

## **Entwicklung eines neuartigen Hybridbackofens für den Ladenbackofenbereich**

### **1 Einleitung**

Der Verkauf ofenfrischer Produkte im Ladenbereich wird in den nächsten Jahren immer mehr zunehmen. Insbesondere in Hochdruckzeiten (am Morgen, mittags oder abends) müssen der Kundschaft in kurzer Zeit ofenfrische Backwaren bereitgestellt werden. Dazu muss gleichzeitig die Energieeffizienz auf Grund steigender Energiepreise deutlich verbessert werden.

Diese Entwicklungstendenz wurde von den Partnern IBT.Infrabiotech GmbH in Freiberg und dem ILU e.V. in Bergholz-Rehbrücke aufgenommen und im Rahmen eines FuE-Projektes ein neuartiger Hybridbackofen entwickelt, in dem unterschiedliche Wärmeübertragungsarten, wie Konvektionswärme und selektive Infrarotwärme, kombiniert wurden. Darüber hinaus erfolgte die Entwicklung produktspezifischer Backverfahren für die neue Backtechnik mit der Zielstellung einer wirksamen Senkung des Energieaufwandes beim Backen.

### **2 Entwicklung und Integration von STIR – Strahlern (Emittlern) in einem Heißluftladenbackofen**

Die Wärmeübertragung erfolgt beim Backprozess durch Strahlung (Infrarotwärme), Leitung, Konvektion und Kondensation (1).

Durch eine spezielle Beschichtung des Backraums mit keramischen Materialien bzw. zusätzlicher Installation von keramischen Strahlern im Ofen kann die Emissionszahl 90 bis 95 % betragen, d. h. dass die eingesetzte Energie zu einem sehr großen Anteil in Infrarotwärme umgewandelt wird. Wichtig ist weiter, dass diese hohe Emission insbesondere im selektiven Bereich von 3 bis 6  $\mu\text{m}$  erfolgt, weil dort das Wasser und die Kohlenstoffe im Teig das größte Absorptionsbedürfnis haben. Dieses Infrarot wird als selektives transformiertes Infrarot, d.h. als STIR<sup>®</sup> bezeichnet. STIR wirkt also in einem gezielt eingeeengten Wellenlängenbereich, wodurch es möglich ist, auf den Spektralbereich der Absorption des thermisch zu bearbeitenden Gutes besser einzugehen (2).

Die IBT.Infrabiotech GmbH beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit der Erforschung neuer Funktionskeramiken für vielfältige Anwendungen bei thermischen Bearbeitungsprozessen.

Das Ziel der Entwicklungen ist immer die Anpassung der Strahlungseigenschaften an das zu behandelnde Gut, so dass ein maximaler Energieeintrag in das Produkt erreicht werden kann. Dazu müssen die Wellenlängen der emittierten Infrarotwärme möglichst mit den Wellenlängen der anzuregenden Moleküle und funktionalen Gruppen der zu behandelnden Güter übereinstimmen. Das kann durch Emissionsmessungen nachgewiesen werden.

In Vorversuchen wurden zu Beginn der Entwicklung auf Stahlstrahlern verschiedene Keramiken aufgebracht und u. a. auch bezüglich der Wirkung auf das Backen von Weizenkleingebäck untersucht. Dazu wurden entsprechende keramische Pulver suspendiert und nasschemisch auf kleine Stahlbleche aufgetragen. Diese beschichteten Bleche wurden kontaktiert und Strahlungsmessungen sowie Backtests mit Weizenkleingebäck durchgeführt. Bild 1 zeigt die Emissionskurven von Stahl im Vergleich zu STIR.

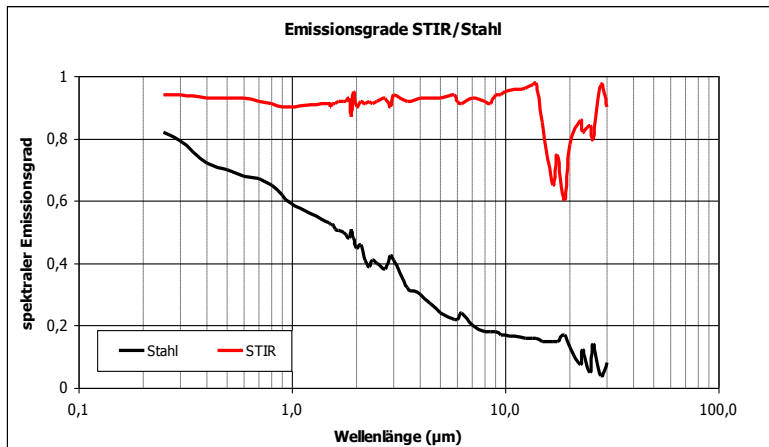


Bild 1: Spektrale Emissionsgrade von STIR im Vergleich zu Edelstahl

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass STIR ausgezeichnete Strahlungseigenschaften besitzt. Es emittiert die Infrarotwärme in den gewünschten Wellenlängenbereichen von ca. 3 . . . 6 µm erheblich besser als unbeschichteter Stahl.

**Die Wahl einer geeigneten Beschichtungstechnologie** stellt im Falle des Backens besondere Anforderungen. So müssen die Schichten u. a. absolut haftfest, homogen und biologisch unbedenklich sein. Hierzu wurden geeignete Technologien entwickelt und erprobt. Die so entstandenen Schichten sind äußerst robust und widerstandsfähig. Sie zeichnen sich durch eine exzellente Haftfestigkeit auch beim Beschwaden mit Wasserdampf und schroffen Temperaturwechseln aus.

Die Umsetzung der STIR - Strahler in einem handelsüblichen Heißluftladenbackofen erfolgte mittels beschichteter Heizbänder. In Bild 2 ist ein keramikbeschichtetes Heizband dargestellt.



Bild 2: Beschichtetes Heizband mit STIR – Keramik

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Wärmeübertragung aus der Kombination STIR–Infrarotwärme und Konvektion sowie der Heizleistung der Emittter und den Abständen zum Backblech wurden zunächst 2 beschichtete Heizbänder für das Backen von einem Blech im Ofen installiert. Bild 3 zeigt den Heißluftladenbackofen mit 2 Heizbändern sowie dazwischen ein Backblech mit Weizenkleingebäck.



Bild 3: Heißluftladenbackofen mit 2 Heizbändern

Die Ansteuerung der beiden Emitter erfolgte durch eine speziell für diese Anwendung entwickelte Steuerung.

Als nächster, praxisrelevanter Schritt wurde der Backofen komplett mit STIR – Emittlern ausgerüstet. Aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Versuche hinsichtlich der Abstände zu den Backblechen wurde die Anzahl der Einschübe von fünf auf vier reduziert, wodurch die Abstände der Backbleche zum Emitter 20 (zum Blech oben) bzw. 80 mm (zum Blech nach unten) betragen. In Bild 4 ist der mit 5 Emittlern umgerüstete Backherd dargestellt.



Bild 4: Backraum mit Emittlern umgerüstet

Mittels der Steuerungen kann für jeden einzelnen Emitter eine Temperatúrauswahl getroffen werden. Das ist die Voraussetzung für ein gleichmäßiges Backergebnis in den einzelnen Ebenen.

### **3 Entwicklung von Backprogrammen für den Hybridbackofen**

Im Rahmen der Entwicklung von optimalen Backprogrammen zum Backen von Weizenkleingebäck im neuartigen Hybridbackofen wurden Variationen der Backparameter (Temperatur, Zeit, Klappenöffnung, Schwadenmenge und -einwirkzeit) sowie der Emitterparameter (Temperatur, Zuschaltzeit und –dauer) vorgenommen. Von ausgewählten Backversuchen wurden Energiemessungen durchgeführt. In Bild 5 ist der Versuchsstand mit

dem Experimental-Hybridbackofen und den speziellen Steuerungen für jeden Emitter dargestellt.



Bild 5: Versuchsstand mit Experimental-Hybridbackofen und Steuerungen für die Emitter

Während der Untersuchungen wurden die Temperaturverläufe auf den einzelnen Ebenen zwischen den Emitttern sowie an den Emittlern in Abhängigkeit der eingestellten Parameter aufgezeichnet. Bei gleicher Temperaturvorwahl der Emitter wurden auf den einzelnen Ebenen Temperaturunterschiede festgestellt (z. B. wurden im oberen Bereich höhere Temperaturen gemessen). Für die weiteren Versuche wurden die Temperaturen an den Emittlern so eingestellt, dass die Unterschiede ausgeglichen werden konnten.

In Bild 6 sind die Temperaturverläufe am Emitter 3 und zwischen den Emittlern auf den Backebenen 2 und 3 während des Aufheizens des Ofens sowie beim Backen von Weizenkleingebäck dargestellt. Die Aufheiztemperatur des Ofens betrug jeweils 225 °C. Variiert wurde die Zuschaltzeit der Emitter (3 bzw. 4 Minuten).

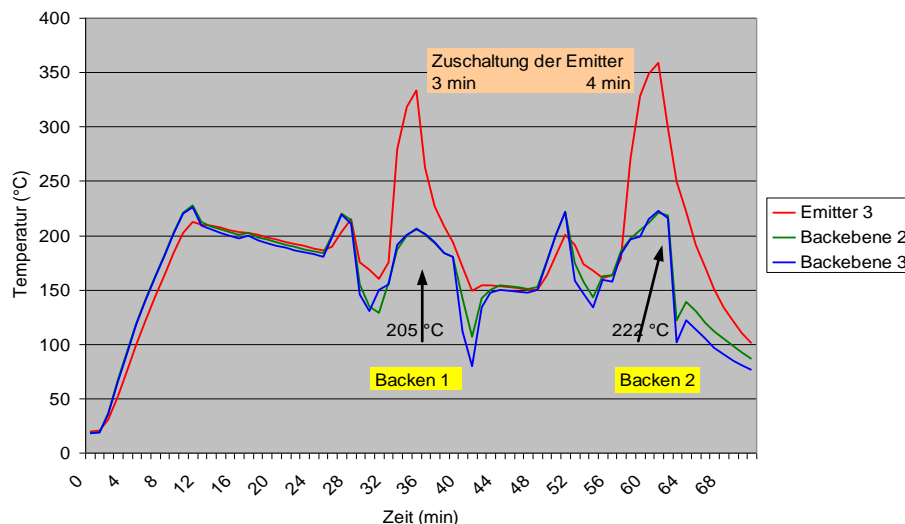


Bild 6: Temperatureaufzeichnungen beim Backen

Aus der Grafik ist ersichtlich, dass bei einer längeren Emitterzuschaltung (4 Minuten) die Backtemperatur in den einzelnen Ebenen um ca. 17 °C ansteigt. Dieses wirkt sich ebenfalls auf das Backergebnis aus. Nach einer längeren Zuschaltung der Emitter kann die Backzeit verkürzt werden; im speziellen Versuch um 2 Minuten.

Im Rahmen der Untersuchungen der Emitterparameter wurden neben der Optimierung der Temperatureinstellung an den Emittern die Zuschaltzeiten der Emitter variiert und diese hinsichtlich Qualität von Weizenkleingebäck ausgewertet. Als optimale Zuschaltzeiten der Emitter wurden 3 . . . 4 Minuten ermittelt. Wesentlich für die Qualität der Produkte ist auch der Zeitpunkt der Zuschaltung der Emitter. Die Zuschaltung der Emitter beim Backen von Weizenkleingebäck in direkter Führung während der ersten 2 Minuten führte durch eine zu schnelle Krustenverfestigung zu Mängeln im Ausbund und im Volumen.

Der optimale Zeitpunkt der Zuschaltung der Emitter liegt beim Backen Weizenkleingebäck (direkte Führung) in etwa bei 3 . . . 5 Minuten nach Backbeginn, nachdem die Volumenzunahme der Teiglinge durch den Ofentrieb im Wesentlichen abgeschlossen ist.

In Bild 7 ist die Belegung des Experimental-Hybridbackofens mit Weizenkleingebäck auf 4 Ebenen dargestellt.



Bild 7: Belegung des Hybridbackofens mit Weizenkleingebäck

Je nachdem, ob der Schwerpunkt auf Backzeitverkürzung oder Energieeinsparung gelegt wird, sind verschiedene Backprogramme möglich. In Tabelle 1 sind ausgewählte Backprogramme mit den einzelnen Backabschnitten für das Backen von Weizenkleingebäck im Heißluftladenbackofen sowie im Experimental-Hybridbackofen (Heißluftladenbackofen mit Emittlern) zusammengestellt.

Mit der Abkürzung BO wird das Backprogramm zur Herstellung von Weizenkleingebäck im Heißluftladenbackofen und mit HBO die Programme im Hybridbackofen bezeichnet. Dabei beinhalten die ersten 4 Backprogramme das Backen von Weizenkleingebäckteiglingen in direkter Führung hergestellt, während das Programm HBO 4 ein Programm für das Nachbacken von vorgebackenen Teiglingen kennzeichnet. Die Abkürzung „T“ bedeutet jeweils die Ofentemperatur in °C in den Backabschnitten 1 bis 3 und „t“ die Zeit in Minuten (min) in diesen Abschnitten. Die Aufheiztemperatur für alle Programme betrug 225 °C. Die Parameter für die Schwadengabe sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Backprogramm	T1	t1	Klappe	T2	t2	Klappe	T3	t3	Klappe	Emitter-zuschaltung
BO	190	4	zu	180	6	zu	180	3	auf	ohne
HBO 1	190	3	zu	180	2	zu	180	3	auf	nach 3 min für 3 min
HBO 2	190	2	zu		2	zu		3	auf	nach 3 min für 4 min
HBO 3	190	4	zu		5	zu		3	auf	0 min
HBO 4	200	3,5	auf							3,5 min

Tab. 1: Ausgewählte Backprogramme

Backprogramm	Verdampfte Wassermenge (ml)	Zeit (s) der Verdampfung	Einwirkzeit (s) des Schwadens
BO	500	45	60
HBO 1	500	45	60
HBO 2	500	45	60
HBO 3	500	45	60
HBO 4	100	10	0

Tab. 2: Parameter für die Schwadengabe

In Tabelle 3 sind die Daten für den Energieverbrauch pro Backprozess sowie die prozentuale Energieeinsparung (umgerechnet auf Kilogramm Teig) und Backzeitverkürzung ausgewählter Backprogramme zum Backen von Weizenkleingebäck aufgeführt.

Backofen/ Backprogramm	Energieverbrauch (kWh) Backprozess	Energieverbrauch (Wh) pro kg Teig	Energieeinsparung (%)	Backzeitverkürzung (%)
BO	1,25	278	0	0
HBO 1	0,92	256	8	40
HBO 2	1,10	305	-10	60
HBO 3	0,80	222	25	6

Tab. 3: Zusammenstellung des Energieverbrauchs sowie der Backzeitverkürzung

Das Backprogramm HBO 1 stellt ein Programm für optimale Backzeitverkürzungen (40 %) gegenüber dem Backen von Weizenkleingebäck im Heißluftladenbackofen bei gleichzeitiger Energieeinsparung von ca. 8 % dar. Maximal kann die Backzeit im Experimental-Hybridbackofen gegenüber dem Originalprogramm im Heißluftladenbackofen um 60 % bei vergleichbarer Qualität der Produkte gekürzt werden. Dabei wird mit einer längeren Einwirkzeit der Emitter gearbeitet, wodurch sich der Energieverbrauch beim Backen im Hybridbackofen um ca. 10 % gegenüber dem Backen im Heißluftladenbackofen erhöht. Das Backprogramm HBO 3 wurde für das Backen von Weizenkleingebäck unter dem Aspekt der Energieeinsparung entwickelt. Durch die Wärme-Speicherwirkung der Emitter konnten beim Backen ca. 25 % Energie eingespart werden. Die Backzeitverkürzung beträgt dabei ca. 6 %.

Eine Gegenüberstellung ausgewählter Qualitätsparameter (Tabelle 4) zeigt, dass die im Experimental-Hybridbackofen gebackenen Weizenkleingebäcke in der Qualität mit denen in traditionellen Heißluftladenbacköfen in etwa vergleichbar sind.

Qualitätsparameter	BO	HBO 1
Backverlust (%)	19,3	18,5
Volumenausbeute (ml)	800	790
Krumenfeuchte (% i. T.)	44,1	44,3

Tab. 4: Vergleich ausgewählte Qualitätsparameter

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine Keramik entwickelt, die auf den Backprozess optimal abgestimmte elektromagnetische Eigenschaften besitzt. Diese emittiert in für Backprozesse relevanten Wellenlängenbereichen hervorragend Infrarotwärme.

Es wurde ein geeignetes Beschichtungsverfahren entwickelt, dass die hohen Anforderungen der Schicht an Haftfestigkeit, Homogenität und biologischer Unbedenklichkeit erfüllt.

Für die STIR – Strahler wurden Heizbänder aus Edelstahl verwendet, die mit der entwickelten Keramik beschichtet wurden.

Die Anordnung der Strahler (Emitter) im Ofen erfolgte derart, dass ein gleichmäßiger und schneller Wärmeübergang auf die Teiglinge erfolgen kann.

Für den Experimental-Hybridbackofen wurden Backprogramme zum qualitätsgerechten Backen von Weizenkleingebäcken entwickelt. Je nachdem, ob der Fokus auf die Backzeitverkürzung oder die Energieeinsparung gelegt wird, stehen verschiedene Backprogramme zur Verfügung.

Backprogramme für das Backen unter dem Aspekt der Energieeinsparung, z. B. HBO 3, gestatten im Experimental-Hybridbackofen Energieeinsparungen bis zu ca. 25 % und Backzeitverkürzungen von ca. 6%. Mit optimalen Backprogrammen zur Backzeitverkürzung (z. B. 40 % Backzeitverkürzung mit Programm HBO 1) für Weizenteiglinge (direkte Führung) können immer noch ca. 8 % Energie für den Backprozess eingespart werden.

Wird Wert auf schnellste Backzeit gelegt (Backzeitverkürzung von ca. 60 % mit Backprogramm HBO 2) muss ca. 10 % mehr Energie aufgewendet werden.

Besonders effektiv ist die Backzeitverkürzung beim Nachbacken von vorgebackenem Weizenkleingebäck im Hybridbackofen. Die Backzeit beträgt dafür ca. 3,5 Minuten, so dass der Kundschaft in kürzester Zeit frische Weizenkleingebäcke zum Kauf angeboten werden können. Somit entfällt mit dem neu entwickelten Hybridbackofen für den Ladenbereich ein langes Warten auf frische Gebäcke und liegt voll im Trend unserer Zeit.

Das Ergebnis wurde bereits von der Firma HoFi aufgegriffen und wird derzeit in deren Heißluftladenbacköfen umgesetzt. Diese neuen STIR-Hybrid-Backöfen werden auf der bevorstehenden Messe SÜDBACK im Oktober 2011 in Stuttgart erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt und in den Markt eingeführt.

Voraussetzung für die Funktionalität des Hybridbackofens ist die Integration der Emitter-Steuerungen in die Ofensteuerung sowie die Installation von kombinierten Backprogrammen (Lüfterrad und Emitter) zur gleichzeitigen Nutzung von Heißluftströmung und Infrarotwärme.

## Literatur

- (1) Hermann, Ch.: Backen von Roggenmischbrotten mit niedrigen Temperaturen (49 S.)-Handbuch Backwaren (Technologie), 2003, B. Behr's Verlag GmbH & Co., Hamburg, Herausgeber: W. Freund
- (2) DE 101 63 087 A, Infrarotstrahlung zur thermischen Behandlung von Gütern, John, P., IBT.InfraBioTech GmbH, Offenlegung 2003

Gefördert durch:

Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Förderkennzeichen. KF2009001WZ8

