

Entwicklung eines intelligenten Backofens (IBO) zum optimierten Backen in industriellen Backöfen mittels digitaler Bildauswertung und erfahrungsbasierter Fuzzyregelung

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I: (bis 30.6.2009)	Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Prozessanalytik und Getreidetechnologie Prof. Dr. T. Becker/Dr. M. Mitzscherling
Forschungsstelle II:	Universität Hannover Institut für Technische Chemie Prof. Dr. T. Scheper/Prof. Dr. T. Hitzmann
Forschungsstelle III: (ab 1.7.2009)	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. T. Becker/Dipl.-Ing. M. Jekle
Industriegruppen:	Verband Deutscher Großbäckereien e.V., Düsseldorf Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM), Frankfurt VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen, Frankfurt
	Projektkoordinator: Dr. O. Schäuble, Werner & Pfleiderer Industrielle Backtechnik GmbH, Tamm
Laufzeit:	2008 – 2010
Zuwendungssumme:	€ 343.050,00 (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Derzeit ist kein Backsystem am Markt verfügbar, welches das Backgut, die Form und Farbe der Backware und deren Änderung über die Zeit während der thermischen Behandlung automatisch quantifiziert. Ofensysteme sind bisher nicht in der Lage, selbstständig steuerungstechnisch Einfluss auf den Backverlauf und deren Parameter zu nehmen. Produktbeurteilungen werden daher ausschließlich manuell angewandt, zu meist erst nach Ablauf des Backprozesses oder durch Unterbrechungen der Backphasen vorgenommen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, ein Konzept für einen „intelligenten Backofen“ zu entwickeln, d.h. für ein optisches Messsystem und ein darauf aufbauendes fuzzy-basiertes

Regelungssystem für den Backprozess, das in der Lage ist, trotz schwankender Rohstoff- und Verarbeitungsqualitäten und Fehlbedienungen bestmögliche Gebäcke zu liefern.

Forschungsergebnis:

Um den Automationsgrad von Backprozessen zu erhöhen, wurde im Rahmen des Projekts ein „intelligenter Backofen (IBO)“ zum optimierten Backen in industriellen Backöfen mittels digitaler Bildauswertung und erfahrungsbasierter Fuzzy-Regelung entwickelt. Ziel dieser Forschung war ein sog. „virtueller Ofenführer“. Dieser übernimmt auf nahezu identische Weise die Aufgaben eines erfahrenen Bäckers bzw. Ofenführers, der zur Steuerung des Backprozesses in der Regel seinen visuellen Eindruck und seine lang-

jährigen Erfahrungen nutzt. Realisiert wird der „virtuelle Ofenführer“ über eine optische Bildfassung mittels einer Industriekamera. Diese wiederum ist in der Lage, trotz widriger Umgebungsbedingungen, wie zum Beispiel Verschmutzungen der Scheiben, hohe Temperaturen oder Kondensation durch Schwaden, mit der notwendigen Genauigkeit und Zuverlässigkeit digitale Daten zu liefern.

Grundvoraussetzung war die Realisierung dieser Kamerasysteme als Anbaufunktion, um einen zu hohen Kostenaufwand aufgrund von Umbaumaßnahmen bereits bestehender Öfen zu vermeiden. Die Auswertung der gewonnenen digitalen Bilder erfolgt mit Hilfe von spezifischen Algorithmen. Dabei liefern die Farb- und Forminformationen der Bilder Kenngrößen für eine aktuelle Beurteilung der Farbsättigung, der Helligkeit, der Form und des Volumens der jeweiligen Backwaren. In einem weiteren Schritt wurden Kenntnisse und Erfahrungen eines Ofenführers zur Automation des Backprozesses in einer Datenbank bereitgestellt. Hierfür war der Aufbau einer so genannten Erfahrungsdatenbank notwendig, in der das Prozesswissen in Form eines Fuzzy-Control-Systems implementiert wurde. Daten aus Ofenevaluierungen und differenzierten Versuchsreihen zu äußeren und inneren Produktparametern flossen in die Datenbank mit ein. So konnten Korrelationen zwischen der Gasfeuchte des Backraumes und der Produktqualität sowie Temperaturprofile der Strukturentwicklung von Krume in Bezug auf die thermische Beeinflussung erstellt werden. Dieses Prozessverständnis diente zusammen mit den digitalen Daten dem erfahrungsbasierten Fuzzy-Control-System zur Steuerung des spezifischen Backprogrammes.

Zur Steuerungsevaluierung wurde ein Abgleich zwischen den Daten aus dem Fuzzy-Control-System und technologisch ermittelten Endproduktkenndaten, wie Produktvolumen, Bräunungsgrad und Backverlust, erstellt. Als Statuserkennungsparameter dienen die Kenngrößen des Bildauswertalgorithmus. Dabei dient z. B. die digital erfasste Farbsättigung als Parameter des Bräunungsgrades, wobei beispielhaft am Produkt Brötchen Abweichungen der Farbsättigung um $> 0,02 \text{ min}^{-1}$ zu einer Prozessregelung führen. Die Unterscheidung dieser „intelligenten“ Regelung verläuft nicht nur zwischen „ja“ und „nein“ oder „fertig“ und „nicht fertig“, sondern liefert auch Zwischenwerte wie „fast fertig“. Erstmals ist es durch den intelligenten Backofen möglich, dass das Backprogramm selbst

Schwankungen in der Teiglingsqualität sowie Rohstoff- und Prozessschwankungen ausgleicht. Anstelle starrer Backparameter werden nun Temperatur, Feuchte und Backzeit im Backraum automatisiert geregelt.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Fehlerhafte Backwaren müssen zu reduzierten Preisen verkauft werden oder bilden Ausschussware. Derzeit entsteht aus diesen Gründen den Produzenten ein Schaden von einigen 100 Mio. € jährlich.

Durch die im Rahmen des Vorhabens entwickelte innovative Steuerungstechnik wird dem Backgewerbe, das in Deutschland aus 16.500 handwerklichen Bäckereien und ca. 60 mittelgroßen Unternehmen besteht, die Möglichkeit gegeben, den Erhalt einer gleichmäßig hohen Produktqualität auch bei Variation der Einflussgrößen, wie Rohstoffe, Umgebungsbedingungen oder Personalwechsel, zu gewährleisten und somit die Ausschussware zu verringern. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen haben durch die Minimierung von Ausschuss und der Verbesserung der Produktqualität Vorteile zu erwarten. Darüber hinaus wird das Bedienpersonal der Öfen in ihrer Verantwortung entlastet und die Betreuungs- und Wissensanforderungen an das Personal können auf ein Minimum gesenkt werden.

Des Weiteren bietet das entwickelte System kleinen Kameraherstellern, die sich auf spezifische Industriekamerasysteme spezialisiert haben, welche beim IBO-System vonnöten sind, die Möglichkeit, sich in einem weiteren Wirtschaftszweig zu etablieren. Mit IBO wurde ein System entwickelt, das Bäckereimaschinenherstellern, die 60 % ihres Umsatzes ($< € 300 \text{ Mio p.a.}$) durch Export erzielen, die Chance eröffnet, ihre wirtschaftliche Stellung nicht nur im nationalen, sondern auch im internationalen Wettbewerb weiter auszubauen.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2011.
2. Paquet-Durand, O., Solle, D., Schirmer, M., Becker, T. und Hitzmann, B.: Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis. J. Food Eng. 111, 425-431 (2012).

3. Schirmer, M., Hussein, W. B., Jekle, M., Hussein, M. A. und Becker, T.: Impact of air humidity in industrial heating processes on selected quality attributes of bread rolls. *J. Food Eng.* 105, 647-655 (2011).
4. Schirmer, M., Jekle, M., Becker, T.: Quantification in Starch microstructure as a function of baking time. *Proc. Food Sci.*, 145-152, (2011).
5. Solle, D., Hitzmann, B., Schirmer, M. und Becker, T.: Digital Image Analysis for the Optimal Control of Bread and Rolls Baking. *Proc. 5th CIGR Section VI Intern. Symp. Food Proc., Monit. Technol. Bioprocess and Food Qual. Manage., Potsdam 2009*, 666-671 (2011).
6. Schirmer, M., Jekle, M., Hussein, M. A. und Becker, T.: Krusteneigenschaften in Korrelation zur Gasfeuchte im Backraum. *Getreide-technol.* 63 (4), 7 (2011).
7. Schirmer, M., Jekle, M., Hussein, M.A. und Becker, T.: IBO – Intelligenter Backofen. *Der Lebensmittelbrief* 19, 373-375 (2008).

Weiteres Informationsmaterial:

Universität Hannover
Institut für Technische Chemie
Callinstraße 3, 30167 Hannover
Tel.: 0511/762-2269, Fax: 0511/762-5885
E-Mail: scheper@iftc.uni-hannover.de

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Tel.: 08161/71-0, Fax: 08161/71-3883
E-Mail: tbecker@wzw.tum.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:

