

Untersuchungen zum Einsatz von Gashydraten als innovatives Triebmittel für Backwaren



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/ Prof. Dr. Bernhard Gattermig Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Prozessanalytik und Getreidewissenschaft Prof. Dr. Bernd Hitzmann/Dr. Viktoria Zettel
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e.V., Frankfurt
Projektkoordinator:	Dr. Markus Brandt Ernst Böcker GmbH & Co. KG, Minden
Laufzeit:	2020 – 2023
Zuwendungssumme:	€ 506.962,--

Ausgangssituation

Die Struktur von Backwaren besteht aus erstarrten Schäumen, also aus Feststoffen, in die Gasblasen (Poren) eingeschlossen sind. Die Porengrößenverteilung ist für die Gebäckstruktur und somit für Textur und Mundgefühl entscheidend. Eine Teiglockerung ist notwendig, um verzehrfähige Gebäcke herzustellen; dies erfolgt, neben physikalischer Gaseinbringung z.B. durch Rühren, Kneten oder Aufschlagen, durch biologische oder chemische Teiglockerung, wobei Kohlenstoffdioxid als Triebmittel dient.

Bei der biologischen Teiglockerung werden Hefe oder Sauerteig (ein Gemisch aus Mehl, Wasser, Milchsäurebakterien und Hefe) zugesetzt. Die Hefen und Milchsäurebakterien setzen im Rahmen ihres Stoffwechsels Zucker zu Kohlenstoffdioxid um. Die mikrobielle Erzeugung des Kohlendioxids bedingt allerdings einen nicht unwesentlichen Energieaufwand bei der Herstellung der Backwaren, da sie für ausgedehnte Zeiträume bei streng kontrollierten Umgebungsbedingungen (Temperatur und Luftfeuchte) ablaufen muss. Darüber hinaus ist die biologische Lockerung nicht für alle Teigarten geeignet, beispielsweise können im Teig enthaltene Komponenten (z.B. ein hoher Zucker- oder Fettgehalt) die Aktivität der Hefen herabsetzen oder der Teig bzw. die Masse wird erst bei höheren Temperaturen gelockert (Ofentrieb). In diesen Fällen werden, beispielsweise bei Feinen Backwaren, häufig chemische Backtriebmittel eingesetzt. Dabei reagieren i.d.R. Hydrogencarbonate während des Backprozesses mit schwachen Säuren zu Kohlenstoffdioxid. Nachteilig dabei ist, dass bei falscher Dosierung unerwünschte sensorische Veränderungen auftreten können.

Bislang noch nicht eingesetzt wurden Backtriebmittel mit physikalischem Wirkprinzip, bei denen das Triebgas Kohlenstoffdioxid als festes Trägermaterial in Form seines Hydrats eingesetzt wird. Der Einsatz von CO₂-Hydrat als Backtriebmittel hätte aber gegenüber herkömmlichen Triebmitteln bei bestimmten Anwendungen deutliche Vorteile:

- Durch den physikalisch kontrollierten Zerfall kann gegenüber der biologischen Lockerung durch Hefen der Energiebedarf zur Aufrechterhaltung der Umgebungsbedingung im Gärschrank stark reduziert werden.
- Der benötigte Zeitraum für die Gasfreisetzung ist auf wenige Minuten reduziert; außerdem ist, im Gegensatz zur biologischen Lockerung, ein finites Angebot an Triebmittel vorhanden. Damit lässt sich der Prozess der Teiglockerung von der aromatischen Teigreifung (z.B. beim Sauerteig) entkoppeln.
- Beim Zerfall werden ausschließlich Kohlendioxid und Wasser freigesetzt. Sensorische Veränderungen der Produktqualität (Farbe, Geschmack), wie sie bei chemischen Backtriebmitteln in hoher Dosierung auftreten können, werden vermieden.
- Der physikalisch kontrollierte Zerfallsprozess der Hydrate im Teig kann durch Einfrieren ($\vartheta < -4 \text{ }^\circ\text{C}$) zuverlässig gestoppt und ohne Einbußen bei der Freisetzungsrates zu einem späteren Zeitpunkt wieder reaktiviert werden. Somit ist eine Unterbruchgärung im Vergleich zur Hefe weniger sensibel bzgl. Kühlraten und Tiefkühldauer. Die Taktung des Backvorgangs wird flexibler und kann z.B. in Klein- und Filialbäckereien ideal an den Bedarf angepasst werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, ein Verfahren für die Herstellung ausgewählter Backwaren unter Nutzung von Gashydrat als Triebmittel zu entwickeln; dabei sollten auch mögliche Vorteile gegenüber traditionellen Triebmitteln untersucht werden.

Forschungsergebnis

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein neuer Sprühreaktor im Labormaßstab für Gashydrate entwickelt und in Betrieb genommen. Für diesen Reaktor gibt es inzwischen auch virtuelle Scale-ups, um diesen später effektiv in der Industrie einsetzen zu können. Erfolgreich durchgeführt wurde eine numerische Simulation des Zerfalls eines Eispartikels in einer Umgebung mit mittleren Temperaturleitfähigkeitseigenschaften von Teig. Das bereits bestehende Modell wurde erweitert, um die Teigausdehnung der Hydratpartikel aufgrund der Dissoziation berücksichtigen zu können. Außerdem wurden rheologische Parameter fein abgestimmt, um die Teigeigenschaften nachzuahmen. Die Halbwertszeit der Hydrate aus dem Experiment und dem Modell bei 34 °C beträgt 4,6 min. bzw. 4,1 min. Die 99 %ige Dissoziation für das Experiment und das Modell beträgt 12,2 min. bzw. 15,7 min., was vergleichbare Zeiträume zeigt.

Neben der Gashydratherstellung mit nur Wasser, CO₂ und Druck wurden auch unterschiedliche lebensmittelkonforme Promotoren zur Unterstützung der Hydratbildung untersucht. Für alle hergestellten Gashydrate wurden Untersuchungen zur Stabilität und Dissoziation von Gashydraten bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt.

Des Weiteren wurden Gashydrate zur Lockerung von exemplarischen Backwaren eingesetzt. Hierbei musste früh im Projekt Lebkuchen ausgeschlossen werden, da der Wassereintrag durch die Gashydrate die Lebkuchenqualität sehr negativ beeinflusst hat. Stattdessen wurden Rührkuchen mit aufgenommen und in allen hergestellten Backwaren wurde der Flüssigkeitsanteil anderer Rezepturbestandteile so weit wie möglich reduziert durch den Einsatz von getrockneten Alternativen. Für Sandkuchen konnte auch eine Optimierung der Herstellungsbedingungen mittels Simplex-Methode nach NELDER-MEAD durchgeführt werden. Das zweite exemplarische Produkt waren Amerikaner, die üblicherweise mit Hirschhornsalz gelockert werden. Hier wurden neben den Einsatzmengen der Gashydrate alleine auch Kombinationen mit Backpulver untersucht. Die Backergebnisse der Kombinationsbackversuche mit Backpulver und Gashydraten sowie die Anpassung der Herstellungsbedingungen führten zu vielversprechenden Ergebnissen, die sich auch auf eine deutliche Reduktion des Acrylamidgehalts (etwa 43 %) der hergestellten Produkte auswirkten. Für Weizenbrote und Roggenbrote wurden akzeptable Ergebnisse bezüglich Lockerung mittels einer Kombination von Hefe und

Gashydraten erzielt. Auch die Optimierung der Rezeptur von Weizenbrot mit weiteren Proteinen oder Quellmehlen (vgl. Publikation 2) führte zu vielversprechenden Ergebnissen bezüglich der Lockerung.

Aus dem Vorhaben können folgende Empfehlungen für die Herstellung von Gashydraten abgeleitet werden:

Höhere Temperaturen als Raumtemperatur haben sich als ungünstig erwiesen. Der Massenstrom einer Düse sollte nicht zu hoch gewählt werden, so dass nach Möglichkeit die REYNOLDS-Zahlen kleiner 1 betragen. Die Einbringung von Wasser sollte von oben nach unten erfolgen, da durch Einbringung von unten nach oben keine Erhöhung der Verweilzeit erzielt werden kann und der Prozess durch die Einbringung von unten nach oben komplizierter wird. Die Tropfengrößen könnten zwischen 50 – 10 µm liegen. Eine Reaktorhöhe von 0,5 m ist ausreichend. Zur Massenproduktion können mehrere Düsen nebeneinander in einen breiten Reaktor eingebracht werden. Die Erzeugung sollte bei über 0 °C erfolgen. Die bei der Erzeugung freiwerdende Wärme muss abgeführt werden, damit die Temperatur nicht außerhalb des Bildungsbereichs der Hydrate steigt (z.B. durch Einbringen von flüssigem CO₂). Hierbei sollte die Temperatur im Reaktor zumindest im oberen Bereich des Reaktors nicht unter 0 °C sinken. Partikel könnten durch einen konisch geformten Reaktor und eine druckfeste Zellradschleuse in einen Druckbehälter ausgetragen werden, in dem sie noch vor Ablass des Druckes auf eine Temperatur unter 0 °C gebracht werden (z. B. durch flüssiges CO₂ oder N₂); auf diese Weise könnten die Hydrate stabilisiert werden. Die Verwendung von Leucin und Methionin sowie deren Kombination mit Lecithin sorgten für die stabilsten zur Anwendung in Backwaren geeigneten Gashydrate.

Die Anwendung von Gashydraten zur Lockerung von Backwaren ist grundsätzlich möglich, bedarf aber noch einer Optimierung. Die Anwendung in Teigen und Massen mit hohen Anteilen an Feuchtigkeit ist eher als realistisch anzusehen, da mit dem CO₂ aus den Gashydraten auch Wasser freigesetzt wird. Ein großes Potential wird in der Herstellung von glutenfreien Backwaren gesehen, da dort natürlicherweise höhere Flüssigkeitsanteile sowie Hydrokolloide in den Rezepturen zu finden sind.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die deutsche Backbranche besteht aus über 9.600 Betrieben, die mit 238.200 Mitarbeitern einen Gesamtumsatz von 16,27 Mrd. €/Jahr erwirtschaften (2022). Die Branche ist mit durchschnittlich 25 Mitarbeitern pro Betrieb stark mittelständisch geprägt; 95 % der Betriebe sind kleine und mittelständische Unternehmen (KMU).

Der Gesamtjahresbedarf der Branche an Backhefe bzw. Backpulver beträgt ca. 330.000 t resp. 260.000 t, die insgesamt 500 Mio. € an Materialkosten verursachen. Für einen Betrieb mit 1.000 t Jahresproduktion an Backwaren würden die Herstellungskosten der Hydrate mit 1-10 ct/kg Backware in der Größenordnung der Zukaufkosten von Backhefe (ca. 3 ct/kg Backware) liegen. Diesen Kosten steht aber eine Zeit- und Energieeinsparung und eine Reduktion der Komplexität der Gärkammer gegenüber, die mit bis zu 20 ct/kg Backware veranschlagt werden kann. Für eine Bäckerei mittlerer Größe ergäben sich somit auch bei konservativer Kostenabschätzung eine jährliche Einsparung von über 100.000 € durch den Einsatz von Gashydraten bzw. eine Amortisationszeit von deutlich unter 5 Jahren.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2023.
2. Kollemparembil, A. M., Srivastava, S., Zettel, V., Gatternig, B., Delgado, A., Jekle, M. & Hitzmann, B.: Application of CO₂ Gas Hydrates as Leavening Agents in Black-and-White-Cookies. *Foods* 12, 2797, <https://doi.org/10.3390/foods12142797> (2023).
3. Srivastava, S., Kollemparembil, A. M., Zettel, V., Delgado, A., Jekle, M. & Hitzmann, B.: Improving the Leavening Effect of Ice like CO₂ Gas Hydrates by Addition of Gelling Agents in Wheat Bread. *Gels* 9 (3), 223, <https://doi.org/10.3390/gels9030223> (2023).
4. Srivastava S., Kollemparembil, A. M., Zettel, V., Claßen, T., Mobrak, M., Gatternig, B., Delgado, A., Jekle, M. & Hitzmann, B.: A comparative analysis of partial replacement of yeast with CO₂ gas hydrates as leavening agents in baking of wheat bread. *Process*. 11, 653, <https://doi.org/10.3390/pr11030653> (2023).

- Frühling, Y., Claßen, T., Mobarak, M., Bauer, M., Zettel, V., Gatternig, B., Hitzmann, B. & Delgado, A.: CO₂ gas hydrate as an innovative leavening agent for baked goods. *Fut. Foods* 7, 100213, ISSN 2666-8335, <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100213> (2023).
- Srivastava, S., Kollemparembil, A. M., Zettel, V., Claßen, T., Mobarak, M., Gatternig, B., Delgado, A., Jekle, M. & Hitzmann, B.: An Innovative Approach in the Baking of Bread with CO₂ Gas Hydrates as Leavening Agents. *Foods* 11 (22), 1-14, <https://doi.org/10.3390/foods11223570> (2022).
- Srivastava, S., Kollemparembil, A. M., Zettel, V., Claßen, T., Gatternig, B., Delgado, A. & Hitzmann, B.: Experimental investigation of CO₂ uptake in CO₂ hydrates formation with amino acids as kinetic promoters and its dissociation at high temperature. *Sci. Rep.* 12 (1), 1-14, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12538-1> (2022).
- Srivastava, S., Hitzmann, B. & Zettel, V.: A Future Road Map for Carbon Dioxide (CO₂) Gas Hydrate as an Emerging Technology in Food Research. *Food Bioproc. Technol.*, 14 (9), 1758-1762, <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02656-5>. (2021).

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

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Prozessanalytik und Getreidewissenschaft
Garbenstraße 23, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23286
Fax: +49 711 459-23259
E-Mail: bernd.hitzmann@uni-hohenheim.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)

Gefördert durch:



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 Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.