

Charakterisierung und Bewertung des Beschädigungspotentials von Früchten in Fruchtzubereitungen beim Transport durch Rohrleitungseinbauten



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Technische Universität Berlin Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozesstechnik Prof. Dr. Cornelia Rauh
	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik (MVM) Lattice Boltzmann Research Group Dr. Mathias J. Krause
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e. V. (MIV), Berlin VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt
Projektkoordinator:	Prof. Dr. Hans-Ulrich Endreß Herbstreith & Fox GmbH & Co. KG, Pektin-Fabriken, Neuenbürg
Laufzeit:	2020 – 2023
Zuwendungssumme:	€ 604.412,--

Ausgangssituation

Industriell hergestellte Fruchtzubereitungen bestehen aus gekochten Mischungen von geschnittenen oder ganzen frischen, gefrorenen oder getrockneten Früchten sowie weiteren Rezepturkomponenten. Die Stückigkeit, d. h. die Unversehrtheit des Schnittbilds und der Erhalt der fruchtypischen Form, der Fruchtstücke ist ein entscheidendes Qualitätsmerkmal und ausschlaggebend für die Verbraucherakzeptanz der Endprodukte. Bei der industriellen Verarbeitung dieser Fruchtzubereitungen, z. B. in der Milchindustrie, nimmt der Transport durch Rohrleitungen und diverse Einbauten einen großen Stellenwert ein und ist mit einem hohen Beschädigungspotential der Früchte verbunden. Während das grundsätzliche Verhalten partikelbeladener Strömungen in Rohrleitungen bereits erforscht und technisch verstanden ist, gilt dies nicht für eine mechanische Schädigung der partikulären Phase.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Untersuchung von fluid- sowie kontaktinduzierten Belastungsarten und Intensitäten beim Transport durch Rohrleitungseinbauten um das Beschädigungspotential zu evaluieren. Dies erforderte die experimentelle und numerische Analyse der zeitlichen und räumlichen Abhängigkeiten der Belastung zur Identifikation von Ursachen und Haupteinflussparametern. Mit diesen in Datenbanken zusammengetragenen Erkenntnissen sollen in Zukunft Beschädigungen während des Betriebs und Auslegung von Anlagen vermieden werden.

Forschungsergebnisse

Es wurden Materialmodelle für die disperse und die kontinuierliche Phase von Fruchtzubereitungen erstellt. Für die Fruchtstücke wurden Materialmodelle in Form konstitutiver Differenzialgleichungen ermittelt, das Verhalten unter Scherbeanspruchung untersucht und allgemeine physikalische Eigenschaften bestimmt. Für die flüssige Phase wurden Einsatzschubspannungen der Fluide bestimmt, Fließkurven aufgenommen und daraus das Herschel-Bulkley Modell für unterschiedliche Fruchtzubereitungen kalibriert. Anschließend wurde ein Versuchsstand für optische Strömungsuntersuchungen in Mehrphasenströmungen mittels Particle-Image-Velocimetry (PIV) konstruiert. Dazu wurden transparente Modellstoffsysteme aus Hydrogelen entworfen, welche den rheologischen Eigenschaften der Fruchtpartikel entsprechen. Die flüssige Phase wurde mit Fluiden aus Carboxymethylcellulose und Laponite imitiert, wobei der Brechungsindex beider Phasen angepasst wurde. Aus den PIV-Messungen wurden Strömungsprofile für ein- und zweiphasige Modellfluide in geraden Rohrleitungen und Geometrien mit kontinuierlichen und plötzlichen Querschnittsverengungen erstellt. Die hierdurch gewonnenen Strömungsprofile wurden zur Validierung der numerischen Arbeiten genutzt.

In der strömungsmechanischen Modellierung und Simulation wurden methodische Neuentwicklungen zur effizienten numerischen Untersuchung von grob dispersen Suspensionen mit mehreren tausend Partikeln ermöglicht. Dabei wurden Partikel-Partikel, Partikel-Wand- und Partikel-Fluid-Interaktionen mit Rückkopplungen berücksichtigt, um umfangreiche Datensätze, etwa zu mechanischen Belastungen, zu generieren und auszuwerten. Reine Fluidsimulationen der Strömung durch ein gerades Rohr zeigten eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen. Numerische Parameterstudien wurden für Querschnittsverengungen durchgeführt, wobei verschiedene Partikelparameter (Größe und Elastizitätsmodul), Betriebsparameter (Reynoldszahl) und Geometrieparameter (Winkel der Verengung) berücksichtigt wurden.

In strukturmechanischen Simulationen wurden Gitterstudien unter Annahme linear-elastischer Materialparameter durchgeführt. Die experimentell ermittelten Deformationen konnten mit den Simulationen dargestellt und typische Arten der Deformation analysiert werden. Hieraus wurden Belastungsgrenzen für die Bestimmung des Beschädigungspotentials festgelegt.

Abschließend konnte aus den Belastungsgrenzen, den Ergebnissen der strömungsmechanischen Simulationen sowie Validierungsexperimenten gezeigt werden, welches Beschädigungspotential von den Betriebs-, Geometrie, und Partikelparametern ausgeht. Das Beschädigungspotential hängt vor allem von der Reynoldszahl und den Partikelparametern, insbesondere dem Elastizitätsmodul, ab. Geometrieparameter spielen eine Rolle, wenn sie in die Reynoldszahl eingehen. Weiterhin wurden vor allem abrasive Belastungen und Beschädigungen durch interpartikuläre Kontakte sowie mit den Wänden identifiziert.

Wirtschaftliche Bedeutung

Fruchtzubereitungen werden als eigenständiges Produkt (z. B. in Form von Desserts, wie rote Grütze) auf den Markt gebracht oder als Halbfabrikat hergestellt. Hauptabnehmer dieser Halbfabrikate sind die Milch-, Eismilch-, Backwaren- und Süßwarenindustrie und damit ein breiter Kreis von Lebensmittelproduzenten.

Im Bereich der Fruchtjoghurtprodukte ist die Anzahl sichtbarer Früchte und Fruchtstücke sowie deren Unversehrtheit ein wichtiger Qualitätsparameter, da die Verbraucher einen Zustand der Früchte erwarten, der einer frisch zugegebenen Frucht entspricht. Diese Erwartungshaltung erfordert eine schonende Prozessierung bei der Herstellung der Fruchtzubereitungen und ihrer Weiterverarbeitung. Durch die Erkenntnisse der Forschungsarbeiten können nun die Transportbedingungen von Fruchtzubereitungen optimiert werden. Durch einen schonenden Transport kann der Grad der Partikelzerkleinerung reduziert werden, wodurch bei gleichem Fruchtgehalt ein höherer Preis für die Fruchtzubereitung erzielen lässt.

Von den Ergebnissen profitieren gleichermaßen die Hersteller der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) von Fruchtzubereitungen (obstverarbeitende Industrie), die Verarbeiter von Halbfabrikaten (wie die Milchindustrie) sowie der Maschinen- und Anlagenbau. So können in bestehenden Anlagen die Reynoldszahlen im Prozess überprüft und angepasst werden. Die Ergebnisse dienen auch zur Neubewertung gängiger

Rohrgeometrien und der Entwicklung neuer Rohrleitungseinbauten. Da gezeigt werden konnte, dass Querschnittsverengungen gemieden werden sollten, kann dieses Wissen jetzt von den Anlagenherstellern genutzt werden.

Die Arbeiten münden in der Erstellung von Kennlinienfeldern und Datenbanken, die quantitativ die Ergebnisse beschreiben und von Produzenten und Anlagenherstellern zum Design und der Bewertung von Prozessen, Anlagenkomponenten und Produkten verwendet werden können. Durch die Bestimmung der Sensitivität der Partikelzerstörung gegenüber Prozess- und Rezeptureinflüssen entstehen außerdem Möglichkeiten für neue und verbesserte Rezepturen. Zu erwarten ist außerdem, dass sich die Ergebnisse auf Gemüseprodukte übertragen lassen.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2024.
2. Zarth, A., Klemens, F., Thäter, G., & Krause, M. J.: Towards shape optimisation of fluid flows using lattice Boltzmann methods and automatic differentiation. *Computers & Mathematics with Applications*, 90, 46–54 (2021).
3. Eysel, B., Schurr, S., Phan, Q., McHardy, C. & Rauh, C.: Herstellung von brechungsindexangepassten Zweiphasen-Modellstoffsystemen zur Imitation von Fruchtzubereitungen für optische Strömungsmessungen, *Experimentelle Strömungsmechanik: 28. Fachtagung: 7.-9. September 2021, Bremen, 2021*, 48.1 - 48.8. (2021).
4. Marquardt, J. E., Römer, U. J., Nirschl, H., & Krause, M. J.: A discrete contact model for complex arbitrary-shaped convex geometries. *Particuology*, 80, 180–191 (2023).
5. Eysel, A., Marquardt, J. E., Krause, M. J., McHardy, C. & Rauh, C.: Charakterisierung der Rohrströmung komplexer Fest-Flüssig-Modellstoffsysteme mittels Stereo PIV, *Experimentelle Strömungsmechanik: 30. Fachtagung: 5.-7. September 2023, Bremen, 2023*, 32.1 - 32.9 (2023).
6. Kummerländer, A., Avis, S., Kusumaatmaja, H., Bukreev, F., Crocoll, M., Dapelo, D.: Hafen, N., Ito, S., Jeßberger, J., Marquardt, J. E., Mödl, J., Pertzel, T., Prinz, F., Raichle, F., Schecher, M., Simonis, S., Teutscher, D., & Krause, M. J. (2023). OpenLB Release 1.6: Open Source Lattice Boltzmann Code (1.6). Zenodo (2023).
7. Marquardt, J. E., Hafen, N. & Krause, M. J.: A novel particle decomposition scheme to improve parallel performance of fully resolved particulate flow simulations. *J. Comput. Sci.* 78, 102263 (2024).
8. Marquardt, J. E., Hafen, N. & Krause, M. J.: A novel model for direct numerical simulation of suspension dynamics with arbitrarily shaped convex particles. *Comput. Phys. Commun.* 304, 109321 (2024).
9. Marquardt, J. E., Eysel, B., Sadric, M., Rauh, C. & Krause, M. J.: Potential for damage to fruits during transport through cross-section constrictions. *J. Food Eng.* 392, 112473 (2025).

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität Berlin
Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie
FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozesstechnik
Königin-Luise-Straße 22, 14195 Berlin
Tel.: +49 30 314-71254
Fax: +49 30 832-7663
E-Mail: cornelia.rauh@tu-berlin.de

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik (MVM)
Lattice Boltzmann Research Group
Straße am Forum 8, 76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-44191
Fax: +49 721 608-42403
E-Mail: mathias.krause@kit.edu

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:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

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 im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bildnachweis - Seite 1: ©Lucky Dragon - stock.adobe.com #7077600

Stand: 23. Dezember 2025