

Zusammenhang zwischen Teig rheologie und Oberflächeneigenschaften

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Freising Prof. Dr. Thomas Becker/Dipl.-Ing. Dominik Geier
Forschungsstelle II:	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Professur für Fluidodynamik komplexer Biosysteme Prof. Dr. Natalie Germann
Industriegruppe(n):	Verband Deutscher Großbäckereien e.V., Düsseldorf Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (AGF), Detmold Weihenstephaner Institut für Getreideforschung (WIG) e.V., Freising VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt
	Projektkoordinator: Sebastian Wessels WP Kemper GmbH, Rietberg
Laufzeit:	2016 - 2018
Zuwendungssumme:	€ 390.370,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Ein zentraler Prozessschritt bei der Herstellung von getreidebasierten Backwaren ist der Knetprozess, da sich Fehler, die bereits in der Teigherstellung auftreten, bis zum Endprodukt auswirken. So findet bei zu geringer Knetintensität, primär bei Weizenteigen, eine beeinträchtigte Ausbildung des Glutennetzwerkes statt. Dies kann wiederum ein verringertes Gebäckvolumen zur Folge haben. Im Gegensatz dazu weisen überknetete Teige eine Depolymerisation bzw. Perforation des Glutennetzwerkes auf, was letztendlich auch zu einer Beeinträchtigung des Produktvolumens führen kann. Obwohl ein geringes Überschreiten des Knetoptimums teilweise einen positiven Beitrag zum Gebäckvolumen zeigt und in weiteren, dem Knetprozess nachgelagerten Prozessschritten bis hin zum finalen Produkt Möglichkeiten der positiven Beeinflussung existieren, sind derartige Maßnahmen nur in Grenzen in der Praxis umsetzbar.

Teige können auf mikroskopischer Ebene im Allgemeinen als heterogene Suspensionen

aus sphärischen Feststoffpartikeln (Stärkekörnern) in einer viskoelastischen Matrix (Gluten) inklusive Gaseinschlüssen betrachtet werden, die eine charakteristische Korrelation zu rheologischen Kenndaten besitzen. Diese rheologischen Kenndaten ermöglichen die Überwachung der Teigqualität und eine Abschätzung der erwarteten Endproduktqualität. Die Messung der rheologischen Kenndaten erfolgt dabei im Labor mit einem Texture-Profile-Analyzer (Klebrigkeit, Dehnbarkeit) bzw. Rheometer (Komplexer Modul G^* , Elastischer Modul G' , Verlustmodul G''). Ein großer Nachteil dieser bekannten Analysen und Verfahrensweisen ist, dass zum einen Proben aus dem Prozess entnommen werden müssen, die wegen der Entnahme und der benötigten Vorbereitung nicht 100 % repräsentativ sind. Zum anderen sind solche Offline-Analysen mit einer hohen zeitlichen Verzögerung zum Prozess behaftet. Daher sind diese Messungen nicht direkt auf den Prozess übertragbar.

Derzeit kommen als Methoden zur Sicherstellung einer hohen Teigqualität hauptsächlich

die visuellen und haptischen Eindrücke von erfahrenem Fachpersonal zum Einsatz, die jedoch indirekt und subjektiv sind. Ein praxistauglicher Ansatz zur Erfassung der Teigeigenschaften während der Teigbereitung existierte bisher nicht.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Zusammenhänge zwischen den Oberflächeneigenschaften des Teigs und der Teig-rheologie modelliert und experimentell validiert. Die Oberflächeneigenschaften des Teigs wurden mittels Laserstreuung detektiert und mit einem entwickelten Modell rheologische Kennzahlen ermittelt. Durch die Verknüpfung dieser Kennzahlen mit der erzielten Gebäckqualität können schon während der Teigherstellung die benötigten Prozessparameter zum Erzielen der gewünschten Gebäckqualität abgeschätzt werden. Ziel war es, durch diese nicht-invasive, direkte, inline-fähige, kostengünstige und einfach auf existierende Systeme nachrüstbare Erfassung der Teig-rheologie die Überwachung der Teigherstellung in der Backwarenindustrie zu verbessern.

Forschungsergebnis:

Zu Beginn des Projekts wurde ein Modell für die Teig-rheologie entwickelt. Als Ausgangsmodell diente ein Modell, das von TANNER et al. zur Teigsimulation genutzt wurde. Gaseinschlüsse wurden zusätzlich berücksichtigt, da die Grenzfläche zusätzliche Elastizität in das Teigsystem einbringt. Das Einschlagen von Luft in die Teigmatrix wurde simuliert, indem ein Flux in das Teiginnere angesetzt wurde. Für die Beschreibung dieser Grenzfläche sowie der freien Teigoberfläche wurde die VOF-Methode (Volume of Fluid) genutzt. An den festen Wänden wurde die non-slip-Randbedingung angewandt, an der freien Teigoberfläche wurden dynamische Randbedingungen verwendet. Die Grenzflächeneffekte wurden in den Bilanzgleichungen für die Normalspannungen berücksichtigt. Zeitgleich erfolgte der Aufbau des experimentellen Laser Messaufbaus. Die damit über die Zeit aufgezeichneten Bilder wurden auf ihre Speckle-Intensität untersucht, um über die zeitlich diskriminierte Rate der Speckle-Fluktuation auf die Autokorrelation $g_2(t)$ zu schließen. Es wurde eine Analysesoftware programmiert, die die Bilddaten auswertet. Nach der Evaluierung erster Versuche wurde der Laser-Messaufbau so adaptiert, dass eine Aufweitung des Laserstrahls und eine direkte Betrachtung der beleuchteten Probenoberfläche erzielt wurde.

Zur Bestimmung der Parameter des Modells von TANNER et al. wurden die nach dem Versuchsplan hergestellten Teige rheologisch charakterisiert sowie ein Fitting der Autokorrelationsfunktion $g_2(t)$ auf den komplexen Modul $G^*(\omega)$ durchgeführt. Das Modell wurde mit den ermittelten Relaxationsspektren validiert und die Parameter approximativ bestimmt. Aufgrund der erwarteten Abweichungen wurde eine Korrekturfunktion, die auf einer Regression basiert, entwickelt und validiert. Der Laser-Messaufbau war damit in der Lage, über optische Sensoren in vergleichsweise kurzer Zeit und einfacher Probenaufbereitung – in Bezug auf Messungen im Rotationsrheometer – rheologische Kennzahlen zur Beurteilung der Teigqualität zu bestimmen.

Danach erfolgte die Integration des Laser-Messaufbaus in ein Spiralknetsystem sowie die Adaption des Auswerteverfahrens auf dynamische Prozesse. Über die Integration des Messaufbaus in einen industriellen Spiralknetzer wurde die Anwendbarkeit im industriellen Maßstab gezeigt. Für die rheologische Beschreibung des Teigs wurde das viskoelastische WHITE-METZNER-Modell mit einem BIRD-CARREAU-Ansatz für die von der Schergeschwindigkeit abhängige Viskosität verwendet. Die Modellparameter wurden durch Anpassung der experimentellen Daten der schergeschwindigkeitsabhängigen Viskosität und der ersten normalen Spannungsdifferenz bestimmt. Dabei wurde eine hohe Übereinstimmung mit den experimentellen und numerischen Benchmarkdaten aus der Literatur erzielt. Die Strömungsmuster, die rheologischen Eigenschaften und die Verteilung der Luftblasen im Teig wurden auf unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten hin analysiert. Darüber hinaus wurden lokale Informationen über die mikrostrukturelle Schädigung des Teigs erhalten, indem die zuvor implementierte Berechnung einer Schadensfunktion in Bezug auf die Eigenwerte des CAUCHY-Dehnungstensors verwendet wurde. Mit Hilfe solcher Simulationen können industrielle Knetgeometrien und -prozesse weiter optimiert werden. Des Weiteren wurde die Eignung des Laser-Messaufbaus für kontinuierliche Knetprozesse untersucht. Zur Beurteilung der Gebäckqualität wurden die mit dem dynamischen Spiralknetsystem hergestellten Teige als Weizenkleinbrot ausgebacken und sensorisch sowie backtechnologisch beurteilt.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die deutsche Backwarenindustrie erwirtschaftete 2017 einen Jahresumsatz in Höhe von rd. 14,5 Mrd. € und ist überwiegend durch handwerkliche und mittelständische Bäckereien (11.350 Betriebe) geprägt. Insbesondere kleinere Unternehmen stehen dabei unter einem hohen Wettbewerbsdruck und sind vom Konzentrationsprozess betroffen. Darüber hinaus steht der Industrie durch den Mangel an Fachkräften zunehmend weniger geschultes Fachpersonal zur Verfügung.

Durch die Klärung der Zusammenhänge zwischen Teig rheologie und den Oberflächeneigenschaften des Teigs wurde eine innovative Methode entwickelt, die der Backbranche neue Möglichkeiten der Prozessüberwachung während der Herstellung von Teigen eröffnet. Durch den Laser-Messaufbau ist eine direkte Messung und Bewertung der Teigeigenschaften möglich. Hierdurch können unbeabsichtigte Änderungen durch Fehler im Prozess oder der Rezeptur bzw. der Rohwarenqualität schnell erkannt und gegengesteuert werden; ebenso können Prozessstörungen bzw. schwankenden Produktqualitäten entgegengewirkt werden. Dadurch kann die Qualität der Produktion verbessert und Ausschuss, Energieverbrauch und Entsorgungs- sowie Retourenkosten reduziert werden.

Die entwickelte Methode für den dynamischen Aufbau hat das Potential, sowohl bei einem Batchbetrieb als auch bei kontinuierlicher Teigherstellung eingesetzt zu werden. Durch diese Flexibilität und die einfache Nachrüstbarkeit wird gewährleistet, dass die Methode auch gerade in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) eingesetzt werden kann. Dies ist besonders für KMU sinnvoll, da in diesen Betrieben meistens keine rheologischen Messungen möglich sind. Die im Projekt erzielten Ergebnisse sind nicht nur für die Backbranche, sondern auch für deren Rohstoffzulieferer von Relevanz, die durch die zeitsparende Messung der Teig rheologie eine realistischere Aussage des Verhaltens der Rohstoffe auf die Teigherstellung bekommen. Gerade Backzutaten- und Sauerteighersteller können von den Ergebnissen des Projektes bei der Herstellung bedarfsgerechter Mi-

schungen für die Backbranche profitieren. Darüber hinaus besitzt die im Antrag adressierte Methode die Möglichkeit, inline eingesetzt zu werden und eröffnet hierdurch weitergehende Möglichkeiten zur Kosteneinsparung.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2018.
2. Steinhauser, S., Fattahi, E., Geier, D., Abu-Farah, L., Goudoulas, T.B., Germann, N. & Becker, T.: Lasergeschützte Inline-Überwachung des Knetens. *Backtech.-eur.* 4, 44-47 (2019).
3. Abu-Farah, L., Goudoulas, T.B. & Germann, N.: Numerical and experimental investigation of dough kneading in a three-dimensional spiral kneader. *Phys. Fluids*, 31, 113104 <https://doi.org/10.1063/1.5122261> (2019).
4. Šćepanović, P., Goudoulas, T. B. & Germann, N.: Numerical investigation of microstructural damage during kneading of wheat dough. *Food Struct.* 16, 8-16, <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.01.003> (2018).

Weiteres Informationsmaterial:

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@wzw.tum.de

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW
Professur für Fluidodynamik komplexer Biosysteme
Maximus-von-Imhof Forum 2, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3288
Fax: +49 8161 71-4242
E-Mail: natalie.germann@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

