

## Modifikation der funktionellen Eigenschaften von obst- und gemüsebasierten Ballaststoffen aus Lebensmittelnebenströmen durch Änderung der Molekülstruktur mittels Extrusion



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. M. Azad Emin  Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Angewandte Biowissenschaften Abt. Lebensmittelchemie und Phytochemie Prof. Dr. Mirko Bunzel/Dr. Judith Keller
Industriegruppe(n):	Fachverband Pektin e.V., Neuenbürg
Projektkoordinator:	Jürgen Sieg J. Rettenmaier & Söhne GmbH & Co. KG, Rosenberg
Laufzeit:	2019 – 2021
Zuwendungssumme:	€ 451.873,--

### Ausgangssituation

Ballaststoffe gelten als ernährungsphysiologisch positive Bestandteile der menschlichen Nahrung. Viele Zivilisationskrankheiten, wie Dickdarmkrebs oder Diabetes mellitus, werden mit der Aufnahme ballaststoffarmer Nahrung in Verbindung gebracht. Umgekehrt kann die vermehrte Aufnahme von Ballaststoffen zu einer positiven Regulierung des Blutglucose- und Cholesterinspiegels beitragen und einer ernährungsbedingten Obstipation entgegenwirken. Seit Jahren zeichnet sich ein Trend zu einer gesundheitsbewussteren Ernährung und einer damit einhergehenden, steigenden Nachfrage der Verbraucher nach ballaststoffreichen Lebensmitteln ab. Daher wurden in den letzten Jahren zahlreiche ballaststoffangereicherte Lebensmittel entwickelt. Darüber hinaus werden Ballaststoffkomponenten auch heute schon in vielen Lebensmitteln, wie Snacks, Backwaren und Getränken, als funktionelle Hilfsstoffe eingesetzt, da sie wasserbindende und/oder verdickende Eigenschaften aufweisen. So kann durch Einarbeiten von Ballaststoffen Fett, Mehl und Zucker in den Rezepturen teilweise ersetzt werden und so in manchen Produkten die Stabilität und Haltbarkeit vorteilhaft verändert werden.

Bisher weniger im Fokus des Interesses standen hierbei Ballaststoffe aus Nebenströmen der Obst- und Gemüseverarbeitung (Apfeltrester, Karottentrester und Kartoffelpülpe). Gerade das stetig wachsende Interesse der Verbraucher an ernährungsphysiologisch positiv bewerteten, natürlichen, rohstoffnahen und nachhaltigen Lebensmitteln macht diese Nebenprodukte zu einer sehr attraktiven Ballaststoffquelle für die Lebensmittelindustrie. Diese Nebenströme enthalten oft auch sekundäre Pflanzenstoffe (Phytochemikalien), wie Anthocyane, Flavanole und Carotinoide, die zu einer weiteren Aufwertung der Produkte führen. Ballaststoffreiche Nebenprodukte von Obst und Gemüse können daher als natürliche, bioaktivstoffreiche, kalorienarme und preiswerte

funktionelle Lebensmittelkomponenten angesehen werden. Jedoch zeigen nicht alle Ballaststoffe auch die gewünschte Funktionalität in Lebensmitteln. Die meisten Ballaststoffe können nicht oder nur in begrenzter Menge zugesetzt werden, da sie z.B. unerwünschte sensorische und textuelle Veränderungen von Lebensmitteln verursachen können bzw. nicht die gewünschte Funktionalität haben. Eine Möglichkeit zur Modifikation von Ballaststoffen bietet die Extrusion. Hierbei können effizient und kontinuierlich hohe Temperaturen und eine hohe Scherung bei kurzen Verweilzeiten kombiniert werden, wodurch eine hohe thermomechanische Beanspruchung auf konzentrierte Systeme erzeugt werden kann. Da eine Maßstabübertragung auf größere Anlagen möglich ist, hat die Extrusion auch im großtechnischen Maßstab ein großes wirtschaftliches Potential.

Die funktionellen Eigenschaften von Ballaststoffen hängen direkt von deren Zusammensetzung sowie der chemischen Struktur und Molekulargewichtsverteilung der involvierten Polymere, aber auch der Porosität der Polymerverbände, ab. Die bislang publizierten Arbeiten konzentrierten sich ausschließlich auf die empirische Anwendung der Extrusion zur Bearbeitung von Lebensmittelnebenströmen, zeigen jedoch bereits das Potential des Verfahrens für die Modifikation der funktionellen Eigenschaften solcher Nebenströme auf. Allerdings wurden bisher die komplexen Zusammenhänge zwischen Extrusionsbedingungen, Strukturveränderungen und den daraus resultierenden funktionellen Eigenschaften nicht untersucht (Prozess-Struktur-Eigenschaftsfunktion). Daher ist eine gezielte Funktionalisierung für gewünschte Produktanforderungen und eine Übertragung der Erkenntnisse auf andere Rohstoffe und Anlagen(größen) bislang nicht möglich.

Ziel des Forschungsvorhabens war deshalb die Etablierung von Extrusionsverfahren zur gezielten Modifizierung ballaststoffhaltiger Nebenströme aus heimischer Obst- und Gemüseproduktion. Hierbei sollten Auslegungskriterien erarbeitet werden, um den Prozess so zu steuern, dass gewünschte technofunktionelle und/oder physiologische, polysaccharidbasierte Eigenschaften eingestellt werden können, ohne dass zusätzliche Chemikalien eingesetzt werden müssen.

### ***Forschungsergebnis***

Die Untersuchungen der verfahrenstechnischen Aspekte (Extrusion) sowie die Bestimmung der funktionellen Eigenschaften oblag zum größten Teil der Forschungsstelle (FS) 1, die Untersuchung der strukturellen Merkmale der FS 2. Im Projekt wurde Apfeltrester (unbehandelt bzw. zur Safterstellung enzymatisch behandelt), Karottentrester und Kartoffelpülpe extrudiert und dabei geeignete Prozessparameter variiert. Anschließend wurden für alle Proben die funktionellen Eigenschaften bestimmt und auf Basis der Ergebnisse einzelne Proben für die Strukturanalyse ausgewählt. Für alle Rohstoffe konnte eine Zunahme der Löslichkeit bei sehr hoher thermomechanischer Beanspruchung gemessen werden. Eine Ausnahme zeigte sich für Apfeltrester und enzymatisch behandelte Apfel- und Karottentrester, bei denen eine geringe thermomechanische Beanspruchung (meist in Verbindung mit hohen Wassergehalten bei der Extrusion) zunächst in einer Abnahme der Wasserlöslichkeit resultierte, bevor diese dann bei höheren Beanspruchungen zunahm. Betrachtet man das Wasserbindevermögen sowie die rheologischen Eigenschaften, müssen zunächst stoffspezifische Aussagen getroffen werden. Für Apfeltrester nahm die Wasserabsorption mit steigender thermomechanischer Beanspruchung zu, wohingegen für Kartoffelpülpe und Karottentrester eine Abnahme der Wasserabsorption mit steigender thermomechanischer Beanspruchung beobachtet wurde. Gleiche Trends konnten für die rheologischen Eigenschaften beobachtet werden. Auch hier nahm die komplexe Viskosität für Apfeltrester mit steigender thermomechanischer Beanspruchung zu, wohingegen Karottentrester und Kartoffelpülpe eine Abnahme der Viskosität zeigten. Weiterführende Untersuchungen der Rohstoffe zeigten, dass die Erhöhung der komplexen Viskosität auf das Quellverhalten der Materialien zurückzuführen ist und daher mit den Werten der Wasserabsorption korreliert.

Um die unterschiedlichen Verhalten der einzelnen Rohstoffe besser erklären zu können, wurden u. a. Extrusionsversuche durchgeführt, bei denen durch Variation der Schneckenkonfiguration die thermomechanische Beanspruchung in einem großen Bereich variiert wurde. Durch den Einsatz verschiedener Elemente können sowohl lokal höhere Scherspannungen erzeugt werden als auch die Zeit (Verweilzeitverteilung) im Schneckenbereich erhöht werden. In der Folge konnte beobachtet werden, dass vor allem die Werte der funktionellen Eigenschaften, komplexe Viskosität, als auch Wasserabsorption, bis zu einer bestimmten

thermomechanischen Beanspruchung erhöht werden können und bei darüber hinausgehender Beanspruchung die Werte wieder sanken. Es kann daher ein „Turn-Over Point“ beschrieben werden, bis zu diesem die Wasseraufnahme und damit die komplexe Viskosität erhöht werden können.

Für alle Nebenströme konnte unter dem Einfluss der thermomechanischen Behandlung eine Zunahme des Anteils an löslichen Ballaststoffen beobachtet werden, einhergehend mit einer Abnahme an unlöslichen Ballaststoffen. Weiter deuten die Ergebnisse der Molekulargewichtsverteilung der löslichen Ballaststoffe darauf hin, dass Polysaccharidstrukturen weiter abgebaut werden. Auf struktureller Ebene veränderten sich hauptsächlich die Pektinpolysaccharide. Es konnten hierbei sowohl Veränderungen im Rückgrat als auch in den neutralen Seitenketten (Arabinane und Galactane) des Rhamnogalacturonans I beobachtet werden. Des Weiteren scheint sich die Extrusion auch auf die Kristallinität der Cellulose auszuwirken, da mit steigender Beanspruchung der Anteil an kristallinen Bereichen zunimmt. Die Untersuchungen der Oberfläche der Rohstoffe und der extrudierten Proben mittels Rasterelektronenmikroskop zeigten, dass durch Extrusion die bis dahin „geschlossene, glatte“ Oberfläche aufgebrochen und aufgeraut wird. Die Messung der Porosität mittels Farbabsorptionsmethode (Simons' Stain) zeigte für alle Rohstoffe eine leichte Zunahme der Porosität. Aus ernährungsphysiologischer Sicht konnten 47 % - 71 % der Gehalte an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen erhalten bleiben. Abhängig von den angewendeten Bedingungen werden hitzeinduzierte Kontaminanten, wie Acrylamid und 5 Hydroxymethylfurfural, gebildet. Besonders bei Kartoffelpülpe kann (vermutlich) aufgrund der vorkommenden Aminosäure Asparagin unter dem Einfluss von Hitze Acrylamid gebildet werden. Unter den hier angewendeten Bedingungen wird dieses jedoch nur in geringem Ausmaß gebildet (max. 71 µg/kg bei maximaler thermomechanischer Belastung). Gleiches gilt für den enzymatisch behandelten Apfeltrester. Dieser wies einen vergleichsweise hohen Gehalt an freien Mono- und Disacchariden auf, was unter Hitzeinfluss die Bildung von 5 Hydroxymethylfurfural begünstigen kann. Auch hier wurden unter maximaler Belastung nur max. 62,3 mg/kg gebildet. Des Weiteren zeigte sich auch für alle Nebenströme interessanterweise keine Verbesserung der Fermentierbarkeit der Ballaststoffe durch Extrusion in einem vereinfachten In-vitro-System.

Da im Extruder thermische und mechanische Beanspruchungen des Materials nicht getrennt voneinander untersucht werden können und somit nur begrenzt Aussagen zum Einfluss der thermischen bzw. mechanischen Beanspruchung auf die Funktionalisierung gemacht werden können, wurde Apfeltrester zusätzlich in einer Scherzelle behandelt. Hierbei konnten Änderungen der funktionellen Eigenschaften erst ab einer Temperatur von > 90 °C gemessen werden. Bei 120 °C konnte für alle funktionellen Eigenschaften eine Abnahme der Werte im Vergleich zum Rohstoff beobachtet werden. Mit steigender Temperatur nahmen die Werte der funktionellen Eigenschaften wieder zu und überstiegen die der Rohstoffe. Eine zusätzliche Scherung während der thermischen Beanspruchung führte zu einer Erhöhung der Werte bei allen Temperaturen.

Die strukturellen Veränderungen können vor allem auf die Anwendung erhöhter Temperaturen (160 °C) und einem erhöhten Wassergehalt (40 %) zurückgeführt werden. So zeigten sich hier vor allem die o. g. Veränderungen. Die Behandlungsdauer hat keinen Einfluss auf die Veränderungen. Bei 120 °C konnte eine leichte Abnahme der Porosität des Apfeltresters gemessen werden.

Bei der Anwendung in Brot wirkte sich der Einsatz funktionalisierter Ballaststoffe im Vergleich zu nichtfunktionalisierten Rohstoffen positiv auf die Produkteigenschaften aus. Es ist bekannt, dass Ballaststoffe die Ausbildung des Glutennetzwerks stören, was sich negativ auf das Endprodukt auswirken kann. Es konnte gezeigt werden, dass mittels Extrusion die Ballaststoffpartikel verändert und funktionalisiert werden können, so dass diese keine Störung mehr hervorrufen und damit akzeptable Brote gebacken werden können. Es war hierbei ein Einbringen von max. 3 % Nebenströmen in Teigen möglich. Dies stimmte auch mit den teigrheologischen Daten überein. Dabei zeigte sich, dass sich die teigrheologischen Eigenschaften der extrudierten Nebenströme im Vergleich zu denen der Rohstoffe (Apfeltrester und Kartoffelpülpe) verbessern, so dass sie annähernd den Eigenschaften des Referenzteigs mit Standardmehl (Typ 550) entsprechen. Bei der Anwendung in einer fettreichen Matrix, wie Sahnestand, wurde dagegen kein Unterschied zwischen dem Einsatz der extrudierten Nebenströme und den Rohstoffen in Bezug auf die funktionellen Eigenschaften festgestellt, so dass eine Funktionalisierung in diesem Bereich nicht sinnvoll ist.

Zusammenfassend wurde im Rahmen des Projekts gezeigt, dass es möglich ist, durch Extrusion gezielt die Struktur und damit einhergehend auch die funktionellen Eigenschaften von Lebensmittelnebenströmen zu modifizieren. Dies bietet die Möglichkeit, Lebensmittelnebenströme aktiv zu nutzen und mit ihrer Hilfe die Textur und Sensorik von Produkten positiv zu beeinflussen. Ein Transfer der Erkenntnisse auf beliebige Rohstoffe mit unterschiedlicher Zusammensetzung benötigt jedoch noch weitere Untersuchungen, um stoffspezifische Eigenschaften berücksichtigen zu können.

### **Wirtschaftliche Bedeutung**

---

Das gesteigerte Bewusstsein von Konsumenten für eine gesunde Ernährungsweise spiegelt sich im gegenwärtigen Wachstum des Marktes für gesundheitsfördernde Lebensmittel wider. Auch in Deutschland besteht ein starkes Interesse an Produkten, die mit funktionellen Inhaltsstoffen angereichert sind, wie z.B. Kekse, Milcherzeugnisse und Fruchtsäfte, denen Ballaststoffe, Vitamine oder ernährungsphysiologisch positiv bewertete, natürliche Farbstoffe zugesetzt wurden. Neben dem ernährungsphysiologischen Wert ist für viele Verbraucher von zunehmendem Interesse, dass Lebensmittel frei von Zusatzstoffen sind. Aufgrund ihrer natürlichen Herkunft stellen modifizierte Nebenströme deshalb eine geeignete Quelle an funktionellen Zutaten dar. Dies erweitert den Absatzmarkt für Unternehmen der Obst- und Gemüseverarbeitung und eröffnet neue Geschäftsfelder für die Verarbeiter von Zwischenprodukten.

Eine effiziente Nutzung von Nebenströmen der Lebensmittelproduktion ist auch aus Nachhaltigkeitsaspekten sinnvoll. Eine Wiederverwertung und Aufwertung von jährlich anfallenden ca. 380.000 t an organischen Nebenströmen der Kartoffel-, Gemüse- und Obstverarbeitung bringt vor allem kleinen und mittelständischen Verarbeitungsbetrieben (KMU) betriebswirtschaftliche Vorteile. Durch den Einsatz heimischer Rohstoffe fördert das Vorhaben die lokale Industrie und Landwirtschaft; die Möglichkeit zur regionalen Weiterverwertung senkt zudem Transportkosten. Mithilfe der Ergebnisse können Anwender die Weiterverarbeitungstechnologie flexibel auf Variationen in Rohstoffmengen und -qualitäten reagieren und sich damit den Marktbedürfnissen anpassen. Profitieren kann hiervon die deutsche Fruchtsaftindustrie sowie die gemüse- und kartoffelverarbeitende Industrie (inkl. Stärkehersteller).

Neben der direkten lokalen Weiterverarbeitung können auch Firmen profitieren, die Nebenströme als Zwischenprodukte aufkaufen und weiterverarbeiten. Lebensmittelproduzenten, die funktionalisierte Nebenströme in ihren Produkten einsetzen, profitieren von verbesserten Produktqualitäten, z.B. Feuchthaltung der Brotkrume, bzw. der Reduktion von Mehl, Fett oder Zucker. Der flexible und effiziente Extrusionsprozess sowie die Idee der Funktionalisierung von Lebensmittelnebenprodukten zur Applikation in weiten Industriefeldern bietet Innovationspotential, das insbesondere die Wettbewerbsfähigkeit von KMU steigert, da diese effizient und kostengünstig produzieren müssen. Das im Vorhaben generierte Wissen wird die Schritte der Produktentwicklung und Prozessauslegung deutlich beschleunigen.

### **Publikationen (Auswahl)**

---

1. FEI-Schlussbericht 2021.
2. Trabert, A., Schmid, V., Keller, J.; Emin, M.A. & Bunzel, M.: Impact of extrusion on polyphenols and dietary fiber-associated proanthocyanidins of apple pomace. Dtsch. Lebensmitt. Rundsch. 5 (18), 195-198 (2022).
3. Schmid, V., Trabert, A., Keller, J., Bunzel, M., Karbstein, H. & Emin, M.A.: Functionalization of enzymatically treated apple pomace from juice production by extrusion processing. Foods 10 (3), 1-21 (2021).
4. Schmid, V., Trabert, A., Keller, J., Bunzel, M., Karbstein, H. & Emin, M.A.: Defined shear and heat treatment of apple pomace: impact on dietary fiber structures and functional properties. Eur. Food Res. Technol. 274 (8), 2109-2122 (2021).
5. Schmid, V., Trabert, A., Schäfer, J., Bunzel, M., Karbstein, H. & Emin, M.A.: Modification of apple pomace by extrusion processing: Studies on the composition, polymer structures, and functional properties. Foods 9 (10), 1-25 (2020).

### Weiteres Informationsmaterial

---

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik  
Teilinstitut I: Lebensmittelverfahrenstechnik  
Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe  
Tel.: +49 721 608-42497  
Fax: +49 721 608-45967  
E-Mail: heike.karbstein@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Angewandte Biowissenschaften  
Abt. Lebensmittelchemie und Phytochemie  
Adenauerring 20a, 76131 Karlsruhe  
Tel.: +49 721 608-42936  
Fax: +49 721 608-47255  
E-Mail: judith.keller@kit.edu

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.

Bildnachweis - Seite 1: © KIT, Schmidt 2018  
Stand: 12. Oktober 2022