

Neuartige Prozessführung zum Trocknen von Teigwaren zur Steigerung der Prozesseffizienz und Produktqualität

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Universität Erlangen-Nürnberg Department für Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning
Forschungsstelle II:	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quakenbrück Dr. V. Heinz/Dr. U. Bindrich
Industriegruppen:	Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM), Frankfurt VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen, Frankfurt
	Projektkoordinator: Dr. E. Murnleitner AWITE Bioenergie GbR, Langenbach
Laufzeit:	2008 – 2010
Zuwendungssumme:	€ 421.850,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Bei der industriellen Produktion von Teigwaren stellt das Trocknen der Teiglinge einen schwierigen und sensiblen Teil des Herstellungsverfahrens dar, der zudem das höchste Investitionskapital in der Produktionskette bindet und – wie alle Trocknungsprozesse – einen hohen Energieeinsatz benötigt. Nicht zuletzt deshalb steht die Optimierung des Trocknungsprozesses im Blickpunkt der Entwicklungsarbeiten bei der Teigwarenherstellung.

In den letzten 20 Jahren hat sich mit dem Ziel der Prozessoptimierung die Trocknungstemperatur von 50°C auf bis zu 100°C erhöht. Mit einer Erhöhung der Temperatur steigt aufgrund der sich erheblich verändernden Stoff- und Wärmeübergangsverhältnisse jedoch insbesondere in späteren Trocknungsphasen die Gefahr, dass sich die Produktqualität verschlechtert. Wird neben der Temperatur in dieser Phase nicht auch die Luftfeuchte in Abhängigkeit des Teigwarenzustands situativ eingestellt, kommt es zu ungewollten Strukturveränderungen an der Oberfläche sowie Qualitätseinbußen, wie Verfärbung,

Riss- und Bruchbildung. So steigt der Bruchanteil bei den besonders in Deutschland beliebten Kurzwaren bis auf 10-15 %. Da diese Effekte von Form und Größe der Teigwaren, den physikalischen Teigeigenschaften sowie der Rohstoffvariation abhängen, müssen die Temperatur-Feuchte-Trajektorien während der Trocknung entsprechend angepasst werden. Weil aber eine derartige, stoffadaptive Anpassung bis heute nicht möglich ist, wird der Prozess sehr störanfällig, so dass kleine Schwankungen im eintretenden Teig (z.B. Feuchte, Dicke, Proteinstruktur, Wasserbindung) oder beim Trocknen (z.B. Feuchtevariationen) zu untolerierbaren Prozessfluktuationen führen können. Zudem tritt bei hohen Trocknungstemperaturen eine verstärkte Maillardreaktion auf, die den Farbeindruck der Teigwaren verändert. Wegen des Fehlens einer geeigneten Online-Messtechnik werden die Vorzüge der Hochtemperatur-Trocknung bisher nur während unkritischer Prozessabschnitte ausgenutzt. Die Tatsache, dass bisher keine Korrelation von Rohstoffvariationen und Trocknungsverhalten berücksichtigt wird, bedingt im ungünstigsten Fall eines schlecht trocknenden Teiges eine verminderte Produktion bis hin zum

Anfallen von erhöhtem Ausschuss bei der insbesondere bei KMU häufig auftretenden Situation, in denen unterschiedliche Sorten aufeinander folgend getrocknet werden. Im Zweifelsfall erfolgt die Einstellung der Trocknungsbedingungen deshalb in Bezug auf das ungünstigste zu erwartende Trocknungsverhalten. Das bisherige Fehlen einer aussagefähigen Online-Messung der Feuchtigkeit direkt im Produkt und einer darauf basierenden Regelung bewirkt gerade aus wirtschaftlicher Sicht einen weiteren Nachteil. Der gesetzlich erlaubte Maximalwassergehalt zwingt Pastahersteller, den Prozess so zu führen, dass dieser Wert auf keinen Fall überschritten wird. Deshalb werden derzeit häufig Produkte mit deutlich geringerem Wassergehalt, aber unter überhöhten Energie-, Personal- und Betriebsmittelkosten hergestellt.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es daher, ein neuartiges optisches Messverfahren und einen darauf aufbauenden fuzzybasierten Prozessregler zur Effizienzsteigerung und Optimierung der Trocknung von Teigwaren zu entwickeln. Zur Lösung der Problemstellung setzte das Vorhaben auf das Verfahren der diffusen Reflexions-/Absorptions-Spektroskopie zur Erfassung der Feuchteverteilung unterhalb der Oberfläche. Robuste Auswerte- und Steuerungsalgorithmen sollten auf der Basis von Fuzzy-Logik entwickelt werden, die sich für derartig komplexe Steuerungsaufgaben eignet. Mit dem neuartigen Regelungsverfahren sollten relevante Parameter mit den Qualitätsparametern des Fertigproduktes verknüpft werden.

Forschungsergebnis:

Die Untersuchungen wurden hinsichtlich der Geometrie der Teigwaren zunächst mit Platten (Lasagne) durchgeführt, da sich hier die am besten beherrschbaren Versuchsbedingungen, insbesondere hinsichtlich der Reflexionsverhältnisse, ergeben. Anhand von Hohlformaten (Penne, Rigatoni) und Spiralen (Fusilli) wurde überprüft, inwieweit sich das entwickelte Konzept auf andere Pastageometrien übertragen lässt. Für die Trocknungsversuche wurden zwei unterschiedliche Profile angewandt, die sich vor allem hinsichtlich der Temperaturen in den einzelnen Abschnitten und damit auch in der thermischen „Belastung“ der Pasta unterscheiden. Der Bezug der Rohstoffe, wie Hartweizengrieß und Eipulver, direkt von Teig verarbeitenden Unternehmen und die Verarbeitung mittels üblicher La-

borknetter stellte eine ausreichende Industrienähe der Arbeiten sicher.

Die zunächst im Labor durchgeführten Experimente zur Entwicklung des prinzipiellen Messtechnikaufbaus wurden in zwei Schritten auf einen Klimaprüfschrank, d.h. eine Trocknung im Labormaßstab, und danach auf einen Technikumstrockner im Industriemaßstab übertragen. Dabei wurde zusätzlich eine Bewegung der Nudeln berücksichtigt, um den Verhältnissen in einem industriellen Bandtrockner Rechnung zu tragen.

In umfassenden Laboruntersuchungen wurden die relevanten Stoffsysteme physikalisch charakterisiert, um einerseits die Trocknungsprozesse beurteilen zu können und andererseits die produktbezogenen Grundlagen der Regelung zu schaffen. Dies erfordert Kenntnisse auf allen Stufen, d.h. vom Teig bis hin zum verzehrfertigen Produkt. Hierzu wurden im Nudelteig Wassergehalt und -bindung/-immobilisierung sowie die Teigstruktur analysiert. In den getrockneten Nudeln waren Restfeuchte, Farbe, Oberflächenstrukturen, Deformation sowie die Rissbildung von Interesse. Gekochte Nudeln wurden schlussendlich hinsichtlich Feuchte, Proteinstruktur, Topographie der Querschnittsfläche, Farbe, Wasserbindung und Sensorik untersucht.

Die Analysen zeigten, dass der Rohstoffauswahl eine hohe Bedeutung hinsichtlich der Produktqualität zukommt. So muss darauf geachtet werden, dass die Ausbildung eines viskoelastischen Proteinnetzwerkes möglich ist, um eine hohe Qualität sicherzustellen. Zudem müssen bei Volleinudeln Eiquantitäten gewählt werden, bei denen der Anteil löslicher Proteine über 95 % liegt.

Für die Messtechnik wurde ein Aufbau entwickelt, der NIR (Nahinfrarot-)Spektrometer zur Feuchtebestimmung, Farbsensor und Infrarotthermometer zur Bestimmung der Oberflächentemperatur der Pasta in einem einzigen Aufbau kombiniert.

Bei den Spektrometermessungen zeigte sich, dass die Absorption in den Spektren mit der Produktfeuchte korreliert. Zusätzlich wurden die Spektren mittels Magnetresonanztomographie referenziert, um die Eindringtiefe zu ermitteln und die Feuchteverteilung zu visualisieren. Es ließ sich damit zeigen, dass die NIR-Spektrometrie-Messungen in Tiefen von etwa

1-2 mm erlaubt, was für übliche Teigwarengeometrien ausreicht. Mit den erhaltenen Werten der variablen Parameter, wie Integrationszeit, Anzahl Akkumulationen, Größe des Detektorflecks usw., konnte eine Auflösung des Wassergehaltes bis zu 1 % realisiert werden. Die Kalibrierung erfolgte mit der Partial-Least-Squares (PLS)-Methode.

Das entwickelte Vorgehen sieht vor, dass aus Probenmessungen im Labor und zugehöriger Referenzanalytik mittels PLS ein Produktmodell erstellt wird. Dies wurde für die Entwicklung aus Gründen der Bearbeitbarkeit in MATLAB mit entsprechenden Toolboxen erstellt. Zusammen mit den Online-Messungen lassen sich aus dem Produktmodell und den in der Fuzzy-Regelung hinterlegten Regeln des Prozessmodells die notwendigen Regeleinriffe in den Trocknungsprozess ableiten. Hierzu werden neben der Produktfeuchte zusätzlich die Oberflächentemperatur der Pasta zur Vermeidung der Rissbildung sowie die Farbe berücksichtigt. Letzteres ermöglicht die Anpassung der Produktqualität an die Kundenwünsche, z.B. durch Führung des Prozesses auf gelbe Teigwaren hin.

Nach der Entwicklung des prinzipiellen Messaufbaus wurde dieser in einen regelbaren Klimaprüfschrank integriert und die beiden o.a. Trocknungsprofile gefahren. Als Endfeuchte der Teigwaren konnte hierbei ein Wert von 10-12 % erreicht werden, wobei insbesondere berücksichtigt wurde, die erwünschte Gelbfärbung zu erzielen. Um zu untersuchen, inwieweit mit dem Messaufbau eine Umsetzung auf industrielle Gegebenheiten erreichbar ist, wurden Experimente in einem industriellen Technikumstrockner durchgeführt. Als Teigwarengeometrie wurden Rigatoni gewählt, die nicht nur eine andere Form darstellen, sondern zusätzlich als Schüttung im Trockner vorliegen. Weiterhin wurde über eine pneumatische Mechanik eine Bewegung der Nudeln, vergleichbar zu der auf einem Bandtrockner, realisiert. In diesem Fall wurden lediglich Online-Messungen durchgeführt. Eine Regelung fand nicht statt. Auch in diesem Fall lagen die Messwerte der Feuchte im gleichen Bereich wie die der Offline-Analysen. Damit konnte gezeigt werden, dass sich die entwickelte Messtechnik und Analysenmethodik zur Regelung des Trocknungsprozesses von Teigwaren eignet. Dies wird durch Untersuchungen im Labor, in einem regelbaren Klimaprüfschrank im Labormaßstab sowie in einem Technikumstrockner belegt. Als Teigwarengeometrien kamen Platten, Hohlformate und Spiralen zur Anwendung.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Teigwaren gewinnen in Deutschland zunehmend an Attraktivität. Der Pro-Kopf-Verzehr von Nudeln stieg von 4,6 kg Anfang der 90er Jahre auf 5,9 kg im Jahr 2001. Der Umsatz verdoppelte sich in den Jahren 1980 bis 1998 auf 0,5 Mrd. € und stieg bis zum Jahr 2001 auf ca. 0,6 Mio. € an. In Deutschland produzieren etwa 50 Unternehmen Teigwaren, der größte Teil davon sind kleine und mittelständische Unternehmen (KMU). Die Notwendigkeit einer Optimierung des Prozesses zur kostengünstigen Produktion ergibt sich nicht nur aus dem zunehmenden Preisdruck durch Discounter, sondern auch aufgrund der durch Frischnudeln entstehenden Konkurrenzsituation.

Bei der industriellen Herstellung von Teigwaren stellt der Trocknungsschritt einen Produktionsschritt dar, der die Prozesskosten wesentlich bestimmt. Aufgrund der drastisch gestiegenen Energiepreise beinhalten Entwicklungen, die zu einer signifikanten Energieeinsparung führen können, für alle Produzenten von Teigwaren, insbesondere für KMU, ein sehr hohes wirtschaftliches Potential. Hohe Temperaturen in allen Trocknungszonen führen durch die deutliche Reduktion der Trocknungszeiten zur Steigerung des Durchsatzes, höherer Produktionssicherheit sowie zur Vermeidung von Fehlchargen und Reklamationen, aber auch zu einer Verringerung des Energieeinsatzes und somit zu einer signifikanten Kosteneinsparung. Bei einer jährlichen Produktionsmenge von 300.000 t Teigwaren fallen bei einem Energieaufwand von 1.300 MJ/t allein für die Trocknung der Teigwaren ca. 5,4 Mio. € an Energiekosten an.

Ein wesentliches Potential zur Reduktion des Energiebedarfs liegt in der Berücksichtigung des Wassergehalts im Endprodukt. Die derzeitige gesetzliche Festlegung schreibt einen Wert von unter 13 % vor. Die fehlende Prozessregelung bedingt in der Herstellung deutlich niedrigere Werte, um die gesetzlichen Vorgaben sicher einhalten zu können. Insbesondere in der letzten Trocknungsphase sinkt der Energieeinsatz drastisch, wenn nicht aus messtechnischen Gründen bis weit unter den Zielwert getrocknet wird.

Die Ergebnisse sind nicht nur für Lebensmittelproduzenten von Bedeutung, sondern auch für die Hersteller von Diagnose- und Regelungssystemen. Ihnen bietet sich darüber hinaus ein Ausgangspunkt zur Konstruktion eines neuartigen leistungsstarken situativen Prozessführungssystems, das auch auf andere Trocknungsprozesse in der Lebensmittelwirtschaft übertragbar ist.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2010.
2. Groß, F., Benning, R., Bindrich, U., Franke, K., Heinz, V. und Delgado, A.: Optical online measurement technique used for process control of the drying step during pasta production. Proc. Food Sci., 1301-1308 (2011).
3. Groß, F., Benning, R., Bindrich, U., Heinz, V. und Delgado, A.: MRT-Referenzierte diffuse NIR-Spektroskopie zur Entwicklung einer neuartigen Prozessführungsstrategie. Proc. 18. Fachtagung Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik (eds. Egbers, C. et al.) Cottbus, ISBN 978-3-9805613-6-5, 48-1-7 (2010).
4. Delgado, A., Groß, F., Benning, R., Bindrich, U. und Heinz, V.: Neuartige optische Messverfahren und fuzzybasierte Prozessregelung zur Teigwarentrocknung. Tagungsband 68. FEI-Jahrestagung 2010, 61-73 (2010).
5. Groß, F., Benning, R., Bindrich, U., Heinz, V. und Delgado, A.: Entwicklung eines neuartigen Prozesses zur Trocknung von Pasta. Der Lebensmittelbrief - Ernährung aktuell, 20. Jahrgang, 76-77 (2009).
6. Groß, F., Benning, R., Bindrich, U., Heinz, V. und Delgado, A.: Feuchtebestimmung mittels diffuser NIR-Spektroskopie am Beispiel von Teigwaren. Proc. 17. GALA-Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik" (eds. Delgado, A. et al.), Universität Erlangen, ISBN 978-3-9805613-5-8, 23-1-8. (2009).

Weiteres Informationsmaterial:

Universität Erlangen-Nürnberg
Department für Chemie- und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen
Tel.: 09131/85 29500, Fax: 09131/85 29503
E-Mail: antonio.delgado@Istm.uni-erlangen.de

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL)
Prof.-von-Klitzing-Str. 7, 49610 Quakenbrück
Tel.: 05431/183-228, Fax: 05431/183-200
E-Mail: info@dil-ev.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn
Tel.: 0228/372031, Fax: 0228/376150
E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

