



Abschlussbericht zum Forschungsprojekt
**„Beeinflussung der Aggregation kolloidaler Systeme
durch Schalleinkopplung und Vibration“ (2933)**
gefördert durch die Max-Buchner-Forschungstiftung der DECHEMA

*Stefan Nöbel, Nina-Luise Ross & Jörg Hinrichs
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie,
FG Lebensmittel tierischer Herkunft, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland*

Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

In fermentierten Milchprodukten wie Joghurt und Frischkäse wirken sich verschiedene technologische Parameter auf die Bildung z. T. großer und fester kolloidaler Partikel aus. Diese Partikel sind meist unerwünscht, da sie sensorisch für eine grießige Textur sorgen oder visuell durch eine raue Oberflächentextur wahrgenommen werden (Aichinger et al., 2003). Inzwischen wurden die Ursachen für das Entstehen solcher Partikel überwiegend erklärt, und es wurden Verfahren zur Entfernung bzw. Zerkleinerung solcher Partikel entwickelt (Hahn et al., 2012). Dennoch wird in Unternehmen bei sonst konstanten Prozessbedingungen in manchen Chargen eine vermehrte Partikelbildung festgestellt, die durch die bisherigen experimentellen Erkenntnisse nicht erklärt werden können.

Zur optimalen Anlagenauslastung wird eine möglichst kontinuierlich arbeitende Produktionslinie für fermentierte Milchprodukte angestrebt. Um einen kontinuierlichen Betrieb zu realisieren, werden üblicherweise mehrere Fermentationstanks betrieben. Die dabei eingesetzten Maschinen und Apparate erzeugen Schwingungen, die in die Fermentationstanks übertragen werden. Problematisch ist, dass die Ausbildung des fermentierten Milchgels ein mechanisch sehr sensibler Vorgang ist. Unsere Hypothese lautet, dass solche mechanischen Schwingungen die Aggregation und Gelbildung während der Batch-Fermentation im Tank stören können und damit zur Bildung unerwünschter großer und fester kolloidaler Partikel führen.

Vorgehen

Für den gezielten Schwingungseintrag über eine Schallquelle, die in Frequenz und Schalldruck geändert werden kann, wurde ein Fermenter von der Mechanikwerkstatt der Universität Hohenheim angefertigt (Bild 1). Dazu wurde ein Rohr aus Polymethylmethacrylat (PPMMA) mit einer Höhe von 1100 mm, einem Innendurchmesser von 127 mm und einem Füllvolumen von ca. 14 L angefertigt. Am unteren Rohrende befindet sich ein Unterwasserlautsprecher, während das obere Rohrende mit einem höhenverstellbaren, schallreflektierenden Deckel verschlossen wurde. Durch den verstellbaren Deckel kann die Füllhöhe und eingetragene Energie variiert werden. Die Bedingungen, um im Kundtschen Rohr eine stehende Welle zu realisieren, wurden somit erfüllt. Die stehende Welle richtet sich nach der Frequenz (1, 2 und 3 kHz), die der Lautsprecher abgibt. Der Unterwasser-

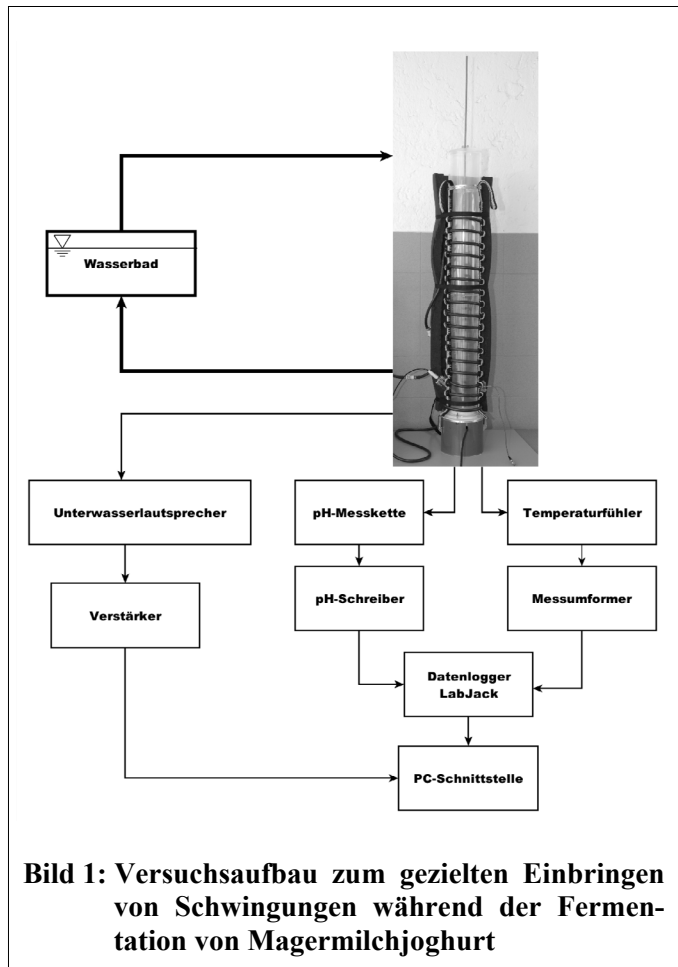
lautsprecher wurde an einen Verstärker mit 75 W Ausgangsleistung betrieben. Der pH-Wert und die Temperatur wurden aufgezeichnet. Um die Fermentationstemperatur von 42 °C zu erreichen, wurde das Rohr von außen mit einer Schlauchwicklung beheizt zusätzlich isoliert.

Der Magermilchjoghurt wird aus standardisierter und hocherhitzter Magermilch hergestellt. 10 kg Joghurtmilch wird auf 42 ± 1 °C im Wasserbad erwärmt und mit vorbereiteter Stammkulturaliquote versetzt. Die beimpfte Joghurtmilch wird in den vorgewärmten Fermenter gefüllt und eine Referenz in einem weiteren Wasserbad ohne Schalleintrag fermentiert. Nach dem Erreichen des pH-Werts 4,5 wird die Fermentation abgebrochen und die Probe grob zerkleinert, in Joghurtgläser abgefüllt und auf Eis gekühlt. Zur Nachverfestigung werden die Proben über Nacht bei 8 °C gelagert, und anschließend mit einer Spritze geschert.

Der hergestellte Rührjoghurt wird zur optischen Beurteilung grober Partikel auf eine Glasplatte gleichmäßig ausgestrichen. Die Glasplatte wird in eine verdunkelte Kammer auf eine Durchlichtquelle gestellt und Fotos in Aufsicht erstellt. Ein Bild stellt 13 g Probe dar und entspricht einer realen Größe von 120 x 90 mm.

Ergebnisse

Es wurde eine bildanalytische Methode entwickelt, mit der sowohl die Bewertung der Anzahl als auch der Größenverteilung von Partikeln möglich ist, die als optisch störend wahrgenommen werden (Stippen). Die Durchlichtfotos des Magermilchjoghurts werden dazu bearbeitet und analysiert (Matlab mit Image Processing Toolbox). Zur Verbesserung und Separierung der Partikel vom homogenen Hintergrund wird die lokale Kontrastwertspreizung angewendet und das Bild per Gaußfilter geglättet. Die eigentliche Trennung in Vorder- und Hintergrund (Partikel/keine Partikel) der Bildbearbeitung wird durch die Triangel-Methode realisiert (Zack et al., 1977). Durch die Bildanalyse ist es möglich, die Partikel in einem Bild zu separieren, zu erkennen und die Größeninformation (Partikelanzahl, Zirkularität, Median, Klassenverteilung und normierter Flächenanteil) in einer Textdatei zu hinterlegen. Daraus werden die Partikelgrößen und -flächenverteilungen bestimmt. Bei einem Schalleintrag in ein säureinduziertes Milchgels waren Partikelgröße und -form die Hauptfaktoren für die Konsistenz und das Aussehen des Milchgels.



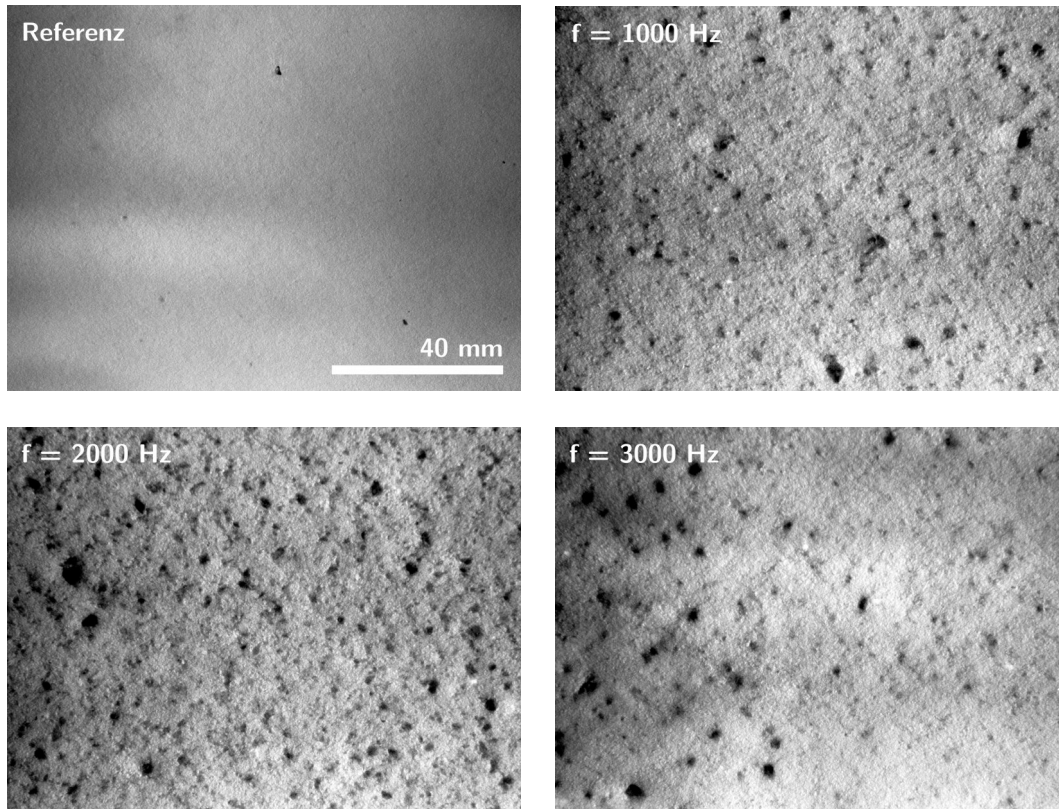


Bild 2: Partikelaggregation während der Fermentation von Magermilchjoghurt; Ausstrich (Kantenlänge 120 mm) und Durchlichtfotos des gescherten Gels; Referenz ohne Schwingungen; spezifischer Energieeintrag (90 J/m^3) bei verschiedenen Frequenzen während der Fermentation

Die Wirkung eines Schwingungseintrags während der Fermentation auf die gebildete Mikrostruktur zeigt Bild 2. Im Vergleich zur Referenz, die ohne Schwingungen im gleichen Versuchsaufbau fermentiert wurden, treten zahlreiche schwarze Punkte in den Bildern für die Frequenzen 1–3 kHz auf. Hierbei handelt es sich aufgrund der Methode (Ausstrich und Foto im Durchlicht) um größere kolloidale Partikel, die eine verdichtete, kompakte innere Struktur aufweisen (Nöbel et al., 2011b). In Abhängigkeit der eingesetzten Frequenzen 1–3 kHz konnten keine Unterschiede bezüglich der optisch wahrnehmbaren Partikel festgestellt werden. Alle Proben wiesen nach der Fermentation mit Schwingungen eine inhomogene innere Struktur auf, deren Konsistenz als wässrig und instabil bewertet wurde.

Die bildanalytische Auswertung der beispielhaft dargestellten Durchlichtfotos ist in Bild 3 für die absolute Partikelanzahl bezogen auf eine typische Verpackungseinheit (100 g) Magermilchrührjoghurt dargestellt. Für die absolute Partikelanzahl wurden keine signifikanten Unterschiede durch verschiedene Frequenzen gefunden, sodass diese zusammengefasst wurden. Durch den Energieeintrag der Schwingungen (90 J/m^3) kommt es sowohl zu einer absoluten Zunahme der gebildeten Partikel, von 550 ± 64 auf 1.920 ± 490 Partikel pro 100 g Magermilchjoghurt, als auch einer Verschiebung der Partikelgrößenverteilung zu größeren Partikelklassen. Der Median der per Bildanalyse ermittelten, flächengleichen Durchmesser ($d_{50,2}$) nahm von $d_{50,2} = 1,25 \pm 0,03 \text{ mm}$ für die unbehandelte Referenz auf $d_{50,2} = 1,37 \pm 0,06 \text{ mm}$ für alle, bei verschiedenen Frequenzen fermentierten Proben zu.

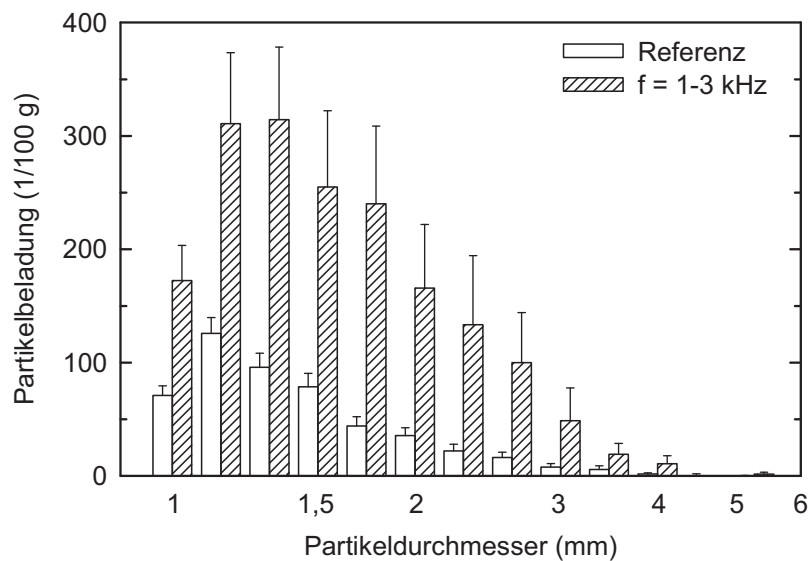


Bild 3: Partikelaggregation während der Fermentation von Magermilchjoghurt; Ausstrich (Kantenlänge 120 mm) und Durchlichtfotos des gescherten Gels; Referenz ohne Schwingungen (n = 50); spezifischer Energieeintrag (90 J/m^3) bei verschiedenen Frequenzen während der Fermentation (n = 14)

Die erhöhte Streuung der absoluten Partikelanzahl innerhalb der Proben mit Energieeintrag bestätigt die optische Wahrnehmung der gescherten Gele (Bild 2). Diese waren z. T. sehr inhomogen und wiesen zusammenhaftende Partikelaggregate auf.

Zusammenfassung

Durch die Anwendung von Schwingungen parallel zur Milchgelbildung kam es zur Bildung großer, kolloidaler Partikel. Diese werden als optisch-sensorische Beeinträchtigung der Produktqualität wahrgenommen. Die Partikelanzahl wurde hauptsächlich durch die gewählten Prozessparameter und nicht durch den untersuchten Frequenzbereich 1–3 kHz beeinflusst.

Publikationen im Rahmen der Förderung

- Nöbel, S.; Ross, N.-L. & Hinrichs, J. (2011a) Aggregation kolloidaler Systeme durch Schalleinkopplung und Vibration. Poster, ProcessNet / DECHEMA-Jahrestreffen des Fachausschusses Lebensmittelverfahrenstechnik, Vlaardingen, The Netherlands, March 22-24, 2011
- Nöbel, S.; Ross, N.-L. & Hinrichs, J. (2011b) Partikelbildung in fermentierten Milchprodukten durch Schalleinkopplung und Vibration. Presentation, Milchkonferenz, Bern, Switzerland, September 12-13, 2011

Literatur

- Aichinger, P.-A.; Michel, M.; Servais, C.; Dillmann, M.-L.; Rouvet, M.; D'Amico, N.; Zink, R.; Klostermeyer, H. & Horne, D. S. (2003) Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: Structure, viscoelasticity and syneresis of gels. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 31, 243-255
- Hahn, C.; Wachter, T.; Nöbel, S.; Weiss, J.; Eibel, H. & Hinrichs, J. (2012) Graininess in fresh cheese as affected by post-processing: Influence of tempering and mechanical treatment. *International Dairy Journal* 26, 73-77
- Zack, G. W.; Rogers, W. E. & Latt, S. A. (1977). Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 25, 741-753