

Energieeffiziente Sprühtrocknung von Lebensmitteln mit Heißdampf: Charakterisierung und Optimierung limitierender Einflussfaktoren



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Lebensmittelverfahrenstechnik und Pulvertechnologie Prof. Dr. Reinhard Kohlus
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e. v. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Jan Hesse frischli Milchwerke GmbH, Rehburg-Loccum
Laufzeit:	2019 – 2021
Zuwendungssumme:	€ 201.010,--

Ausgangssituation

Im Kontext der Energieeinsparziele und der zu erwartenden Preissteigerungen für Energie ist die Reduzierung des Energiebedarfs für energieintensive Prozesse ein wichtiger Ansatz für deren wirtschaftlichen Erfolg. Die Sprühtrocknung, als eine in vielen Wirtschaftszweigen genutzte Trocknungstechnik, ist eine solche Technologie, bei der große Volumina mit hohem Energiebedarf verarbeitet werden. Etwa zwei Drittel dieser Energie ist in der Verdampfungsenthalpie des bei der Trocknung verdunstenden Wassers gebunden. Der Einsatz von überhitztem Dampf ermöglicht die „Rückgewinnung“ der Verdampfungsenthalpie durch Dampfkondensation und erzielt eine für den Prozess spezifische Produktqualität durch die Zerstäubung in Dampfatmosfera. Die Kondensation von Dampf unter atmosphärischen Bedingungen (1 bar abs.) setzt die Verdampfungsenthalpie bei mindestens 100 °C frei. Dies ist in der Regel gut verwertbare Energie, stellt aber gegenüber dem Ausgangsheizdampf mit 240 °C einen deutlichen Exergieverlust dar. Der Gesamtenergieaufwand kann jedoch mit dieser Technik gegenüber der konventionellen Sprühtrocknung substantiell, d. h. um mindestens 30 % bezogen auf den Gesamtenergiebedarf, gesenkt werden. Ziel des Forschungsvorhabens war die Optimierung des Energiebedarfes bei der Sprühtrocknung von Lebensmitteln durch Nutzung der Kondensationswärme bei der Sprühtrocknung mit überhitztem Dampf.

Neben der Energieeinsparung ergaben sich zwei produktspezifische Fragestellungen, die ebenfalls im Rahmen des Vorhabens untersucht werden sollten: Temperaturbelastung und Partikelstruktureffekte. Neben dem veränderten Temperaturverlauf des Produktes war zu untersuchen, wie sich die hohe Temperatur und Trocknungsgeschwindigkeit auf die verzögerte Krustenbildung und die „Ballooning“-Neigung (Partikelstruktur) auswirken.

Forschungsergebnis

Kritische Punkte bei der Auslegung eines Sprühturms zur Trocknung mit überhitztem Dampf für Lebensmittel ist die hohe Produkttemperatur während der Trocknung und die damit verbundene erhöhte Anhaftungsneigung der Produkte. Die grundsätzliche Anwendbarkeit für andere Produktkategorien wurde bereits in der industriellen Praxis beispielsweise durch die Henkel KG für Waschmittelpulver belegt. Lebensmittel sind hingegen meist thermisch labil und oft im amorphen Zustand. Daher wurde im Rahmen des Vorhabens die klassische Gestaltung der Sprühturmgeometrie überarbeitet, um die Verweilzeit der Partikel im Sprühturm zu reduzieren.

Auf Basis von Strömungssimulationen und Validierungsversuchen im Labormaßstab wurde der Gaseintritt mit ungestörter, gerichteter Strömung ausgeführt. Zur Minimierung der thermischen Belastung wurde die Gasverweilzeit reduziert und der Anteil der Kernströmung mit hoher axialer Strömungsgeschwindigkeit erhöht. Dazu wurde die Turmgeometrie sehr schlank mit einem einseitigen Öffnungswinkel von ca. 4° gestaltet. Um thermische Schädigungen zu verhindern, musste schließlich ein effizienter Produktaustrag mit schneller Produktkühlung realisiert werden. Dazu wurde ein kondensationsfreier Produktaustrag auf Basis einer Ring-Venturi-Düse entwickelt und umgesetzt. Sowohl bei der Verwendung einer Druckdüse als auch einer Zweistoffdüse mit Dampf als Zerstäubungsmedium erwies sich eine Düsenkühlung als notwendig.

Produktseitig konnte bestätigt werden, dass das Trocknungsverhalten weitgehend der Heißlufttrocknung entspricht. Die Partikelmorphologie kann in kugelförmige und in konkav-eingefallene Partikel unterteilt werden. Ein ausgeprägtes Aufblähen war nicht zu erkennen. Amorphe Materialien, wie Laktose oder Magermilch, zeigen eine starke Anbackungsneigung und sind in dieser Hinsicht kritisch. Die Produkttemperatur lag bei der atmosphärischen Trocknung mit überhitztem Dampf bei 100 °C im ersten Trocknungsabschnitt und stieg danach an. Diese Temperaturen führten bei Stärke, selbst bei kurzen Verweilzeiten von < 10 s, zur Entstehung von kaltquellender Stärke. Die Temperaturbelastung führte jedoch nicht zu einer starken Produktbräunung. Für eine Maltodextrin-Molkenprotein-Mischung wurde temperaturunabhängig ein ΔE (CieLab) < 4 bestimmt.

Die postulierte Hydrolyisierung von Proteinsystemen konnte für Erbsenproteinkonzentrat bestätigt werden. Der gemessene Kontaktwinkel betrug 29° bei 79° als Wert für das Referenzpulver.

Die Bandbreite der Anwendbarkeit der Technologie wurde mit der Trocknung von Lösungen von Gummi Arabicum, Kaffeeextract, Sojaproteinisolat und Erbsenproteinkonzentrat geprüft. Maltodextrin und Stärke sowie milchbasierte Systeme wurden bereits erwähnt.

Die Anwendbarkeit von erhöhtem bzw. erniedrigtem Prozessdruck konnte bestätigt werden. Die Einstellung eines subatmosphärischen Druckes erlaubt eine temperaturschonendere Trocknung, wohingegen eine überatmosphärische Trocknung mit einer höheren möglichen energetischen Effizienz der Trocknung sowie einer möglichen Nutzung der Temperaturbelastung verbunden ist. Es konnte mit erhöhtem Druck eine Verringerung der Anzahl an kompakten Partikeln mit konkaver Form festgestellt werden.

Die Vorhersage von prozesstechnischen Parametern für ein spezifisches Produkt ist dabei von Produkteigenschaften, insbesondere der Wasser-Sorptionsisotherme, abhängig. In diesem Zusammenhang wurde innerhalb dieses Projektes eine Methode zur Bestimmung von Isothermen oberhalb von 100 °C für die Bestimmung der minimal notwendigen Dampfaustrittstemperatur entwickelt.

Wirtschaftliche Bedeutung

Mit dem Energieeinsparpotential des Verfahrens sind direkt entsprechende Kosteneinsparungen verbunden. Die Energie der Verdampfung wird zur erneuten Nutzung bei einem Temperaturniveau von 100 °C zur Verfügung gestellt. Sofern eine Nutzung im Prozess, entweder zeitgleich oder über einen Warmwasserspeicher zeitversetzt, vorliegt, kann dieser Energieanteil in Form von thermischer Energie eingespart werden. Neben den Kosten der Primärenergie für die Erwärmung wird auch das entsprechende CO₂-Äquivalent eingespart und ein Beitrag zur Klimaneutralität geleistet.

Eine Nutzbarkeit für Produkte mit sehr hohen Produktionsvolumina, wie Magermilchpulver mit 415 kT/a und Stärke, konnte nicht nachgewiesen werden. Bei Milchpulver konnte keine vollständige Ausbeute erreicht werden, auch sind punktuell dunkelbraune Partikel zu erwarten. Bei Stärke kommt es, wie erwähnt, zu einer Vorverkleisterung.

Ein Einsatz im Rahmen einer ganzheitlichen Produktstromnutzung und der Trocknung von Nebenströmen ist hingegen vielversprechend; diese Produkte müssen allerdings lagerstabil und transportfähig sein.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2022.
2. Linke, T., Kirsch, R. & Kohlus, R.: A barometric approach for high temperature water desorption isotherm determination. LWT (140), 110750, DOI: [10.1016/j.lwt.2020.110750](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110750) (2021).
3. Linke, T., Happe, J. & Kohlus, R.: Laboratory-scale superheated steam spray drying of food and dairy products. Dry. Technol. 202, 1-12, DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1870127> (2021).

Weiteres Informationsmaterial

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Lebensmittelverfahrenstechnik und Pulvertechnologie
Garbenstraße 25, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23258
Fax: +49 711 459-22298
E-Mail: r.kohlus@uni-hohenheim.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

Förderhinweis

... ein Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



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 Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.