

## Korrelationsanalysen von Teigeigenschaften und Oberflächenstrukturen mittels optischer Messmethoden

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle:</b>	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Freising Prof. Dr. Thomas Becker/Dr. Mohammed Hussein
<b>Industriegruppen:</b>	Verband Deutscher Großbäckereien e. V., Düsseldorf VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt
	Projektkoordinator: Bernhard Vetter, Brezelbäckerei Ditsch GmbH, Mainz
<b>Laufzeit:</b>	2010 - 2013
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 264.200,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

In der Prozesskette zur Herstellung von Backwaren wird der Knetprozess als einer der wichtigsten Grundbausteine angesehen. Fehler in der Teigherstellung wirken sich daher auf die gesamte Produktionskette bis hin zum Endprodukt aus. So findet beispielsweise bei zu geringer Knetintensität, primär bei Weizenteigen, eine beeinträchtigte Ausbildung des Glutennetzwerkes statt, was wiederum ein verringertes Gebäckvolumen zur Folge hat. Im Gegensatz dazu weisen überknetete Teige eine Depolymerisation bzw. Perforation des Glutennetzwerkes auf, was letztendlich auch zu einer Beeinträchtigung des Produktvolumens führt. Zur Steuerung der Prozessparameter des Knetprozesses werden üblicherweise registrierende Knetsysteme herangezogen, die der Erfassung des Energieeintrags in das Mehl-Wasser-System dienen. Die Aufzeichnung der Energieaufnahme in diesen Knetanlagen erfolgt jedoch nur annäherungsweise so präzise wie in Drehmomentaufnehmenden Systemen. Dies bedeutet, dass nicht lineare Energieverluste innerhalb des Systems nicht nachvollzogen werden können und sich somit unerkannt auf das Endergebnis auswirken. Eine Verbesserung des energieaufnehmenden

Systems ist nur schwer realisierbar, da diese Systeme vor allem von Parametern, wie der Knetgeometrie, der Füllmenge, der Rezeptur, der Betriebstemperatur der elektromechanischen Bauteile, dem Lagerzustand und anderen Faktoren, abhängig sind.

Darüber hinaus sind durch das bekannte „Schlagen“ des Teiges sowie durch den „Schlupf“ der Anlage weitere Ungenauigkeiten hinsichtlich der Auswertung gegeben und die Bestimmung des Teigoptimums nur eingeschränkt möglich. In der Prozesstechnik sind diese Problematiken bekannt, jedoch wird versucht, mit diesen bestmöglich umzugehen. Um eine anhaltend hohe Qualität der hergestellten Teige sicherstellen zu können, kommen zur unmittelbaren Beurteilung hauptsächlich der visuelle und haptische Eindruck des erfahrenen Fachpersonals zum Tragen. Beide Verfahren stellen jedoch äußerst indirekte und subjektive Methoden zur Bestimmung der optimalen Teigbereitung dar. Ein praxistaugliches System zur Online-Erfassung der Teigeigenschaften während des Knetprozesses ist derzeit nicht existent.

Ziel des Vorhabens war deshalb die Entwicklung und Evaluierung einer direkten

Teigbeurteilungsmethode auf Basis einer digitalen Oberflächenbetrachtung zur Messung und Bewertung der Teigentwicklung während des Knetprozesses.

#### Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Funktionsmuster entwickelt, das eine Online-Verfolgung der Teigentwicklung in verschiedenen Knetsystemen erlaubt. Das für einen Z-Kneter entwickelte Image-Analyse-System wurde zunächst für einen batchweisen Spiralkneter adaptiert und wird hinsichtlich seiner Funktionsfähigkeit aktuell in einer kontinuierlichen Knetanlage eines mittelständischen Betriebes getestet. Das entwickelte Funktionsmuster ist bedingt durch seine problemlose Anpassung an verschiedene Knetsysteme sowohl für unterschiedliche Knetgeometrien als auch für variierende Teigfüllstände einsetzbar.

Die onlinefähige Auswertung der Teigentwicklung auf Basis visuell detektierbarer Oberflächeneigenschaften setzte zunächst die Untersuchung der Mehl- und Teigeigenschaften bei differenzierten Knetbedingungen (21, 42, 63, 84, 105 und 126 rpm) voraus. Der Knetvorgang wurde nach bestimmten Zeitabständen gestoppt, es wurden Teigproben entnommen und diese sowohl fundamental als auch empirisch rheologisch untersucht. Darüber hinaus wurde der Glutelin-Makro-Polymer-Gehalt (GMP) als mögliches Kriterium zur Beschreibung der Teigentwicklung untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass der GMP-Gehalt mit steigender Knetdauer bis zu dem Wert Null abnimmt. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass steigende Knetgeschwindigkeiten und fortschreitende Knetzeiten zu einer Abnahme des elastischen Anteils  $G'$  und einer erhöhten Dehnbarkeit in der Kieffer-Rig führen. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden verschiedene Algorithmen entwickelt, welche die Detektion gradueller Veränderung des Bildmaterials (Kontrasts, Homogenität, Helligkeit, Entropie) im Online-Modus gewährleisten. Darüber hinaus ermöglichen die entwickelten Algorithmen eine Wassergehaltsbestimmung des Teiges, so dass innerhalb eines kurzen Zeitfensters rezepturbedingte Teigfehler frühzeitig erkannt werden. Weiterhin erlaubt das Image-Processing-Tool eine softwareseitige Eliminierung verschiedener Störsignale (Teig-

falten, Knetbowl, Partikel), welche die Analyse der Oberflächeneigenschaften negativ beeinflussen. Die für die Bestimmung der Oberflächenfeatures programmierten Algorithmen beruhen auf der sog. Grauwerte-Co-Occurrence-Matrix und sind daher autark von Störgeräuschen, die durch Farbunterschieden oder Rohstoffveränderungen (Wechsel der Mehlsorte etc.) ausgelöst werden. Eine Korrelationsanalyse zwischen teigrheologischen Werten und visuellen Teigfeatures zeigt einen linearen Zusammenhang insbesondere zwischen den fundamental rheologischen Daten. Die erfolgreiche Entwicklung des „Image-Processing-Tools“ zur Bestimmung des Knetoptimums von Teigen konnte abschließend durch Backversuche bestätigt werden. Weizenbrote, die am visuellen Teigoptimum gebacken wurden, wiesen im Vergleich zu herkömmlich gekneteten Teigen identische bzw. signifikant bessere Krumen- und Volumeneigenschaften auf.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Die deutsche Backwarenindustrie ist vorwiegend von handwerklichen und mittelständischen Bäckereien geprägt. Die Backwarenindustrie in Deutschland umfasst 13.800 kleine und mittlere Bäckereien (Stand 2011). Daneben existieren 35 Großbetriebe mit einem jährlichen Umsatz von jeweils mehr als 50 Mio. €. Im produzierenden Gewerbe wurden im Jahr 2011 mehr als 5 Mio. Tonnen Brot und Kleingebäck hergestellt. Darunter fällt ein Weizenanteil von rund 70 - 80 %. Insbesondere kleinere Unternehmen stehen unter hohem Wettbewerbsdruck und sind vom Konzentrationsprozess betroffen. Hierdurch und durch den Mangel an Fachkräften steht zunehmend weniger geschultes Fachpersonal zur Verfügung.

Die Durchführung von Prozessabläufen, wie beispielsweise des Knetprozesses, der heute noch überwiegend mit Hilfe des visuellen und haptischen Eindrucks des Fachpersonals gesteuert wird, wird zunehmend durch den Mangel an qualifiziertem und gut geschultem Personal erschwert. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine neuartige prozessstaugliche Analysenmethode zur visuellen Bestimmung des Knetoptimums auf Basis einer digitalen Oberflächenbeurteilung entwickelt. Die Methode bietet die Möglichkeit einer kostengünstigen Online-Teigbeur-

teilung, die zur prozesstechnischen Implementierung an bereits bestehenden Knetanlagen herangezogen werden kann und somit eine optimale Voraussetzung zur Stärkung kleiner und mittelständischen Unternehmen mit sich bringt.

Die Erweiterung der Teiganalysenmethoden durch die digitale Oberflächenbetrachtung bietet sowohl Mühlen als auch der Backwarenindustrie eine direkte Methode zur Online-Prozessüberwachung und zur Qualitätskontrolle bzw. -sicherung bei der Teigherstellung sowie zur Teiganalyse. Dies kann zur Qualitätsverbesserung sowie zur Ausschussreduzierung, zur Senkung des Energie- und Materialeinsatzes sowie der Entsorgungs- und Retourenkosten führen. Das entwickelte Image-Processing-Tool stellt sowohl für batchweise als auch für kontinuierlich betriebene Anlagen eine Optimierung dar. Sie kann daher sowohl in kleinen und mittelständischen Unternehmen als auch in Großbetrieben eingesetzt werden.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht (2013).
2. Pérez Alvarado, F., Hussein, M.A. und Becker, T.: A Vision System for Surface Homogeneity Analysis of Dough Based on the Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) for Optimum Kneading Time Prediction. J. Food Proc. Eng., DOI: 10.1111/jfpe.12209 (2015).
3. Verheyen, C., Pérez Alvaradi, F., Sayed, A., Hussein, M.A., Jekle, M. und Becker, T.: Untersuchung der Teigentwicklung mittels digitaler Oberflächenbetrachtung. Cer. Technol. 1, 4-9 (2014).

4. Verheyen, C., Jekle, M. und Becker, T.: Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on the structural kinetics of wheat dough during fermentation. LWT - Food Sci. Technol. 58, 194-202 (2014).
5. Verheyen, C., Pérez Alvarado, F., Sayed, A., Hussein, M.A., Jekle, M. und Becker, T.: Study of the dough development by digital image viewing of the surface. Backtech. Eur. 1, 28-33 (2014).
6. Verheyen, C., Pérez Alvarado, F., Sayed, A., Hussein, M.A., Jekle, M. und Becker, T.: Kameragestützte Untersuchung der Teigentwicklung. Backtech. Eur. 1, 30-35 (2014).
7. Verheyen, C., Jekle, M. und Becker, T.: Influences on dough development. Baking + biscuit 3, 40-43 (2012).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München  
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW  
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie  
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising  
Tel.: +49 8161 71-3262  
Fax: +49 8161 71-3883  
E-Mail: tbecker@wzw.tum.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 142-148, 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:

