



Mikroklima in Backöfen erzeugen

Optimiertes Strömungskonzept für Heißluftöfen spart Energie



Backöfen mit Umluft- oder Heißluftfunktion finden sich heute in vielen Haushalten. Sie arbeiten sehr effizient, wenn sie für einen längeren Back- oder Bratprozess eingesetzt werden und voll beladen sind. Für die Zubereitung kleiner Gerichte mit kurzer Garzeit sind die Geräte jedoch nicht optimiert. Im Projekt „ecoBack“ untersuchen Forscher, wie ein dem Gargut angepasstes Mikroklima den Energiebedarf senkt.

In modernen Heißluft-Backöfen zirkuliert erhitzte Luft gleichmäßig im gesamten Ofenraum. Sie sorgt dafür, dass Braten rundherum bräunen ohne einseitig anzubrennen. Kuchen gelingen damit sogar, wenn mehrere Etagen genutzt werden. Die gleichmäßige Erwärmung verursacht aber unnötig hohe Energiekosten bei der Zubereitung kleiner Lebensmittelmengen – insbesondere wenn diese nicht mehr gegart, sondern nur noch aufgewärmt werden müssen. So kostet es mehr als eine halbe Kilowattstunde Strom, um „mal eben“ eine Tiefkühlpizza aufzubacken. Mit der steigenden Zahl der Singlehaushalte, den wachsenden Komfortansprüchen und der Abnahme gemeinsamer Familienessen werden Backöfen immer öfter derart genutzt.

Forscher der E.G.O.-Gruppe – das Unternehmen gilt weltweit als einer der führenden Zulieferer für Hersteller von Hausgeräten – verfolgen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mechanische Verfahrenstechnik der Universität Stuttgart die Idee, für kleine Gerichte nicht mehr den gesamten Ofenraum aufzuwärmen. Vielmehr soll eine ausgeklügelte Heißluftströmung rund um das Gargut ein Mikroklima erzeugen, durch das die Wärmeenergie gezielt ins Gargut eingebracht wird. Mit dem Konzept können Systeme entwickelt werden, die Lebensmittel energieeffizient und schnell erhitzen, trocknen, auftauen, warmhalten oder backen. Darüber hinaus sind die Forscher zuversichtlich, mit solch einer Technik auch andere Aufgaben der Wärmebehandlung lösen zu können, wie beispielsweise die Trocknung lackierter Teile oder die thermische Oberflächenbehandlung.

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

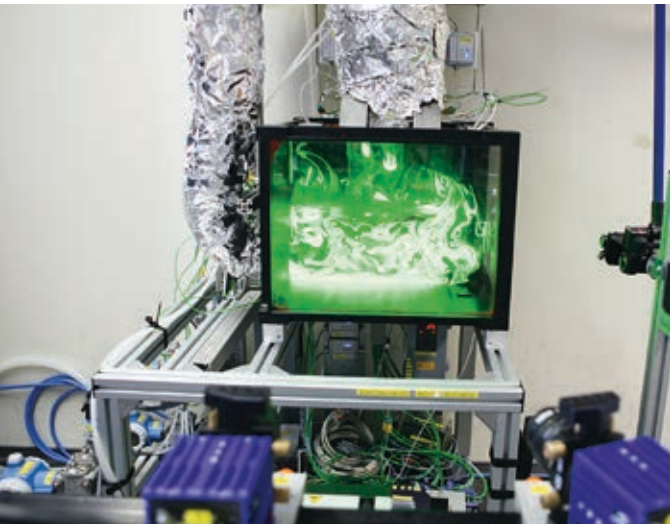


Abb. 1 Strömungskonzepte werden am Laborofen erprobt

Pizza backen im Rechenmodell

Die Zubereitung einer Tiefkühlpizza diente den Forschern als Referenzaufgabe für zahlreiche rechnergestützte Simulationen und praktische Versuche. Da es eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, einen solchen Körper mit heißer Luft anzuströmen, wurden, wie in Abb. 3 dargestellt, mehrere Varianten untersucht.

In umfassenden Simulationen verglichen die Wissenschaftler die verschiedenen Strömungskonzepte. Dafür verwendeten sie ein stationäres CFD-Simulationsmodell, das die realen Wärmeübergänge abbildet. Anhand analytischer Lösungen und empirischer Daten wurde das Modell für die relevanten Strömungs- und Wärmetransportphänomene wie Konvektion, Wärmeleitung und Strahlung aufgebaut. Eine stationäre Simulation lieferte erheblich schneller Ergebnisse als eine instationäre Simulation, ohne dabei merklich an Genauigkeit einzubüßen. Die Berechnung einer Konfiguration benötigte somit statt zwei Wochen lediglich noch etwa drei Tage.

Simuliert wurde jeweils ein Probekörper mit der Geometrie einer Tiefkühlpizza. Als vereinfachende Randbedingung wurde die Temperatur des Probekörpers auf konstant 0 °C festgelegt. Die Einströmtemperatur der Luft betrug 190 °C. Für den direkten Vergleich simulierten die Forscher auch die Strömungsform konventioneller Heißluft-Backöfen. Somit konnten sie ihre Ergebnisse der Beheizungstechnologie gegenüberstellen, die derzeit die höchste am Markt befindliche Energieeffizienz aufweist.

Pizza in der Heizluftglocke

Als besonders erfolgversprechend erwies sich ein Strömungskonzept, bei dem ein Prallstrahl von oben auf das Gargut trifft und die Luft im unteren Ofenvolumen seitlich einströmt (Abb. 2). Dies entspricht einer Kombination der Strömungskonzepte 1, 2 und 5 aus Abb. 3. Die Luft wird an der Backofendecke wieder abgesaugt. Die Einströmgeschwindigkeit des seitlichen Luftstrahls muss sich beim Aufheizvorgang des Ofens permanent den sich verändernden Bedingungen anpassen, damit der durch den natürlichen Auftrieb beeinflusste untere Luftstrahl das Gargut exakt trifft. Bei diesem Strömungskonzept wird die Pizza in einer Art Glocke von dem heißen Luftstrom umhüllt. Die heiße Luft wird weitestgehend von den Ofenwänden ferngehalten, weshalb die Verluste

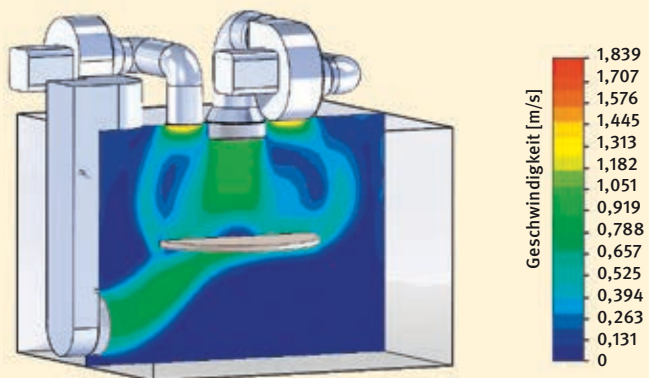
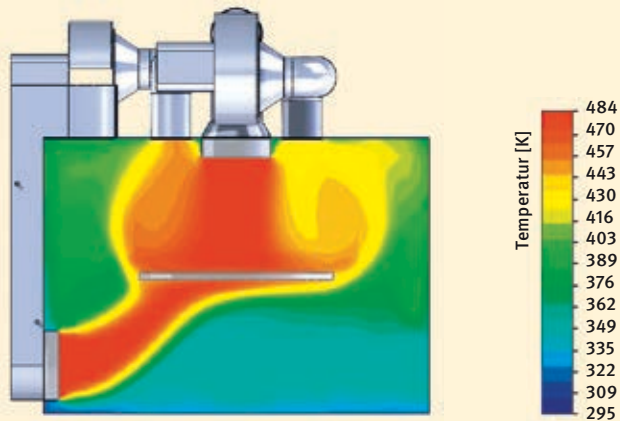
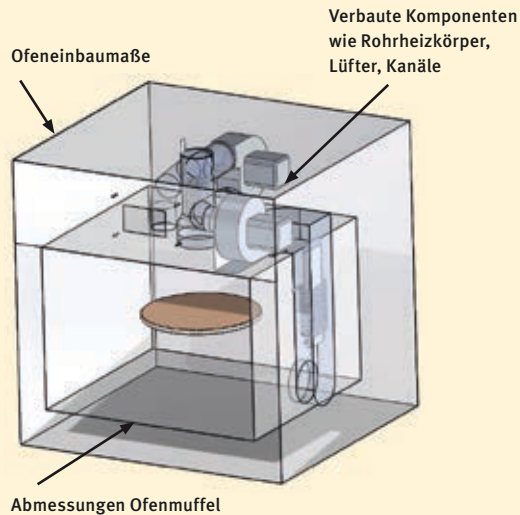


Abb. 2 Simulationsergebnisse für Temperatur- und Strömungsverteilung im Demonstrator

nach außen gering sind. Besonders die untere Ofenhälfte bleibt hierbei verhältnismäßig kalt. Dieses und zwei weitere Strömungskonzepte wurden in einem Laborofen experimentell nachgebildet.

Experimente an einem Laborofen

Für die praktische Erprobung bauten die Forscher einen Laborofen mit Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie einer ausgefeilten Steuerung. Dieser bot die Möglichkeit, Temperatur und Volumenstrom an den Lufteinlässen nicht

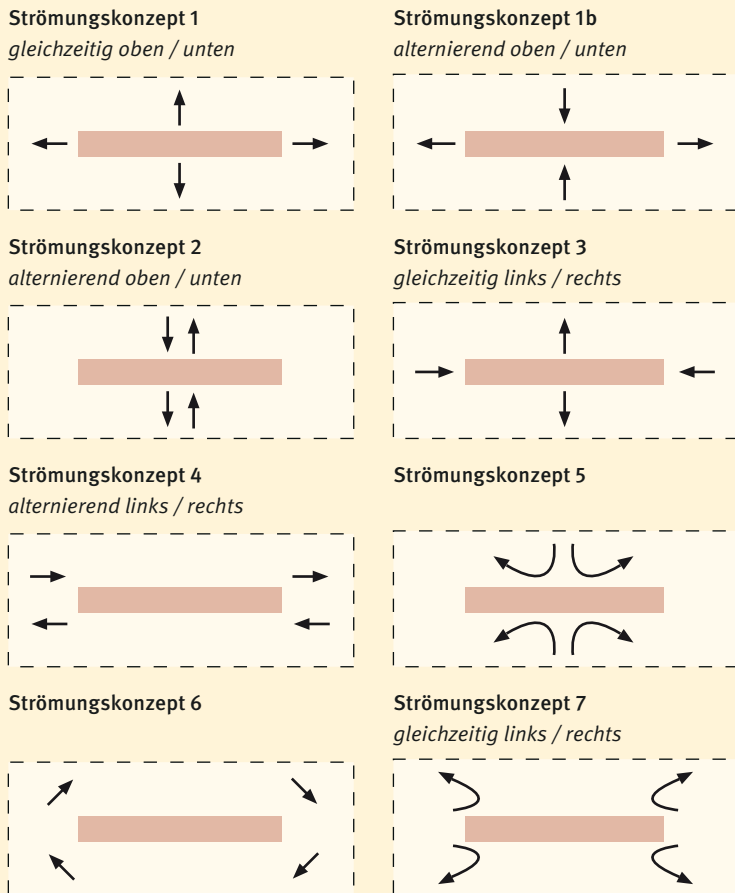


Abb. 3 Strömungskonzepte zur Erzeugung eines Mikroklimas



Abb. 4 Der Demonstrator hat bereits die standardisierten Maße eines handelsüblichen Einbaubackofens.

Bei diesem berührungslosen Messverfahren werden dem Luftstrom sogenannte Tracerpartikel beigemischt. Hochgeschwindigkeitskameras erfassen die Fortbewegung dieser Partikel in einer Laserschneitebene. Eine Software errechnet dann aus den Daten das Strömungsfeld. Die Ergebnisse aus den experimentellen Versuchen stimmten gut mit den Simulationen überein. Dadurch konnten die jeweiligen Strömungskonzepte im Labor validiert werden. In einem nächsten Schritt sollten die Forschungsergebnisse auf einen Demonstrator übertragen werden, der sich in Bezug auf seine Abmessungen an einem realen Backofen orientiert.

Demonstrator beweist Einsparpotenzial

Anfang 2013 stellte das Forscherteam den Demonstrator mit standardisierten Backofenabmessungen fertig (Abb. 4). Sie vermaßen und optimierten die Strömungskonzepte nach ähnlichen Kriterien wie schon im Laborofen. In abschließenden Versuchen brachte der Demonstrator den Beweis, dass sich kleine Gerichte deutlich energiesparender als bisher zubereiten lassen. Der Demonstrator wurde insbesondere auf Tiefkühlpizza und Gargüter mit ähnlicher Geometrie optimiert. So benötigte er für die Zubereitung einer Tiefkühlpizza etwa 40 % weniger Energie als ein handelsüblicher Backofen nach neuestem Stand der Technik.

Von der Forschung zum Produkt

Dr. Michael Riffel, der Leiter des Projektes, sieht gute Chancen, das neue Konzept für den Einsatz in kommerziellen Backöfen fortzuentwickeln: „Im nächsten Schritt werden wir nun das Strömungs- und Beheizungskonzept auf andere Gargüter anpassen.“ Anschließend wollen die Forscher einen Energielabeltest nach Norm EN 60350-1 durchführen. „Es wäre möglich, intelligente Backöfen der Zukunft mit diesem energieeffizienten Beheizungskonzept zu kombinieren“, führt Riffel weiter aus, „Sensoren im Ofenraum erfassen dann die notwendigen Informationen, mit denen sich die jeweils geeigneten Automatikprogramme auswählen lassen.“

Die langfristige Vision des Wissenschaftlers geht aber noch weiter: „Ich könnte mir auch die Entwicklung eines komplett gehäusefreien Backofens vorstellen. „In“ diesem wird das Gargut auf einem Träger im Raum platziert und durch Düsen oder ähnliche Bauelemente direkt mit Heißluft beaufschlagt. Dadurch könnten sowohl Rohstoffe im Herstellungsprozess eingespart werden als auch Energie im Betrieb.“

Weitere Einsatzmöglichkeiten für die Technologie gibt es bei allen thermischen Prozessen, bei denen die Wärme zielgerichtet nur an bestimmten Orten benötigt wird. Dazu gehören beispielweise industrielle Trocken- oder Oberflächenprozesse.

nur auf feste Werte zu regeln, sondern auch in Abhängigkeit von Prozessgrößen wie z. B. der Innenraumtemperatur oder der Temperatur des Probestkörpers. Dadurch ließen sich mikroklimatische Zustände am Probestkörper automatisch einstellen. Eine Automatik-Funktion erlaubte es, zeitgesteuert festgelegte Abläufe zu fahren. Dies gewährleistete die Reproduzierbarkeit der Versuche.

Die Strömungsgeschwindigkeiten in der Messkammer ermittelte – örtlich und zeitlich aufgelöst – ein PIV-Messsystem (Particle Image Velocimetry).



Stromverbrauch privater Haushalte senken

Private Haushalte stehen für ein Viertel des deutschen Stromverbrauchs. Seit 2006 nimmt er leicht ab. Eine Studie des BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft und der HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e. V. analysiert die Verbrauchsstrukturen und Einsparpotenziale.

Die wachsende Zahl kleiner Haushalte erhöht tendenziell den gesamten Strombedarf. Alleinlebende Personen verbrauchen durchschnittlich 2.050 Kilowattstunden Strom im Jahr. Der Pro-Kopf-Verbrauch in einem 4-Personenhaushalt ist um 42 Prozent niedriger. Bemerkenswert ist der Verbrauchsanstieg für Unterhaltungselektronik und Bürotechnik. Darauf entfällt mittlerweile ein Viertel des privaten Stromverbrauchs. Dagegen haben sparsamere Geräte den Stromverbrauch für Kühlen und Gefrieren in den letzten 15 Jahren deutlich sinken lassen. Auch für Beleuchtung wird weniger Energie benötigt. Elektrogroßgeräte sind seit Einführung des Energielabels in den 90er Jahren erheblich sparsamer geworden. Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen und Geschirrspüler der einstmaligen höchsten Energieklasse A dürfen gemäß der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union in der EU nicht mehr verkauft werden. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass jeder Haushalt im Mittel jährlich 614 kWh einsparen könnte, wenn nur Haushaltsgroßgeräte der besten Energieeffizienzklasse verwendet würden.

Effizienzsprünge durch Forschung

Die Effizienz elektrischer Geräte konnte im Laufe der Jahre durch kontinuierliche Detailverbesserungen an allen Komponenten deutlich gesteigert werden. Effizienzsprünge ergaben sich oftmals, wenn konventionelle Technik durch Innovationen ergänzt oder ersetzt wurde.

Ein schon klassisches Beispiel ist der Wärmepumpentrockner, der 1997 erstmals für Privathaushalte angeboten wurde. Etwa jeder zweite Wäschetrockner, der heute verkauft wird, arbeitet mit einer hocheffizienten Wärmepumpe. Konventionelle Geschirrspüler benötigen zweimal elektrische Energie: zum Aufheizen und zum Trocknen. Bei neuartigen Geräten mit Adsorptionsspeicher entfällt der Aufheizevorgang für die Geschirrtrocknung. Dies spart mehr als 20 Prozent elektrische Energie. Neue Umwälzpumpen mit besonders effizienten elektrisch kommutierten Motoren erschließen ein großes Energiesparpotenzial im Heizungskeller. Der Austausch einer unregulierten alten Heizungspumpe kann die Stromrechnung durchaus um 200 Euro im Jahr verringern.

LED-Lampen ersetzen mehr und mehr Glühlampen und Energiesparlampen. Bei Kühlschränken mit vorgegebenen Einbaumaßen geht eine verbesserte Wärmedämmung zu Lasten des Innenraums – es sei denn, hocheffiziente Dämmstoffe werden verwendet. Vakuumdämmung schafft mehr Platz im Kühlgerät.

Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** E.G.O. Elektro-Gerätebau GmbH, Oberderdingen, Dr. Michael Riffel, Michael.Riffel@egoproducts.com, www.egoproducts.com
- » **Wissenschaftliche Begleitung:** Universität Stuttgart, Institut für mechanische Verfahrenstechnik (IMVT), Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Manfred Piesche

Literatur

- » Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) e. V., Berlin (Hrsg.): Stromverbrauch im Haushalt. Energie-Info. Okt. 2013. 34 S.

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_10_2014

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Michael Gahr
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0327878A

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Dr. Franz Meyer

Urheberrecht
Titelbild und alle weiteren Abbildungen:
E.G.O. Elektro-Gerätebau GmbH,
Oberderdingen

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages