

Energieeffiziente Trocknung auf der Grundlage lokal-stoffadaptiver Prozessintensivierung am Beispiel der automatisierten Herstellung von Teigwaren

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	<p>Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Antonio Delgado/Dr. Mohamed Hussein</p> <p>Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Dipl.-Ing. Dominik Ulrich Geier</p>
Industriegruppe(n):	<p>Verband der Getreide-, Mühlen- und Stärkewirtschaft e.V. (VGMS), Berlin VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Internationale Forschungsgemeinschaft Futtermitteltechnik e.V. (IFF), Braunschweig-Thune Weihenstephaner Institut für Getreideforschung (WIG) e.V., Freising</p> <p>Projektkoordinator: Sandra Blackert Verband der deutschen Getreideverarbeiter und Stärkehersteller (VDGS) e.V., Berlin</p>
Laufzeit:	2016 - 2018
Zuwendungssumme:	€ 470.490,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Die thermische Trocknung in Luftkanälen gehört zu den wirtschaftlich wichtigsten Konservierungsverfahren, auch in der Lebensmittelindustrie. Der Trocknungsprozess senkt den Wassergehalt (i.d.R. zwischen 13 - 25 %) derart, dass die mangelnde Wasseraktivität das Wachstum verderbniserregender Mikroorganismen und Enzyme drastisch hemmt. Die Verringerung des Wassergehaltes bedingt jedoch strukturelle Schrumpfungerscheinungen und eine Veränderung des Stoff-, Impuls- und Energietransportes. Die Strukturmodifikation durch die Schrumpfung wirkt sich auf das Mundgefühl und folglich unmittelbar auf die Verbraucherakzeptanz der

Produkte aus. Ein weiteres, für die Akzeptanz getrockneter Lebensmittel entscheidendes Merkmal ist deren Farbe. Um diese strukturellen und qualitativen Eigenschaften in gewünschter Form zu beeinflussen, existiert in der Praxis für jedes Produkt eine optimale Luftfeuchte, -geschwindigkeit und -temperatur sowie Verweilzeit im Trocknungskanal. Die Trocknung erfolgt in der Regel in mehreren Trocknungsabschnitten mit unterschiedlichen Prozessparametern und -zeiten, welche bislang weitestgehend aber nur auf empirischen oder halbempirischen Kenntnissen beruhen.

Trotz umfangreicher Forschungsaktivitäten in diesem Bereich wurde der Einfluss von Produkt- und Prozessinhomogenitäten bisher

weitgehend außer Acht gelassen. Demzufolge bleiben hohe energetische und wirtschaftliche Potentiale ungenutzt, die sich aus der gezielten lokalen Beseitigung von Inhomogenitäten ergeben könnten. Voruntersuchungen der Forschungsstellen zeigten über die Bandbreite der Trocknungsanlagen hinweg Unterschiede der Produktfeuchte von ca. 2 %. Eine typische Prozessinhomogenität stellt die thermische Strahlung in der Nähe der Kanalwandungen dar, welche in einer unverhältnismäßig schnellen Trocknung dieser Randzone im Vergleich zum Kernbereich des Trocknungskanals mündet. Ein Beispiel für stoffliche Inhomogenitäten stellen lokale Wasseranhäufungen innerhalb von Produktschüttungen (Feuchtenester) dar, die beispielsweise bei der Trocknung von Bandnudeln auftreten, wenn diese verstärkt aneinander haften. Eine zentrale Herausforderung liegt deshalb in der Praxis in der Einstellung eines geeigneten Trocknungsprogramms im Sinne der Auswahl von Temperatur-Luftfeuchte-Regimes (instationäre Prozessführung).

Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine fuzzy-basierte Prozessführungsstrategie für die automatisierte Trocknung am Beispiel von Teigwaren zu realisieren, welche Produktinhomogenitäten detektieren und reduzieren bzw. beseitigen kann.

Forschungsergebnis:

In Arbeitspaket 1 (AP 1) erfolgte zunächst die Ist-Zustandserfassung der räumlichen Produkt- und Prozessinhomogenitäten. Dazu wurden experimentell die Qualitätsparameter von Hartweizengrießproben, Nudelteig sowie getrockneten und gekochten Nudeln erfasst. Weitere Untersuchungen an Teigwaren unter möglichst homogenen thermofluidynamischen Bedingungen in einer Laborklimakammer wiesen ein rapides Trocknungsverhalten der Pasta in den ersten Minuten nach und legten Rissbildungen sowie Brüche erst nach einer Übertrocknung der Pasta dar. Zudem erfolgte eine optische Analyse typischer Produktionsfehler, wobei die räumliche Verteilung von Feuchtenestern sowie ihrer typischen Größe, Häufigkeit und Trocknungskinetik von besonderem Interesse war. Ebenfalls wurde eine Analyse zu örtlichen Strömungsgeschwindigkeiten an einem Band-

trockner bei einem KMU durchgeführt. Dabei wurden unterschiedlich stark durchströmte Bereiche entlang der Bandlänge und -breite festgestellt, die die Notwendigkeit einer örtlichen Trocknungsintensivierung unterstrichen. In AP 2 wurde der statistische Versuchsplan nach dem Central-Composite-Design erstellt. Dieser diente der Durchführung der produktseitigen Evaluierung und der Optimierung einer energieeffizienten Luftführung sowie zur experimentell validierten, gesamtheitlichen Evaluierung und Überprüfung der Übertragbarkeit auf andere Trockengüter. Inline wurde die Detektion der Inhomogenitäten durch Rasterung entlang der Trocknungskanalbreite mittels eines neuartigen, nicht-invasiven Multisensors realisiert, der sowohl die Produktfeuchte mittels NIR-Messtechnik als auch die Farbe des Produkts optisch bestimmte. Dazu wurde vor allem an der Gestaltung eines Messstrahlenarrays bestehend aus sechs NIR-Sensoren gearbeitet, welcher über das Nudelbett wanderte. Durch die Einteilung der Gitterböden in 3 x 8 Quadranten und durch eine dynamische Abrasterungsmethode der NIR-Sensoren wurden die Nudeln zeiteffizient geortet und den jeweiligen Quadranten zugeteilt, die wiederum anhand der durchschnittlichen Messwerte für eine Nachprozessierung bewertet wurden.

Die Optimierung des automatisierten Trocknungsprozesses von Rohpasta erfolgte sodann durch Kompensation der Inhomogenitäten der Rohlinge im Trockner mittels zusätzlicher Düsenströmung von Heißluft, die über das Messsystem, die Quadranteneinteilung und einen Fuzzy-Regler eingestellt wurde. Dafür wurde ein Demonstrator mit zwei Gitterböden entwickelt, der ähnliche Trocknungscharakteristiken besitzt wie ein industrieller Bandtrockner. Für die genaue Auslegung der technischen Komponenten und Dimensionen wurden numerische CFD-Simulationen unterstützend hinzugezogen. Weitere experimentelle Untersuchungen zum Abhebeverhalten von Pasta ergaben eine maximale Luftgeschwindigkeit von 3 m/s, ohne dass die Nudeln abhoben und eine Verifikation der DARCY-Gleichung zur Berechnung des Druckverlusts für Nudelschütthöhen von bis 4 cm. In dem ausgewählten Konzept ist die Messtechnik über den Gitterböden montiert und mittels der Mess-

ergebnisse werden zusätzliche Düsen (Schlitzdüsen) zur lokalen intensiven Trocknung angesteuert.

In AP 4 wurde außerdem ein Partikel-Modell zur mikroskaligen Modellierung, das auf der LATTICE-BOLTZMANN-Methode (LBM) basiert, entwickelt, das den Wärme- und Feuchtigkeitstransport sowie die Schrumpfung der Pasta berücksichtigt.

Weiterhin wurde ein im Rahmen von Vorarbeiten entwickeltes Fuzzy-System bezüglich seiner Adaption und Erweiterung zur lokalstoffadaptiven Prozessführung überprüft und überarbeitet. Es erfolgte eine Anpassung der ausgangsseitigen Parameter, indem sowohl die Produktcharakterisierung entlang einer Messtrajektorie angepasst als auch eine lokale Einflussnahme mittels Aktorik (Düseneinstellungen) ergänzt wurden. Beide Forschungsstellen konnten am Demonstrator abschließende Trocknungsversuche durchführen und das Trocknungsverhalten von Nudelplatten und Bandnudelnestern bewerten.

Wirtschaftliche Bedeutung:

In der Lebensmittelindustrie setzen zahlreiche mittelständische Unternehmen (KMU) Trockner ein. KMU fahren per se kleinere Chargen, so dass eine stoffadaptive Optimierung und eine hieraus resultierende Reduktion der Energiekosten speziell Betrieben dieser Größenordnung zugutekommt. Expertenwissen, das in die stoffadaptive Prozessführung eingeht, wird für die Praxis verfügbar, so dass Anlagenfahrer die Trocknung nicht mehr händisch einstellen müssen.

Das Ziel des Vorhabens, eine Laboranlage, d.h. einen Trocknerdemonstrator, zu realisieren, der die Grundlagen zur industrietauglichen Umsetzung der Forschungsergebnisse für Unternehmen interessierter Wirtschaftszweige (insbesondere für Teigwarenhersteller sowie für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus) verdeutlicht, wurde erreicht. Mit Abschluss des Vorhabens

liegen nunmehr spezifische Basisdaten vor, die eine technische Auslegung für Trockner zur lokalen Prozessintensivierung ermöglichen und mit denen relevante technische Problemstellungen abgeklärt wurden (Energiebedarf, Qualitätsdaten etc.).

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2018.
2. Thünnesen, J., Schöneberger, B., Beck, T., Mobarak, M., Hussein, M., Gatterinig, B., Steinhauser, S., Pribec, I., Fattahi, E., Geier, D. & Becker, T.: Multisensorik zur Verbesserung der Produkthomogenität beim Trocknen von Teigwaren. LVT Lebensmittelind. 1-2, 26-28 (2020).
3. Fattahi, E., Pribec, I. & Becker, T.: A Novel Lattice Boltzmann Method for Deformable Media. Reactive Flows in Deformable, Complex Media. Tech. Not. Math. Forschungsinst. Oberwolfach, DOI: 10.4171/OWR/2018/39 (2018).

Weiteres Informationsmaterial:

Universität Erlangen-Nürnberg
Department Chemie- und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Cauerstraße 4, 91058 Erlangen
Tel.: +49 9131 85-29500
Fax: +49 9131 85-29503
E-Mail: antonio.delgado@fau.de

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW)
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3261
Fax: +49 8161 71-3883
E-Mail: tb@tum.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.