Separate Komponentenbehandlung als innovative Prozessführungsstrategie für die Strukturierung proteinbasierter Produkte am Beispiel extrudierter Produkte auf Soja- und Milchprotein-basis

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle(n):	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik Teilinstitut I: Lebensmittelverfahrenstechnik Prof. Dr. Heike P. Karbstein/Dr. Azad Emin Technische Universität München Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL) Abt. Technologie, Freising Prof. Dr. Ulrich Kulozik
Industriegruppe(n):	VDMA-Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e. V., Frankfurt Vereinigung zur Förderung der Milchwissenschaftlichen Forschung an der Technischen Universität München e. V., Freising
Projektkoordinatorin:	Uta Kühnen Coperion GmbH, Stuttgart
Laufzeit:	2018 – 2021
Zuwendungssumme:	€ 499.680,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation

Die Morphologie strukturierter Proteine ist der entscheidende Faktor für ihre Eigenschaften und Funktionen in Lebensmitteln. Abhängig von ihrer Struktur, Form, Größe usw. können Proteine bzw. Proteincluster (Aggregate, Fraktale, Gelpartikel, Fibrillen) in unterschiedlichen Produkten für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, z. B. zur Stabilisierung von Schäumen und Gelen. Hochkonzentrierte pflanzliche Proteine können in einem Extruder auch so prozessiert werden, dass faserige anisotrope Strukturen ausgebildet werden, die als Fleischersatzprodukte eingesetzt werden können. Vorarbeiten zeigten bereits, dass für die Ausbildung einer anisotropen Struktur ein Mehrphasensystem vorliegen muss. Dieses System besteht aus mindestens zwei Biopolymerkomponenten, z. B. zwei verschiedenen Proteinen oder einem Protein und einem Polysaccharid.

Auf dieser Grundlage basiert die Hypothese, dass Systemkomponenten in ihrem Ausgangszustand (nativ, teilstrukturiert, unterschiedlich vernetzt) vor dem Extrusionsprozess variiert werden können, um die entstehenden Produktstrukturen gezielt zu beeinflussen. Ein großes Feld an Möglichkeiten zur Beeinflussung der Morphologie ergibt sich sowohl durch die Variation der Rohstoffe und der unterschiedlichen Reaktions- und Strukturbildungsmechanismen als auch durch Vorstrukturierung der einzelnen Systemkomponenten und durch das Zusammenführen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Gesamtprozess. Die Frage ist dabei, welche Vorläuferstrukturen welche neuen bzw. besser steuerbaren Eigenschaften im Endprodukt bedingen und wie stabil

diese sein müssen, um als „template“ für den weiteren Strukturaufbau zu dienen. Bei der Vorstrukturierung ist deshalb im Vergleich zu anderen Arbeiten die mechanische und thermische Stabilität der erzeugten Vorläuferstrukturen im Prozessumfeld im Detail zu betrachten.

Im Extrusionsprozess erfolgt durch rotierende Schnecken und die Beheizung bzw. Kühlung von außen eine thermomechanische Beanspruchung, die eine Änderung der molekularen Struktur einer oder mehrerer Komponenten des Systems und so eine Beeinflussung der Materialeigenschaften bedingen kann. Diese Änderungen haben Auswirkungen auf die Bildung der Morphologie im Austrittsbereich des Extruders (Düse), wodurch sich die resultierenden anisotropen Strukturen (z. B. Fasern für Fleischersatzprodukte) und sensorischen Eigenschaften des Produktes ergeben. Durch gezielte Steuerung der Strukturen der einzelnen Komponenten könnten deren sensorische Eigenschaften eingestellt und die Textur in einem breiteren Rahmen variiert werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer innovativen Prozessführungsstrategie für die Strukturierung proteinbasierter Produkte am Beispiel extrudierter Produkte auf Soja- und Milchproteinbasis. Es sollten die Mechanismen der Strukturierung und die Morphologieentwicklung von hochkonzentrierten Proteinsystemen mechanistisch untersucht werden, um hieraus eine Prozessplattform für die gezielte Steuerung der Struktur- und Morphologiebildung zur Einstellung von Produktstruktureigenschaften (Textur, Mundgefühl, Wasserbindevermögen) abzuleiten.

Forschungsergebnis

Als Modellsystem für das Vorhaben wurde ein Sojaproteinisolat (SPI) für die kontinuierliche Phase und verschiedene Milchproteine für die disperse Phase ausgewählt. Das SPI weist bei typischen Extrusionsbedingungen keine Reaktivität auf, das heißt, dass der Einfluss der extrusionsrelevanten thermomechanischen Beanspruchung auf die Eigenschaften des SPI vernachlässigt werden kann. Dieses SPI wurde mit verschiedenen Vorstrukturen zusammengeführt und untersucht bzw. extrudiert.

Die Vorstrukturen wurden aus den Rohstoffen Molkenproteinkonzentrat (WPC), Molkenproteinisolat (WPI) und mizellarem Casein (MCC) hergestellt. Die hitzeinduzierte Denaturierungs- und Aggregationsreaktion von Molkenproteinen bei geringer Proteinkonzentration war eine Art der Vorstrukturierung. Durch Erhitzung bei verschiedenen pH-Werten im Bereich zwischen 2,0 und 8,0 gelang es, Aggregate im Bereich weniger nm bis 0,5 mm zu erzeugen, welche je nach pH-Wert eine spezifische Form und spezifische Wasserbindekapazität aufweisen. Unter weiterer thermomechanischer Behandlung weisen dabei kleine Strukturen (wenige nm) eine hohe Stabilität auf, während große Strukturen (mehrere µm bis 0,5 mm) in kleinere Strukturen zerfallen. Eine weitere Art der Vorstrukturierung erfolgte unter thermomechanischer Beanspruchung der Molkenproteine im Extruder bei hoher Proteinkonzentration. Basierend auf dem im Rahmen des im IGF-Projekt AiF 17140 N entwickelten Prozess zur Herstellung von Mikropartikulaten und den Ergebnissen dieses Projektes konnte ein Einfluss des pH-Wertes auf die Größe der Mikropartikulate gezeigt werden. Die Größe nimmt dabei mit steigendem pH-Wert im Bereich zwischen 5,5 und 7,0 von etwa 11 µm auf 5 µm ab, während der Denaturierungsgrad von ~ 80 % und die Wasserbindekapazität von ~ 5 g H_2O/g Protein konstant bleiben. Die Mikropartikulate weisen unter geringer Scherung eine hohe Stabilität auf, während die Größe unter hoher Scherung zum Teil stark reduziert wird. Die Extrusion von MCC war die dritte Methode zur Vorstrukturierung und führte zu fraktalen Aggregaten, deren Größe pH-abhängig ist.

In der Mischung mit der kontinuierlichen Phase, also dem SPI, konnte gezeigt werden, dass die zugegebenen Proteine insbesondere einen starken Einfluss auf das rheologische Verhalten im nicht-linearen viskoelastischen Bereich (nLVE) und einen geringen Einfluss im linear viskoelastischen (LVE) Bereich haben. Dabei war der Einfluss des zugegebenen Proteins auf die rheologischen Eigenschaften unabhängig von der Vorstrukturierung, also den voreingestellten Eigenschaften des Proteins. Die rheologischen Eigenschaften sind wichtig für das Strömungsverhalten und die Morphologieentwicklung des Mehrphasensystems im Düsenbereich und somit auch für die Ausbildung der anisotropen Strukturen im Düsenbereich. Für eine Mischung aus SPI und WPC (sowohl in vorstrukturierter Form als auch als Rohstoff) konnte gezeigt werden, dass das WPC als disperse

Phase in einer kontinuierlichen Phase (SPI) vorliegt. Diese disperse Phase kann durch eine thermomechanische Beanspruchung aufgebrochen werden und bildet dann sehr kleine Dispersphasenpartikel in einer Größenordnung von 1-10 µm. Somit wird erwartet, dass im Extrusionsprozess die vorstrukturierten Proteine zerkleinert werden, dadurch ihre voreingestellte Form bzw. Größe verlieren und somit andere Proteineigenschaften (wie die Wasserbindekapazität) an Bedeutung gewinnen bzw. einen größeren Einfluss haben sollten.

Für ein mechanistisches Verständnis des Prozesses wurden mittels numerischer Strömungssimulation die Strömungscharakteristika, also die Verteilung der Temperatur, der Scherraten, der Viskositäten und der Schubspannungen im Düsenbereich bestimmt. Abschließend wurden die kontinuierliche Phase (SPI) und die Milchproteine (vorstrukturiert und Rohstoff) gemischt und bei konstanten Prozessbedingungen extrudiert. Alle Extrudate wiesen dabei eine anisotrope Struktur auf. Die Zugabe des Milchproteins (vorstrukturiert oder Rohstoff) führte dabei zu einer weicheren Textur, einer Erhöhung des Anisotropieindex und zu einer stärkeren Ausprägung der anisotropen Struktur. Der Effekt hing dabei deutlich von den Eigenschaften der zugegebenen Milchproteine ab. Die Zugabe der Proteine hatte außerdem einen deutlichen Einfluss auf die Mehrphasenmorphologie, wobei die WPC- und WPI-Proteine eher zu kürzeren und rundlicheren Strukturen führten, und die MCC-Proteine in deutlich längeren, stärker deformierten Strukturen resultierten. Es wird davon ausgegangen, dass der Effekt der Milchproteine (sowohl vorstrukturiert als auch in Rohstoffform) auf einer Beeinflussung der Wasserverteilung im Extrudat beruht, welche wiederum von den hydrophilen Eigenschaften (z.B. Wasserbindekapazität) der Milchproteine und somit auch von der Morphologie der Proteine abhängt. Das Projekt konnte zeigen, dass die Anwendung des „separate component treatment“ ein vielversprechender Ansatz ist, um die Produktstruktur und -textur von hochkonzentrierten Proteinsystemen gezielt einzustellen.

Wirtschaftliche Bedeutung

Obwohl die Strukturbildung in hochkonzentrierten Proteinextrudaten bereits Gegenstand verschiedener Arbeiten war, ist das Verständnis über die grundlegenden Mechanismen immer noch zu unzureichend, um die Produkteigenschaften von hochkonzentrierten Proteinsystemen gezielt beeinflussen und für die Produktgestaltung nutzen zu können. Dies stellt vor allem kleine und mittelständische Unternehmen vor große Herausforderungen bei der Entwicklung extrudierter Proteinprodukte, wie Fleischersatzprodukte oder Pasta-filata-Käse. Diese Herausforderungen können nun mit den gewonnenen Ergebnissen besser angegangen werden.

Der weltweite Markt für proteinreiche Produkte wächst stark, was auf die gesundheitsfördernde Wirkung der Proteine (im Vergleich zu Kohlenhydraten oder Fetten), die unterstützende Wirkung beim Muskelaufbau sowie die sättigenden Eigenschaften zurückzuführen ist. Auch der Anteil vegetarischer Produkte nimmt stetig zu: So wird für den Umsatz mit Fleischersatzprodukten in Deutschland zwischen 2015 und 2022 ein Wachstum von 164,9 Mio. US-Dollar auf 345,7 Mio. US-Dollar prognostiziert. Ein erhebliches Optimierungspotential liegt bei diesen Produkten vor allem in der Verbesserung der Textur und des Mundgefühls; mit den Ergebnissen dieses Vorhabens kann dieses Potential erschlossen werden.

Zusätzlich zu den genannten Produkten können die Erkenntnisse auch dazu genutzt werden, andere alternative oder neue Lebensmittel zu erzeugen, die strukturell nicht mit Fleisch konkurrieren müssen. Die gewonnenen Erkenntnisse zur Morphologieentwicklung und zu den Zusammenhängen zwischen Materialeigenschaften und Endprodukteigenschaften können auch auf vergleichbare Rohstoffe und Anwendungsgebiete übertragen und für unternehmensspezifische Produktkonzepte genutzt werden können, z. B. in den Bereichen Fertigprodukte, Milchverarbeitung, Spezial- und Sojaprodukte sowie proteinbasierte Hilfsstoffe zur Stabilisierung und Texturierung von Lebensmitteln (z.B. Feinkost, wie Desserts, Saucen etc.).

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2021.
2. Wittek, P., Zeiler, N., Karbstein, H.P. & Emin, M.A.: High Moisture Extrusion of Soy Protein: Investigations on the Formation of Anisotropic Product Structure. Foods 10, 102, doi:10.3390/foods10010102 (2021).

3. Wittek, P., Zeiler, N., Karbstein, H.P. & Emin, M.A.: Analysis of the complex rheological properties of highly concentrated proteins with a closed cavity rheometer. Appl. Rheol. 30, 64–76, doi:10.1515/arh-2020-0107 (2020).
4. Scheidler, E. & Kuhnert, F.: Morphologie hochkonzentrierter Proteinextrudate. Jahresb. Milchwiss. Forsch. ZIEL Weihenstephan 76-77, ISBN 978-3-947492-16-9 (2019).
5. Scheidler, E., Kuhnert, F. & Guyot, E.: Morphologie hochkonzentrierter Proteinextrudate. Jahresb. Milchwiss. Forsch. ZIEL Weihenstephan 74-75, ISBN 978-3-947492-10-7 (2018).

Der Schlussbericht ist für die interessierte Öffentlichkeit bei den Forschungsstellen abzurufen.

Weiteres Informationsmaterial

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik
Teilinstitut I: Lebensmittelverfahrenstechnik
Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-48311
Fax: +49 721 608-942497
E-Mail: azad.emin@kit.edu

Technische Universität München
Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL)
Abt. Technologie
Weihenstephaner Berg 1, 85354 Freising
Tel.: +49 8161 71-3535
Fax: +49 8161 71-4384
E-Mail: ulrich.kulozik@tum.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

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben **AiF 20249 N** der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, 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.

Bildnachweis - Seite 1: © Andrea Mücke - stock.adobe.com #184589163