

Optimierung der Porengrößenverteilung von getreidebasierten Schäumen zur Herstellung feiner Backwaren

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle:	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Freising Prof. Dr. Thomas Becker/Dipl.-Ing. Dominik Geier
Industriegruppe(n):	Verband Deutscher Großbäckereien e. V., Düsseldorf VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Weihenstephaner Institut für Getreideforschung (WIG) e. V., Freising
	Projektkoordinator: Rüdiger Jank Kuchenmeister GmbH, Soest
Laufzeit:	2015 - 2018
Zuwendungssumme:	€ 244.240,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Bei allen Lebensmitteln, die Lufteinschlüsse enthalten, handelt es sich technisch betrachtet um Schäume. Als Schaum versteht man gasförmige Bläschen (Poren), die von festen oder flüssigen Wänden eingeschlossen werden. Bei getreidehaltigen Lebensmittelschäumen handelt es sich mikroskopisch betrachtet um eine heterogene Suspension von festen, nahezu runden Stärkepartikeln, die sich in einer viskoelastischen Matrix (Gluten) mit Gaseinschlüssen befinden. Die Größe der Gaseinschlüsse reicht vom mikrodispersen Bereich bis zu mehreren hundert Mikrometern und hängt neben den einzelnen Komponenten der Matrix von der Intensität und Dauer der mechanischen Exposition und der Geometrie der dazu verwendeten Geräte ab.

Massen sind getreidebasierte Schäume mit einem geringeren Mehlanteil als Teige und werden in der Lebensmittelindustrie zur Herstellung von Feinen Backwaren verwendet. Weitere wichtige Bestandteile sind Vollei oder Eiklar, Zucker und Stärke. Aufgrund der unterschiedlichen Rezeptur von Teigen und Massen unterscheidet

sich die flüssige Phase insbesondere durch das Verhältnis von Viskosität zu Elastizität. Der Gehalt und die Größenverteilung der Poren im dispersen Schaumsystem (Schaumstruktur) beeinflusst zum einen die rheologischen Eigenschaften des Schaums und somit insbesondere seine Verarbeitbarkeit und zum anderen die Qualität des Produkts nach der thermischen Fixierung. Insbesondere Volumen, Form, Textur und Porosität des ausgebackenen Produkts werden durch die Schaumstruktur beeinflusst. Veränderungen der Schaumstruktur werden schon durch geringe Schwankungen der Rohstoffeigenschaften und Prozessparameter hervorgerufen. Rohstoffeingangskontrollen und -analysen sind zur Erfassung der komplexen Wirkungen der funktionellen Eigenschaften der Einzelkomponenten in der Lebensmittelmatrix nicht hinreichend. Um eine optimale Schaumstruktur zu erreichen, müssen daher Schwankungen der Rohstoffeigenschaften durch variable Prozessparameter, wie Aufschlagzeit oder Schergeschwindigkeit, kompensiert werden.

Derzeit fehlen aber Methoden, um den Einfluss und den Effekt der Prozessparameter auf die

Schaumstruktur in Echtzeit zu messen und somit Rückschlüsse über die technologische Steuerbarkeit des Prozesses zu ziehen. Die Überwachung erfolgt größtenteils anhand der visuellen und haptischen Eindrücke des Fachpersonals.

Bestehende Systeme, mit deren Hilfe Poren in getreidebasierten Schäumen charakterisiert werden können, sind Leitfähigkeitsmessung, konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie (CLSM) und Röntgenuntersuchung des Schaums (Computertomografie, CT). Die elektrische Leitfähigkeit ist eine Stoffkonstante, die vom Gasgehalt des Schaums abhängt, allerdings kann keine direkte Auskunft über die Verteilung und die Größen der Poren ermittelt werden. Mit CLSM und CT kann die Porengrößenverteilung bestimmt werden, sie sind aber aufgrund der Zeitverzögerung durch die Probenahme und Analysenzeit nicht echtzeitfähig und spiegeln nicht die Prozessdynamik wider. Zudem erfordern sie einen hohen apparativen Aufwand und sind invasiv (CLSM). Eine Überwachung der Schaumstruktur ist allerdings wesentlich, um die Porengrößenverteilung getreidebasierter Schäume zu optimieren und einen störungsfreien Prozessablauf und eine bestmögliche Endproduktqualität sicherzustellen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Porengrößenverteilung getreidebasierter Schäume bei der Herstellung von Feinen Backwaren zu optimieren. Dazu sollte die Ausbildung der Poren (Schaumstruktur) während des Herstellungsprozesses mit einer neuen ultraschallbasierten Messmethode überwacht und eine Schaumstrukturmessgröße entwickelt werden, die als Steuergröße für den Aufschäumprozess dient.

Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein experimenteller Labormessaufbau für Ultraschallmessungen erstellt, der mit unterschiedlichen Ultraschallfrequenzen betrieben werden konnte sowie hierfür eine Messkammer für Microbubbles entwickelt, die Untersuchungen in einem Modellsystem ermöglichte. Es wurde ein Modell entwickelt, um die Dämpfung von Ultraschallwellen aufgrund definierter Gasblasen im Medium zu berechnen und dieses anschließend mittels entsprechender Referenzanalytik validiert. Zur Validierung der ultraschallbasierten Messungen wurden verschiedene Referenzmethoden untersucht, die sich zur Charakterisierung von Schaumstrukturen eignen. Eine

Standardrezeptur für Biskuitmasse und Variationen davon wurden sowohl für Offlinemessungen, als auch für spätere Onlinemessungen etabliert und anhand der ausgewählten Referenzmethoden charakterisiert.

Zur Analyse der Ultraschallsignale wurde ein Signalauswertalgorithmus etabliert, der sogenannte Signalfeatures nutzt. Die entwickelte Auswertalgorithmik wurde auf getreidebasierte Schäume übertragen und für Puls-Echo-Messungen angepasst. Dabei zeigte sich, dass die applizierte Schallfrequenz einen wesentlichen Einfluss auf die Signalqualität und Robustheit der Auswertung hatte. Weiterhin wurden für die Entwicklung einer Schaumstrukturmessgröße unterschiedliche Parameter genutzt. Die Parameter Dichte, Porosität, Anzahl der Blasen, Sauter-Radius und relative Streuung wurden für die Bildung der Schaumstrukturmessgröße etabliert.

Für die Beurteilung der Endproduktqualitäten wurden alle Variationen der untersuchten Masse, hergestellt im diskontinuierlichen und im kontinuierlichen Verfahren, sowohl aufgrund ihrer Gebäckeeigenschaften als auch aufgrund ihrer Endproduktqualität durch sensorische Analysen bewertet. Durch die Auswertung der Kombination der Verkostungsattribute konnte auf die Steuerbarkeit der Endproduktqualität durch Parametervariation geschlossen werden. Der Zusammenhang zwischen Einflussfaktoren und Parametern der Zielgröße (Schaumstrukturmessgröße) wurde mittels eines Design of Experiments ermittelt.

Das entwickelte Ultraschall-Messsystem wurde sowohl an das diskontinuierliche als auch an das kontinuierliche Schaumherstellungsverfahren angepasst. Durch Korrelationen der Signalfeatures mit den offline bestimmten Referenzmessungen wurde die Schaumstrukturmessgröße ermittelt. Die Schaumstrukturmessgröße charakterisiert dabei die Schaumstruktur getreidebasierter Schäume und dient als Größe für die Steuerung des Produktionsprozesses mithilfe der entwickelten ultraschallbasierten Messtechnik.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die deutsche Backwarenindustrie ist durch handwerkliche und mittelständische Bäckereien (13.347 Betriebe) geprägt, nur fünf Großbetriebe erzielten einen Umsatz von jeweils mehr als 150 Mio. € pro Jahr (Stand 2017). Insgesamt sind ca.

273.700 Mitarbeiter in dieser Branche beschäftigt, die einen Umsatz in Höhe von 14,48 Mrd. € erzielt. Die Produktion von Feinen Backwaren hat dabei einen Anteil von etwa 18 % und ist im Jahr 2017 um 3,6 % auf 2,10 Mrd. € gestiegen. Gerade kleine Unternehmen stehen jedoch unter einem hohen Wettbewerbsdruck und sind von Konzentrationsprozessen betroffen. Dies zeigt sich insbesondere durch den Rückgang um mehr als 3.200 Unternehmen seit dem Jahr 2014. Kaum eine Branche ist zudem vom Fachkräftemangel so betroffen wie die Betriebe im Lebensmittelhandwerk. Dadurch steht der Backbranche weniger geschultes Fachpersonal zur Verfügung und die Überwachung der Herstellung von Lebensmittelschäumen, welche heute noch überwiegend mit Hilfe visueller und haptischer Eindrücke des Fachpersonals durchgeführt wird, wird zunehmend erschwert.

Die entwickelte Methode eröffnet der Backbranche neue Möglichkeiten, um während der Herstellung von getreidebasierten Schäumen die Porengrößenverteilung zu überwachen. Hierdurch können durch Rohstoffschwankungen oder durch Fehler im Prozess bedingte Abweichungen der Schaumstruktur erkannt und korrigierend durch Variation der Prozessparameter in den Prozess eingegriffen werden, um eine optimale Schaumstruktur zu erzielen. Dadurch können Fehlproduktionen vermieden und eine optimale Endproduktqualität gewährleistet werden. Sowohl direkte Fehlerkosten (durch die Unverkäuflichkeit der Fehlproduktion) als auch indirekte Fehlerkosten als Folge von Ausfallzeit, Imageproblemen oder den Verlust von Kunden bzw. Marktanteilen lassen sich so minimieren. Bei kontinuierlichen Herstellungsverfahren kann die Fehlproduktion wegen nicht optimaler Schaumstrukturen laut Industrieangaben mit 3 % veranschlagt werden, was hochgerechnet bei einem Umsatz von Feinen Backwaren von 2,10 Mrd. € zu Einbußen für die Herstellerbetriebe von schätzungsweise über 62,5 Mio. € pro Jahr führt.

Von den Ergebnissen wird auch der Maschinen- und Anlagenbau profitieren. Gerade die Integration von innovativen Verfahren und Techniken der Prozessindustrie in den Anlagenbau besitzt

ein großes Potential bei der Etablierung ressourcenschonender Produktionsverfahren bzw. bei der Optimierung vorhandener Verfahren. Da der Einsatz der angestrebten Methode nach algorithmischer und ggf. apparativer Anpassung für weitere Medien, die Gaseinschlüsse enthalten, und damit über die Backindustrie hinaus möglich ist, ergeben sich für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus auch neue Geschäftsfelder.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2018.
2. Metzenmacher, M., Geier, D. und Becker, T.: Ultrasound-based monitoring of cereal-based foams. In: The Future of Baking – Science – Technique – Technology 22–27, (2018).
3. Chen, X., Hussein, M und Becker, T.: Determination of Bubble Size Distribution in Gas-liquid Two-phase Systems via an Ultrasound-based Method. Eng. Life Sci. 1-11, DOI: 10.1002/elsc.201500148 (2017).
4. Chen, X., Hussein, M., Geier, D. und Becker, T.: Innovation in Dough Preparation: Ultrasound-based Density Measurement. Bak. bisc. 1, 50-52 (2016).
5. Chen, X., Hussein, M., Geier, D. und Becker, T.: Innovation bei der Teigbereitung: Dichtemessung auf Ultraschall-Basis. brot backw. 2, 52-55 (2016).

Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
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

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

