

Schwingungen während der Milchfermentation – Mechanismus und Potenziale zur Steuerung der Mikrogelpartikelgröße und -anzahl

- Anschluss zu AiF 17535 N -

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	<p>Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Milchwissenschaft und -technologie Prof. Dr. Dr. Jörg Hinrichs/M.Sc. Adrian Körzendörfer</p> <p>Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik Prof. Dr. Eberhard Schlücker/Dr. Philipp Temme</p>
Industriegruppe(n):	<p>Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e.V., Frankfurt</p>
Projektkoordinator:	<p>Dr. José Toro Sierra Kraft Foods R & D Inc., Zweigniederlassung München Unterhaching</p>
Laufzeit:	2017 - 2020
Zuwendungssumme:	<p>€ 449.990,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)</p>

Ausgangssituation:

In fermentierten Milchprodukten bilden sich in Abhängigkeit von den technologischen Parametern, z. B. der Formulierung, der Erhitzungs- und der Kühltemperatur, zum Teil große und feste Partikel aus. Solche Partikel sind in Joghurt- und Frischkäseprodukten, von denen Konsumenten ein cremiges Mundgefühl erwarten, in der Regel unerwünscht. Die Partikel verursachen ein grießiges Mundgefühl oder werden visuell durch eine raue Oberflächentextur wahrgenommen. Partikel sind in fermentierten Produkten allerdings nicht grundsätzlich negativ, sondern können auch produktprägend sein. Durch ein besseres Verständnis der Partikelbildung und deren gezielte Steuerung ergeben sich somit auch Potentiale für Produktinnovationen.

In einem vorangegangenen IGF-Vorhaben (AiF 17535 N) wurde festgestellt, dass in der industriellen Produktion Vibrationen über Maschinen und Apparate in Fermentations-tanks eingekoppelt werden, die für die Partikelbildung mitverantwortlich sind. Als besonders kritisch wurde hierbei der pH-Bereich von 5,4–5,1 während der Fermentation identifiziert, bei dem sich sowohl durch Ultraschall als auch durch niederfrequente Schwingungen millimetergroße Partikel bildeten. Durch Schwingungsmessungen vor Ort in zwei Molkereien wurde zudem gezeigt, dass Pumpen eine Hauptquelle für Schwingungen darstellen, die sich über Rohrleitungen bis zu den Fermentations-tanks ausbreiten.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, aufbauend auf den Ergebnissen des IGF-Vor-

habens AiF 17535 N, die Mechanismen der schwingungsinduzierten Partikelbildung näher zu identifizieren. Zum einen sollten die Randbedingungen für deren gezielte Erzeugung und zum anderen die notwendige Dämpfung zu deren Vermeidung ermittelt werden. Es wurde erwartet, dass die Partikelbildung in großen Fermentern lokal vermehrt dort auftritt, wo Schwingungen durch Anbauten, z. B. Rohrleitungen zum Befüllen oder Reinigen, eingekoppelt werden. Durch ein besseres Verständnis der Effekte von Frequenz- und Schwingungsenergie auf die initiale Phase der Gelbildung während der Fermentation könnte die Anzahl und Größe von Partikeln im Endprodukt gesteuert werden. Einerseits, indem durch adaptive Inline-Dämpfer zwischen Erregern und Fermentationstanks die Schwingungseinträge minimiert oder verhindert werden, andererseits, indem aktiv Schwingungen eingekoppelt werden, um gezielt Inhomogenitäten im sich bildenden Gel zu erzeugen. Letzteres kann dazu genutzt werden, um Gele aus vorkonzentrierter Milch so zu schwächen, dass deren Prozessierbarkeit (Pumpen, Zerkleinern) verbessert wird.

Forschungsergebnis:

In zwei Produktionsbetrieben wurden Joghurtproben direkt aus den Fermentationstanks entnommen und deren Struktur analysiert. Es zeigte sich, dass die Produkte häufig partikelhaltig sind, vereinzelt wurden aber auch glatte Strukturen beobachtet. Aufgrund der mechanischen Nachbehandlung, die der Fermentation in der Regel nachgeschaltet ist, wiesen die Endprodukte keine Partikel mehr auf, jedoch ging dies auch mit einem Viskositätsverlust von 14–32 % einher. Parallel dazu wurden an zwei unterschiedlichen Joghurtproduktionslinien Schwingungsmessungen durchgeführt. Diese ergaben, dass Pumpen zusammen mit Reinigungs- und Sterilisationsvorgängen die relevantesten Quellen für Vibrationen darstellen, die zu sehr unterschiedlichen Anregungsniveaus am Fermentationstank führen können. Entscheidende Faktoren sind das Anlagendesign, die verwendeten Maschinen und deren Betriebszustand sowie Details in der Konstruktion. Daher müssen die Schwingungszustände jeder Anlage individuell untersucht werden, um das Poten-

zial für vibrationsinduzierte Texturdefekte abzuschätzen.

Daraufhin wurde ein Versuchsaufbau konstruiert, der es ermöglicht, den Einfluss von Vibrationen während der säureinduzierten Milchgelbildung systematisch zu untersuchen. Dieser bestand aus einem zylindrischen, doppelwandigen Tank mit modifiziertem Boden, der mittels Schwingungserreger definiert angeregt wurde und somit eine lokale, direkte Anregung der Flüssigkeitssäule ermöglichte. Die Partikelanzahl des Joghurts (3,6 % Protein, < 0,1 % Fett), der während der Fermentation mit einer Frequenz von 30 Hz angeregt wurde, war primär von der eingestellten Amplitude (0–10 m/s²) abhängig. Allerdings war die Partikelbildung im oberen und unteren Bereich des Fermenters verstärkt. Durch Strömungsvisualisierung mittels Particle Image Velocimetry (PIV) wurde festgestellt, dass die sich ausbreitende Schwingung das Medium in vertikale Oszillation versetzt. Zudem kam es an der Grenzfläche zu einer vermehrten Fluidbewegung, wodurch die verstärkte Partikelbildung im Randbereich erklärt werden konnte.

Anhand der großen Datenmengen aus den Fermentationsexperimenten konnten bzgl. der vibrationsinduzierten Partikelbildung folgende Schlüsse gezogen werden: Vibrationen stören die Gelbildung sowohl kurz vor als auch nach dem Gelpunkt (pH ~5,3). Einerseits, indem eine verstärkte Aggregation der Proteine erfolgt (pH 5,6–5,3), und andererseits, indem die auftretenden mechanischen Spannungen nicht-kovalente Wechselwirkungen feiner Netzwerkstränge aufbrechen (pH 5,3–5,1), was wiederum zu mehr Umstrukturierungen im Gel führt. Somit entsteht ein gröberes Netzwerk, in dem größere Proteincluster eingebettet sind, wodurch das Milchgel Synärese sowie eine höhere Festigkeit aufweist. Das gerührte Produkt hat anschließend eine geringere Wasserhaltekapazität und Scherviskosität.

Um die durch Maschinen erzeugten Vibrationen und deren Ausbreitung in Produktionsanlagen zu dämpfen, wurde ein Inline-Pulsationsdämpfer konzipiert. Dieser besteht aus einem Druckbehälter mit abnehmbarer Deckelplatte, in den über hygienegerechte Schlaucharmaturen mit Milchrohrverschraubung ein flexibler Schlauch eingesetzt wer-

den kann. Es wurden verschiedene Schläuche, bestehend aus Silikon, EPDM und PVC getestet. Der Dämpfer und seine Wirkung wurden in einem Prüfstand erprobt, in dem eine Sinuspumpe den Erreger der Druckpulsation darstellte. Durch den Dämpfer wurde mit allen Schläuchen eine Dämpfung der Druckamplituden bewirkt, insbesondere bei niedrigen Betriebsdrücken. Die Verwendung eines Silikonschlauchs zeigte insgesamt die besten Dämpfungseffekte (Restpulsation < 15 %).

Abschließend wurde untersucht, ob sich Schwingungen in Form von Ultraschall (US) gezielt zur Strukturmodifikation von proteinreichen, fermentierten Milchprodukten einsetzen lassen. Vorkonzentrierte Magermilch (10 % Protein) wurde während der Fermentation (pH 5,8–5,1) mit Ultraschall behandelt, wodurch die Festigkeit des Milchgels um 80 % verringert wurde. Der resultierende Rührjoghurt war glatter und wies eine um 40 % geringere scheinbare Viskosität auf. In einer weiteren Versuchsreihe wurde Ultraschall zur Nachbehandlung von proteinreichem Joghurt eingesetzt. Es zeigt sich, dass der Ultraschall grundlegende Veränderungen der Struktur verursacht, u. a. wurde die Produktviskosität deutlich reduziert und eine homogenere Textur erzeugt. Ultraschall bietet somit großes Potenzial für die Nachbehandlung konzentrierter Mikrogelsuspensionen.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Milchindustrie gehört mit einem Jahresumsatz von 27 Mrd. € und 38.400 Beschäftigten zu den wichtigsten Teilbranchen der deutschen Lebensmittelindustrie. Der Pro-Kopf-Verbrauch an fermentierten Milchprodukten, wie Joghurt und Frischkäse, lag 2019 in Deutschland bei 15,1 kg bzw. 19,5 kg. Die Unternehmen der Milchindustrie, insbesondere die kleineren Betriebe, stehen national und international in einem harten Wettbewerb und sind zum Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit auf technische Innovationen angewiesen.

Durch Reduzierung der schwingungsinduzierten Partikelbildung während der Fermentation könnten mechanische Nachbehandlungen reduziert oder auf diese ganz verzichtet werden, so dass vergleichbare Textur-

eigenschaften mit 0,1 bis 0,3 % weniger Protein erreicht werden könnten. Zudem könnten Produktverluste in der Quarkproduktion in Folge des notwendigen Vorfiltrierens der fermentierten Milch minimiert werden.

Herstellern des Maschinen- und Anlagenbaus eröffnen die Ergebnisse Potenziale für hygienegerechte, schwingungsdämpfende Bauteile und Prozesslinien für die Lebensmittelproduktion. Durch ein besseres Verständnis der Partikelbildung könnten zudem mikrogelpartikelhaltige Texturen für fermentierte Milchprodukte gezielt mit Schwingungen erzeugt oder imitiert werden. Ebenso könnte der gezielte Schwingungseintrag technologisch genutzt werden, um einfacher proteinangereicherte, fermentierte Milchprodukte als Sportlerdrinks für ältere Konsumentengruppen (50+) und für besondere Lebenssituationen zu entwickeln und zu produzieren. Derartige High-Protein-Low-Fat-Produkte zeigen eine steigende Marktrelevanz (2015: +53,9 %).

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2020.
2. Körzendörfer, A., Schäfer, J., Hinrichs, J. & Nöbel, S.: Power ultrasound as a tool to improve the processability of protein enriched fermented milk gels for Greek yogurt manufacture. *J. Dair. Sci.* 102, 7826–7837 (2019).
3. Körzendörfer, A. & Hinrichs, J.: Manufacture of high-protein yogurt without generating acid whey – Impact of the final pH and the application of power ultrasound on texture properties. *Intern. Dair. J.* 99, 104541 (2019).
4. Körzendörfer, A., Temme, P., Schlücker, E., Hinrichs & J., Nöbel, S.: Vibration-induced particle formation during yogurt fermentation – Effect of frequency and amplitude. *J. Dair. Sci.* 101, 3866–3877 (2018).
5. Körzendörfer, A., Nöbel & S., Hinrichs, J.: Particle formation induced by sonication during yogurt fermentation – Impact of exopolysaccharide-producing starter cultures on physical properties. *Food Res. Intern.* 97, 170–177 (2017).

Weiteres Informationsmaterial:

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und
Biotechnologie
FG Milchwissenschaft und -technologie
Garbenstraße 21, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23792
Fax: +49 711 459-23617
E-Mail: jh-lth@uni-hohenheim.de

Universität Erlangen-Nürnberg
Department Chemie- und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Prozessmaschinen und
Anlagentechnik
Cauerstr. 4, 91058 Erlangen
Tel.: +49 9131 85-29450
Fax: +49 9131 85-29449
E-Mail: eberhard.schluecker@fau.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.