

Technologie-Plattform mit Injektion von Starterkulturen zur Produktion von Schnittkäse

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Milchwissenschaft und -technologie Prof. Dr. Dr. Jörg Hinrichs
Forschungsstelle II:	Universität Hohenheim Institut für Angewandte Mathematik und Statistik FG Mathematik, insbesondere. Modellierung komplexer biologischer Systeme Prof. Dr. Philipp Kügler
Industriegruppe:	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin Projektkoordinator: Franz Prinz Käserei Champignon Hofmeister GmbH & Co. KG, Lauben
Laufzeit:	2015 – 2018
Zuwendungssumme:	€ 373.930,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

2016 wurden in Deutschland ca. 2,5 Mio. t Käse hergestellt; von dieser Gesamtproduktionsmenge entfielen etwa 700.000 t auf Schnittkäse. Mehr als 50 % der Schnittkäseproduktion wird exportiert, wobei die deutschen Hersteller in einem starken internationalen Wettbewerb stehen. Da die Rohstoffkosten in der Käseproduktion bis zu 87 % der Gesamtkosten ausmachen, sind Unternehmen gefordert, einerseits ihre Prozesse permanent zu optimieren und Nebenprodukte zu verwerten und andererseits, sich durch neue Käseprodukte von Mitbewerbern abzuheben. Wünschenswert sind somit Technologien, mit denen die Produktion effizient gestaltet werden kann und die gleichzeitig Flexibilität bieten, ohne großen Aufwand z. B. die Form des Käses zu ändern oder das Aromaprofil zu verschieben.

Vereinfacht kann der Käsungsprozess in drei Abschnitte unterschieden werden: Im 1. Abschnitt, der Präzipitation, wird induziert durch eine enzymatische Hydrolyse die

Milch geliert und das Milchgel anschließend durch Bearbeiten in Bruchstücke (Bruch) zerkleinert. Im 2. Abschnitt wird der in Molke dispergierte Bruch in Formen überführt und gepresst, damit die Bruchkörner wieder zu einer homogenen Käsematrix zusammenwachsen bzw. fusionieren. Im 3. Abschnitt, der Reifung, werden durch enzymatische und mikrobiologische Stoffwechselforgänge induziert Aroma und Textur ausgebildet. Die Lactose wird fast vollständig verstoffwechselt und nach einer Reifedauer von 4-6 Wochen liegt der fertige Schnittkäse vor.

Über die letzten Jahrzehnte wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um bestehende Prozessschritte zu optimieren und zu automatisieren, Prozessinnovationen waren jedoch eher die Seltenheit. Hier setzte die Idee zu einer Technologie-Plattform an, um Käsebruch ohne zeitaufwändiges Pressen mittels Extrusion zu fusionieren und auszuformen. In den so erzeugten Rohkäse können z. B. Starterkulturen und/oder Reifungsenzyme injiziert werden. Damit ist es möglich, flexibel – individuell auf den Kon-

sumenten angepasste – Schnittkäse herzustellen und auszureifen.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer Technologie-Plattform für die Schnittkäseherstellung, wobei ein Extrusionsprozess zur Fusion des Käsebruchs anstelle des heute üblichen Pressens genutzt werden soll. Ergänzt wurde dies durch das Ziel, die Injektion von Kulturen in die durch Extrusion bereitgestellte Käsematrix so zu gestalten, dass am Ende der Käsereifung eine homogene Verteilung der Aromen und Textureigenschaften vorliegt.

Forschungsergebnis:

An Forschungsstelle 1 wurde zunächst in Laborexperimenten gezeigt, dass die Präzipitation und das Extrudieren des Rohkäses bei abgesenktem pH-Wert erleichtert sind. Daher wurde ein Prozess zur Herstellung von Rohkäse auf der Basis von direkt gesäuerter Milch (Milchsäure, äquimolare Milch-/Zitronensäure, Zitronensäure) bei verschiedenen pH-Werten (6,3; 5,7; 5,5) entwickelt. Dafür wurden im Labormaßstab (100 ml) Gerinnungs- und Dicklegungszeiten sowie die Synärese (Molkenabgabe) untersucht. Auf Basis der erhobenen Daten wurde von Forschungsstelle 2 ein multiples lineares Regressionsmodell entwickelt, um die Synärese bzw. Trockenmasse während der Bruchbearbeitung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren (Milchzusammensetzung, Vorbehandlung, Prozessparameter) vorherzusagen.

In einem nächsten Schritt erfolgte die Bestimmung der Prozessparameter für eine Herstellung von direkt-gesäuertem Rohkäse im Technikumsmaßstab, der dann auch für die Injektionsversuche verwendet wurde. Zusätzlich wurde die Charakterisierung der direkt-gesäuerten Rohkäse hinsichtlich Schmelzverhalten und Extrusionsfähigkeit durchgeführt. Anhand der erhobenen Daten wurden Prozessparameter (Extrusionstemperatur und kritische Scherbelastung) für die Übertragung auf den Einschnuckenextruder festgelegt. Die kritische Scherrate während der Extrusion bei 60 °C lag bei $10\text{-}30\text{ s}^{-1}$ in Abhängigkeit des Calciumgehalts $31 \pm 2\text{-}15,8 \pm 0,9\text{ mg Ca/g Protein}$. Die Fusion von Käsebruch mittels Einschnuckenextrusion wurde erfolgreich implementiert, um homo-

gene Schnittkäsematrices im Zieltrockenmassebereich von 50 g/100 g zu erzeugen. Die optimalen Prozessparameter waren hierfür bei 63 °C (Produkttemperatur 60 °C) und 10 rpm.

Die Injektion der Starterkultur hat zur Folge, dass die Bakterien zu Beginn inhomogen in der Käsematrix verteilt vorliegen. Um die Auswirkung dieser räumlichen Verteilung auf die Reifung zu untersuchen, wurde ein Modell von auftretenden Reaktions-Diffusionsgleichungen aufgestellt und mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) gelöst. An Forschungsstelle 2 wurde die Modellierung der räumlich-zeitlichen Dynamiken entwickelt. Durch die Modellierung konnte die räumliche Verteilung von Milchsäurebakterien, Lactose, Milchsäure, Lactat sowie anderer chemischer Spezies, die das Bakterienwachstum beeinflussen (wie Na^+ , Cl^- , H^+), zu jedem Zeitpunkt innerhalb der Reifezeit des Käses bestimmt werden. Das Modell wurde durch eine experimentelle Bestimmung der effektiven Diffusionskoeffizienten erweitert. Der Standardschnittkäse Typ Gouda wurde hinsichtlich des mikrobiellen Wachstums und der Verteilung von Substrat (Lactose) und Metabolit (Milchsäure) analysiert und diente im Rahmen der Injektionsversuche als Vergleich. Reifungsexperimente in extrudierten Rohkäsematrices wurden durchgeführt mit einer zentralen Injektionsstelle, um Aufschluss über die räumliche und zeitliche Verteilung zu erhalten und dadurch das Modell zu trainieren. Nach Optimierung und Training des Modells wurden vorgeschlagene Injektionsmuster getestet und somit das Modell validiert. Mit dem erhaltenen Modell ist es möglich, Injektionspunkte, -anzahl und -volumen durch reduzierten experimentellen Aufwand zu ermitteln.

Wirtschaftliche Bedeutung:

Im Jahr 2016 erwirtschaftete der milchverarbeitende Sektor in Deutschland mit knapp 32.000 Beschäftigten an über 150 Betriebsstandorten einen Umsatz von mehr als 23 Mrd. €. Be- und verarbeitet wird dort die Milch von fast 67.000 Milcherzeugerbetrieben.

Innerhalb der EU ist Deutschland ein führender Exporteur von Käse und Käseproduk-

ten und als solcher dem wachsenden internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Innovationen, die eine höhere Rohstoffausnutzung ermöglichen, verbessern die Wertschöpfung und sichern Arbeitsplätze der deutschen Hersteller.

Mit der erarbeiteten Technologie-Plattform wird die Schnittkäseherstellung deutlich vereinfacht, die Fusion der Matrix wird beschleunigt und Schwankungen in Bezug auf die Endtrockenmasse des Käses werden minimiert, weil die gesamte Molke frühzeitig im Käsungsprozess abgeführt wird. Diese liegt zudem in hoher Qualität vor und ist sehr gut zu verwerten (z. B. für die Lactose-Gewinnung, Molkenproteinpräparate für Babyformula).

Durch Wegfall von Prozessschritten, wie z. B. dem Pressen und dem Salzbad, können bei Neuinvestitionen neben den dazu nötigen Maschinen, Apparaten auch Kosten für die bereitzustellende Fläche und bauliche Infrastruktur eingespart werden. Beispielsweise nehmen allein das Formenmanagement und die Pressen mindestens 50 % der Fläche der Produktionshallen ein. Erst anschließend gehen die Käse ins Salzbad, das u. a. wegen eines anderen Temperaturniveaus räumlich getrennt ist. Die erarbeitete Technologie-Plattform kann demgegenüber auch in die laufende Produktion von KMU integriert werden, indem ein Teilstrom an Käsebruch über einen Extruder mit zusätzlichem Injektionsapparat geleitet wird.

Das Verfahren unterstützt auch die Entwicklung neuer Käseprodukte. Das angestrebte Modellierungs- und Simulationstool beschleunigt die Produktentwicklung. Beispielsweise kann die zeitaufwändige Trial-and-Error-Vorgehensweise zur Ermittlung der Injektionsstellen für eine bestimmte Reifungscharakteristik abgekürzt werden. Auch können Nischen und Exportmärkte mit Schnittkäse, die eine besonders würzige Aromanote oder Zutaten, wie z. B. Kräuter, auszeichnen, erschlossen werden. Die Technologie-Plattform schafft Flexibilität, schnell und effizient Käseprodukte für spezifische Kundenanforderungen zu entwickeln. Solche maßgeschneiderten Käseprodukte stellen keine Massenartikel, wie z. B. Edamer, Gouda, dar, sondern bieten den Unternehmen die Chance einer besseren Wertschöpfung sowohl im Inland als auch im Ausland.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2018.
2. Kern, C., Scharfe, M. und Hinrichs, J.: Texturization of renneted casein-based gel particles by sheet die extrusion: Mechanical properties and numerical analysis of flow characteristics. *J. Food Eng.* 278 (2020).
3. Kern, C., Stefan, T., Kügler, P. und Hinrichs, J.: Käserei: Neue Technologie-Plattform mit Injektion von Starterkulturen für Produktion von Schnittkäse. *Milchwirt.* 2, 59-63 (2019).
4. Kern, C., Stefan, T. und Hinrichs J.: Multiple linear regression modeling: Prediction of cheese curd dry matter during curd treatment. *Food Res. Intern.* 121, 471-478 (2019).
5. Kern, C., Bähler, B., Hinrichs, J. und Nöbel, S.: Waterless single screw extrusion of pasta-filata cheese: Process design based on thermo-rheological material properties. *J. Food Eng.* 260, 58-69 (2019).
6. Kern, C., Weiss, J. und Hinrichs, J.: Additive layer manufacturing of semi-hard model cheese: Effect of calcium levels on thermo-rheological properties and shear behavior. *J. Food Eng.* 235, 89-97 (2018).
7. Kern, C., Stefan, T., Kügler, P. und Hinrichs, J.: Käserei 4.0: Technologie-Plattform für Schnittkäse. *Molk.-Ind.* 6, 16-19 (2017).
8. Kern, C., Weiss, J. und Hinrichs, J.: Additive Layer Manufacturing of semi-hard model cheese: Effect of calcium levels on thermo-rheological properties and shear behavior. *J. Food Eng.* 235, 89-97 (2017).

Weiteres Informationsmaterial:

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Milchwissenschaft und -technologie
Garbenstraße 21, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-23792
Fax: +49 711 459-23617
E-Mail: jh-lth@uni-hohenheim.de

Universität Hohenheim
Institut für Angewandte Mathematik
und Statistik
FG Mathematik, insb. Modellierung
komplexer biologischer Systeme
Schloss, Westhof-Süd, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-22147
Fax: +49 711 459-23030
E-Mail: philipp.kuegler@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

... 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.