

Optimierung des Rührprozesses in Hinblick auf mechanische Belastungen bei der Verarbeitung stückiger Fruchtzubereitungen mithilfe einer neuronumerischen Prozessführungsstrategie

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Quakenbrück Dr. Volker Heinz/Dr. Knut Franke
Forschungsstelle II:	Technische Universität Berlin Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozesstechnik Prof. Dr. Cornelia Rauh/Dipl.-Math. Tobias Horneber
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e.V., Frankfurt Projektkoordinator: Karsten Ollesch Glass GmbH & Co. KG, Paderborn
Laufzeit:	2016 - 2018
Zuwendungssumme:	€ 499.060,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Die thermische Prozessierung von Rezepturkomponenten zählt im Lebensmittelbereich zu den Grundverfahren, über die die Voraussetzung für die Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte geschaffen wird. Für Mischungen von Feststoffen in flüssigen Phasen erfolgt die Prozessierung vielfach im Rührbehälter. In diesem Zusammenhang erweist sich die Beschädigung von mechanisch empfindlichen, grobstückigen Partikeln, wie Früchten und Fruchtstücken, als problematisch. Während das Erreichen einer kurzen Prozesszeit insbesondere während Aufheiz- und Abkühlphasen in Rührbehältern einen hohen mechanischen Leistungseintrag erfordert, setzen die grobdispersen Bestandteile eine schonende Verarbeitung mit möglichst niedrigem Leistungseintrag voraus. Es war nicht bekannt, welche mechanische Beanspruchung beim Rühren hauptsächlich zur Schädigung der Einlagen führt. Auch ließ sich der Einfluss der Rezeptur selbst, insbesondere die rheologischen Eigenschaften der kontinuierlichen Phase, nicht vollständig einschätzen. In der Konsequenz waren Einschränkungen bezüglich der

Rezepturgestaltung gegeben. Fruchtzubereitungen mit mechanisch stark empfindlichen Komponenten wie Beeren oder geschnittener Würfelware konnten nicht angeboten werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, auf Basis charakteristischer Dispersionsdaten und Prozesszustände die mechanische Schädigung von Fruchtstücken in Rührprozessen zu minimieren. Zu diesem Zweck sollten Handlungsempfehlungen in Form produkt- und prozessspezifischer Prozessfenster entwickelt werden, die der Ermittlung der optimierten Fahrweise von Rührapparaten zur Verarbeitung von Fruchtzubereitungen dienen. Das Optimierungskriterium war eine möglichst geringe Zerstörung der enthaltenen Partikeln unter gleichzeitiger Gewährleistung erwünschter thermischer Prozesse. Der Fokus des so geplanten Leitfadens sollte auf der Optimierung bereits im Einsatz befindlicher Rührapparate in unterschiedlichen Produktionsmaßstäben liegen.

Forschungsergebnis:

In einem ersten Schritt wurden dazu die relevanten Fruchtarten und zu berücksichtigenden Rührergeometrien mit dem Projektbegleitenden Ausschuss abgestimmt. Seitens der Forschungsstelle (FS) 1 wurden zunächst die mechanischen Eigenschaften von Früchten bzw. Fruchtstücken gemessen und daraus die relevanten Stoffdaten als Basis für die Entwicklung der Modellkörper bestimmt. Darüber hinaus wurden industrielle Fruchtzubereitungen hergestellt und die abgetrennte kontinuierliche Phase rheologisch charakterisiert. Deren Fließverhalten einschließlich der Temperaturabhängigkeit wurde durch Modelle beschrieben, die eine Basis für die Strömungssimulation bei FS 2 bildeten. Weiterhin wurden durch FS 1 Rührerexperimente mit den vom Projektbegleitenden Ausschuss vorgeschlagenen Rührergeometrien durchgeführt. Dabei wurden Modellsysteme mit kontinuierlichen Phasen, die unterschiedliche Fließverhalten aufwiesen, und den Modellköpern aus Carrageen-Gel bei verschiedenen Bedingungen gerührt. Es wurden sowohl kontinuierliche Phasen mit NEWTONschen als auch mit nicht-NEWTONschen Fließverhalten einbezogen, wobei die Viskosität in einem bereiten Bereich variiert wurde. Aus dem jeweiligen Leistungseintrag, den relevanten Stoffwerten sowie der Rührergeometrie wurden die dimensionslosen Kennzahlen NEWTON- und REYNOLDS-Zahl für den Rührprozess ermittelt sowie der Zusammenhang zwischen diesen Größen (Leistungscharakteristik) mathematisch beschrieben. Darüber hinaus wurden durch den Rührprozess bedingte Veränderungen an den Modellkörpern (Abrundung) über geeignete Formfaktoren quantifiziert. Über ein statistisches Regressionsmodell, das die Kennzahlen des Rührprozesses einbezieht, konnte der Zusammenhang zwischen der Änderung der Form der Modellkörper und den Rührbedingungen für die verschiedenen kontinuierlichen Phasen mathematisch beschrieben werden. In einem weiteren Schritt wurde ein verallgemeinertes statistisches Modell so weit entwickelt, dass mit dessen Hilfe die optimalen Bereiche in den Rührbedingungen bezüglich der Minimierung der Partikelschädigung vorhersagbar sind.

Als Grundlage für die Entwicklung eines geeigneten Modells für strömungsmecha-

nische Simulationen mehrphasiger Rührprozesse wurden zunächst transiente CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) einphasiger Rührprozesse durchgeführt und mit experimentellen Ergebnissen verglichen. Um eine CFD-Simulation von partikulärer Strömung mit makroskopischen Partikeln zu ermöglichen, wurden darauf aufbauend CFD/DEM-Simulationen (Discrete Element Method) aufgesetzt. Mit Hilfe der daraus direkt gewonnenen Informationen über Partikelverteilungen und Kollisionen wurde eine modifizierter Widerstandsbeiwert sowie ein Modell zur Kollisions- und Schädigungsvorhersage abgeleitet, das lediglich auf lokalen Partikelkonzentrationen und Scherraten basiert. Dies ermöglicht es nun, reine CFD-Simulationen zur Schädigungsvorhersage der stückigen Phase durchzuführen.

Experimentell wurde ein transparenter, brechungsindexangepasster Versuchsaufbau entwickelt und damit Rührerexperimente durchgeführt, mit denen ein aus der Industrie vorgegebenes Rührerdesign beispielhaft hinsichtlich induzierter lokaler Belastungsgrößen (Geschwindigkeitsbetrag sowie Scher- und Dehnrate) vermessen wurde. Mit diesen Daten wurde ein neuronales Netz trainiert und erfolgreich getestet, welches bei Vorgabe von Viskosität, Partikelanteil und Drehzahl die induzierten Belastungsgrößen vorhersagt.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Ergebnisse sind insbesondere für Hersteller von Fruchtzubereitungen von Relevanz. Der Umsatz der obst- und gemüseverarbeitenden Industrie lag 2016 bei ca. 5,3 Mrd. €, davon entfielen auf Fruchtaufstriche 436 Mio. €.

Die Herstellung der Fruchtzubereitungen erfolgt im Chargenbetrieb in Rührapparaten mit Volumina von bis zu 6.000 l, was bei einer Erdbeerfüllung einem Wert von 12.000 € entspricht. Ein Mehrpreis von nur 10 €/t durch die Verbesserung der Qualität der Fruchtzubereitungen würde bei einer jährlichen Produktionsmenge von 282.000 t zu einem Gewinn von 2,82 Mio. € führen. Darüber hinaus werden sich auf Basis der Ergebnisse auch neue Rezepturen umsetzen lassen. Dies gibt gerade kleinen und mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit, kleinere Chargen, z.B. mit exotischen Früch-

ten, als Nischenprodukte in höchster Qualität herzustellen. Daneben ziehen auch EndproduktHersteller, die Fruchtzubereitungen einsetzen, Nutzen aus den Projektarbeiten. Bei zusätzlicher Betrachtung des internationalen Marktes für Fruchtzubereitungen, der insbesondere in Russland stark expandiert, sind auch Impulse für den Export zu erwarten.

Die Ergebnisse lassen sich auch auf Produkte mit grobstückigen Gemüseinlagen übertragen.

Mit Projektende liegen Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und der resultierenden Beanspruchung grobdisperser Partikeln vor. Durch die im Forschungsprojekt erarbeiteten Daten zur Vorhersage der optimalen Fahrweise des Rührkessels besteht die Möglichkeit, eine Auslegung und Fahrweise der Apparate, die die Beanspruchung minimiert, zu realisieren. Der Leitfaden besteht aus einem Künstlichen Neuronalen Netz (KNN), das optimierte zeitliche Temperatur-/Drehzahlprofile vorschlägt. Dieser ermöglicht KMU, Prozessführungsempfehlungen für bestehende Anlagen gemäß ihren Bedürfnissen durch einfache Berechnungen mit Betrieb einer Software auf handelsüblichen PCs ohne Programmierkenntnisse zu erhalten. Damit wird die Anwendung des vorwettbewerblichen Leitfadens in konkreten Betrieben letztlich zu Produkten mit verbesserter Qualität führen. Die Umsetzung der Projektergebnisse zur Herstellung qualitativ hochwertiger Fruchtzubereitungen erfordert keine größeren Investitionen, so dass die Umsetzungshürden gerade für KMU niedrig sind.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2019.
2. Vulprecht, L., Gerstenberg, C. & Rauh, C.: Refractive index matching (RIM) of liquid and semi-solid materials to acrylic glass for optically measuring the mechanics in soft granular matter. *Granular Matter* 22, 47 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10035-020-01016-y>
3. Franke, K.: Optimierung des Rührprozesses. *Jahresber. DIL 2017/2018*, 86-87 (2018).
4. Vulprecht, L., Wölken, T. & Rauh, C.: Locating the occurrence of detrimental mechanical effects on fruit particles in

the processing of chunky fruit preparations through experiment and simulation. *EFFoST-Jahrestagung*, Nantes, Frankreich, 06.-08.11.2018, 2.187 (2018).

5. Vulprecht, L., Wölken, T. & Rauh, C.: Lokalisierung unerwünschter mechanischer Effekte auf Fruchtpartikel bei der Verarbeitung stückiger Fruchtzubereitungen in Experiment und Simulation. *GALA Fachtag. Exp. Strömungsmech.*, Rostock, 4.-6.09.2018, 44.1-44.8 (2018).
6. Vulprecht, L., Wölken, T. & Rauh, C.: Numerical and experimental investigation of mechanical stress in the processing of chunky fruit preparations. *ICEFM Intern. Conf. Exp. Fluid Mech.*, München, 2.-4.07.2018, 70 (2018).
7. Vulprecht, L., Wölken, T. & Rauh, C.: Numerical and experimental investigation of mechanical stress in the processing of chunky fruit preparations. *EFFoST-Jahrestagung*, Sitges (Spanien), 13.-16.11.2017, O9.1 (2017).
8. Vulprecht, L., Wölken, T. & Rauh, C.: Numerische und experimentelle Untersuchung mechanischer Belastungen bei der Verarbeitung stückiger Fruchtzubereitungen. *GALA Fachtag. Exp. Strömungsmech.*, Karlsruhe, 5.-7.09.2017, 40-1-40-8 (2017).
9. Franke, K.: Optimierung des Rührprozesses. *Jahresber. DIL 2016/2017*, 90-95 (2017).

Weiteres Informationsmaterial:

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL)
Prof.-von-Klitzing-Straße 7
49610 Quakenbrück
Tel.: +49 5431 183-232
Fax: +49 5431 183-200
E-Mail: info@dil-ev.de

Technische Universität Berlin
Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie
FG Lebensmittelbiotechnologie und -prozess-
technik
Königin-Luise-Straße 22, 14195 Berlin
Tel.: +49 30 314-71250
Fax: +49 30 832-7663
E-Mail: cornelia.rauh@tu-berlin.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:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Forschungsnetzwerk
Mittelstand



FORSCHUNGSKREIS
DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.



Industrielle
Gemeinschaftsforschung

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.