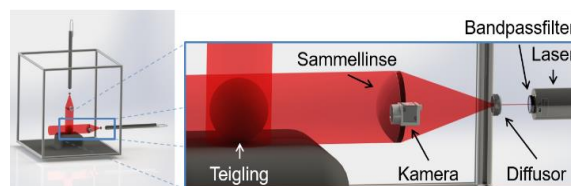


## Analyse des Gär- und Backprozesses durch Dynamic Laser Speckle Imaging



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Technische Universität München School of Life Sciences Forschungsdepartment Life Science Engineering Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Dipl.-Ing. Dominik Ulrich Geier
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e.V. (IVLV), Freising Weihenstephaner Förderverein für Brau-, Getränke- und Getreidetechnologie e.V., Freising Weihenstephaner Institut für Getreideforschung e.V. (WIG), Freising
Projektkoordinator:	Dr. Helge Nelson Miele & Cie. KG, Oelde
Laufzeit:	2019 – 2021
Zuwendungssumme:	€ 247.630,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation

In der Backwarenherstellung beeinflusst der Gärprozess, die sog. Gare, den Volumenzuwachs, die Struktur, das Aroma und die Frischhaltung der Produkte. Die im Backprozess erfolgende Lockerung der Krume, die Ausbildung der Kruste und der Ofentrieb haben ebenfalls Einfluss auf die genannten Aspekte wie auch auf das Aussehen und die Attraktivität der Produkte. Die Bestimmung des optimalen Reifezustands eines Teiglings in der Gare erfolgt in der Regel durch die visuelle und taktile Kontrolle von erfahrenem Fachpersonal. Auch beim Backprozess erfolgt die Kontrolle des Ofentriebs und der Krustenfarbe bisher zumeist nur visuell, also indirekt und subjektiv. Durch den Mangel an Fachkräften steht Backbetrieben aber zunehmend weniger geschultes Personal zur Verfügung, die Gare und das Backen laufen daher oft nach fest vorgegebenen Programmen ab, wobei es zur Produktion von Backwaren kommen kann, die weder den Hersteller- noch den Kundenerwartungen entsprechen.

Voruntersuchungen ließen vermuten, dass während des Gär- und Backprozesses ein Zusammenhang zwischen der Aktivität von Lichtstreuungszentren in der oberen Schicht der Teiglinge und Referenzparametern der klassischen Backwarenanalytik besteht, wobei die Aktivität der Lichtstreuungszentren mittels Dynamic-Laser-Speckle-Imaging (DLSI) detektiert werden könnte.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, auf Basis der DLSI-Technik ein Verfahren zu entwickeln, mit dem der Gär- und Backprozess überwacht werden kann. Mittels DLSI sollte während der Gare die räumliche Verteilung expandierender Gasblasen direkt unter der Teigoberfläche visualisiert und beim Backen durch die Erfassung der Gaspermeabilität die Krustenbildung überwacht sowie die Krustenfestigkeit bestimmt werden. Eine Simulation der Lichtstreuung innerhalb des Teiglings in Kombination mit den Bilddaten sollte die Ergebnisse zusätzlich absichern und zur Auslegung eines Laserdioden-basierten Messsystems genutzt werden.

### **Forschungsergebnis**

---

Im Zuge des Forschungsprojekts wurde ein laseroptisches Messsystem entworfen und konstruiert. Die damit aufgenommenen Bilderserien wurden sowohl mit etablierten Algorithmen als auch mit einem selbst entwickelten Algorithmus ausgewertet. Mithilfe der LATTICE-BOLTZMANN-Methode (LBM) wurden die Strahlungswärmeübertragung in einem zweidimensionalen Ofen sowie die zeit- und orts aufgelöste Lichtintensität (Lösung der Strahlungstransportgleichung, RTE) und das Verhalten fluktuierender Partikel (Fluktuierende-LATTICE-BOLTZMANN-Methode, FLBM) simuliert und das Simulationsmodell mit der Theorie verifiziert. Anschließend wurde ein funktionsfähiger Backofen in das laseroptische Messsystem integriert und es wurden Gär- und Backversuche in der realen Prozessumgebung durchgeführt. Zur Abklärung von Bereichen, die in der Bildauswertung eine erhöhte Speckle-Aktivität zeigten, erfolgten die Messung der Gaspermeabilität sowie Messungen mittels  $\mu$ CT. Zudem konnte gezeigt werden, dass sich die He-Ne-Laser durch Diodenlaser ersetzen lassen, da der entwickelte Auswertalgorithmus in der Lage ist, die Speckle-Bilder entsprechend zu korrigieren. Die Größe des laseroptischen Messsystems konnte dadurch stark reduziert werden.

Mit der Analyse des Gär- und Backprozesses durch Dynamic-Laser-Speckle-Imaging wurde eine innovative Methode entwickelt, die der Backbranche neue Möglichkeiten der Prozessüberwachung während der Herstellung von Backwaren eröffnet. Das laseroptische Messsystem ist in der Lage, die Entstehung größerer Gasblasen unterhalb der Kruste, die vor allem ab einer einsetzenden Übergare auftreten, zu detektieren und damit das Ende der Gare anzuzeigen. Zudem kann während des Backens die Bildung der Kruste inklusive kleiner eingeschlossener Bläschen, durch die eine verstärkte Gaspermeabilität stattfindet, mitverfolgt werden. Mithilfe dieser Informationen lassen sich Aussagen über das Ende des Backprozesses treffen. Den Anwendern wird dadurch die Möglichkeit gegeben, auf Prozessstörungen zu reagieren und schwankenden Produktqualitäten entgegenzuwirken. Dadurch können die Qualität verbessert und Ausschuss, Energieverbrauch und Entsorgungs- sowie Retourenkosten reduziert werden. Das entwickelte laseroptische Messsystem ist zurzeit für den Einsatz im Batchbetrieb konzipiert, könnte jedoch auch in kontinuierliche Gär- und Backprozesse integriert werden. Durch diese Flexibilität und einfache Nachrüstbarkeit wird gewährleistet, dass das Messsystem auch in kleinen und mittleren Unternehmen eingesetzt werden kann. Dies ist besonders dort sinnvoll, wo keine Fachkräfte zur Produktion zur Verfügung stehen, etwa beim Gären und Backen von Teiglängen in Backfilialen oder bei der vollautomatischen Fertigung in Großbäckereien.

### **Wirtschaftliche Bedeutung**

---

Die deutsche Backwarenindustrie war 2020 bei einem Umsatz von etwa 14,45 Mrd. € vorwiegend durch handwerkliche und mittelständische Betriebe (10.181 Bäckereien) geprägt, welche etwa 255.300 Mitarbeiter beschäftigten. Im Jahr 2019 erzielten 2.345 Betriebe einen Umsatz von mehr als einer Million € und lediglich 46 Betriebe einen Umsatz von mehr als 50 Mio. €. Der Marktanteil der Unternehmen mit einem Umsatz von mehr als einer Million € lag bei 87 %. Insbesondere kleine Unternehmen stehen unter hohem Wettbewerbsdruck und sind von Konzentrationsprozessen betroffen. Zusätzlich steht durch den Mangel an Fachkräften zunehmend weniger geschultes Personal zur Verfügung.

Durch die Klärung der Zusammenhänge zwischen der Oberflächenaktivität nach Laserbestrahlung und den Prozessgrößen der Gare und des Backens wurde eine innovative Methode entwickelt, die der Backbranche neue Möglichkeiten der Prozessüberwachung eröffnet. Die entwickelte Methodik ermöglicht zudem eine kontinuierliche Prozessüberwachung, die anderweitig nicht realisierbar ist. Ebenso können Einflüsse durch

Prozessstörungen bzw. schwankende Rohstoffqualitäten erfasst und diesen entgegengewirkt werden. Dadurch können die Produktqualität verbessert und Ausschuss, Energieverbrauch und Entsorgungs- bzw. Retourenkosten reduziert werden. Gelangen Produkte von geringer Qualität in den Verkauf, besteht zudem aufgrund des damit verknüpften Imageverlustes die Gefahr, Kunden bzw. Marktanteile nachhaltig zu verlieren. Gerade für kleinere Unternehmen können Imageverluste schnell existenzgefährdende Ausmaße annehmen.

Die entwickelte Methode bietet eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit (Investitionskosten von ca. 2.000 €) zur Überwachung des Gär- und Backprozesses, welche somit optimale Voraussetzungen zur Stärkung von KMU mit sich bringt. Weiterhin können die Ergebnisse auf die Gegebenheiten von artverwandten Prozessen in verschiedenen Industriezweigen angepasst werden. Hierdurch ergibt sich für Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus (rund 6.450 Unternehmen, 86 % KMU) die Möglichkeit, neue innovative Geräte, Messtechniken und Prozesssteuerungen in den Markt einzuführen. 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. Dies verdeutlicht das wirtschaftliche Potential der Ergebnisse, denn nur durch hohe Innovationskraft und einen regelmäßigen Technologiewechsel können Effekte, wie Herstellerkonzentration und Produktionsverlagerung in Niedriglohnländer, verhindert werden. Den angesprochenen Industriezweigen gehören hauptsächlich kleine und mittelständische Unternehmen an. Für diese Unternehmen erweist sich die Realisierung eines derartigen interdisziplinären Vorhabens in Eigenregie mangels vorhandenen Ressourcen als schwierig. Das erfolgreich abgeschlossene Forschungsvorhaben stellt daher gerade für diese Firmen eine Möglichkeit dar, das Potential der innovativen Methode zu evaluieren und einer wirtschaftlichen Verwertung zuzuführen.

### ***Publikationen (Auswahl)***

---

1. FEI-Schlussbericht 2021.
2. Metznermacher, M., Steinhauser, S., Takacs, R. Geier, D. & Becker, T.: Innovative Sensorkonzepte in der Backwarenproduktion. Getreide, Mehl, Brot 44706, II, 33-38 (2022).
3. Steinhauser, S., Fattahi, E., Geier, D. & Becker, T.: Non-invasive rheology measurement employing diode laser imaging. Opt. Laser Technol. 152, 108112, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108112> (2022).
4. Takacs, R., Steinhauser, S., Geier, D. & Becker, T.: Image processing applications for baking process monitoring. In: Baking and Biscuit Intern. Magazine - automation book, 96-103, ISBN 978-3-9824079-0-6 (2022).
5. Steinhauser, S., Fattahi, E., Geier, D. & Becker, T.: Dynamic Laser Speckle Imaging – A promising approach towards automating proofing and baking? Backtechn. Europ. 44687, 12-16 (2022).
6. Steinhauser, S., Fattahi, E., Geier, D. & Becker, T.: Entwicklung eines Inline-Sensors zur kontaktlosen Analyse hochviskoser Medien mittels Laser Speckle Rheology. Chem. Ing. Techn. 92, 1129-1375, <https://doi.org/10.1002/cite.202055144> (2020).

### ***Weiteres Informationsmaterial***

---

Technische Universität München  
School of Life Sciences  
Forschungsdepartment Life Science Engineering  
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie  
Weihenstephaner Steig 20  
85354 Freising

Tel.: +49 8161 71-3261  
Fax: +49 8161 71-3883  
E-Mail: dominik.geier@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

### **Förderhinweis**

---

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

Gefördert durch:



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 Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

*Bildnachweis - Seite 1: © Stefan Steinhauser, Dominik Geier, Thomas Becker, Technische Universität München*

Stand: 2. November 2023