

Entwicklung eines mikrowellenunterstützten Vakuumtrocknungsverfahrens zur schonenden und effizienten Herstellung von mikrobiellen Kulturen

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Technische Universität München Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung Abt. Technologie Prof. Dr. Ulrich Kulozik/Prof. Dr. Petra Först/Sabine Ambros
Forschungsstelle II:	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik Prof. Dr. Heike P. Schuchmann/Dr. Volker Gaukel/Dr. Stefan Kraus
Industriegruppen:	VDMA - Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Vereinigung zur Förderung der Milchwissenschaftlichen Forschung an der TUM e.V., Freising
	Projektkoordinator: Prof. Dr. Detlef Goelling Organobalance GmbH, Berlin
Laufzeit:	2012 - 2014
Zuwendungssumme:	€ 496.100,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Mikrobielle Kulturen kommen besonders häufig bei der Herstellung fermentierter Lebensmittel zum Einsatz, um eine gleichbleibende Produktqualität bei möglichst geringer Fehlproduktion zu garantieren. Zunehmend werden dazu einfach handhabbare Pulver in gefriergetrockneter Form eingesetzt. Die Gefrietrocknung stellt zwar ein relativ schonendes Trocknungsverfahren für die Mikroorganismen dar, bedarf allerdings langer Trocknungszeiten und eines hohen Energieeinsatzes während der Produktion, zudem kann das Gefrieren zu einer Zellschädigung führen.

Alternativ bietet sich eine Konservierung der Kulturen mittels Niedertemperatur-Vakuumtrocknung an, die ebenfalls eine schonende Trocknungsmethode darstellt und deren Potential bereits aufgezeigt wurde (AiF 15616 N). Probleme bereiten bei dieser Methode die lan-

gen Trocknungszeiten, die einem effizienten Einsatz entgegenwirken. Gründe hierfür sind eine Limitierung des Wärmetransports in das Produkt und ein aufgrund von sehr dichten Produktstrukturen verminderter Stofftransport. Bekannt ist, dass offenporige, schaumartige Produktstrukturen zu einer Reduktion von Stoffübergangswiderständen führen, allerdings den Wärmetransport behindern. Mit Hilfe eines Mikrowelleneintrags ist eine gezielte Bildung offenerporiger Strukturen während der Trocknung möglich. Dies ist in der Literatur als sog. „Mikrowellenpuffing“ beschrieben. Bei empfindlichen Lebensmitteln zeigen solche Prozesse einen guten Erhalt der Aktivität der Kulturen sowie deutlich verbesserte Rehydrierungseigenschaften. Zudem lassen sich die bei der Kontakt-trocknung charakteristischen Wärmetransportlimitierungen durch den direkten volumetrischen Energieeintrag mittels Mikrowellen umgehen. Eigene Voruntersuchungen der Forschungsstellen zur Mikrowellen-Vakuumtrock-

nung haben gezeigt, dass durch die Einbringung von Mikrowellenenergie die Trocknungsgeschwindigkeit erhöht werden kann, diese aber auch von den sich ausbildenden Produktstrukturen abhängt.

Aufgrund der genannten Vorteile bietet es sich an, zur Trocknung von sensitiven mikrobiellen Kulturen die Niedertemperatur-Vakuumtrocknung mit der Mikrowellentrocknung zu kombinieren, um trotz niedriger Temperaturen eine schnelle und insgesamt schonende Trocknung zu ermöglichen. Die genauen Zusammenhänge zwischen Prozessparametern, Produktstrukturen, den daraus resultierenden Trocknungsgeschwindigkeiten und der Qualität von Kulturenkonzentraten wurden bisher noch nicht untersucht.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, einen für die Konservierung von mikrobiellen Kulturen geeigneten Mikrowellen-Vakuumtrocknungsprozess zu entwickeln und den Einfluss der Prozessbedingungen auf die Trocknungscharakteristika und die Qualität der getrockneten Kulturen aufzuklären.

Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Grundtrocknungsprozess entwickelt, bei dem Mikrowellenenergie nach einem anfangs kontinuierlichen Energieeintrag ab Erreichen einer bestimmten Produkttemperatur im gepulsten Modus eingetragen wurde, um die mikrobiellen Kulturen vor einer Überhitzung zu schützen und den Mikrowellenenergieaufwand insgesamt niedrig zu halten.

Im Anschluss wurde der Einfluss der Prozessparameter Mikrowellenleistung, maximale Produkttemperatur und Kammerdruck auf die Prozesscharakteristika und die Produktqualität hin untersucht. Die maximale Produkttemperatur war hierbei der Haupteinflussfaktor auf die Überlebensrate und Aktivität der Kulturen. Bezüglich des Energiebedarfs konnte festgestellt werden, dass das Optimum bei höheren Mikrowelleneinträgen um 3 W/g liegt. Ein Aufschäumen im Mikrowellentrockner zur Trocknungszeitverkürzung konnte nur mit Zugabe von schaumbildenden Proteinen und schaumstabilisierenden Zuckern erreicht werden. Aufgrund der verkürzten Trocknungszeit im Vergleich zur unaufgeschäumten Matrix und des Zusatzes von schützenden Zuckern konnten hier Mem-

branintegritäten von bis zu 75 % erreicht werden.

In Versuchen zur Inaktivierung stellte sich heraus, dass im untersuchten Bereich der Betrag der eingebrachten Mikrowellenenergie keine Auswirkung auf die Inaktivierung hat. Bei den Mechanismen der Inaktivierung der mikrobiellen Kulturen während der Mikrowellentrocknung scheint es sich daher hauptsächlich um Dehydrierungsschäden zu handeln. Vor diesen können Mikroorganismen am besten durch eine Schutzstoffzugabe bewahrt werden. Bei Untersuchungen dazu stellte sich heraus, dass sich kurzkettige Zucker, wie Sorbitol, Maltose und Trehalose, für die Verbesserung des Überlebens von *Lactobacillus paracasei* während der Mikrowellen-Vakuumtrocknung nicht eignen. Langkettige, aber verzweigte Zucker, wie Maltodextrin (DE6), wiesen hingegen einen sehr guten Schutzeffekt auf.

Zusätzlich wurde untersucht, inwiefern sich die konventionelle Gefriertrocknung mittels Mikrowelleneintrag beschleunigen lässt und welche Produktqualitäten daraus resultieren. Dabei zeigten sich niedrige Kammerdrücke unterhalb von 1 mbar und ein geringer Mikrowelleneintrag als vorteilhaft für eine hohe Produktqualität.

Im Vergleich der beiden Mikrowellentrocknungen mit der konventionellen Gefrier- und Vakuumtrocknung und der Sprühtrocknung stellte sich heraus, dass in Bezug auf die Struktur, die Rehydrierungseigenschaften und die Aktivität der Zellen die Mikrowellen-Vakuumtrocknung vergleichbare Ergebnisse zur Vakuumtrocknung zeigt und die Mikrowellen-Gefriertrocknung mit der Gefriertrocknung vergleichbar ist. Auch die Lagerstabilität zeigte ein sehr ähnliches Verhalten innerhalb der beiden Vakuum- bzw. Gefriertrocknungsverfahren. Dies wurde auf die Trocknungstemperatur, die Art des Wasserentzugs und die daraus resultierende Struktur des Produktes zurückgeführt. Die sehr schonenden Gefriertrocknungen führen zu sehr hohen Überlebensraten nach der Trocknung. Die stark poröse Struktur nach Gefrier- und Mikrowellen-Gefriertrocknung resultiert allerdings in einer relativ geringen Lagerstabilität, möglicherweise aufgrund einer hohen Feuchte- und Sauerstoffdiffusion im Produkt. Vakuum- und mikrowellen-vakuumgetrocknete Kulturen wiesen im Vergleich dazu ein geringeres Überleben nach der Trocknung auf, allerdings war die Lagerstabilität deutlich höher. Dies kann mit der dichteren Produktstruktur begründet werden, die we-

niger Diffusion zulässt. Die Unterschiede in der Lagerstabilität können durch geeignete Schutzstoffe verringert werden.

In abschließenden Versuchen hat sich gezeigt, dass ein Scale-up der beiden Trocknungsprozesse grundsätzlich möglich ist. Hierfür wurden bei Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses Versuche in Trommeln bzw. auf einem Drehteller durchgeführt. Für sehr große Produktionschargen könnte eine Bandtrocknung für eine kontinuierliche mikrowellenunterstützte Vakuum- oder Gefriertrocknung von mikrobiellen Kulturen verwendet werden. Dies könnte den Prozess noch weiter beschleunigen. Der Vergleich der Verfahren ergab zudem, dass durch Applikation von Mikrowellenenergie die Trocknungszeiten bei der Gefriertrocknung um bis ca. 80 % verkürzt werden können, die der Vakuumtrocknung auf ca. 90 %.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Forschungsergebnisse sind für alle Unternehmen der Lebensmittelindustrie nutzbar, in deren Produktion Starterkulturen und probiotische Kulturen genutzt werden, wie beispielsweise der Milchindustrie und der Fleischwaren- und der Backmittelindustrie, aber auch in der Biotechnologie sowie seitens der Hersteller der Kulturen. Die durch den Einsatz von Starterkulturen hergestellten und immer öfter mit Probiotika versetzten fermentierten Milchprodukte bringen für die Milchwirtschaft (Jahresumsatz > 20 Mrd. €) eine deutlich höhere Wertschöpfung als der bloße Verkauf von Milch. So steigt beispielsweise der Umsatz pro Kilo verarbeiteter Milch von ca. 0,5 €/kg bei Trinkmilch auf ungefähr 1,7 €/kg für Käse. Die Produktionsmengen liegen momentan bei ca. 1,64 Mio. t Joghurt, 0,46 Mio. t Sauermilchprodukte und 2,27 Mio. t Käse. Zur Herstellung fermentierter Milchprodukte werden jährlich schätzungsweise mehrere 100 t Starterkulturen eingesetzt, die hauptsächlich in getrockneter Form zum Einsatz kommen. Während der Trocknung verlieren die Kulturen bis zu 90 % Wasser. Pro Kilo entzogenem Wasser werden bei der Gefriertrocknung 2 kWh benötigt, bei der Mikrowellen-Vakuumtrocknung nur 1,5 kWh.

Die deutsche Milchindustrie ist überwiegend mittelständisch strukturiert. Innovative Produkte, z.B. Joghurt drinks mit Probiotika, die hohe Anforderungen an die Kulturen stellen, ver-

zeichnen in den letzten Jahren Zuwachsraten von mehr als 20 %.

Auch die deutsche Fleischwarenindustrie ist mit ca. 400 KMU überwiegend mittelständisch strukturiert. Der Jahresumsatz der Branche liegt bei ca. 15 Mrd. € mit Wachstumsraten im zweistelligen Bereich. Eine Vielzahl hochwertiger fermentierter Fleischwaren wird unter Verwendung von Starterkulturen hergestellt.

Bei den Herstellern von Starterkulturen- und probiotischen Kulturen handelt es sich zum Großteil um hochspezialisierte Firmen aus dem Bereich der Weißen Biotechnologie. In Deutschland sind ca. 400 Firmen auf dem Gebiet der Biotechnologie tätig, von denen über 80 % weniger als 50 Mitarbeiter beschäftigen.

Publikationen (Auswahl):

1. Schlussbericht 2014.
2. Ambros, S., Bauer, S., Shylkina, L., Foerst, P. und Kulozik, U.: Microwave-vacuum drying of lactic acid bacteria: Influence of process parameters on survival and acidification activity. *Food Bioproc. Techn.* 9 (11), 1901-1911 (2016).
3. Ambros, S.: Das Potenzial des Mikrowellen-Gefriertrocknungsverfahrens zur Konservierung von mikrobiellen Kulturen. *Jahresb. Milchwiss. Forsch. ZIEL*, ISBN 978-3-939182-75-7, 68-70 (2015).
4. Ambros, S.: Mikrowellen-Vakuumtrocknung von Starterkulturen und Probiotika. *Jahresb. Milchwiss. Forsch. ZIEL*, ISBN 978-39391826347, 79-82 (2014).
5. Ambros, S., Foerst, P. und Kulozik, U.: Temperature controlled microwave vacuum drying as innovative drying technique: Influence of process and product parameters on the product quality of probiotics. 6th Nord. Dry. Conf., Kopenhagen, 5.-7. Juni 2013, Proc. (2013).
6. Ambros, S., Dombrowski, J. und Kulozik, U.: Application of protein-stabilized foam structures as protective carrier systems during drying of probiotics. Proc., 4th Intern. Conf. Biofoams, 27.-29. August 2013, 221-224 (2013).
7. Ambros, S. und Kulozik, U.: The potential of the microwave-vacuum technique in drying of probiotic and starter cultures. 18th Symp. Intern. Dry. Symp. (IDS), Xiamen/Fujian, China, Proc. (CD) (2012).

Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München
Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittel-
forschung, Abt. Technologie
Weihenstephaner Berg 1, 85350 Freising
Tel.: +49 8161 71-3535
Fax: +49 8161 71-4384
E-Mail: ulrich.kulozik@wzw.tum.de

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik
Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-42497
Fax: +49 721 608-942497
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



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 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.