

Innovatives Backen in einem Durchlauf-Backofen basierend auf hoher NIR- und IR-Wärmestrahlung



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Andreas Wierschem/Prof. Dr. Antonio Delgado/ Dr. Vojislav Jovicic
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt
Projektkoordinator:	Dieter Knost Werner & Pfleiderer Industrielle Backtechnik GmbH, Tamm
Laufzeit:	2020 – 2023
Zuwendungssumme:	€ 282.267,--

Ausgangssituation

Bei der Produktion von Brot und Backwaren gehört der Backprozess zu den energieintensivsten Herstellungsschritten. Der spezifische Energieverbrauch eines Backofens liegt typischerweise zwischen 0,5 und 7,3 MJ/kg, wobei der Energiebedarf bei kleineren Bäckereien mit einer höheren Auswahl an Produktarten höher ist. Aus dem für den Backprozess benötigten Anteil von mehr als 50 % der Produktionsenergie dient allerdings nur ein Drittel der Erwärmung der Backware, die übrige Energie dissipiert in die Umgebung. Dieser Energiemehreinsatz kostet einen kleineren Backbetrieb mit ca. 150 t/a Mehleinsatz jährlich etwa 5.000 € bei gas- oder ölbetriebenen Öfen und bis zu 12.000 € bei elektrischen Öfen; hinzu kommen Aufwendungen für CO₂-Emissionen. Es besteht deshalb Bedarf für innovative technische Lösungen und Backkonzepte, die ein hohes Leistungsspektrum mit einem effizienten Ressourcenmanagement (Energie, Backzeit, Platzbedarf) verbindet.

Im Rahmen des IGF-Vorhabens 17335 N wurde hierzu bereits die Tauglichkeit einer Backofentechnik auf Basis eines volumetrischen keramischen Brenners (VKB) belegt und die Vorteile eines gasbeheizten VKB für den Backprozess am Beispiel eines Etagenofens nachgewiesen, z. B. eine Reduzierung der Backzeit um bis zu 20 %, die Reduzierung der Energiezufuhr und der Schadstoffemissionen und zwar bei Beibehaltung oder Verbesserung der Produktqualität usw..

Ziel des vorliegenden Vorhabens war es, aufbauend auf den Ergebnissen dieses IGF-Vorhabens diese Backofentechnik auf kontinuierliche Backprozesse zu übertragen, die die Nutzung höherer Wärmeeinflüsse ermöglichen und die Bandgeschwindigkeit als zusätzliche Kontrollvariable mit einbeziehen. Durch präzise Kontrolle der Wärmestrahlungsintensität und der Strahlungswärmedichteverteilung sollte die Backzeit verkürzt und die Anwendbarkeit der Technik für die Herstellung einer breiten Palette von Backwaren geprüft werden.

Forschungsergebnis

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein hochinnovativer Backofen auf der Grundlage der VKB-Brennertechnik konzipiert, konstruiert, mechanisch montiert, in Betrieb genommen, experimentell charakterisiert und mittels numerischer Simulation technisch optimiert. Zugleich erfolgte eine Bestimmung von praxisüblichen Qualitätsmerkmalen der ausgewählten Produkte Brot, Brötchen und Kekse. Hierbei galt die Maxime, dass im Vergleich zu den etablierten Backöfen die Qualität des Backgutes zumindest ein gleich hohes Niveau erreichen sollte.

Ein erster innovativer Aspekt der Ergebnisse ergibt sich unmittelbar aus dem einzigartigen NIR/IR-Wellenlängenspektrum des VKB im Vergleich zu anderen Brennertypen, das gepaart mit dem überaus hohen Anteil an thermischer Strahlung die physico-(bio-)chemischen Mechanismen im Backgut besonders effizient triggert.

Um einerseits eine besonders hohe energetische Effizienz und andererseits eine möglichst hohe Backgutqualität zu erreichen, erforderte dies - neben der Auswahl der Konstruktionsmaterialien - eine Ofengeometrie, die eine möglichst homogene Verteilung der thermischen Strahlung und des Temperaturfeldes an der Backplatte aufweist. Dies gewährleistet eine Backqualität auf hohem Niveau bei gleichzeitig optimierter Energieaufnahme durch das Backgut und einer Verringerung der thermischen Dissipation des Ofens.

Im Unterschied zu der in der Praxis gängigen, in der Regel mit enormem Aufwand verbundenen Trial-and-Error-Vorgehensweise dienten systematische numerische Simulationen dazu, ein möglichst homogenes Backszenario virtuell abzubilden. Konkret bestand die Aufgabe darin, Ergebnisse zum Einfluss der Reflektor-Eigenschaften (Form, Material, Abstand zu dem VKB-Brenner als Wärmequelle und der Backplatte) auf die Temperaturverteilung an der Backplatte zu erarbeiten. Dies erfolgte für drei verschiedene Leistungen (300 kW/m², 600 kW/m² und 900 kW/m²) drei verschiedene Abstände zwischen VKB und Backplatte (klein, mittel und groß), drei verschiedene Reflektorformen (eben, elliptisch und kreisförmig) und Reflektoroberflächen mit veränderlichem Anteil an diffusiver Strahlung. Bei einer vereinfachten, zweidimensionalen (2D) Modellierung brachte die mit dem kommerziellen Code ANSYS Fluent 2019R1 durchgeführte Simulation das Ergebnis, dass ein kreisförmiger Reflektor zu den geringsten Temperaturschwankungen auf der Backplatte führt. Dabei zeigte sich, dass es zu einem mäßig monoton fallenden Temperaturabfall zur Ofenwand kommt, der sich ursächlich weniger in der Inhomogenität der Strahlungsverteilung als vielmehr durch die Dissipation von thermischer Energie in die Umgebung begründet. Eine bessere Wärmedämmung würde hier im praktischen Einsatz für eine einfache Abhilfe sorgen.

Zur Optimierung des Ofens kam eine 3D-Simulation zum Einsatz, die das Einsatzszenario von komplexeren Reflektorgeometrien in der Praxis noch adäquater abbildete. Konkret sollte zur weiteren Homogenisierung der Strahlung die Reflektorfläche – unter Wahrung der gegebenen räumlichen Restriktion durch die Breite des Ofens und der Abdeckung durch den als Wärmequelle dienenden VKB – aus Teilsegmenten von Ellipsen unterschiedlicher Halbachsen bestehen. Die Simulationen führten zum Ergebnis, dass eine elliptische, zweifach abgesetzte Reflektorform zu der gleichmäßigsten Temperaturverteilung auf der Backplatte führt. Dies geht zugleich mit dem höchsten Temperaturniveau einher.

Sowohl das numerisch als auch das experimentell erhaltene Ergebnis zeigt, dass selbst einfache Reflektoren bei gleicher Leistung des VKB das Temperaturniveau auf der Platte signifikant erhöhen (um bis zu 30 %!). Die erhaltenen Forschungsergebnisse belegen, dass dies bei Brot zu einer relativen Zeiteinsparung von über 40 % führt, was eine enorme Reduzierung des energetischen und ökonomischen Aufwandes sowie der Umweltbelastung zur Folge hat.

Wirtschaftliche Bedeutung

Das Brot- und Backwarengewerbe in Deutschland ist von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) geprägt. Über 58,7 % der Unternehmen erwirtschaften 2021 einen Jahresumsatz von weniger als 0,5 Mio. €, der Anteil größerer Unternehmen mit einem Jahresumsatz von mehr als 5 Mio. € liegt bei lediglich 5,6 %.

Für KMU bietet das entwickelte neue Ofenkonzept in mehrfacher Hinsicht deutliche Vorteile: Die Konstruktion, Herstellung und der Einbau sowohl des VKB als auch der Reflektoren stellen keine besondere technische oder ökonomische Herausforderung dar; Gleiches gilt für die Umrüstung vorhandener Tunnelöfen und deren Regelung. Ein besonderer Nutzungsvorteil resultiert zudem aus der einfachen Skalierbarkeit des erarbeiteten VKB-Reflektoren-Systems, die eine einfache Anpassung an die jeweiligen räumlichen und energietechnischen Bedürfnisse eines Backbetriebes erlaubt.

Der Einsatz des entwickelten Ofenkonzepts verspricht im Praxiseinsatz durch die verkürzte Backzeit eine um 40 % höhere Energieeffizienz, eine hohe Regelgüte durch die Flammenstabilität des VKB und einen homogenen Backprozess.

Im Vergleich zum Vorläufer Projekt (IGF-Vorhaben 17335 N) konnte eine Verdoppelung der Backzeitverkürzung erzielt werden. Legt man die dort vorgenommene konservative Abschätzung der Energie- und Kosteneinsparung (Flächenbelastung des VKB von rund 1.000 kW/m²) zugrunde, lässt sich hieraus ein um 46 % reduzierter Energiebedarf ableiten. Der Einsatz dieser Technologie ist deshalb auch vor dem Hintergrund der Herausforderungen des Klimawandels zukunftssträftig. Untersuchungen belegen zudem, dass sich der VKB in besonderem Maße dazu eignet, Wasserstoff bzw. wasserstoffhaltige Gasmischungen zu verbrennen. Hierzu müssen lediglich einige wenige technische Adaptionen vorgenommen werden. Dies eröffnet der Bäckereibranche die Möglichkeit, zur Dekarbonisierung der Atmosphäre signifikant beizutragen sowie ggf. hohe Kosten für CO₂-Zertifikate einzusparen.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2023.

Weiteres Informationsmaterial

Universität Erlangen-Nürnberg
Department Chemie- und Bioingenieurwesen
Lehrstuhl für Strömungsmechanik
Cauerstraße 4, 91058 Erlangen
Tel.: +49 9131 85-29500
Fax: +49 9131 85-29503
E-Mail: antonio.delgado@fau.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)

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde 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: © Sascha Kreklau / Verband Deutscher Großbäckereien e.V.

Stand: 8. November 2023