

Systematische Untersuchungen zur Einsatzqualifizierung einer innovativen Backofentechnik mit volumetrischem keramischem Brenner (VKB) einstellbaren Wellenlängenspektrums sowie hoher Regeldynamik und Energieeffizienz

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Universität Erlangen-Nürnberg Department Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Antonio Delgado/Dipl.-Ing. Vojislav Jovicic
Forschungsstelle II:	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie Prof. Dr. Thomas Becker/Dr. Mohammed Hussein
Industriegruppe:	VDMA - Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt
	Projektkoordinator: Dieter Knost Werner & Pfleiderer Industrielle Backtechnik GmbH, Dinkelsbühl
Laufzeit:	2014 – 2017
Zuwendungssumme:	€ 493.800,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Bei der Produktion von Brot- und Backwaren nimmt der Backprozess mit ca. 4,8 MJ/kg einen Spitzenwert hinsichtlich des Energieeinsatzes ein. Von der für den Backprozess benötigten Gesamtenergie entfällt nur ein Drittel auf die eigentliche Erwärmung der Backware. Der unnötige Mehreinsatz an Energie belastet somit insbesondere kleinere Unternehmen erheblich. Es besteht deshalb Bedarf an innovativen Backofentechnologien, die Energieeffizienz mit Produktionsökologie und -ökonomie verbinden sowie gleichzeitig Potenziale für die Verbesserung der Produktqualität bieten.

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Einsatzqualifikation für eine neuartige Gasbackofentechnik erarbeitet, bei der erstmalig in der Lebensmittelwirtschaft volumetrische keramische Brenner (VKB) eingesetzt wurden. In anderen industriellen Anwendungsfeldern haben Systeme mit VKB-Technik eine

überlegene Energienutzung sowie eine exzellente Prozessökologie bewiesen. Eine auf VKB-Technik basierende Backofentechnologie verknüpft die Vorteile einer hauptsächlich durch thermische Strahlung bewirkten Energieübertragung mit einer breiten Spreizung der Leistung. Somit bietet die VKB-Technik neben der erhöhten Energieeffizienz auch die Möglichkeit der Beeinflussung der Strahlungsintensität und eine ansonsten bisher unerreichte Regeldynamik, die für die Gestaltung und Implementierung verschiedener Backprogramme benötigt wird. Eine VKB-basierte Gasofentechnologie bietet damit insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) mit häufig stark variierender Produktvielfalt und Losgrößen besondere Vorteile.

Der Ofentyp, die Ausgestaltung der Wärmezufuhr, der Feuchtigkeitsgehalt im Backraum und die Backzeit wirken sich auf die sich

einstellenden Massen- und Energietransportbedingungen in entscheidender Form aus. Bisher existierten jedoch nur wenige Informationen über ganzheitlich betrachtete optimale Prozessbedingungen sowie backtechnische Untersuchungen, die im Kontext zur verwendeten Ofentechnik stehen. Experimentelle Voruntersuchungen zeigten den positiven Einfluss der thermischen Strahlung auf den Backprozess, z. B. eine Reduktion des Energieeinsatzes und eine Verbesserung der Wärmesteuerungs- bzw. des Wärmeregelungsgrads.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Einsatzqualifikation des innovativen Gasbackofenkonzepts auf Basis der volumetrischen keramischen Brennertechnik für die Herstellung von Lebensmitteln zu erarbeiten. Diese Einsatzqualifikation erforderte eine kritische Bewertung des Betriebsfensters in Wechselwirkung zu Produkteigenschaften und Prozessparametern. Ein zusätzliches Ziel bestand darin, auszuloten, welche Prozesszustände sich im neuartigen Gasofen durch die spezifische Nutzung der innovationstragenden Merkmale, Regel- und Schaltdynamik und Energieeffizienz, realisieren lassen.

Forschungsergebnis:

Im Rahmen des Projekts wurde mittels VKB-Technik eine „planare Anordnung“ und ein funktionstüchtiger Demonstrator eines Etagenladensofens konstruiert und erbaut. Weiterführend wurden die Systeme charakterisiert und aus konstruktionstechnischer sowie backtechnischer Sicht optimiert. Die experimentellen Daten aus den Versuchen zur planaren Anordnung unterstützten die Form und Anordnung des Brenners, belegten den Einfluss der Ofenwandung und Ofenhöhe auf die Wärmeübertragung im System und dienten der Charakterisierung der Aufheiz- und Backphase der VKB-Technik. Aus den Experimenten wurde eine rechteckige Anordnung als zielführend für eine homogene Temperaturverteilung ermittelt. Weiterführend wurde eine geschlossene „planare Anordnung“ konstruiert, um den direkten Einfluss der Schwaden auf den mit VKB-Technik betriebenen Backprozess und die Wärmeübertragungsmechanismen zu evaluieren. Die numerischen Simulationen des Demonstratorofens, basierend auf dem kommerziellen Code ANSYS Fluent 16.1 sowie auf der LATTICE-BOLTZMANN-Methode

(LBM), sind abrufbar. Der LBM-Code wurde für die erfolgreiche Bearbeitung des Projektes um einen Strahlungslöser und die geltenden Randbedingungen erweitert, ferner wurden Strategien für die Strukturmodellierung der komplexen Brotmatrix erarbeitet. Die numerischen ANSYS-Fluent-Analysen inkludierten die thermische Strahlung der VKB-Brennelemente, die über eine Quarzglasabdeckung in den Backinnenraum gelangt. Diese numerischen Simulationen ermöglichten, verschiedene konstruktive und betriebliche Modifikationen des Demonstratorofens sowie Optionen für technische Optimierungen zu analysieren. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde der Demonstratorofen mit 12 rechteckigen VKBs und Abgasrezirkulationssystem ausgestattet und in Betrieb genommen.

Der Demonstratorofen wurde auf zwei Arten charakterisiert, zum einem ohne Last (ohne Brot) und zum anderem mit Last in Teil- und Vollbeladung. Die experimentellen Analysen der Temperaturfelder im Ofen wurden mittels Temperatursensoren innerhalb der unteren Backplatte und mittels Thermographiekamera durchgeführt. Die gebackenen Weizenbrote (700 g) wurden nach der Herstellung nach handelsüblichen Kriterien bewertet, um die Endproduktqualität zu bestimmen. Zu den ermittelten Kriterien zählten u. a. Krustendicke und -farbe, Textureigenschaften sowie Porenverteilung. Die backtechnischen Analysen zeigten, dass mit der VKB-Technik in kürzerer Zeit Produkte mit gleicher Qualität wie mit herkömmlichen Backsystemen hergestellt produziert werden können.

Des Weiteren wurden die thermographischen Daten mittels Bildverarbeitungstechniken prozessiert, um eine echtzeitfähige Bewertung der Oberflächentemperatur, des Ofensprungs und der Wachstumskinetik durchzuführen. Das entwickelte Prozessführungssystem, das in LabVIEW ausgeführt wurde und in das das kommerzielle Prozessleitsystem ProLeiT Plant iT implementiert wurde, ist als Basis der zukünftigen industriellen Implementierung des Ofensystems angedacht. Die Ergebnisse der Endproduktqualitäten der mit VKB-Technik und der mit Referenztechnik (Elektroetagenofen) hergestellten Produkte zeigten keine signifikanten Unterschiede. Nach einer abschließenden Optimierung des Demonstratorofens konnten gleiche Produktqualitäten, aber mit einer gegenüber Elektroetagenöfen verbesserten Produktionszeit und Energieersparnis

hergestellt werden. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts zeigen, dass das Gasbackofenkonzept auf Basis der volumetrischen keramischen Brenntechnik zum Einsatz qualifiziert ist und darüber hinaus weitere Verbesserungen mit sich bringt.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Backbranche ist ein mittelständisch dominierter Wirtschaftszweig. In Deutschland gibt es ca. 11.700 handwerkliche Bäckereibetriebe (2016). Sie beschäftigen etwa 273.000 Mitarbeiter. Der Gesamtumsatz der Backbranche betrug 2016 ca. 14,3 Mrd. €. Die Zahl der Handwerksbäckereien sinkt allerdings Jahr für Jahr deutlich, während die Zahl von Bake-Off-Stationen in Supermärkten und Selbstbedienungsbäckereien steigt (industrielle Herstellung). Die Zahl der Backstationen in handwerklichen Filialbetrieben nimmt zu, die anders als industrielle Backbetriebe primär Gärsteuerungsverfahren (GU/GV) nutzen und anwenden (front-baking, Frischeaspekte).

Das durchgeführte Vorhaben war interdisziplinär angelegt und schafft wesentliche Grundlagen für einen schnellen und breiten Transfer der Ergebnisse im Bereich einer innovativen Mess- und Simulationstechnik und der Backtechnologie (inkl. Steuerung), insbesondere auch für Unternehmen des Anlagenbaus und für Anwender im Bereich der Backbranche. Das Potential des Projektes zur Umsetzung insbesondere in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ist als hoch einzuschätzen, da u.a. sowohl energetische, investigative und qualitative Gesichtspunkte die Relevanz des innovativen Verfahrens charakterisieren. Von den Ergebnissen werden insbesondere KMUs profitieren, da ihre Wettbewerbsfähigkeit durch eine Energiekosteneinsparung im Backprozess erhöht wird.

Neben der reinen Reduktion der Energiekosten durch eine optimierte Nutzung des Heizwertes fossiler Energieträger ergeben sich zusätzliche Effekte, die zu einer weiteren signifikanten Reduktion von Kosten genutzt werden können. Beispielsweise werden um 20 % reduzierte Backzeiten erreicht. Diese Backzeitverkürzung basiert auf dem verbesserten Energieeintrag der modifizierten Wärmestrahlung.

Exemplarisch kann die Ersparnis wie folgt dargestellt werden: Bei einer Flächenbelastung des VKBs von rund 1.000 kW/m² können bis zu

ca. 40 % der eingesetzten Brennstoffenergie in Form von Strahlung genutzt werden. Aus diesem Grund liegt der Energiebedarf ca. 23 % geringer als bei einer konventionellen Heizmethode, d. h. beträgt 0,62 kWh/Backvorgang. Bei einer Nutzungsdauer von 4.990 Backvorgängen/Jahr ergibt sich daraus ein Gasenergiebedarf von 3.094 kWh/Jahr bzw. bei einem Erdgaspreis von 4,33 Cent/kWh Gas werden 134 € Erdgaskosten verursacht. Daraus ergibt sich ein reduzierter Energiekostenaufwand von ca. 505 €/Jahr durch die Verwendung eines VKBs im Vergleich zu einem elektrisch beheizten Umluftofen.

Die erzielten Ergebnisse sind so ausgelegt, dass die Einsatzqualifikationen zwar für das Backhandwerk durchgeführt wurden, jedoch auch auf andere Industriezweige adaptiert werden können. Somit können auch Nutzer aus anderen Industriezweigen von den Ergebnissen profitieren. Weiterführende Anwendungen ergeben sich z. B. in der Futtermittel- oder Süßwarenindustrie oder bei jeglichen Arten von Trocknungsvorgängen. Damit eröffnen die Ergebnisse insbesondere für Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau die Möglichkeit, innovative Anlagen und Messtechniken auf den Markt zu bringen.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2017.
2. Jovicic, V. & Delgado, A.: Neuartiges Ofenkonzept. Brot Backw. 1, 40-45 (2019).
3. Jovicic, V., Zbogar-Rasic, A. & Delgado, A.: New oven concept with dominant near-infrared (NIR) thermal radiation heat transfer. J. Cer. Technol. 1, 40-51 (2019) DOI:10.23789/1869-2303-2019-1.
4. Jovicic, V. & Delgado, A.: VCB based baking oven concept - efficient, innovative and flexible. Bak bisc. intern. (spec. edit.), 10-17, ISBN 978-3-9817514-4-4 (2018).
5. Takacs, R., Geier, D., Becker, T., Jovicic, V., Zbogar-Rasic, A. & Delgado, A.: Mehr Effizienz: Volumetrische keramische Brenner - Eine innovative, energieeffiziente Technologie für den Backprozess. Backtech. 4, 32-35 (2017).

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@lstm.uni-erlangen.de

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

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



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 Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.