

Charakterisierung der Struktur und Dynamik von proteinstabilisierten Schäumen

(Teilprojekt 3 im DFG/AiF-Cluster 5)

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Technische Universität München Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung Abt. Technologie, Freising-Weihenstephan Prof. Dr. Ulrich Kulozik/Dipl.-Ing. Jannika Dombrowski
Forschungsstelle II:	Fraunhofer-Institut für integrierte Schaltungen (IIS) Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT), Fürth FG Lebensmittel tierischer Herkunft Prof. Dr. Randolph Hanke/Dr. Norman Uhlmann/ Dipl.-Phys. Frank Nachtrab/Anja Eggert
Industriegruppen:	Milchindustrie-Verband e.V., Berlin Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. (BDSI), Bonn Vereinigung zur Förderung der Milchwissenschaftlichen Forschung an der Technischen Universität München e. V., Freising-Weihenstephan
	Projektkoordinator: Dr. Matthias Eisner FrieslandCampina Germany GmbH, Heilbronn
Laufzeit:	2011 – 2014
Zuwendungssumme:	€ 409.900,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

In der Lebensmittelproduktion spielen Schäume, u. a. im Bereich der milchbasierten Produkte, eine bedeutende Rolle. Das Einbringen von Luft in Lebensmittel gehört zu den wachstumsstärksten Grundoperationen in der Lebensmittelindustrie. Die Charakterisierung der Schaumbildungseigenschaften von Milch in Abhängigkeit beeinflussender Parameter ist dabei sowohl von hohem wissenschaftlichen als auch von wirtschaftlichem Interesse: Zum einen in Hinblick auf die Entwicklung moderner Produkte aus Kaffee und Milch, beispielsweise Cappuccino und Latte macchiato, zum anderen aber auch in Bezug auf die Schaumbildungseigenschaften der Proteine aus Milcherzeugnissen, die als Zutat in den verschiedensten Lebensmittelsystemen eingesetzt werden.

Aufgrund der molekularen bzw. strukturellen

Komplexität von Proteinen und Schäumen ist die Verbindung zwischen den physikochemischen Eigenschaften der Proteine und den resultierenden Schaumstrukturen allerdings noch nicht umfassend aufgeklärt. Es besteht eine große Nachfrage nach quantitativen Methoden, wie z. B. der 3D-Mikro-Computertomographie (3D- μ CT), mit denen die Mikrostruktur geschäumter Lebensmittel präzise charakterisiert und daraus resultierend fundierte Struktur-Funktions-Beziehungen abgeleitet werden können. Der Bereich der proteinbasierten Schaumbildung und -stabilisierung ist, z. B. auch in Bezug auf die kompetitive Adsorption von Proteinen, noch nicht ausreichend aufgeklärt.

Zentrale Frage für die Praxis ist die Adsorptions- und Strukturbildungsdynamik an der Grenzfläche einerseits in Abhängigkeit von den molekularen bzw. strukturellen Eigenschaften der grenzflächenaktiven Stoffe, andererseits in Abhängigkeit

von miteinander konkurrierenden Vorgängen, wie der Geschwindigkeit der Grenzflächenbesetzung und der Blasenkoaleszenz. Röntgentechnische Labormethoden für eine zerstörungsfreie Analyse von Schäumen sind bisher noch zu langsam, um nicht-erstarnte Schäume sowie dynamische Schaumbildungsprozesse charakterisieren zu können. Zwar können moderne CT-Geräte heute bereits sehr hohe Auflösungen bis in einen Bereich von $< 1 \mu\text{m}$ erzielen, die Messzeiten liegen jedoch bei bis zu mehreren Stunden. Ebenso erfordern auswertbare Volumendaten eine gute Kontrastbildgebung; beide Kriterien stehen allerdings im Widerspruch zueinander.

Ziel des Forschungsvorhabens, Teilprojekt (TP) 3 des DFG/AiF-Clustervorhabens [„Proteinschäume in der Lebensmittelproduktion: Mechanismenaufklärung, Modellierung und Simulation“](#), war die umfassende Charakterisierung des Verhaltens und der Dynamik strukturell und größenbezogen unterschiedlicher Milchproteinkomponenten an der Luft/Wasser-Grenzfläche am Beispiel von Caseinomakropeptid (inklusive αCMP und gCMP), β -Casein, β -Lactoglobulin, Molkenproteinisolat sowie Natriumcaseinat und Caseinmicellen.

Forschungsergebnis:

Zur schonenden und reproduzierbaren Schaumherstellung sowie zerstörungsfreien Charakterisierung wurde eine doppelwandige Glassäule mit integrierter Fritte entwickelt. Mithilfe dieser Methode konnten verschiedene Aufschäum- (Schäumbarkeit und Schaumkapazität) und Zerfallparameter (Drainage, Schaumstabilität und Schaumfestigkeit) zeitlich aufgelöst bestimmt werden. Im Laufe des Projekts wurde die μCT so angepasst, dass die Schäume auch in 3D zeitlich aufgelöst untersucht werden konnten. Dafür wurde die CT auf 15 s Messzeit beschleunigt und die Schaumsäule in die Anlage integriert. Durch ergänzende Messungen an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble war eine weitere Reduktion der Messzeit auf 1 s möglich, das erlaubte die gezielte Untersuchung der Dynamik im Schaum (Disproportionierung, Koaleszenz und Drainage) bis hin zur Verfolgung einzelner Blasen über die Zeit.

Die Schäumungseigenschaften der ausgewählten Milchproteine wurden in Abhängigkeit der Proteinkonzentration sowie verschiedenen Milieubedingungen (pH-Wert, Ionenstärke und Temperatur) untersucht. Die Proteine wurden hierfür sowohl einzeln als auch in Form definierter Mi-

schungen eingesetzt. Außerdem wurde das Verhalten der Proteine in Lösung u. a. in Bezug auf die Viskosität, Partikelgrößenverteilung, Oberflächenspannung sowie -hydrophobizität charakterisiert. Daraus resultierend lieferten die Untersuchungen einen sehr umfassenden Datensatz, der neue Schlussfolgerungen zu den Struktur-Funktions-Beziehungen erlaubt sowie auch als substantielle Grundlage für die Modellierung und Simulation in den Teilprojekten 5 und 6 diente.

Zusammenfassend betrachtet liefern die generierten Ergebnisse damit einen wesentlichen Beitrag zum tieferen Verständnis von Bildung und Zerfall milchproteinestabilsierter Schäume.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Forschungsergebnisse sind für zahlreiche Sparten der Lebensmittelindustrie, insbesondere für die Milch- und die Süßwarenindustrie, von Interesse. Der aus rund 100 Unternehmen bestehende deutsche Milchverarbeitungssektor beschäftigt ca. 38.000 Mitarbeiter. Mit 28,4 Mrd. € in 2013 erzielte er knapp 16 % des Gesamtumsatzes der deutschen Lebensmittelindustrie. Die sogenannte Weiße Linie (Joghurt, Desserts, Quark etc.) ist mit 5,7 Mrd. € der umsatzstärkste Bereich. Das darunter angesiedelte Sortiment geschäumter Produkte ist durch wachstumsstarke Marken und eine hohe Anzahl von Produktneuerscheinungen gekennzeichnet. Insbesondere auf Genuss ausgerichtete Premiumprodukte werden vom Verbraucher gut angenommen. Da geschäumte Produkte hinsichtlich der Genussparameter Cremigkeit und Leichtigkeit hoch bewertet werden, ist mit einem steigenden Anteil solcher Systeme auch im „Low fat“-Bereich zu rechnen.

In Deutschland wurden im Jahr 2013 etwa 3,9 Mio. Tonnen Süßwaren im Wert von 12,6 Mrd. € produziert, davon wurden Waren im Wert von ca. 4,2 Mrd. € exportiert (201 Betriebe mit insgesamt ca. 50.000 Beschäftigten). Die Süßwarenbranche ist von vielen kleinen und mittleren Betrieben (KMU) geprägt. Eine bedeutende Rolle spielen hierbei sowohl mengen- als auch wertmäßig die Produktion von Speiseeis (361.956 t), gefüllten Schokoladenerzeugnissen (304.391 t), Pralinen (135.147 t) und Zuckerwaren (536.849 t). In diesen Kategorien finden sich zahlreiche schaumbasierte Produkte, wie Marshmallows, Schaumwaffeln, Schaumküsse, mit Mousse gefüllte Pralinen etc.

Von den Ergebnissen des Clusters werden die Hersteller geschäumter Produkte und ihre Zulieferer (z. B. Hersteller von technofunktionellen Proteinprodukten und Zusatzstoffen) profitieren. Des Weiteren sind die Ergebnisse auch für den Wirtschaftszweig Maschinenbau (Anlagenbau, Membranhersteller) von Interesse.

Als weitere, wichtige Spin-Offs für KMU ist der Bereich der Prozessbeobachtung und -führung anzusehen. So etablieren sich gegenwärtig im Markt neuartige Entwicklungen auf dem Gebiet der Qualitätssicherung schaumartiger Lebensmittel, welche letztendlich in modernen Diagnosesystemen etwa für das Grenzflächenspannungsverhalten oder die Rheologie resultieren.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2014.
2. Dombrowski, J. & Kulozik, U.: Einfluss des strukturellen Zustands des Caseins sowie des pH-Werts auf dessen Schaumstabilität. Jahresbericht Milchwiss. Forsch. ZIEL, 58, ISBN 978-3-939182-89-4 (2016).
3. Dittmann, J., Eggert, A., Lambertus, M., Dombrowski, J., Rack, A. & Zabler, S.: Finding robust descriptive features for the characterization of the coarsening dynamics of three dimensional whey protein foams. J. Coll. Interf. Sci., 467, 148-157 (2016).
4. Dombrowski, J., Dechau, J. & Kulozik, U.: Multiscale approach to characterize bulk, surface and foaming properties of casein micelles as a function of alkalisation. Food Hydrocoll. 57. 92-102 (2016).
5. Dombrowski, J., Johler, F., Warncke, M. & Kulozik, U.: Correlation between bulk characteristics of aggregated β -lactoglobulin and its surface and foaming properties. Food Hydrocoll. 61, 318-328 (2016).
6. Dombrowski, J., Mattejat, C. & Kulozik, U.: Correlation between surface activity and foaming properties of individual milk proteins in dependence of solvent composition. Intern. Dair. J. 61, 166-175 (2016).
7. Dombrowski, J., Johler, F. & Kulozik, U.: Einfluss von hitzeinduzierten Strukturveränderungen auf das Schäumungsverhalten von β -Lactoglobulin. Jahresbericht Milchwiss. Forsch. ZIEL, 57, ISBN 978-3-939182-75-7 (2015).
8. Eggert, A., Supper, M., Nachtrab, F., Dombrowski, J., Rack, A. & Zabler, S.: Non-destructive imaging analysis of unstable foam structures using 3D X-ray computed tomography. Proc. TechConn. Briefs 2015, Proc. 1156, 559-562 (2015).
9. [Proteinschäume in der Lebensmittelproduktion: Mechanismenaufklärung, Modellierung und Simulation – Zentrale Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes. \(Hrsg. FEI\). ISBN 978-3-925032-53-0 \(2014\).](#)
10. Dombrowski, J. & Kulozik, U.: Einfluss des pH-Werts auf die Struktur von mizellarem Kasein und dessen schaumstabilisierende Eigenschaften. Jahresbericht Milchwiss. Forsch. ZIEL, 56, ISBN 978-939182-43-6. (2014).
11. Eggert, A., Müller, M., Nachtrab, F., Dombrowski, J., Rack, A. & Zabler, S.: High-speed in-situ tomography of liquid protein foams. Intern. J. Mat. Res. 105, doi: 10.3139/146.111057 (2014).
12. Dombrowski, J. & Kulozik, U.: Einfluss des pH-Werts und des Ionenmilieus auf die Grenzflächenaktivität und die Schäumungseigenschaften von β -Lactoglobulin. Jahresbericht Milchwiss. Forsch. ZIEL, ISBN 978-3-939182-52-8, 55, 88-90 (2013).
13. Dombrowski, J., Eggert, A. & Kulozik, U.: From microscale to macroscale: understanding the role of single proteins in complex food systems. Proc. 4th Intern. Conf. Biofoams, 218-220 (2013).
14. Eggert, A. & Kowalli, C.: Zum Anbeißen. Inspect 3, 60-61 (2013).
15. Dombrowski, J. & Kulozik, U.: Einfluss von Proteinkonzentration und pH-Wert auf das Schäumungsverhalten von β -Lactoglobulin. Jahresbericht Milchwiss. Forsch. ZIEL, ISBN 978-939182-43-6, 54, 123-126 (2012).
16. Eggert, A., Nachtrab, F. & Salamon, M.: Characterization of food foams using fast laboratory micro CT. Proc. Cell. Mat. (Cellmat), G 46 (2012).
17. Engelhardt, K., Rumpel, A., Walter, J., Dombrowski, J., Kulozik, U., Braunschweig, B. & Peukert, W.: Protein Adsorption at the Electrified Air-Water Interface: Implications on Foam Stability. Langmuir 28 (20), 7780-7787 (2012).
18. Zabler, S., Fella, C., Dietrich, A., Nachtrab, F., Salamon, M., Voland, V., Ebersperger, T., Oeckl, S., Hanke, R. & Uhlmann, N.: High-resolution and high-speed CT in industry and research. Proc. SPIE, 8506, doi: 10.1117/12.964588 (2012).
19. Dombrowski, J. & Kulozik, U.: Innovative membrane based food aeration: foam structures as influenced by preparation process.

Proc. 3rd Intern. Conf. Biofoams, 199-205
(2011).

20. Nachtrab, F., Dietrich, A., Salamon M.,
Uhlmann, N. & Hanke, R.: Charakterisierung
von Lebensmittelschäumen mittels Compu-
tertomographie. (Posterabstract) Tagungs-
band FEI-Jahrestagung 2011, 129-130
(2011).

Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München
Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittel-
forschung, Abt. Technologie
Weihenstephaner Berg 1
85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: +49 8161 71-4205
Fax: +49 8161 71-4384
E-Mail: ulrich.kulozik@wzw.tum.de

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS)
Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT)
Dr. Mack-Straße 81, 90762 Fürth
Tel.: +49 911 58061-7510
Fax: +49 911 58061-7599
E-Mail: Randolf.Hanke@iis.fraunhofer.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.