte und der aw-Wert aufgrund der kürzeren Trocknungsstrecke im Pilotsprühtrockner größer sind.

Die Energieeffizienz der verwendeten Zerstäubungssysteme wurde anhand des bei einer konstanten spezifischen Energiedichte erzeugbaren Sauterdurchmessers bewertet. Im zerstäubbaren Viskositätsbereich bietet die Druckzerstäubung eine um den Faktor 4,5 effizientere Zerstäubungsleistung. Der Energieaufwand der Zerstäubung ist jedoch im Vergleich zur aufzubringenden Trocknungsenergie vernachlässigbar klein. Bei Betrachtung des Gesamtenergieverbrauchs eines Sprühtrocknungsprozesses mit vorgeschalteter Aufkonzentrierung überwiegt daher der Vorteil, mittels ACLR-Zerstäubung höhere Viskositäten und damit höhere Eingangstrockenmassen verarbeiten zu können, deutlich. Jedes Prozent Trockenmassenerhöhung führt dann zu einer Energieersparnis von 1,9 %. Der Einsatz der ACLR-Zerstäubung im Sprühtrocknungsprozess ist damit energetisch sinnvoll und sollte im industriellen Maßstab in Betracht gezogen werden.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Ergebnisse sind grundsätzlich relevant für mehrere wirtschaftliche Anwendungsfelder der Sprühtrocknung. Aufgrund des genutzten Modellsystems sind die Ergebnisse des Vorhabens von besonderem Interesse für die milchverarbeitende Industrie. Die Milchindustrie ist mittelständisch strukturiert und in Deutschland durch mehr als 200 Betriebsstätten vertreten. In Deutschland werden jährlich ca. 300.000 t Magermilchpulver produziert. Dafür kommt in 99,5 % der Fälle die Sprühtrocknung zum Einsatz. Die Erzeugungszahlen von Molkepulver belaufen sich auf ca. 371.500 t; Trockenmilchprodukte

zeigen darüber hinaus eine ansteigende Produktion über die letzten Jahre.

Die Nutzung einer effizienteren und energiesparenderen Sprühtrocknung mittels Effervescent Atomization kann die wirtschaftliche Lage der Hersteller verbessern und ihnen erleichtern, sich am internationalen Markt zu behaupten. Die erzielten Ergebnisse können aber auch in anderen Industriebereichen, z. B. der chemischen und der pharmazeutischen Industrie, genutzt werden.

Pro 1 % Trockenmasseerhöhung könnte eine Energieeinsparung von 1,9 %, erzielt werden. Auf Basis eines durchschnittlichen Energieverbrauchs von 7.8 GJ/t Milch- und Molkepulver (Verbrauchswerte Niederlande 2007) sind dies ca. 0,23 GJ/t. Für Deutschland würde dies bei ca. 500.000 t produzierten Milch- und Molkepulver eine Einsparung von ca. 0,12 PJ bedeuten.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2017.
2. Wittner, M. O., Karbstein, H. P. & Gaukel, V.: Spray performance and steadiness of an effervescent atomizer and an air-core-liquid-ring atomizer for application in spray drying processes of highly concentrated feeds. *Chem. Engin. Proc., Proc. Intens.* 128, 96–102 (2018).
3. Wittner, M. O., Karbstein, H. P. & Gaukel, V.: Pneumatic atomization: Beam steering correction in laser diffraction measurements of spray droplet size distributions. *Appl. Sci.* 8 (10), 1738 (2018).

4. Wittner, M. O., Karbstein, H. P. & Gaukel, V.: Spray drying of high viscous food concentrates: Investigations on the applicability of an Air-Core-Liquid-Ring (ACLR) nozzle for liquid atomization. In: *Proc. 21st Intern. Dry. Symp.* (Cárcel, J. A., Clemente, G. & Mulet, A., eds.): Edit. Uni. Polit. València, 1221–1228 (2018).
5. Wittner, Marc O., Schuchmann, Heike P. & Gaukel, V.: Energie- und ressourcenschonende Sprühtrocknung von hochviskosen Flüssigkeiten mittels Air-Core-Liquid-Ring (ACLR) Zerstäubung. *FOOD Lab* 2, 53–57 (2017).

Weiteres Informationsmaterial:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik
Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-42497
Fax: +49 721 608-942497
E-Mail: heike.karbstein@kit.edu

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.