



Autor:
Dr.-Ing. Marc Regier
Institut für Verfahrenstechnik
Bundesforschungsanstalt für
Ernährung
und Lebensmittel
Haid-und-Neu-Str. 9
76131 Karlsruhe
www.bfe.uni-karlsruhe.de

Blick ins Teiginnere

Dr.-Ing. Marc Regier von der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe, setzt die Magnetresonanztomographie ein, um den Gär- und Backvorgang eines Hefeteigs sichtbar zu machen.

Dr.-Ing. Marc Regier steht innerhalb der Forschergruppe 338¹, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird, an der Universität Karlsruhe ein Bruker Super Wide Bore Kryo-Magnet (Abbildung 1a, Bruker Biospin, Rheinstetten) mit einem Magnetfeld von 4.7 T (was einer Protonenresonanzfrequenz von 200 MHz entspricht) und einer Bohrung von 150 mm zur Verfügung. Ausgerüstet mit einer Bruker-Avance-200-Konsole und Bildgebungseinheit (Abbildung 1b, Bruker Biospin, Rheinstetten), dient er der Forschergruppe als Magnetresonanztomograph, an dem ingenieurwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden.

In den Magneten lassen sich verschiedene Gradienteneinheiten mit einem inneren Durchmesser von bis zu 64 mm einbauen, mit denen sich Magnetfeldgradienten von bis zu 1 T/m erzeugen lassen, die zur Bildgebung benutzt werden.

In dem beteiligten Projekt des Instituts für Lebensmittelverfahrenstechnik wird damit die Mikrowellen-Vakuumtrocknung von Lebensmitteln² untersucht. Die Mikrowellen-Vakuumtrocknung ist ein innovatives Verfahren, um qualitativ sehr hochwertige (Aroma-, Vitamin-, Volumenerhalt) getrocknete Lebensmittel bei – gegenüber der Gefrier-trocknung – günstigen Preisen³ zu erzeugen.

Innerhalb dieses Projekts wurde und wird mit der Magnetresonanztomographie die Wasser- und Temperaturverteilung in den Proben während der Trocknung zerstörungsfrei und nicht-invasiv ermittelt, da diese Verteilungen die spätere Qualität der getrockneten Produkte maßgeblich beeinflussen. Die hierbei entwickelten und weiterentwickelten Methoden zur Bestimmung und Analyse der Verteilungen können auch bei der Untersuchung von Vorgängen in der Backwarentechnik benutzt werden.

Dies soll am Beispiel des Gär- und Backvorgangs eines Hefeteigs gezeigt werden. Hierzu kam ein mittels Gas-Konvektion zwischen -100 °C und +180 °C temperierbarer Probenkopf mit 15 mm Innendurchmesser zum Einsatz (Micro2.5EVT, Bruker Biospin, Rheinstetten).

Als NMR-Messsequenz wurde eine Multi-Slice-Multi-Echoe (MSME)-Sequenz [6] ausgewählt, mit 128*128*5 Voxels, wobei eine Schicht 2 cm * 2cm groß und 1mm dick war und jeweils 2 bzw. 4 Mittelungen durchgeführt wurden. Bei einer Echozeit von ca. 3 ms und einer Wiederholzeit von ca. 230 ms betragen die Messzeiten ca. 1 bzw. ca. 2 min.

Hefeteig

Der Hefeteig wurde aus 100 g Weizenmehl, 60 g Wasser, ca. 5 g Zucker, ca. 2 g Trockenhefe sowie Spuren eines Gadolinium-Komplexes zur Relaxationszeit- und somit Messzeitverkürzung hergestellt. Hierzu wurde zunächst die Trockenhefe im Weizenmehl verteilt und dann unter Zugabe von Zucker und dem vorgewärmten (ca. 30 °C) Wasser mit der Hand ca. 5 min geknetet.

Eine Probe des entstandenen Teigs (ca. 1 g) wurde etwas rund gerollt, in ein NMR-Probenröhrchen mit 1.5 cm Durchmesser gefüllt und in den NMR-Tomographen verbracht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Hierbei sind NMR-Aufnahmen der mittleren Schicht entlang der Röhrchenachse dargestellt, die nicht-invasiv gewonnen wurden. Die Bildhelligkeit korreliert hierbei mit der Protonendichte, die wiederum mit der Wasserkonzentration verknüpft ist.

Im ersten Bild ca. 5 min nach Ende des Knetvorgangs bei einer Lufttemperatur von 17 °C ist der Hefeteig noch praktisch ohne innere Struktur zu erkennen. Nachdem nach 15 min die Temperatur der Luftströmung auf 30 °C



1a



1b

NMR-Kryo-Magnet (1a) und zugehörige Konsole mit Bildgebungseinheit (1b).

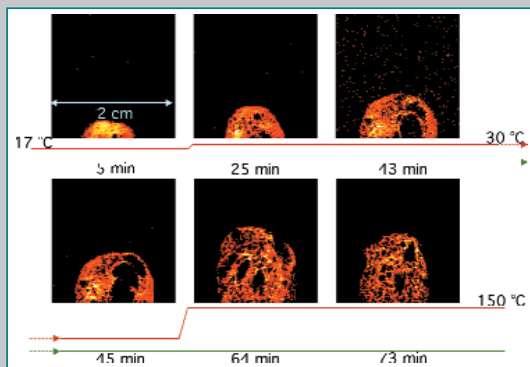


Abb. 2: Volumenveränderung und innere Strukturbildung beim Gär- und Backvorgang eines Hefeteigs, beobachtet mittels Magnetresonanztomographie.

erhöht wurde, kann man bereits im darauf folgenden Bild (nach insgesamt 25 min) sowohl deutliche Blasenstrukturen erkennen als auch die Volumenvergrößerung bemerken. Die Volumenexpansion schreitet in den folgenden Bildern (43 min und 45 min) fort, wobei zwei große Blasen am rechten Rand entstehen und so stark expandieren, dass sie **koaleszieren** und die äußere „Teighülle“ aufreißen lassen und dadurch kollabieren. Die sich anschließende (nach 60 min beginnende) Temperaturerhöhung auf 150 °C Lufttemperatur führt zu einer weiteren deutlichen Blasenstruktur- und Expansionsbildung, die jedoch nach ca. 64 min Gesamtzeit ihr Maximum erreicht und durch nun stärkere Trocknung in eine Volumenreduktion überführt wird.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Vorteile der Nicht-Invasivität der Magnetresonanztomographie auch an nicht transparenten Materialien zur Untersuchung der Struktur und Wasserverteilung sind offensichtlich. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die zusätzlichen Messmöglichkeiten von chemischen bzw. physikalischen Veränderungen (Spektroskopie, Relaxometrie), Temperaturverteilungen⁴, Fließgeschwindigkeiten⁵ und Diffusionskoeffizienten⁶. Die Feuchtigkeit im fertigen Produkt/Gebäck ist messbar, falls noch relativ „freies“ Wasser im Endprodukt vorliegt. Dieses kann auch in „realistischer“ Messzeit dargestellt und so die Feuchtigkeit bestimmt werden. ■

» **Koaleszieren** ist ein Begriff aus der Emulsionstechnik und beschreibt das Zusammenfließen/Vereinigen von zwei Tropfen bzw. Blasen zu einer.

Literatur

- 1 <http://www.ciw.uni-karlsruhe.de/mvm/ame/hmr/>
- 2 M. Regier, 2003, Über dielektrische und Magnetresonanz-Methoden zur Charakterisierung disperser Systeme, Dissertation, Uni Karlsruhe, Logos Verlag, Berlin
- 3 F.W. Hauri, 1989, Die Ernährungsindustrie, 10, 32-34
- 4 X. Ye, R. Ruan, P. Chen, K. Chang, K. Ning, I.A. Taub, C. Doona, 2003, Journal of Food Engineering, 59, 143-150
- 5 C. Heinen, H. Buggisch, G. Guthausen, 2003, Magnetic Resonance Imaging, 21, 377-379
- 6 J. Tillich, 2003, Entwicklung und Anwendung von Gradienten-NMR-Methoden zum Studium von Transport und Struktur in porösen Systemen, Dissertation, Uni Karlsruhe, Cuvillier Verlag, Göttingen

HOMMEL

Restbrotzerkleinerer

ROTORMAT

Sensationell:

Restbrot frisch reiben
mit Zugabemengen
bis 20%

und somit wesentlicher Steigerung
von Geschmack und Frischhaltung!

Ersparnis im Jahr:

- Kleinbetrieb:
● ca. 12.000 EUR
Mittelbetrieb
● ca. 20.000 EUR
Großbetrieb
● ca. 50.000 EUR

... schon allein für Ihre
KÖRNERBROTE
lohnt sich diese
Maschine!

Auch Brötchen frisch reiben

und im Brötchenteig
wieder verarbeiten:
ergibt besseren
Geschmack und bindigere
Krumenstruktur!
Zugabe auch bis 20%

Großzügiger produzieren!

d.h. volles Brotprogramm
bis zum Ladenschluss!
Sie verkaufen viel mehr,
haben zufriedene Kunden
und trotzdem geht Ihnen
kein Brot verloren.

Clever sein – Direktlinie

02058-3911

Kauf ohne Risiko: 8 Tage zur Probe!

M & A HOMMEL GMBH
MASCHINEN- UND APPARATEBAU

D-42489 Wülfrath · Osterdelle 11
Telefon (0 20 58) 39 11 · Telefax (0 20 58) 39 23



Der ROTORMAT ist
ein Alles-Könner:

- Restbrotvermahlung FRISCH und trocken
- Paniermehl mahlen
- Nüsse mahlen
- Käse reiben
- Kartoffeln reiben
- Zwiebeln schneiden
- Früchte zerkleinern TROCKEN und FRISCH
- Auch Brötchen frisch reiben!

So urteilen viele
ROTORMAT-Besitzer:

„Der ROTORMAT ist die ideale
SPARBÜCHSE im Betrieb!“