

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

"Gewinnung von sensorisch neutralen Ballaststoffen aus Leguminosen (Ackerbohnen, Erbse, Soja) und deren Einsatz als Lebensmittelzutat“ (LeguFiber)

FKZ: 2821EPS022

Projektnehmer:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten
Forschung eingetragener Verein**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf
Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der
BMLEH Eiweißpflanzenstrategie.

Abschlussbericht

ZE:

Fraunhofer IVV

Förderkennzeichen:

2821EPS022

Vorhabensbezeichnung:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung – LeguFiber: Gewinnung von sensorisch neutralen Ballaststoffen aus Leguminosen (Erbse, Ackerbohne, Soja) und deren Einsatz als Lebensmittelzutat

Laufzeit des Vorhabens:

03.08.2021 bis 31.07.2024

Berichtszeitraum:

03.08.2021 bis 31.07.2024

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Freising, Juli 2024

Kurzfassung

Titel: LeguFiber: Gewinnung von sensorisch neutralen Ballaststoffen aus Leguminosen (Erbse, Ackerbohne, Soja) und deren Einsatz als Lebensmittelzutat

Autoren: Stephanie Mittermaier, Elisabeth Miehle, Susanne Gola

Kontaktinformation: stephanie.mittermaier@ivv.fraunhofer.de

Ziel des Projektes war die wirtschaftliche Gewinnung von funktionellen Ballaststoffen aus Extraktionsrückständen und Schalen von Leguminosen für den Einsatz in Lebensmitteln. Zunächst wurden diese Nebenströme hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung (Feuchte, Öl, Protein, Stärke, Ballaststoffe, potenziell antinutritive Inhaltsstoffe) und ihrer funktionellen Eigenschaften untersucht. Die Schalen zeigten höhere Gehalte an Ballaststoffen und potenziell antinutritiven Substanzen), während die Extraktionsrückstände bessere funktionelle Eigenschaften aufwiesen.

Zur Entwicklung ballaststoffreicher Zutaten wurden Verfahren zur Stabilisierung, Trocknung und Modifizierung der Ballaststoffe (z.B. Extrusion) untersucht. Die Stabilisierung der Schalenfraktionen verbesserte die Haltbarkeit und reduzierte potenziell antinutritive Substanzen. Intensive Behandlungen mit hohen Temperaturen und Druck verringerte die Funktionalität, während eine Vermahlung auf geringere Partikelgrößenverteilungen eine leichte Steigerung der funktionellen Eigenschaften bewirkte. Band- und Walzentrocknung erwiesen sich als vielversprechend zur Stabilisierung von Extraktionsrückständen/ Okara, während die Trockenextrusion der Nassextrusion als Modifizierungsmöglichkeit überlegen war. Allerdings ist eine vorherige Trocknung erforderlich, so dass die Extrusion einen zusätzlichen Prozessschritt darstellt. Ein optimierter Trocknungsprozess führte zu Ballaststoffpräparaten mit besseren Eigenschaften im Vergleich zum Benchmark Citrusfaser. So konnte z.B. ein Soja-Okara-Präparat mit höherer Viskosität hergestellt werden.

Die Arbeiten zur Abschätzung der Lagerstabilität zeigten eine Haltbarkeit der gewonnenen Ballaststoffpräparate von mindestens 44 Wochen bei 25 °C. In backstabilen Füllungen verbesserten die Ballaststoffe die Funktionalität, z. B. durch Verringerung der Synärese. Höhere Konzentrationen in Feinen Backwaren ermöglichten zudem eine Auslobung mit dem Nutrition Claim „ballaststoffreich“.

Abstract

Title: LeguFiber: Gewinnung von sensorisch neutralen Ballaststoffen aus Leguminosen (Erbse, Ackerbohne, Soja) und deren Einsatz als Lebensmittelzutat

Authors: Stephanie Mittermaier, Elisabeth Miehle, Susanne Gola

Contact information: stephanie.mittermaier@ivv.fraunhofer.de

The aim of the project was the economic extraction of functional dietary fibers from extraction side streams and legume hulls for food uses. First, these side streams were examined regarding their chemical composition (moisture, oil, protein, starch, dietary fiber, potentially antinutritive ingredients) and their functional properties. The hulls showed higher levels of fiber and potentially antinutritive substances), while the extraction side streams showed better functional properties.

To develop fiber-rich ingredients, methods for stabilizing, drying and modifying the fiber properties (e.g. extrusion) were investigated. Stabilization of the husk fractions improved shelf life and reduced potentially antinutritive substances. Intensive treatments with high temperatures and pressure reduced the functionality, while grinding to lower particle size distributions resulted in a slight increase in functional properties. Belt and roller drying proved promising for stabilizing extraction residues/okara, while dry extrusion was superior to wet extrusion as a modification option. However, prior drying is required, making extrusion an additional process step. An optimized drying process resulted in fiber preparations with better properties compared to the benchmark citrus fiber. For example, a soy-okara preparation with higher viscosity could be produced.

The work on estimating the storage stability showed a shelf life of at least 44 weeks at 25 °C for the fiber preparations obtained. In bake-stable fillings, the dietary fibres improved the functionality, e.g. by reducing syneresis. Higher concentrations in fine baked goods also made it possible to use the nutrition claim "high in fiber".

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	10
1. Einführung.....	11
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	11
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes	11
1.3 Planung und Ablauf des Projektes.....	13
2. Stand des Wissens und der Technik.....	15
3. Material und Methoden.....	18
3.1 Material	18
3.2 Methoden.....	19
3.2.1 Untersuchung der chemischen Zusammensetzung	19
3.2.2 Hexanalbestimmung zur Abschätzung der Oxidationsanfälligkeit.....	21
3.2.3 Funktionelle Eigenschaften	22
3.2.4 Physikalische Eigenschaften	22
3.2.5 Sensorik	22
3.2.6 Bestimmung applikationsspezifischer Eigenschaften	22
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	24
AP 1: Charakterisierung von Extraktionsrückständen/ Okara und Schalen	24
AP 2: Entwicklung von Ballaststoffpräparaten aus Schalen	32
AP 3: Entwicklung von Stabilisierungsverfahren zur Herstellung von Ballaststoffpräparaten aus Extraktionsrückständen.....	39
AP 4: Modifikation von Leguminosen-Ballaststoffen mittels Extrusion	50
AP 5: Abschätzung der Lagerstabilität	55
AP 6: Anwendung der Leguminosenballaststoffe in Modell-Lebensmitteln	58

5.	Diskussion der Ergebnisse	67
6.	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse - praxisrelevante Ergebnisse.....	68
7.	Gegenüberstellung ursprünglich geplante zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	70
8.	Zusammenfassung	72
9.	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt	74
10.	Literaturverzeichnis	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Analysemethoden Pestizid- und Toxinanalyse und Mikrobiologie.....	21
Tabelle 2 a_w -Wert, Trockensubstanz (TS)- Asche-, Protein-, Fett-, Stärke- und Ballaststoffgehalte (Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF) der Leguminosenschalen der Ackerbohne, Lupinen der Sorte Boregine und Boruta, Sojabohne und Erbse sowie einer Schalenmischfraktion (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).....	25
Tabelle 3: Farbwerte, Gehalte der Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure sowie Wasser- und Ölbindevermögen und Viskositätswerte von Leguminosenschalen der Ackerbohne, Lupine der Sorte Boregine und Boruta, Sojabohne und Erbse sowie einer Schalenmischfraktion (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, TS: Trockensubstanz).....	27
Tabelle 4 a_w -Wert, Trockensubstanz (TS)- Asche-, Protein-, Fett-, Stärke- und Ballaststoffgehalte (Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF) der Extraktionsrückständen/ Okara der Ackerbohne, Sojabohne und Erbse (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).....	29
Tabelle 5: Farbwerte, Gehalte der Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure sowie Wasser- und Ölbindevermögen und Viskositätswerte von Leguminosenschalen der Ackerbohne, Lupine der Sorte Boregine und Boruta, Sojabohne und Erbse (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, TS: Trockensubstanz).	31
Tabelle 6 a_w -Wert, Trockensubstanz (TS), Ballaststoffgehalte (Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF), Gehalte der Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure der Ballaststoffpräparate aus unbehandelter und stabilisierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).....	34
Tabelle 7 Farbwerte, Mikrobiologie, sowie Wasser- und Ölbindevermögen und Viskositätswerte aus unbehandelter und stabilisierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).	35
Tabelle 8: Wasser- und Ölbindevermögen und Viskosität der Ackerbohnenschalen bei verschiedenen Mahlgraden; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).	36
Tabelle 9 Spezifisches Schüttvolumen, Öl-(Öbi) und Wasserbindevermögen (Wabi), Viskosität bei einer Scherrate von 50 s^{-1} , sowie die Partikelgrößenverteilung (Werte $D_3(10)$, $D_3(50)$ und $D_3(90)$) der unterschiedlich vermahlenden Erbsenschalen. Die Vermahlung wurde in einer Zentrifugalmühle (ZM) und einer Prallmühle (UPZ) mit unterschiedlichen Siebeinsätzen (0,3 mm; 0,5 mm) durchgeführt und weiterhin in 3 Größenfraktionen unterteilt. (MW $\pm$ SD).....	37
Tabelle 10 Trockensubstanz (TS), Gehalte an wasserlöslichen- (SDF), wasserunlöslichen- (IDF) und Gesamtballaststoff (TDF), Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure – bezogen auf	

die Trockensubstanz, a_w -Werte, sowie die funktionellen Eigenschaften mit Wasser- (Wabi), Ölbindevermögen (Öbi) und Viskositätswerte bei einer Scherrate von 50 s^{-1} der stabilisierten (80°C , 5min, 100% Feuchte) Schalenpräparate aus Ackerbohne, Lupine, Sojabohne und Erbse. (MW $\pm$ SD). 38

Tabelle 11: Trocknungsparameter der Walzentrocknung von Soja-Okara (TS: Trockensubstanz)..... 45

Tabelle 12: Funktionelle Eigenschaften von (vakuum-)walzengetrocknetem Soja-Okara. 46

Tabelle 13 Vergleich der unterschiedlichen Trocknungsmethoden von Soja-Okara mit Betrachtung der Trocknungszeit, der Trockensubstanz (TS), des a_w -Werts, des spezifischen Schüttvolumens, des Öl- und Wasserbindevermögens, der Viskosität in Dispersion, des mittleren Partikeldurchmessers ($D_3(50)$), der unlöslichen (IDF), löslichen (SDF) und Gesamtballaststoffe (TDF), des Gesamtpolyphenol- und Phytinsäuregehalts..... 48

Tabelle 14 Trockensubstanz (TS), antinutritive Substanzen – Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure – bezogen auf die Trockensubstanz, sowie a_w -Wert der Ballaststoffpräparate aus unbehandelter und mittel Extrusion (Extr) modifizierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung). 51

Tabelle 15 Gehalte an wasserlöslichen- (SDF), wasserunlöslichen- (IDF) und Gesamtballaststoff (TDF), sowie die funktionellen Eigenschaften mit Wasser- (Wabi) und Ölbindevermögen (Öbi) und Viskositätswerte bei einer Scherrate von 50 s^{-1} der Ballaststoffpräparate aus unbehandelter und mittel Extrusion (Extr) modifizierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)..... 52

Tabelle 16 Vergleich der Zusammensetzung und Eigenschaften modifizierter Ballaststoffpräparate aus Soja-Okara, Ackerbohnen- und Erbseninnenfaser; Trockensubstanz: TS; Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF..... 54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Viskositätswerte bei einer Scherrate von 50 s^{-1} der stabilisierten (80°C , 5min, 100% Feuchte) Schalenpräparate aus Ackerbohne, Lupine, Sojabohne und Erbse im Vergleich zu den unbehandelten Schalenpräparaten. (MW $\pm$ SD).	39
Abbildung 2 Auswirkung der Auftragungsmethode (links) und der Schütthöhe (rechts) bei der simulierten konvektiven Bandtrocknung auf die Trocknungszeit.....	41
Abbildung 3 Auswirkung der Trocknungstemperatur bei der simulierten konvektiven Bandtrocknung auf die Trocknungszeit	42
Abbildung 4 a_w -Wert und Feuchtigkeit von Soja-Okara in Abhängigkeit von der Trocknungszeit (links) und die Desorptionsisotherme durch Auftragung der Feuchtigkeit in Abhängigkeit vom a_w -Wert (rechts)	42
Abbildung 5 Physikalische und funktionelle Eigenschaften in Abhängigkeit der Trocknungszeit: a_w -Wert, Feuchtigkeit, Ölbinde- (OBC) und Wasserbindekapazität (WBC), spezifischen Schüttvolumen und Viskosität; OBC und WBC beziehen sich auf die Trockensubstanz der Probe	43
Abbildung 6 Auswirkung der Auftragungsmethode bei der simulierten Vakuum-Bandtrocknung auf die Trocknungszeit	44
Abbildung 7 Sensorische Charakterisierung von Ballaststoffpräparaten. Oben: Vergleich der Trocknungsverfahren mit Soja-Okara; unten: Vergleich von Präparaten aus Soja-Okara und Erbseninnenfaser	49
Abbildung 8 Sensorische Charakterisierung hinsichtlich geruchlichen, sowie retronasalen und geschmacklichen Eigenschaften ausgewählter stabilisierter und modifizierter Erbsenschalenpräparate im Vergleich zu unbehandeltem Erbsenschalenpräparat. Gezeigt sind die Mittelwerte.	53
Abbildung 9: Sensorische Charakterisierung von Ballaststoffpräparaten. Vergleich gefriergetrockneter, konvektiv bandgetrockneter und extrudierter Soja-Okara Präparate.....	55
Abbildung 10: Druckunterschied während der Lagerung der Ballaststoffpräparate Ackerbohnschale (AK), Erbsenschale (ES), Schalenmischfraktion (MF), Soja-Okara (OK) und Erbseninnenfaser (EIF) bei 45°C (eine Woche Lagerung bei 45°C entspricht 4 Wochen Lagerung bei 25°C).	56
Abbildung 11: Farbunterschied ΔE der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK) und Erbseninnenfaser (EIF) während der Lagerung bei 45°C im Vergleich zu den Werten aus Woche 0.	57

Abbildung 12: Hexanalgehalt der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK) und Erbseninnenfaser (EIF) nach 0 und 6 Wochen Lagerung bei 45 °C. 58

Abbildung 13: Spezifisches Kuchenvolumen bei Ersatz von 15 %, 25 % und 35 % der Mehlmenge eines Kuchens mit den Ballaststoffpräparaten Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept (GR); * es besteht ein signifikanter Unterschied zum Grundrezept; Signifikanzlevel = 0,05. 59

Abbildung 19: Links: Farbunterschied ΔE bei Kuchen mit 15 %, 25 % und 35 % Ersatz der Mehlmenge durch die Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF) im Vergleich zu dem Grundrezept. Rechts: Abbildungen der Rührkuchen bei 25% Ballaststoff-Zugabe im Vergleich zum Grundrezept. 60

Abbildung 16: Links: Geschmack und Mundgefühl/ Textur von Rührkuchen mit 25 % Ersatz der Mehlmenge mit den Ballaststoffpräparaten Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF) im Vergleich zu dem Grundrezept (GR). -2 = unangenehm; -1 = leicht unangenehm; 0 = neutral; 1 = leicht angenehm; 2 = angenehm. Rechts: Profilprüfung von Rührkuchen mit 25 % Ersatz der Mehlmenge mit den Ballaststoffpräparaten; 1 = nicht vorhanden, 2 = schwach wahrnehmbar, 3 = deutlich wahrnehmbar, 4 = stark wahrnehmbar. . 61

Abbildung 13: Viskositätsänderung der Puddings mit 2 % Zugabe der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept (GR) während der Herstellung im RVA..... 62

Abbildung 14: Synärese nach einem, bzw. 14 Tagen Lagerung bei 4 °C der ungebackenen und gebackenen Puddings mit 2 % Zugabe (bezogen auf das Puddinggesamtgewicht) der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept (GR). 63

Abbildung 15: Links: Farbunterschied ΔE bei Pudding mit 0,5 %, 2 %, 5 %, und 10 % Zugabe (bezogen auf das Puddinggesamtgewicht) der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept. Rechts: Abbildungen der Pudding bei 2% Ballaststoff-Zugabe im Vergleich zum Grundrezept (Blank). 64

Abbildung 19: Links: Geschmack und Mundgefühl/ Textur von Pudding mit 2 % Zugabe (bezogen auf das Puddinggesamtgewicht) der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept. -2 = unangenehm; -1 = leicht unangenehm; 0 = neutral; 1 = leicht angenehm; 2 = angenehm. Rechts: Profilprüfung von Pudding mit 2 % Zugabe der Ballaststoffpräparate; 1 = nicht vorhanden, 2 = schwach wahrnehmbar, 3 = deutlich wahrnehmbar, 4 = stark wahrnehmbar. 65

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
% _{TS}	g/100 g Trockensubstanz
a*	Farbwert für rot/grün-Anteil
a _w	Wasseraktivität
b*	Farbwert für blau/gelb-Anteil
D ₃ (50)	mittlerer Äquivalenzdurchmesser
dest.	destilliert
HCl	Salzsäure
L*	Helligkeitswert
n.a.	Nicht angegeben
n.b.	Nicht bestimmt
rpm	Umdrehungen pro Minute (revolutions per minute)
RVA	Rapid Visco Analyser
TS	Trockensubstanz

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Angesichts einer prognostizierten Weltbevölkerung von etwa 9,5 Milliarden Menschen im Jahr 2050 ist die Sicherstellung einer ausreichenden und gesundheitsfördernden Ernährung eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Pflanzliche Lebensmittel werden immer wichtiger, um die Nährstoffversorgung effizient und nachhaltig zu gewährleisten. Besonders die Nachfrage nach pflanzlichen Proteinkonzentraten und -isolaten nimmt stetig zu. Leguminosen stellen dabei aufgrund ihres hohen Proteingehalts eine wertvolle Rohstoffquelle dar. Dennoch war in Deutschland in den Jahren 2011 bis 2013 ein Rückgang der Anbauflächen für heimische Leguminosen wie Soja, Erbsen und Ackerbohnen zu beobachten, während die Anbauflächen seit 2014 wieder beständig steigen. Zudem liegt der tägliche Verzehr von Ballaststoffen deutlich unter den seitens der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfohlenen 30 g, trotz ihrer gesundheitlichen Vorteile.

Bei der Herstellung von Proteinkonzentraten oder -isolaten durch trockentechnische oder nasstechnische Verfahren entstehen faserreiche Nebenströme, die bisher nur in geringem Maße für die menschliche Ernährung genutzt werden. Die Verwertung dieser Faserfraktionen aus der Leguminosenverarbeitung wird derzeit durch fehlende Kenntnisse zur Stabilisierung eingeschränkt. Da die funktionellen Eigenschaften von Ballaststoffen durch die Verarbeitung beeinflusst werden können, müssen diese in Abhängigkeit vom Stabilisierungsverfahren untersucht werden, um ihr Anwendungspotential besser abschätzen zu können. Die Identifikation geeigneter Modifizierungsverfahren zur Verbesserung der Funktionalität bietet zusätzliches Potenzial, die Nutzung und den Absatz von Ballaststoffen aus Leguminosen zu steigern. Im Rahmen von LeguFiber werden einige dieser Fragestellungen betrachtet (vgl. Kapitel: Ziele und Aufgabenstellung)

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Die rückläufige Entwicklung der Anbauflächen für Körnerleguminosen in Deutschland war vorwiegend der mangelnden Ertragssicherheit, der geringen Züchtungsfortschritte und der gestiegenen Nachfrage an Ölsaaten für die Gewinnung von Biotreibstoffen geschuldet (Backhaus 2009; Stoll 2012). Diese Entwicklung konnte jüngst durch die gezielte Förderung von Modell- und Demonstrationsvorhaben wie z.B. LeguNet im Bereich der Eiweißpflanzenstrategie gestoppt werden und die Anbauflächen wieder verdoppelt bis verdreifacht werden. Zudem steigt die Nachfrage nach heimischen Leguminosen wie Soja, Erbse, Ackerbohne deutlich an. Um den Anbau von Leguminosen als Zwischenfrucht und im ökologischen Landbau weiter zu steigern und für Landwirte attraktiver zu gestalten, ist auf der einen Seite die Implementierung aktueller Forschungsergebnisse im Bereich der Züchtung sowie die

Beratung von Landwirten, wie dies im Rahmen der Modell- und Demonstrationsvorhaben Lupine, Erbse/Bohne und Soja und LeguNet erfolgt(e), unabdingbar. Andererseits soll ein gesicherter und gewinnbringender Absatz von Leguminosen an Verarbeiter insbesondere die Lebensmittelindustrie, gewährleistet werden. Hierfür ist es wichtig, durch gezielte Fraktionierung der Bestandteile der Leguminosensamen qualitativ hochwertige und funktionelle Lebensmittelzutaten für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen zur Verfügung zu stellen und geeignete Anwendungsfelder im Lebensmittelbereich zu erschließen. Bei der Gewinnung von Proteinisolaten und –konzentraten aus Leguminosen sowie Getränken auf Sojabasis bleiben Schalen und Extraktionsrückstände sowie Okara mit hohem Ballaststoffgehalt zurück (z.B. SensoLeg AiF-18814N, LeguAN-BMELV- 2815407910, Fava-Net – BMWi-ZIM-Netzwerk). Diese werden bislang kaum genutzt. Lediglich Erbsenballaststoffe sind auf dem Markt verfügbar und für die Anwendung in Lebensmitteln (z.B. Suppen/Saucen, Fleischwaren, Backwaren, Teigwaren) empfohlen. Die Gewinnung weiterer Leguminosen-Ballaststoffe wurde in verschiedenen Forschungsvorhaben partiell (z.B. FibreFood BMBF-0313824, Erbsenfaser 2.0 BMEL) untersucht.

Die in Kotyledonen von Leguminosen enthaltene innere Faserfraktion stellt aufgrund ihres hohen Gehaltes an pektinähnlichen Substanzen und deren viskositätserhöhenden und wasserbindenden Eigenschaften einen sowohl technologisch als auch ernährungsphysiologisch interessante Fraktion dar. Die Verwertung der als Nebenströme der Leguminosenverarbeitung anfallenden Faserfraktionen ist jedoch aktuell aufgrund mangelnder Kenntnisse zu Stabilisierung und Trocknung eingeschränkt. Die applikationsrelevanten, funktionellen Eigenschaften von Ballaststoffen aus Kotyledonen und aus Schalen hängen stark vom Trocknungsverfahren und dessen Parametern ab. Die Identifizierung geeigneter Modifizierungsverfahren zur Steigerung der Funktionalität birgt zusätzliches Potenzial die Anwendungs- und Absatzmöglichkeiten von Leguminosen-Ballaststoffen zu erhöhen.

Im Rahmen des hier beschriebenen Vorhabens sollten daher industriell relevante, kostengünstige Trocknungsmethoden wie Wirbelschicht-, Band- oder Sprühtrocknung und deren Auswirkung auf die Zusammensetzung, die Funktionalität und die Anwendbarkeit der Ballaststoffe sowie die Wirtschaftlichkeit detailliert untersucht werden. Im Zuge des Projektes wurde sich aufgrund der geringeren Kosten und der guten Funktionalität auf die Untersuchung der Band- und Walzentrocknung fokussiert. Eine weitere Wissenslücke, die durch das Projekt geschlossen werden sollte, ist die Haltbarmachung der Ballaststoffpräparate durch Erhitzungsverfahren. Bestehende Ansätze zur Funktionalisierung von Ballaststoffen mittels mechanischer (Vermahlung) bzw. thermo-mechanischer Verfahren (Extrusion) sollen hinsichtlich der Eingliederung in die entwickelten Prozesse zur Stabilisierung und Trocknung untersucht werden, um so deren wirtschaftliche Umsetzung

voranzutreiben. Die Erweiterung des Spektrums an Lebensmittelzutaten aus großkörnigen Leguminosen (Ackerbohne, Soja, Erbse) soll dabei die Anbauentscheidung des Landwirts unterstützen und neue Absatzmöglichkeiten aufzeigen.

Das Vorhaben gliederte sich zu diesem Zweck in folgende Arbeitspakete (AP):

- AP1: Charakterisierung von Extraktionsrückständen und Schalen
- AP2: Entwicklung von Ballaststoffpräparaten aus Schalen
- AP3: Entwicklung von Stabilisierungsverfahren zur Herstellung von Ballaststoffpräparaten aus Extraktionsrückständen
- AP4: Modifikation von Leguminosen-Ballaststoffen mittels Extrusion
- AP5: Abschätzung der Lagerstabilität
- AP6: Anwendung der Leguminosenballaststoffe im Lebensmittel (zusammen mit assoziierten Partnern der Lebensmittelindustrie)

LeguFiber trägt dabei zu den folgenden Zielen der EPS bei, die im Erfolgskontrollbericht detaillierter dargestellt sind:

- Verbesserung von Ökosystemleistungen und Ressourcenschutz
- Stärkung regionaler Wertschöpfungsketten und
- Steigerung der Eiweißversorgung aus heimischer Produktion

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Im ersten Projektjahr wurden zunächst die Nebenströme der Leguminosenverarbeitung (Extraktionsnebenströme und Schalen) umfassend charakterisiert und anschließend Verfahren zur Herstellung von ballaststoffreichen Zutaten entwickelt. Dafür wurden zunächst vier und im weiteren Verlauf 2 weitere Schalenfraktionen (Ackerbohne, Lupine (2x), Sojabohne, Erbse, Schalenmischfraktion) und fünf Extraktionsrückstände/ Okara (Soja (2x), Erbse (2x), Ackerbohne) von Industriepartnern und Saatzüchtern (Taifun Tofu, Müllers Mühle, Emsland, Norddeutsche Pflanzenzucht, Saatzucht Steinach) ausgewählt und hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, potenziell antinutritiver Inhaltsstoffen, der mikrobiologischen und Pestizid- und Mykotoxin-Belastung, funktionellen Eigenschaften und der Sensorik untersucht (AP 1). Die Erbsenschale und das Soja-Okara wurden als repräsentative Nebenströme für die Bearbeitung der weiteren Arbeitspakete ausgewählt und **Meilenstein 1** (Auswahl von 1x Schalenfraktion und 1 x Extraktionsrückstand) **wurde wie geplant erreicht**.

Weiterhin wurden die funktionellen Eigenschaften von Schalenfraktionen in Abhängigkeit des Mahlgrads an einer Prallmühle und Ultrazentrifugalmühle untersucht. Die Stabilisierung von Ballaststoffpräparaten aus Schalen (AP 2) durch thermische und hydrothermische Prozesse mit und ohne Druck wurde anhand der Erbsenschale untersucht. Der vielversprechendste Prozess (hydrothermische Behandlung + Vermahlung) wurde auf 3 weitere Schalenfraktionen aus Ackerbohne, Lupine, und Soja übertragen. Die stabilisierte Erbsenschale wurde den Industriepartnern (Taifun-Tofu, GoodMills, VAN HEES) für Applikationsversuche zur Verfügung gestellt. Die Modifikation von Schalenpräparaten mittels Extrusion (AP 4) wurde mit 9 Prozessvariationen (Temperatur, Schneckendrehzahl, Feuchtegehalt) durchgeführt und der Einfluss der Verarbeitungsbedingungen auf die chemische Zusammensetzung, potenziell antinutritiven Inhaltsstoffe, mikrobiologische Belastung, funktionelle Eigenschaften und der Sensorik bestimmt. Es zeigte sich, dass die Extrusion im Prozess als alternative Stabilisierungsmethode für Leguminosenschalen verwendet werden kann.

Im zweiten Projektjahr wurde aufgrund der Verfügbarkeit durch die Industriepartner zusätzlich eine weitere Schalenfraktion (Mischfraktion, Müllers Mühle) und ein Extraktionsrückstand (Ackerbohnenninnenfaser, SiccaDania) mit aufgenommen. Die von den Industriepartnern tiefgefroren zur Verfügung gestellten Extraktionsrückstände wiesen einen gesundheitlich unbedenklichen mikrobiellen Status auf. Für das dritte Arbeitspaket (AP 3) wurden Stabilisierungsverfahren zur Herstellung von Ballaststoffpräparaten aus Extraktionsnebenströmen durch Vergleich unterschiedlicher Trocknungsverfahren (Bandtrocknung, Vakuum-Bandtrocknung, Sprühtrocknung) entwickelt und die Auswirkung auf die Zusammensetzung, potenziell antinutritive Substanzen, funktionelle Eigenschaften und die Sensorik untersucht. Als Vergleichsprodukt wurde gefriergetrocknetes Okara als Standardmaterial herangezogen. Bandtrocknung erwies sich dabei als vielversprechende Trocknungsmethode, da die erhaltenen Ballaststoffpräparate eine hohe Funktionalität und gute sensorische Eigenschaften hatten. Der Prozess wurde auf zwei weitere Extraktionsrückstände (Ackerbohnenninnenfaser, Erbsenninnenfaser) übertragen. **Meilenstein 2 wurde wie geplant erreicht** und ein Ballaststoffpräparat aus getrocknetem Soja-Okara wurde den Industriepartnern Taifun, Good Mills und VAN HEES zur Abschätzung der Anwendungseigenschaften zur Verfügung gestellt.

Das Arbeitspaket der Modifikation von Ballaststoffpräparaten mittels Extrusion (AP 4) wurde mit feuchtem Soja-Okara in 18 Prozessvariationen (Temperatur, Schneckendrehzahl) durchgeführt und die chemische Zusammensetzung, die potenziell antinutritiven Substanzen und funktionellen Eigenschaften untersucht. Jedoch konnte keine Funktionalisierung des Soja-Okaras durch die Extrusion

erreicht werden. Erste Arbeiten in dem Arbeitspaket zur Abschätzung der Lagerstabilität von Ballaststoffpräparaten (AP 5) und zu den Applikationsversuche (AP 6) wurden gestartet.

In Projektjahr drei wurden die Walzentrocknung und Vakuum-Walzentrocknung als weitere Trocknungsmethoden von Extraktionsnebenströmen bei einem externen Dienstleister durchgeführt und als weitere vielversprechende Trocknungsmethode identifiziert. Ein Ballaststoffpräparat aus walzengetrocknetem Soja-Okara wurde den Projektpartnern Taifun, GoodMills und VAN HEES zur Verfügung gestellt. Die Vakuum-Walzentrocknung wurde auf einen weiteren Extraktionsrückstand (Erbseninnenfaser) übertragen. Um die Extrusion als Modifizierungsschritt zu untersuchen, wurden weitere Extrusionsversuche mit getrockneten Extraktionsrückständen und Schalen (Erbsenschale, getrocknetes Okara, getrocknete Erbseninnenfaser) bei zwei Prozesstemperaturen durchgeführt und es konnte eine Funktionalisierung abhängig des verwendeten Rohstoffs erreicht werden. **Meilenstein 3** (Integration der Extrusion in die Ballaststoffherstellung) **wurde wie geplant erreicht**.

Die Lagerstabilität wurde anhand von 5 Ballaststoffpräparaten (Ackerbohnschale, Erbsenschale, Schalenmischfraktion, Erbseninnenfaser, Soja-Okara) über einen forcierten Lagertest (entspricht Lagerzeitraum von 52 Wochen) untersucht (AP 5). Hexanal wurde als ausgewählter Aromastoff identifiziert und die Luftzusammensetzung über den Lagerzeitraum mittels eines Datenloggers aufgenommen, um die Oxidationsanfälligkeit der Präparate abzuschätzen. Weiterhin wurde die Anwendung der Ballaststoffpräparate im Lebensmittel untersucht (AP 6). Dafür wurden fünf Ballaststoffpräparate (Ackerbohnschale, Erbsenschale, Schalenmischfraktion, Erbseninnenfaser, Soja-Okara) im Vergleich zur Referenz Citrusfaser in backstabilen Füllungen und feinen Backwaren in mindestens drei Konzentrationen untersucht. Dabei wurde die maximale Menge ohne negative Veränderung in den funktionellen sowie sensorischen Eigenschaften identifiziert und ballaststoffreiche Produkte unter gegebenenfalls Anpassung der Rezeptur entwickelt. Die Anwendung der Ballaststoffpräparate (Erbsenschale, Soja-Okara) im Lebensmittel wurde auch bei den assoziierten Industriepartnern untersucht. Die Taifun-Tofu setzte die ausgewählten Ballaststoffpräparate in Tofuwürsten, die GoodMills Innovation in Backwaren und veganen Würsten und VAN HEES in Wurstwaren ein. Damit konnte **Meilenstein 4 wie geplant erreicht werden** (erste ballaststoffangereicherte Lebensmittel verfügbar).

2. Stand des Wissens und der Technik

Leguminosen sind eine wertvolle Quelle für Proteine und Ballaststoffe und eignen sich hervorragend für die menschliche Ernährung. Sie enthalten je nach Art und Sorte etwa 23 bis 52 % Protein und bis zu 40 % Ballaststoffe. Durch gezielte Fraktionierung können hochwertige Lebensmittelzutaten wie

Proteine, Stärke, Ballaststoffe und Öl hergestellt werden. In den letzten Jahren lag der Fokus auf der wirtschaftlichen Herstellung und Nutzung von Leguminosenproteinen, unterstützt durch nationale und EU-weite Forschungsprojekte (z.B. InnoNet Lupine, PlantsProFood, LeguAN, Sensoleg, QualiFabaBean, Protein2Food). Bei der Produktion von Proteinisolaten und -konzentraten sowie bei der Herstellung von Sojadrinks und Tofu fallen ballaststoffhaltige Nebenprodukte an, die derzeit kostengünstig als Futtermittel genutzt oder entsorgt werden. Eine nachhaltige Nutzung dieser Nebenströme, die bis zu 40 % der Rohstoffe ausmachen, ist für die Steigerung der Ressourceneffizienz unerlässlich (Hall et al. 2005; Fechner et al. 2013; Fechner et al. 2014; Hashemi et al. 2017; Çalışkantürk Karataş et al. 2017; Lambert et al. 2017; Yang et al. 2020).

Ballaststoffe, hauptsächlich Nicht-Stärke-Polysaccharide, sind für den menschlichen Organismus unverdaulich, werden jedoch teilweise von Darmmikroorganismen verstoffwechselt. Sie werden in unlösliche und lösliche Ballaststoffe unterteilt. Trotz ihrer gesundheitlichen Vorteile liegt der tägliche Verzehr europaweit mit 15–20 g deutlich unter der empfohlenen Menge von 30 g (Biesalski 2000; Trepel 2004). Dies liegt oft an den Ernährungsgewohnheiten der Konsumenten, die das raue Mundgefühl von Vollkornprodukten unangenehm finden und weniger Obst und Gemüse als empfohlen konsumieren.

Die Nachfrage nach gesunden und schmackhaften Lebensmitteln ist ein wichtiger Trend auf dem europäischen Lebensmittelmarkt, der durch die Covid-19-Pandemie noch verstärkt wurde (Modor Intelligence 2020). Ballaststoffe sind einer der am schnellsten wachsenden Märkte in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie mit einem jährlichen Umsatzwachstum von 8-9,8% (Frost and Sullivan 2010; Modor Intelligence 2020). Europa und die USA sind die wichtigsten Absatzmärkte für Ballaststoffe. Im Jahr 2010 wurden allein in Europa ca. 190.000 t Ballaststoffzutaten in Lebensmitteln eingesetzt.

Die Anwendungen von Ballaststoffen in Lebensmitteln sind vielfältig: Sie werden in Backwaren zur Feuchthaltung, als Fettersatz in Wurstwaren, zur Wasser- und Ölbindung und zur Ballaststoffanreicherung eingesetzt. Besonders vielversprechend sind sensorisch neutrale Ballaststoffe mit erhöhter Lagerstabilität und verbesserter Funktionalität. Der globale Markt für Ballaststoffe in Backwaren wächst stark und soll bis 2026 mehr als 110.000 Tonnen erreichen (Ahuja 2020). Das Vertrauen der Verbraucher in die gesundheitlichen Vorteile von Ballaststoffen ist dabei verantwortlich für die steigende Nachfrage (Grand View Research 2020). Ballaststoffe werden unter anderem zur Kalorienreduktion, zur Erhöhung des Sättigungsgefühls, zur Regulierung des Blutzuckerspiegels und als präbiotische Inhaltsstoffe eingesetzt. Nach der EU-Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 dürfen Lebensmittel ab einem Gehalt von 3 g Ballaststoffen pro 100 g Produkt als „Ballaststoffquelle“ und ab einem Gehalt von 6 g pro 100 g als „ballaststoffreich“ beworben werden. Weizenfaser, Oligofruktose,

Inulin, Haferfaser und Erbsenfaser sind bislang die bedeutendsten Ballaststoffzutaten in Europa (Frost and Sullivan 2010).

Leguminosenmehle enthalten neben der Stärke hohe Anteile an Proteinen und Ballaststoffen, die je nach Art und Sorte variieren. Unlösliche Ballaststoffe haben ein höheres Quell- und Wasserbindungsvermögen, während lösliche Ballaststoffe als Stabilisatoren wirken und die Viskosität erhöhen oder Gele bilden können. Diese physikalisch-chemischen Eigenschaften sind wichtig für die Anwendung von Ballaststoffen und ihre Wirkung auf den menschlichen Gastrointestinaltrakt. Studien zeigen, dass Ballaststoffe aus Hülsenfrüchten ein hohes Wasserbindungsvermögen besitzen und positive Effekte auf Cholesterin- und Blutfettwerte haben (Tsai et al. 1987; Dubois et al. 1993; Hall et al. 2005; Fechner et al. 2013; Fechner et al. 2014).

Bei der Zerkleinerung von Leguminosen werden verschiedene Zerkleinerungstechniken eingesetzt, um die gewünschte Partikelgröße zu erreichen. Die Partikelgröße hat einen direkten Einfluss auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Ballaststoffe, wie z. B. Quellfähigkeit und Wasserbindungsvermögen (Huang et al. 2018). Eine feine Vermahlung erhöht die Oberfläche und verbessert die Wasserbindung, kann aber auch die Funktionalität und die sensorischen Eigenschaften negativ beeinflussen (Guillon et al. 2007). Der Einfluss der Vermahlung in verschiedene Partikelgrößenbereiche muss daher substratspezifisch untersucht werden.

Verarbeitete Lebensmittel werden in der Regel durch thermische Verfahren und Wasserentzug haltbar gemacht. Ziel der Pasteurisation und Sterilisation ist es, durch definierte Temperatur-Zeit-Belastungen Mikroorganismen abzutöten und Enzyme zu inaktivieren, um die Qualität der Ballaststoffe während des Trocknungsschrittes zu gewährleisten. Die thermischen Verfahren müssen so angepasst werden, dass die wertgebenden Bestandteile und Eigenschaften der Ballaststoffe erhalten bleiben und gleichzeitig die mikrobielle Sicherheit gewährleistet ist (Siddiqui et al. 2024). Durch thermische Verfahren können sich die Ballaststoffzusammensetzung (Anteil löslicher und unlöslicher Substanzen) sowie die damit verbundenen funktionellen Eigenschaften verändern (Poutanen 2008). Abhängig von der Dauer und Intensität der thermischen Behandlungen werden möglicherweise die Wasserstoffbrückenbindungen von Hemicellulosen und Cellulosen gestört. Infolgedessen können Wassermoleküle die glykosidischen Bindungen hydrolysieren und Cellulose und Hemicellulose aus den pflanzlichen Zellwandmaterialien freisetzen (Zia-ur-Rehman et al. 2003). Zudem können das Trocknungsverfahren und die gewählten Trocknungsparameter sowohl die sensorischen als auch die funktionellen Eigenschaften von Ballaststoffen maßgeblich beeinflussen. Insbesondere lange Trocknungszeiten und hohe Trocknungstemperaturen können zum Abbau oder zur Veränderung von Ballaststoffen führen (Morales-Medina et al. 2021).

Die Kombination von thermischer und mechanischer Energie, wie bei der Extrusion, verändert Faserstrukturen und erhöht den Gehalt an löslichen Ballaststoffen in Lebensmitteln (z.B. Zhong et al. (2019)). Studien konzentrieren sich oft auf die Löslichkeit und vernachlässigen andere funktionelle Eigenschaften (Gidley und Yakubov 2019). Zhong et al. (2019) fanden bei australischen Süßlupinen einen dreifachen Anstieg der löslichen Ballaststoffe durch Extrusion. Frühere Studien zeigten unterschiedliche Ergebnisse zur Wasserbindungskapazität (Arrigoni et al. 1986; Huang und Ma 2016). Eigene Arbeiten an Lupinenkotyledonen ergaben eine erhöhte Löslichkeit und Viskosität bei gleichzeitigem Rückgang des Ölbindevermögens (Naumann et al. 2021).

Bisher fehlen systematische Untersuchungen zur quantitativen Analyse des Einflusses von Stabilisierungs-, Vermahlungs-, Trocknungs- und Modifikationsverfahren auf die Funktionalität und die sensorischen Eigenschaften von Leguminosen-Ballaststoffen. Diese Forschungslücke sollte in LeguFiber geschlossen werden, um funktionelle Leguminosen-Ballaststoffe für den Einsatz in Lebensmitteln zu entwickeln, das wirtschaftliche Potential der Leguminosenverarbeitung in der Lebensmittelindustrie zu steigern und damit den Anbau von Leguminosen zu fördern.

3. Material und Methoden

3.1 Material

Tabelle 1: Verwendete Rohstoffe

Rohstoff	Hersteller	Details
Ackerbohnschale, Sorte Fanfare*	Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, Holtsee, Deutschland	Schalenfraktion am Fraunhofer IVV im Pilotmaßstab aus ganzer Saat gewonnen**
Erbsenschale, gelbe Erbse*	Müller's Mühle GmbH, Gelsenkirchen, Deutschland	Industriell gewonnene Schalenfraktion
Lupinenschale <i>Lupinus angustifolius</i> , Var. Boregine*	Saatzucht Steinach, Steinach, Deutschland	Schalenfraktion am Fraunhofer IVV im Pilotmaßstab aus ganzer Saat gewonnen**
Lupinenschale <i>Lupinus angustifolius</i> , Var. Boruta*	Saatzucht Steinach, Steinach, Deutschland	Schalenfraktion am Fraunhofer IVV im Pilotmaßstab aus ganzer Saat gewonnen**
Sojabohnenschale, Sorte Sojabohne Lenka*	Taifun-Tofu GmbH, Freiburg, Deutschland	Schalenfraktion am Fraunhofer IVV im Pilotmaßstab aus ganzer Saat gewonnen**
Schalenmischfraktion*	Müller's Mühle GmbH, Gelsenkirchen, Deutschland	Industriell gewonnene Schalenfraktion, Siloware ohne Sortentrennung
Erbseninnenfaser, gelbe Erbse***	Emsland Group, Emlichheim, Deutschland	Feuchter Extraktionsrückstand aus Gewinnung von Erbsenstärke und -protein

Erbseinnenfaser, gelbe Erbse, industriell getrocknet	Emsland Group, Emlichheim, Deutschland	Produktname: Emfibre EF 200; Batch L000789183; MHD: 06.05.2024
Ackerbohneneinnenfaser, industriell getrocknet	SiccaDania, Birkerød, Dänemark	Feuchter Rückstand aus Proteinisolat- und Stärkegewinnung
Okara (Sorte Lenka, WE-Nr. 3578) Charge I***	Taifun-Tofu GmbH, Freiburg, Deutschland	Feuchter Rückstand aus Tofuherstellung****
Okara (Sorte Lenka) Charge II***	Taifun-Tofu GmbH, Freiburg, Deutschland	Feuchter Rückstand aus Tofuherstellung****
Citrusfaser Standard	VAN HEES GmbH, Walluf, Deutschland	Referenzmaterial, Batch 214613010 DE

*: Leguminosenschalen wurden vor der Analyse mittels Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200 (Retsch GmbH) auf < 0,5 mm vermahlen

** : Schälen mittels Unterlaufschäler (Streckel & Schrader KG) und Sichten mittels Zick-Zak-Windsichter Hosokawa Alpine AG)

***: Feuchte Proben wurden vor der Analyse gefriergetrocknet (Sublimator 15, ZIRBUS technology GmbH) und mittels Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200 (Retsch GmbH) auf < 0,5 mm vermahlen

****: Herstellerangaben zum Prozess, in dem Soja-Okara anfällt: Sojabohnen kalt quellen → mit frischem Wasser vermahlen → Brei aufkochen, 103 °C → Dekantieren → Okara fällt als Nebenprodukt an mit ca. 70 °C und 70 % Restfeuchte. Es wird kein Bicarbonat zugesetzt.

3.2 Methoden

Im Folgenden sind die Methoden zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung, der Hexanalkonzentration, der physikalischen, funktionellen, sensorisch und applikationsspezifischen Eigenschaften beschrieben.

3.2.1 Untersuchung der chemischen Zusammensetzung

Der **Trockensubstanzgehalt** wurde gravimetrisch mittels Infrarot-Feuchtigkeitsmessgerät ermittelt. Die Trocknungstemperatur beträgt 105 °C und die Einwaage 0,1 -1 g. Zudem wurde von ausgewählten Proben der Trockensubstanzgehalt mittels eines thermogravimetrischen Verfahrens mittels LECO TGA 601 bestimmt. Dabei werden die Proben auf 105 +/-2°C erhitzt, sodass das darin enthaltene Wasser durch Verdampfung ausgetrieben wird. Der Anteil der Trockensubstanz wird durch Differenzwägung gravimetrisch bestimmt und durch die Software des Gerätes berechnet. Der **Aschegehalt** wurde nach § 64 LFGB im thermogravimetrischen Analysator TGA 601 (LECO Instruments GmbH) bei 550 °C bestimmt (BVL 1980 - 2024). Außerdem wurde der **a_w-Wert** mit dem a_w-Wert Messgerät (AQUALAB 4TEV, METER Group AG) bestimmt.

Der **Fettgehalt** wurde mit einer modifizierten Methode nach Caviecel ermittelt (Pendl et al. 1998). Dafür wird das Fett zunächst mit der Extraktionseinheit B815 (BÜCHI Labortechnik GmbH) extrahiert

und anschließend die Gehalte der Fettsäuren nach Verseifung im Gaschromatographen (Agilent) analysiert.

Der **Proteingehalt** wurde mit einem Stickstoffanalysator nach der Methode von Dumas (AOAC Official Method 968.06) bestimmt (AOAC International 2019). Dabei wird zunächst der Stickstoffgehalt ermittelt, aus dem sich der Proteingehalt durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 berechnen lässt.

Der **Stärkegehalt** wurde durch Glukosebestimmung nach der Hexokinasemethode bestimmt (Beutler 1978). Dazu wurde das Test-Kit Enzytec™ Starch (R-Biopharm AG) verwendet. Das Prinzip basiert auf einem enzymatischem Stärkeabbau und anschließender photometrischer Messung der entstandenen D-Glukose über enzymatische Umsetzung mittels Hexokinase und Glukose-6-Phosphat-Dehydrogenase. Das dabei entstehende NADPH kann bei einer Wellenlänge von 334 nm, 340 nm oder 365 nm photometrisch gemessen und quantifiziert werden (Specord 210 plus Spectrophotometer, Analytik Jena) und ist proportional des Stärkegehalts der Probe.

Der Gehalt an **löslichen (SDF)** und **unlöslichen Ballaststoffen (IDF)** wurde nach der enzymatisch-gravimetrischen Methode AOAC 991.43 bestimmt (AOAC International 2019). Die Ballaststoffe werden dabei nach Entölung, Protein- und Stärkeabbau gravimetrisch bestimmt und die Werte bezüglich Asche- und Proteingehalte korrigiert.

Der **Gesamtpolyphenolgehalt** nach Folin-Ciocalteu wird photometrisch mittels Folin-Ciocalteu-Reagenz bestimmt (Singleton und Rossi 1965). Die Polyphenole werden dabei zunächst mittels 70%igem Ethanol 1 h lang unter Schütteln (1000 rpm und 30 °C im Thermoblock) im Dunkeln extrahiert. Die Extinktion der Extrakte wird photometrisch bei 765 nm ermittelt (Specord 210 plus Spectrophotometer, Analytik Jena) und der Gesamtpolyphenolgehalt in Gallussäure-Äquivalente angegeben. Für die Quantifizierung wird daher mit Gallussäure eine Kalibriergerade erstellt. Anhand derer kann vom Extinktionswert auf den Gesamtpolyphenolgehalt, ausgedrückt als Gallussäure-Äquivalent, geschlossen werden.

Der **Phytinsäuregehalt** berechnet sich aus der Differenz des Gesamtphosphatgehalts einer Probe und dem Gehalt an freiem Phosphat. Dafür wurde das Test-Kit K-PHYT von *Megazyme* verwendet (Megazyme 2019). Das Enzym Phytase spaltet Phytinsäure in anorganisches Phosphat (P_i) und myo-Inositol-(Phosphat)_n. Alkalische Phosphatase spaltet vom myo-Inositol-(Phosphat)_n die weiteren gebundenen Phosphatgruppen ab. Anschließend reagieren die Phosphate mit Ammoniummolybdat unter sauren Bedingungen zu Molybdänblau, welches bei 655 nm photometrisch quantifiziert wurde (Specord 210 plus Spectrophotometer, Analytik Jena).

Die **kondensierten Tannine** wurden mittels Vanillin-HCl-Assay bestimmt (Gardner 1975). Die Probe wurde mit 1%iger HCl-Methanol-Lösung gemischt, für 20 min bei 30 °C im Ultraschallbad extrahiert und dann zentrifugiert. Der Überstand wurde mit Vanillin-Reagenz bzw. mit HCl-Methanol-Lösung gemischt, bei 30 °C inkubiert und die Extinktion bei 500 nm gemessen (Specord 210 plus Spectrophotometer, Analytik Jena). Aus den beiden Messungen ergibt sich die Extinktionsdifferenz

$\Delta E_{\text{Tannine}}$. Mit (+)-Catechin wurde eine Kalibriergerade erstellt. Mithilfe dieser kann aus der Extinktionsdifferenz $\Delta E_{\text{Tannine}}$ auf den Gehalt an kondensierten Tanninen der Probe bestimmt als Catechin-Äquivalent geschlossen werden.

Für die Analyse der **Pestizide**, **Mykotoxine** und die **mikrobiologischen Untersuchungen** wurde ein akkreditiertes Labor (Eurofins GmbH) beauftragt. Die untersuchten Parameter und Methoden sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Übersicht Analysemethoden Pestizid- und Toxinanalyse und Mikrobiologie.

Pestizidanalytik	Methode
Organochlorpestizide und Pyrethroide (GC-ECD)	ASU L 00.00-34:2010-09, DFG-S19, GC-ECD
Organophosphorpestizide (GC-FPD)	ASU L 00.00-34:2010-09, DFG-S19, GC-FPD
Organostickstoffpestizide und weitere (GC-MS)	ASU L 00.00-34:2010-09, DFG-S19, GC-MS
Pestizidscreening Quechers-LC-GHT	DIN EN 15662:2018-07 mod., P-14.141, LC-MS/MS
Mykotoxanalytik	Methode
Aflatoxin B1, B2, G1, G2 (Gewürze, Spezialmatrix)	DIN EN 14123 (2008-03), mod., CON-PV 00873 (2023-01), IAC-LC-FLD (Modifikation: Erweiterung des Anwendungsbereichs auf Lebensmittel allg., Futtermittel, Tabak und Tabakerzeugnisse sowie Rohstoffe für kosmetische Mittel; Anpassung des Extraktionsmittels sowie der Messbedingungen)
Ochratoxin A (Gewürze, Spezialmatrix)	DIN EN 14132 (2009-09), mod., CON-PV 00850 (2023-01), IAC-LC-FLD (Modifikation: Änderung des Extraktionsmittels; zusätzliche Nachsäulenderivatisierung; Erweiterung des Anwendungsbereichs auf weitere Lebensmittel, Futtermittel, Tabak und Tabakerzeugnisse)
Mikrobiologische Untersuchung	Methode
Aerobe Gesamtkeimzahl 30°C (Nachweisgrenze <100)	ISO 4833-2, 2014-05, Kulturelles Zählverfahren (Spiralplatte)
Hefen/Schimmelpilze 25°C (Nachweisgrenze <100)	ISO 21527-2, 2008-07, Kulturelles Zählverfahren (nicht-chromogene Nährböden)
Enterobacteriaceae 37°C (Nachweisgrenze <10)	ISO 21528-2, 2017-04, Kulturelles Zählverfahren (nicht-chromogene Nährböden)
Escherichia coli (Nachweisgrenze <10)	ISO 16649-2; 2009-12, Kulturelles Zählverfahren (chromogene Nährböden)
Salmonellen-Nachweis in 25 g (PCR)	AFNOR QUA 18/03-11/02, 2015-01; VA10-050-V10, Real-time PCR [BAX® System PCR Assay - Salmonella 2]

3.2.2 Hexanalbestimmung zur Abschätzung der Oxidationsanfälligkeit

Die Hexanalgehalte der Ballaststoffpräparate wurden über die Lagerzeit mittels Quadrupol-Gaschromatograph-Massenspektrometer (GCMS-QP2010 Ultra, Shimadzu Deutschland GmbH) gemessen. Hierfür wurden die Proben in Glas-Vials eingewogen, dest. Wasser und ein interner Standard zugegeben und verschlossen. Für die Kalibriergerade wurden Hexanal-Standards (0,995 und

2,985 mg/kg) gemessen, denen ebenfalls der interne Standard zugegeben wurde. Die Hexanalgehalte wurden durch Integration der Chromatogramme erhalten und über die Kalibriergerade in Relation zum Gehalt des internen Standards quantifiziert.

3.2.3 Funktionelle Eigenschaften

Das **Wasserbindevermögen** wurde nach der AACC-Methode 56-20.01 (AACC International) und das **Ölbindevermögen** mittels Zentrifugationsmethode nach Lin et al. (1974) bestimmt. Die **Viskosität** von Ballaststoffsuspensionen wurde mittels Rheometer Physica MCR 301 in 10%iger Dispersion bestimmt. Es wurde ein Platte-Platte-System PP50 (50 mm Durchmesser) verwendet und ein Messspalt von 1 mm vorgegeben. Die Viskosität wurde bei 20 °C in Abhängigkeit der Scherrate bei Scherraten von 0,1 bis 1000 s⁻¹ gemessen. Ausgewertet wurde jeweils die Viskosität bei 50 s⁻¹.

3.2.4 Physikalische Eigenschaften

Um die Unterschiede in den funktionellen Eigenschaften besser zu verstehen, wurden das spezifische Schüttvolumen, die Partikelgrößenverteilung und die Farbe der Ballaststoffpräparate gemessen.

Das **spezifische Schüttvolumen** der getrockneten und ggf. vermahlenden Proben wurde mittels graduierter Glaszylinder gemessen und gewogen.

Die **Partikelgrößenverteilung** wurde mittels statischer Laserbeugung (Mastersizer 3000 und Dispergiereinheit Hydro MV, Malvern Panalytik) gemessen. Als Dispergiermedium wurde dest. Wasser verwendet. Für die Auswertung wurde die Mie-Theorie als optisches Modell verwendet. Es wird die Volumendichte [%] in Abhängigkeit der Größenklasse [µm] ausgegeben, außerdem werden die Perzentilen d(10), d(50) und d(90) [µm] angegeben.

Die **Farbe** der Ballaststoffpräparate wurde im L*a*b*-Farbraum mittels DigiEye Imaging System (VeriVide Ltd.) ermittelt, wobei L* ein Maß für die Helligkeit (0: schwarz, 100: weiß) ist, a* die Rot(+)- bzw. Grün(-)-Intensität, und b* die Gelb(+)- bzw. Blau(-)-Intensität abbildet. Zum direkten Vergleich zweier Proben wurde der Farbunterschied ΔE ermittelt.

3.2.5 Sensorik

Ausgewählte Proben werden humansensorisch mittels Profilprüfung in Anlehnung an DIN 10967 untersucht (DIN 1999). Die zu bewertenden Merkmale werden im kleinen Expertenkreis vorab bestimmt. Die Durchführung erfolgt durch mindestens sechs Prüfer, die die festgelegten Attribute der Produkte bewerten.

3.2.6 Bestimmung applikationsspezifischer Eigenschaften

Herstellung von Rührkuchen als Beispiel für Feine Backwaren: Für die Herstellung des Rührkuchens wurden 0 %, 15 %, 25 % und 35 % der Mehlmenge durch die getrockneten Ballaststoffpräparate

ersetzt. Zur Vorbereitung wird die Feuchte des Mehls und der Ballaststoffpräparate bestimmt, und die korrigierte Mehleinwaage (ME) bezogen auf eine Standardmehleinwaage bei einer TS von 14% ($ME_{14\%}$) berechnet. Die benötigte Schüttwassermenge wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Schüttwassermenge} = ME_{14\%} * \frac{WA}{100} + (ME_{14\%} - ME_{korrigiert})$$

Für die Wasserabsorption (WA) von Weizenmehl wurde der Wert 0,65 angenommen. Die WA der Ballaststoffpräparate wurde über das Verhältnis des Wasserbindevermögens zu der WA von Weizenmehl auf die anderen Leguminosenrückstände übertragen. Die Zutaten Ei (19%), Zucker (20,5%), Öl (14,5%) und Osmosewasser ($\text{Schüttwassermenge}_{\text{unkorrigiert}} \triangleq 15\%$) wurden verrührt, anschließend Mehl ($ME_{\text{unkorrigiert}} \triangleq 30\%$), Backpulver (1%) und das jeweilige Ballaststoffpräparat hinzugefügt und zu einem glatten Teig verarbeitet. Dieser wird in eine vorgefettete Backform gefüllt und für 50 Minuten bei 160 °C Umluft gebacken. Nach dem Abkühlen bei Raumtemperatur wurde der Kuchen über Nacht gelagert und anschließend das Volumen bestimmt und eine Texturprofilanalyse durchgeführt.

Volumenbestimmung des Kuchens: Am nächsten Tag wurde der Kuchen gewogen und das Gebäckvolumen mittels Volscan 600 (Stable Micro Systems) bestimmt. Aus den beiden Werten wurde das spezifische Kuchenvolumen berechnet.

Texturanalyse des Kuchens: Die Textur Profil Analyse wird mit einem Texture Analyser durchgeführt. Gemessen wurden die Härte, Klebrigkeit, Gummiartigkeit und Elastizität an vier 2 cm großen Scheiben pro Kuchen.

Herstellung des Puddings als Beispiel einer backstabilen Füllung: Die Grundrezeptur besteht aus Speisestärke (2 g), Vanillinzucker (2 g) und Milch (25 g). Die Ballaststoffpräparate werden zu 0 %, 0,5 %, 2 %, 5 % und 10 % der Gesamtpuddingmasse zugegeben. Die trockenen Zutaten werden mit Milch vermischt und im Rapid Visco Analyser (RVA; PerkinElmer) definiert erhitzt. Es wird die Peak-Viskosität, die Peak-Zeit, die Verkleisterungstemperatur, der Breakdown und Setback sowie die finale Viskosität ermittelt. Nach der Messung wurde der Pudding in Probengefäße abgefüllt und über Nacht bei 4 °C gelagert. Um das Backen zu simulieren, wurden die Proben erneut bei > 100 °C erhitzt. Nach einer erneuten Abkühlung wurde ebenfalls eine Texturprofilanalyse durchgeführt.

Texturprofilanalyse des Puddings: Am nächsten Tag wurde die Textur des Puddings am TA.XT plus C Texture Analyser (Stable Micro Systems) untersucht. Die Proben wurden in zwei Zyklen mit einer 12-mm-Sonde gemessen und die Härte, Klebrigkeit und Gummiartigkeit ermittelt.

Bestimmung der Synäreseneigung des Puddings: Die Synärese-Neigung wurde durch Lagerung der gebackenen und ungebackenen Proben bei 4 °C über 14 Tage bestimmt. Das freie Wasser wird gewogen und die Synärese berechnet (Aichinger et al. 2003).

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

AP 1: Charakterisierung von Extraktionsrückständen/ Okara und Schalen

Zunächst wurden elf Nebenströme hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung, Gehalte ausgewählter sekundärer Pflanzenstoffe, funktionellen Eigenschaften, mikrobiologischen Belastung und sensorischen Eigenschaften bewertet. Jeweils ein repräsentativer Nebenstrom (1x Schalenfraktion, 1 x Extraktionsrückstand) wurden für die weiteren Arbeitspakete ausgewählt.

Charakterisierung der Schalen

Insgesamt wurden sechs Schalenfraktionen der Ackerbohne, blauen Süßlupine (Boregine und Boruta), der Sojabohne, der gelben Erbse sowie eine industrielle Mischfraktion verschiedener Leguminosen untersucht. Tabelle 3 zeigt a_w -Werte und chemische Zusammensetzung der untersuchten Schalenpräparate.

Der Feuchtegehalt und Gehalt des freien, ungebundenen Wassers (gemessen im **a_w -Wert**) eines Lebensmittels stehen im direkten Zusammenhang und geben Aussage über Haltbarkeits- und Lagereigenschaften der Produkte. Lebensmittel mit a_w -Werten zwischen 0,3 und 0,6 zeigen gute Haltbarkeits- und Lagereigenschaften. Unterhalb des a_w -Werts von 0,2 kann Fettoxidation der Produkte auftreten, während mikrobiologisches Wachstum ab ungefähr $a_w \approx 0,7$ beginnt (Westphal 1996). Die a_w -Werte der Schalenpräparate reichten von 0,4 bis 0,5. Die Schalenpräparate weisen demnach bei korrekter Lagerung gute Lagerstabilität auf.

Basierend auf Erfahrungswerten zur **chemischen Zusammensetzung** aus früheren Projekten wurde der erwartete niedrige Fettgehalt der Leguminosenschalen am Beispiel von Erbsenschalen, Ackerbohnschalen und einer Mischfraktion verifiziert. Der Fettgehalt und der Stärkegehalt lag bei allen Schalenpräparaten außer der Mischfraktion unterhalb der Nachweisgrenze der verwendeten Methoden. Die Trockensubstanzgehalte der Leguminosenschalen lagen alle in einer ähnlichen Größenordnung von 89 – 92 %. Auch die Asche- und Proteingehalte der Schalenpräparate unterschieden sich nur geringfügig voneinander, wobei die Sojabohnenschale und die Mischfraktion die höchsten Gehalte an Asche und Protein zeigten. Die Leguminosenschalen wiesen einen sehr hohen Gesamt-Ballaststoffgehalt mit bis zu 91,4 g pro 100 g auf, wobei die beiden Lupinensorten Boregine und Boruta die höchsten Werte hatten. Wasserlösliche Ballaststoffe waren erwartungsgemäß in sehr geringen Anteilen (< 10 %) in den Leguminosenschalen vorhanden. Die Sojabohne und die Mischfraktion hatten den geringsten Anteil an Ballaststoff und dabei die höchsten Werten an Asche und Protein. Die Ergebnisse der chemischen Zusammensetzung stehen im Einklang mit anderen Studien zu Leguminosenschalen (Zhong et al. 2020; Arrigoni et al. 1986; Morales-Medina et al. 2021).

Tabelle 3 a_w -Wert, Trockensubstanz (TS)- Asche-, Protein-, Fett-, Stärke- und Ballaststoffgehalte (Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF) der Leguminosenschalen der Ackerbohne, Lupinen der Sorte Boregine und Boruta, Sojabohne und Erbse sowie einer Schalenmischfraktion (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).

Proben	a_w -Wert [-]	TS [g/ 100 g]	Aschegehalt [g/ 100 g _{TS}]	Proteingehalt [g/ 100 g _{TS}]	Fettgehalt [g/ 100 g _{TS}]	Stärkegehalt [g/ 100 g _{TS}]	TDF [g/ 100 g _{TS}]	IDF [g/ 100 g _{TS}]	SDF [g/ 100 g _{TS}]
Ackerbohnschale 	0,4 $\pm$ 0,0	91,4 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,1	3,3 $\pm$ 0,1	< 1,0	< 0,5	86,4 $\pm$ 0,1	81,0 $\pm$ 0,6	5,4 $\pm$ 0,5
Lupinenschale Boregine 	0,4 $\pm$ 0,0	91,3 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,2	3,5 $\pm$ 0,1	-	< 0,5	91,4 $\pm$ 0,5	87,0 $\pm$ 0,4	4,4 $\pm$ 0,0
Lupinenschale Boruta 	0,4 $\pm$ 0,0	91,8 $\pm$ 0,0	1,9 $\pm$ 0,0	3,9 $\pm$ 0,2	-	< 0,5	90,4 $\pm$ 1,2	86,4 $\pm$ 0,5	4,1 $\pm$ 0,6
Sojabohnenschale 	0,5 $\pm$ 0,0	89,9 $\pm$ 0,1	3,9 $\pm$ 0,0	10,4 $\pm$ 0,1	-	< 0,5	74,1 $\pm$ 0,3	69,1 $\pm$ 0,4	5,0 $\pm$ 0,1
Erbsenschale 	0,4 $\pm$ 0,0	90,9 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,4	< 1,0	< 0,5	87,8 $\pm$ 0,5	81,5 $\pm$ 0,6	6,3 $\pm$ 0,2
Schalenmischfraktion 	0,6 $\pm$ 0,0	88,9 $\pm$ 0,1	5,6 $\pm$ 0,2	11,1 $\pm$ 0,3	2,6 $\pm$ 0,0	8,4 $\pm$ 0,2	71,5 $\pm$ 0,5	64,8 $\pm$ 0,5	6,7 $\pm$ 0,3

-: nicht bestimmt; <: betreffender Stoff war bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar

Die Farbwerte ($L^*a^*b^*$ -Farbraum), Gehalte ausgewählter sekundärer Pflanzenstoffe sowie die funktionellen Eigenschaften der Leguminosenschalen sind in Tabelle 4 gezeigt.

Die Ackerbohne hatte die dunkelste **Schalenfarbe** mit dem niedrigsten L^* -Wert, wobei der Rotanteil am höchsten und der Gelbanteil am geringsten war. Lupinen- und Sojaschalen sowie die Mischfraktion zeigten die höchsten L^* -Werte. Bei der Entwicklung von Lebensmittelzutaten spielt die Farbe eine wichtige Rolle. Aufgrund der Verbraucherpräferenz eignen sich insbesondere helle Rohstoffe mit hohen L^* -Werten für den Einsatz in Backwaren (Yang et al. 2014).

Die Ackerbohnen- und Erbsenschalen enthielten die höchsten Gehalte an **Gesamtpolyphenolen** und höchsten Gehalte an kondensierten **Tanninen**, bei gleichzeitiger dunkelster Samenschale (Tabelle 4). Die ermittelten Gehalte an kondensierten Tanninen in Erbsen- und Ackerbohnschalen fielen höher aus als in vorhandener Literatur, die Gehalte von 0,7 – 1,6 bzw. 1,6-6,2 g/ 100 g berichten (Muschiolik und Schmandke 2000; Troszyńska und Ciska 2002). Um die Spezifität der photometrischen Assays zu prüfen, sollten daher in zukünftigen Studien direkte Nachweismethoden für Tannine einbezogen werden. Hingegen zeigten Leguminosen mit helleren Samenschalen wie die Lupine und Sojabohne, sowie die Citrusfaser weitaus geringere Werte. Die höchsten **Phytinsäuregehalte** wurden in den Erbsen- und Sojabohnenschalen sowie der Schalenmischfraktion bestimmt.

Um das Potential für mögliche Anwendungen einzuschätzen zu können, wurden das Wasser- und Ölbindevermögen, sowie die Viskosität der Schalenpräparate in Dispersion charakterisiert. Die **Wasser- und Ölbindevermögen** der Leguminosenschalen unterschieden sich nur geringfügig voneinander, wobei die Sojabohne unter den Schalenfraktionen den höchsten Wert aufwies. Das Wasserbinde- und Ölbindevermögen kann neben der Ballaststoffzusammensetzung von strukturellen Eigenschaften wie dem Porenvolumen, sowie der Partikelgröße und -oberfläche der Fasern beeinflusst werden (Elleuch et al. 2011; Tiwari et al. 2020).

Die Leguminosenschalen zeigten in Dispersion ein scherverdünnendes Fließverhalten, wonach die **Viskosität** bei zunehmender Scherung abnimmt (Elleuch et al. 2011). Die beiden Lupinenschalen zeigten bei geringen Scherraten von 50 s^{-1} die höchste Viskosität in Dispersion. Eine hohe Viskositätsausbildung der Ballaststoffe ist auf starke physikalische Interaktionen zwischen den Polysaccharid-Molekülen in Lösung zurückzuführen (Guillon und Champ 2000). Viskose Ballaststoffe werden häufig zur Verbesserung der Fließfähigkeit als Verdickungsmittel in Lebensmitteln eingesetzt (Tiwari et al. 2020).

Die Erbsenschale wurde als repräsentative Schalenfraktion aufgrund ihrer Farbe und ihrer Verfügbarkeit ausgewählt. Diese Probe wurde durch industrielle Schälung hergestellt und somit kann eine hohe Übertragbarkeit in die industrielle Praxis gewährleistet werden.

Tabelle 4: Farbwerte, Gehalte der Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure sowie Wasser- und Ölbindevermögen und Viskositätswerte von Leguminosenschalen der Ackerbohne, Lupine der Sorte Boregine und Boruta, Sojabohne und Erbse sowie einer Schalenmischfraktion (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, TS: Trockensubstanz).

Proben	Farbe [-]	Gesamtpolyphenole (Folin-Ciocalteu) [g/100 g _{TS}]	Kond. Tannine (Vanillin-HCl) [g/100 g _{TS}]	Phytinsäure [g/100 g _{TS}]	Wasserbinde- vermögen [mL/ g _{TS}]	Ölbindevermögen [mL/ g]	Viskosität bei Scherrate 50 s ⁻¹ [mPa s]
Ackerbohnschale 	L*: 48,1 a*: 12,8 b*: 18,5	1,34 $\pm$ 0,04	6,83 $\pm$ 0,51	0,03 $\pm$ 0,00	4,1 $\pm$ 0,0	1,6 $\pm$ 0,0	63 $\pm$ 54
Lupinenschale Boregine 	L*: 75,1 a*: 5,7 b*: 24,6	0,06 $\pm$ 0,00	< 0,05	0,11 $\pm$ 0,01	4,4 $\pm$ 0,0	1,6 $\pm$ 0,1	218 $\pm$ 58
Lupinenschale Boruta 	L*: 73,8 a*: 5,2 b*: 23,5	0,07 $\pm$ 0,01	0,13 $\pm$ 0,05	0,05 $\pm$ 0,00	4,3 $\pm$ 0,0	1,4 $\pm$ 0,1	259 $\pm$ 60
Sojabohnenschale 	L*: 75,1 a*: 3,5 b*: 22,8	0,07 $\pm$ 0,00	0,17 $\pm$ 0,03	0,18 $\pm$ 0,00	5,3 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,1	47 $\pm$ 4
Erbsenschale 	L*: 62,9 a*: 7,6 b*: 18,9	1,20 $\pm$ 0,03	9,27 $\pm$ 0,11	0,21 $\pm$ 0,00	4,4 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,0	192 $\pm$ 42
Schalenmischfraktion 	L*: 79,2 a*: 5,1 b*: 19,1	0,05 $\pm$ 0,00	< 0,05	0,22 $\pm$ 0,00	5,2 $\pm$ 0,1	1,7 $\pm$ 0,0	95 $\pm$ 5

Alle Proben wurden vor der Analyse auf < 0,5 mm vermahlen.

<: betreffender Stoff war bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar

Charakterisierung der Extraktionsrückstände/ Okara

Insgesamt wurden 6 Extraktionsrückstände/Okara von Ackerbohne, Sojabohne und Gelber Erbse sowie Citrusfaser untersucht. Um die Chargenabhängigkeit der feuchten Proben zu untersuchen, wurden 2 Chargen Soja-Okara (Rückstand aus der Tofuproduktion) vom gleichen Hersteller analysiert. Erbseninnenfaser (Rückstand der Stärke- und Proteingewinnung aus Erbsen) wurde ebenfalls zu 2 Produktionszeitpunkten analysiert, wobei eine Probe feucht und eine Probe nach der industriellen Trocknung zur Verfügung gestellt wurde. Zusätzlich wurde eine industriell getrocknete Ackerbohneninnenfaser (Rückstand der Stärke- und Proteingewinnung aus Ackerbohnen) untersucht. Auf Anraten der beteiligten Industriepartner wurde Citrusfaser als Referenzmaterial in die Untersuchungen einbezogen.

Tabelle 5 zeigt a_w -Werte und chemische Zusammensetzung der untersuchten gefriergetrockneten Extraktionsrückstände und Okara. Alle Proben hatten einen **a_w -Wert** $\leq 0,6$, sodass sich keine Mikroorganismen vermehren können. Der a_w -Wert von gefriergetrocknetem Okara (Charge II) lag knapp über 0,1, was eine erhöhte Fettoxidation zur Folge haben könnte.

Die **chemische Zusammensetzung** der Faserrückstände unterschied sich deutlich. Die untersuchte Citrusfaser bestand nahezu vollständig aus unlöslichen Ballaststoffen (95,6 %) mit geringen Anteilen an Fett, Protein, Asche und löslichen Ballaststoffen. Stärke war nicht vorhanden. Okara enthielt etwa 50 % unlösliche Ballaststoffe, über 20 % Protein und über 10 % Fett. Der Stärkegehalt war vernachlässigbar gering. Die beiden Okara-Chargen unterschieden sich deutlich im Protein- und Fettgehalt: Charge I enthielt 23 % Protein und 18 % Fett, Charge II hingegen 27 % Protein und 13 % Fett. Die Feuchtigkeitsgehalte der nicht getrockneten Proben unterschieden sich ebenfalls: Charge I hatte eine Trockensubstanz von knapp 23 %, Charge II von 17 % (Daten nicht in Tabelle enthalten). Auch die Zusammensetzung der Erbseninnenfasern variierte signifikant, insbesondere im Gehalt unlöslicher Ballaststoffe (59 bzw. 75%). Diese Unterschiede waren wahrscheinlich auf die natürliche Variabilität der Soja- bzw. Erbsenzusammensetzung sowie leichte Differenzen im Produktionsprozess zurückzuführen.

Tabelle 5 a_w -Wert, Trockensubstanz (TS)- Asche-, Protein-, Fett-, Stärke- und Ballaststoffgehalte (Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF) der Extraktionsrückständen/ Okara der Ackerbohne, Sojabohne und Erbse (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).

Proben	a_w -Wert [-]	TS [g/ 100 g]	Aschegehalt [g/ 100 g _{TS}]	Proteingehalt [g/ 100 g _{TS}]	Fettgehalt [g/ 100 g _{TS}]	Stärkegehalt [g/ 100 g _{TS}]	TDF [g/ 100 g _{TS}]	IDF [g/ 100 g _{TS}]	SDF [g/ 100 g _{TS}]
 Soja-Okara, Charge I*	0,4 $\pm$ 0,0	90,1 $\pm$ 0,5	3,9 $\pm$ 0,0	23,3 $\pm$ 0,2	18,1 $\pm$ 0,0	< 0,5	54,5 $\pm$ 1,3	51,6 $\pm$ 1,2	2,9 $\pm$ 0,2
 Soja-Okara, Charge II*	0,1 $\pm$ 0,0	93,8 $\pm$ 0,6	3,5 $\pm$ 0,0	26,9 $\pm$ 0,1	13,8 $\pm$ 0,0	< 0,5	53,0 $\pm$ 2,7	50,7 $\pm$ 3,0	2,2 $\pm$ 0,4
 Erbeninnenfaser*	0,2 $\pm$ 0,0	92,3 $\pm$ 0,5	3,0 $\pm$ 0,1	13,0 $\pm$ 0,0	0,8 $\pm$ 0,1	21,7 $\pm$ 0,7	58,8 $\pm$ 0,2	56,5 $\pm$ 0,2	2,3 $\pm$ 0,2
 Erbeninnenfaser, industriell getrocknet	0,4 $\pm$ 0,0	89,7 $\pm$ 0,9	2,3 $\pm$ 0,0	8,4 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,0	17,7 $\pm$ 1,3	74,6 $\pm$ 0,9	71,4 $\pm$ 0,2	3,2 $\pm$ 0,8
 Ackerbohnenninnenfaser, industriell getrocknet	0,6 $\pm$ 0,0	92,4 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,3	22,1 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,1	20,8 $\pm$ 0,2	58,8 $\pm$ 0,8	54,1 $\pm$ 0,5	4,6 $\pm$ 0,7
 Citrusfaser (Referenz)	0,2 $\pm$ 0,0	90,1 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,0	1,2 $\pm$ 0,0	2,0 $\pm$ 0,3	< 0,5	96,5 $\pm$ 0,0	95,6 $\pm$ 0,0	0,9 $\pm$ 0,0

*: Proben wurden vor der Analyse gefriergetrocknet und auf < 0,5 mm vermahlen.

-: nicht bestimmt; <: betreffender Stoff war bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar

Die Farbwerte ($L^*a^*b^*$ -Farbraum), Gehalte ausgewählter sekundärer Pflanzenstoffe sowie die funktionellen Eigenschaften der untersuchten Extraktionsrückstände und Okara sind in Tabelle 6 gezeigt. Die **Farbanalyse** zeigte, dass alle Proben sehr hell waren (hohe L^* -Werte). Sie waren weder rot noch grün (a^* -Wert = ± 1) und eher gelb als blau ($b^* > 0$). Mit Ausnahme der Ackerbohneninnenfaser lag der Gesamtpolyphenolgehalt aller untersuchten Proben unter 0,1 %. Die analysierten Werte lagen ca. Faktor 10 geringer als für Ackerbohnenkotelydonen beschrieben (Chaieb et al. 2011), was zeigt, dass die Polyphenole bei der Extraktion in die wässrige Phase übergehen. Okara hatte den zweithöchsten Gehalt mit ca. 0,06 %TS, gefolgt von Citrusfaser und Erbseninnenfaser. Der Phytinsäuregehalt war bei Okara mit 1,15 %TS am höchsten, während Erbseninnenfasern nur etwa 0,2 %TS und Citrusfasern 0,03 %TS Phytinsäure enthielten. Keine der Faserproben enthielt nachweisbare Mengen an Tanninen.

Alle Proben wiesen ein geringes **Ölbindungsvermögen** auf, während deutliche Unterschiede im **Wasserbindevermögen** beobachtet wurden. Die höchste Wasserbindung wurde für die industriell getrocknete Erbseninnenfaser beobachtet, gefolgt von Citrusfaser und Okara. Ein ähnlicher Trend zeigte sich bei der **Viskosität** in Dispersion: Die Citrusfasern und die industriell getrocknete Erbseninnenfaser wiesen mit großem Abstand die höchste Viskosität auf, gefolgt von Okara. Am niedrigsten war die Viskosität bei der gefriergetrockneten Erbseninnenfaser. Die Unterschiede in der Viskosität zwischen der industriell getrockneten und der gefriergetrockneten Erbseninnenfaser weisen auf einen großen Einfluss des Trocknungsverfahrens auf die funktionellen Eigenschaften hin. Da die industriell genutzten Trocknungsverfahren von den Herstellern nicht offengelegt wurden, kann nicht abgeschätzt werden ob die Unterschiede in den funktionellen Eigenschaften der Erbsen- und Ackerbohneninnenfaser auf rohstoff- oder prozessbedingte Unterschiede zurückzuführen sind.

Das frische, feuchte Okara wies eine höhere Viskosität, Wasser- und Ölbindung, und höhere Gehalte an antinutritiven Substanzen im Vergleich zur frischen, feuchten Erbseninnenfaser auf. Daher wurde feuchtes Okara als Extraktionsrückstand für die weitere Bearbeitung zur Entwicklung der Stabilisierungsverfahren (AP 3) und der Modifikation mittels Extrusion (AP 4) ausgewählt (Meilenstein 1 erreicht).

Tabelle 6: Farbwerte, Gehalte der Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure sowie Wasser- und Ölbindevermögen und Viskositätswerte von Leguminosenschalen der Ackerbohne, Lupine der Sorte Boregine und Boruta, Sojabohne und Erbse (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, TS: Trockensubstanz).

Proben	Farbe [-]	Gesamt- polyphenole (Folin- Ciocalteu) [g/100 g _{TS}]	Kond. Tannine (Vanillin-HCl) [g/100 g _{TS}]	Phytinsäure [g/100 g]	Wasserbinde- vermögen [mL/ g _{TS}]	Ölbinde- vermögen [mL/ g]	Viskosität bei Scherrate 50 s ⁻¹ [mPa s]
Soja-Okara, Charge I* 	L*: 92,4 a*: 0,2 b*: 19,3	0,06 $\pm$ 0,00	< 0,05	1,16 $\pm$ 0,02	7,5 $\pm$ 0,3	3,2 $\pm$ 0,0	137 $\pm$ 27
Soja-Okara, Charge II* 	L*: 92,6 a*: 0,1 b*: 14,1	0,06 $\pm$ 0,00	< 0,05	1,14 $\pm$ 0,15	7,1 $\pm$ 0,2	3,2 $\pm$ 0,0	127 $\pm$ 5
Erbeninnenfaser* 	L*: 94 a*: 0,4 b*: 9,9	0,04 $\pm$ 0,01	< 0,05	0,2 $\pm$ 0,01	5,5 $\pm$ 0,1	2,7 $\pm$ 0,0	32 $\pm$ 8
Erbeninnenfaser, industriell getrocknet 	L*: 94,5 a*: 0,1 b*: 13,6	0,03 $\pm$ 0,00	< 0,05	0,14 $\pm$ 0,00	12,4 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,0	8970 $\pm$ 642
Ackerbohnenninnenfaser, industriell getrocknet 	L*: 88,1 a*: 3,0 b*: 11,7	0,24 $\pm$ 0,00	-	-	5,6 $\pm$ 0,3	2,7	28,9 $\pm$ 0,4
Citrusfaser (Referenz) 	L*: 88,7 a*: 0,1 b*: 13,8	0,04 $\pm$ 0,00	0,07 $\pm$ 0,0	0,03 $\pm$ 0,01	8,7 $\pm$ 0,4	2,9 $\pm$ 0,0	10353 $\pm$ 1342

*: Proben wurden vor der Analyse gefriergetrocknet und auf < 0,5 mm vermahlen.

-: nicht bestimmt; <: betreffender Stoff war bei nebenstehender Bestimmungsgrenze nicht quantifizierbar

Pestizid- und Mykotoxinbelastung, mikrobiologische Untersuchung

Auf Anraten der beteiligten Industriepartner wurden die ausgewählten repräsentativen Leguminosennebenströme hinsichtlich der Pestizid- und Mykotoxinbelastung analysiert. Zudem wurden die Nebenströme, wie im AP 1 geplant, mikrobiologisch untersucht.

Auf der unbehandelten Erbsenschale waren keine Mykotoxine und Pestizide, sowie keine pathogenen Keime und Toxinbildner (wie Salmonellen und E. coli-Stämme) nachweisbar. Die aerobe Gesamtkeimzahl betrug auf der unbehandelten Schale $5,7 \times 10^6$ koloniebildende Einheiten pro Gramm (KBE/g), die Anzahl der Hefen war $1,5 \times 10^4$ KBE/g und die der Schimmelpilze $2,1 \times 10^3$ KBE/g.

Im Soja-Okara konnten ebenfalls keine Mykotoxine und Pestizide, sowie keine pathogenen Keime und Toxinbildner (wie Salmonellen und E. coli-Stämme) nachgewiesen werden. Die aerobe Gesamtkeimzahl betrug $1,3 \times 10^6$ KBE/g, die Anzahl der Hefen und der Schimmelpilze betrug < 100 KBE/g.

Hefen und Schimmelpilze sind auf Höchstwerte von 10^7 bzw. 10^4 im Lebensmittel beschränkt (Wallhäußer 1990). Die aerobe Gesamtkeimzahl, Anzahl der Hefen und Schimmelpilze wurden als relevante Parameter für die weiteren Untersuchungen ausgewählt und in die Entwicklung der Ballaststoffpräparate einbezogen (AP 2 und AP 3).

Sensorische Analysen

Um den Einfluss der Verfahren auf die sensorischen Eigenschaften der Leguminosennebenströme zu veranschaulichen, werden die Ergebnisse der sensorischen Analysen im direkten Vergleich zu den behandelten Proben dargestellt (vgl. AP 3, Sensorik der getrockneten Proben; AP 4, Sensorische Analysen der stabilisierten und modifizierten Schalenpräparate & Okara).

AP 2: Entwicklung von Ballaststoffpräparaten aus Schalen

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Verringerung der mikrobiologischen Belastung der Schalen durch (hydro)thermische Behandlung, sowie die Untersuchung des Einflusses der Vermahlung auf die funktionellen Eigenschaften. Die Stabilisierung der Schalen wurde beispielhaft unter Verwendung der als repräsentative Schalenfraktion ausgewählten Erbsenschale durchgeführt. Die sensorischen Eigenschaften ausgewählter, stabilisierter Schalenfraktionen wurden im direkten Vergleich zu unbehandelten und modifizierten Schalen bewertet (vgl. AP 4, Sensorische Analysen der stabilisierten und modifizierten Schalenpräparate). Das ideale Verfahren (thermische Behandlung und Vermahlung) wurde anschließend auf 3 weitere Leguminosen-Schalen übertragen.

(Hydro)thermische Behandlung der Schalenpräparate

Die Schalenpräparate wurden trocken mittels Heißluft (Temperaturen: 80 °C, 121 °C; Zeiten: 5 min, 30 min; Präparat 1-4), feucht mit einer Kombination aus Heißluft und Sattdampf (Temperaturen: 80 °C,

121 °C; Zeiten: 5 min, 30 min; 100% Feuchte; Präparat 5-8), sowie feucht mit einer Kombination aus Heißluft, Sattdampf und Druck (Temperatur: 121 °C; Zeiten: 5 min, 30 min; 100% Feuchte; 2 bar Druck; Präparat 9-10), stabilisiert. Anschließend wurden die zehn Präparate in einer Ultra-Zentrifugalmühle mit einem Siebeinsatz der Maschenweite von 0,5 mm (Retsch GmbH) vermahlen. Die stabilisierten Schalenpräparate und das unbehandelte Schalenpräparat wurden hinsichtlich a_w -Wert, Zusammensetzung (Tabelle 7), Farbe, Mikrobiologie, und Funktionalität (Tabelle 8) miteinander verglichen.

Der **a_w -Wert** der unbehandelten und stabilisierten Erbsenschalen war mit 0,1 bis 0,4 gering (vgl. auch AP 1). Die (hydro)thermische Behandlung führte zu einer geringen Erhöhung der **Trockensubstanzgehalte**. Die intensive Behandlung durch eine hohe Temperatur von 121 °C und Druck (2 bar) für 30 min (Präparat 10) erhöhte den Anteil an wasserlöslichen **Ballaststoffen** (SDF), bei gleichbleibendem Anteil an unlöslichen Ballaststoffen (IDF). Durch die intensive hydrothermische Behandlung können Wasserstoffbrückenbindungen und glykosidische Bindungen der Cellulosen und Hemicellulosen – Hauptballaststoffkomponenten in Erbsenschalen – aufgebrochen und in kleinere lösliche Ballaststofffraktionen umgewandelt werden (Bader Ul Ain et al. 2019; Zia-ur-Rehman et al. 2003). Die anderen stabilisierten Schalenpräparate (1-9) zeigten ähnliche Ballaststoffzusammensetzungen wie das unbehandelte Schalenpräparat. Die potenziell antinutritiven Substanzen (**Gesamtpolyphenole, kondensierte Tannine, Phytinsäure**) konnten durch alle Stabilisierungsmethoden reduziert werden. Die höchste Reduktion konnte mit der Kombination aus Heißluft, Sattdampf und Druck bei 30 min (Präparat 10) erreicht werden. Die Phytinsäuregehalte der Schalen wurden in allen getesteten Stabilisierungsmethoden um etwa das Achtfache im Vergleich zur unbehandelten Schale verringert. Die **Farbe** der stabilisierten Ballaststoffpräparate wich größtenteils nur geringfügig von der unbehandelten Erbsenschale ab. Eine Ausnahme stellten die druckbehandelten Proben dar, welche im Vergleich dunkler (niedrigerer L^* -Wert) und rötlicher (höherer a^* -Wert) waren.

Durch die trockene Behandlung mit Heißluft konnte eine Reduktion der **aeroben Gesamtkeimzahl**, der **Hefen** und **Schimmelpilze** um ca. 90% erreicht werden. Eine feuchte, hydrothermische Behandlung reduzierte die Gesamtkeimzahl sowie die Hefen und Schimmelpilze auf <100 KBE/g. Damit stellen die stabilisierten Erbsenschalen ein mikrobiologisch sicheres Lebensmittel dar.

Auch das **Wasser- und Ölbindevermögen** der stabilisierten Schalenpräparaten unterschied sich nur geringfügig. Die **Viskosität** in wässriger Dispersion der Schalenpräparate nahm jedoch durch die Stabilisierung um mindestens das Vierfache ab, wobei das Präparat der milden, trockenen Stabilisierung bei 80 °C für 5 min (Präparat 1) mit 51 mPas die höchste Viskosität unter den stabilisierten Schalenpräparaten aufwies. Präparat 10 zeigte eine leicht erhöhte Viskosität von 23,5 mPas im Vergleich zu den Schalenpräparaten 2-9. Ein Grund könnte der leicht erhöhte Gehalt an SDF sein.

Tabelle 7 a_w -Wert, Trockensubstanz (TS), Ballaststoffgehalte (Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF), Gehalte der Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure der Ballaststoffpräparate aus unbehandelter und stabilisierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung)

		a_w -Wert [-]	TS [%]	TDF [%]	IDF [%]	SDF [%]	Gesamtpoly- phenole (Folin- Ciocalteu) [g/100 g _{TS}]	Kond. Tannine (Vanillin-HCl) [g/100 g _{TS}]	Phytinsäure [g/100 g _{TS}]
	 Unbehandelt	0,2 $\pm$ 0,0	89,2 $\pm$ 0,3	87,8 $\pm$ 0,5	81,5 $\pm$ 0,6	6,3 $\pm$ 0,2	2,1 $\pm$ 0,1	12,1 $\pm$ 0,3	0,21 $\pm$ 0,00
1	 Trocken, 80 °C, 5 min	0,2 $\pm$ 0,0	92,1 $\pm$ 0,6	85,1 $\pm$ 0,7	78,8 $\pm$ 0,7	6,3 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,1	11,1 $\pm$ 0,2	0,03 $\pm$ 0,00
2	 Trocken, 80 °C, 30 min	0,2 $\pm$ 0,0	93,1 $\pm$ 0,3	81,9 $\pm$ 0,7	76,6 $\pm$ 0,3	5,4 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,3	9,8 $\pm$ 1,8	0,03 $\pm$ 0,00
3	 Trocken, 121 °C, 5 min	0,2 $\pm$ 0,0	94,1 $\pm$ 0,3	84,5 $\pm$ 0,4	78,3 $\pm$ 0,2	6,2 $\pm$ 0,3	1,9 $\pm$ 0,0	7,9 $\pm$ 0,8	0,05 $\pm$ 0,01
4	 Trocken, 121 °C, 30 min	0,1 $\pm$ 0,0	95,5 $\pm$ 0,3	83,3 $\pm$ 1,0	77,1 $\pm$ 0,9	6,2 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,2	8,3 $\pm$ 1,0	0,04 $\pm$ 0,00
5	 Dampf, 80 °C, 5 min	0,2 $\pm$ 0,0	92,9 $\pm$ 0,5	85,4 $\pm$ 0,9	79,1 $\pm$ 0,9	6,3 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,0	10,7 $\pm$ 0,2	0,05 $\pm$ 0,00
6	 Dampf, 80 °C, 30 min	0,2 $\pm$ 0,0	93,0 $\pm$ 0,3	85,7 $\pm$ 1,1	79,7 $\pm$ 1,0	6,0 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,1	10,5 $\pm$ 0,9	0,05 $\pm$ 0,00
7	 Dampf, 121 °C, 5 min	0,2 $\pm$ 0,0	93,7 $\pm$ 0,3	85,0 $\pm$ 0,4	78,4 $\pm$ 0,3	6,6 $\pm$ 0,4	2,1 $\pm$ 0,0	8,2 $\pm$ 0,5	0,03 $\pm$ 0,01
8	 Dampf, 121 °C, 30 min	0,1 $\pm$ 0,0	94,3 $\pm$ 0,1	84,5 $\pm$ 0,5	78,0 $\pm$ 0,5	6,5 $\pm$ 0,2	1,9 $\pm$ 0,1	9,9 $\pm$ 1,2	0,02 $\pm$ 0,00
9	 Dampf, 121 °C, 5 min, 2 bar	0,3 $\pm$ 0,0	91,7 $\pm$ 0,2	86,8 $\pm$ 0,4	80,3 $\pm$ 0,3	6,5 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,0	5,8 $\pm$ 0,2	0,04 $\pm$ 0,00
10	 Dampf, 121 °C, 30 min, 2 bar	0,3 $\pm$ 0,0	91,8 $\pm$ 0,2	90,9 $\pm$ 0,1	81,5 $\pm$ 0,1	9,4 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,0	5,2 $\pm$ 0,1	0,02 $\pm$ 0,00

Tabelle 8 Farbwerte, Mikrobiologie, sowie Wasser- und Ölbindevermögen und Viskositätswerte aus unbehandelter und stabilisierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).

		Farbe [-]	Aerobe Gesamtkeimzahl [KBE/ g]	Hefen [KBE/ g]	Schimmelpilze [KBE/ g]	Wasserbinde -vermögen [mL/ g _{TS}]	Ölbinde -vermögen [mL/ g]	Viskosität bei Scherrate 50 s ⁻¹ [mPa s]	
		Unbehandelt	L*: 62,9; a*: 7,6; b*: 18,9	5.700.000	15.000	2.100	1,4 ± 0,0	4,4 ± 0,1	192 ± 42
1		Trocken, 80 °C, 5 min	L*: 65,8; a*: 6,6; b*: 17,7	46.000	2.800	700	1,5 ± 0,0	4,8 ± 0,1	51 ± 21
2		Trocken, 80 °C, 30 min	L*: 66,5; a*: 6,7; b*: 17,9	97.000	900	400	1,6 ± 0,1	4,8 ± 0,1	21 ± 4
3		Trocken, 121 °C, 5 min	L*: 66,0; a*: 6,9; b*: 18,1	440.000	300	100	1,5 ± 0,0	4,6 ± 0,1	21 ± 3
4		Trocken, 121 °C, 30 min	L*: 62,2; a*: 8,3; b*: 18,9	3.500	<100	<100	1,4 ± 0,1	4,2 ± 0,0	14 ± 1
5		Dampf, 80 °C, 5 min	L*: 64,7; a*: 7,4; b*: 17,8	<100	<100	<100	1,4 ± 0,0	4,7 ± 0,1	20 ± 3
6		Dampf, 80 °C, 30 min	L*: 62,2; a*: 8,2; b*: 17,3	100	<100	<100	1,5 ± 0,0	4,5 ± 0,1	14 ± 5
7		Dampf, 121 °C, 5 min	L*: 64,5; a*: 8,2; b*: 18,3	300	<100	<100	1,4 ± 0,0	4,3 ± 0,0	17 ± 3
8		Dampf, 121 °C, 30 min	L*: 61,8; a*: 9,6; b*: 19,4	900	<100	<100	1,5 ± 0,0	4,4 ± 0,1	22 ± 5
9		Dampf, 121 °C, 5 min, 2 bar	L*: 52,2; a*: 11,5; b*: 18,9	100	<100	<100	1,4 ± 0,0	4,1 ± 0,1	20 ± 1
10		Dampf, 121 °C, 30 min, 2 bar	L*: 48,7; a*: 13,7; b*: 20,7	<100	<100	<100	1,4 ± 0,0	4,0 ± 0,1	24 ± 6

Vermahlung der Schalenpräparate

Im folgenden Abschnitt werden Ergebnisse zum Einfluss der Vermahlung mittels Ultrazentrifugalmühle (Mühlen-Art: Rotor-/Schlagmühle) und Prallvermahlung auf die funktionellen sowie physikalischen Eigenschaften der Ballaststoffpräparate aus Leguminosenschalen gezeigt.

Der **Einfluss des Mahlgrades** auf die funktionellen Eigenschaften wurde anhand der Ackerbohnschale analysiert, da zum Zeitpunkt der Durchführung noch keine ausreichenden Mengen der Erbsenschale verfügbar waren. Durch das Vermahlen können die strukturellen Eigenschaften wie die Mikrostruktur, das Porenvolumen, sowie die Partikelgröße und -oberfläche der Fasern verändert und dadurch die Hydratationseigenschaften und die Ölbindung erhöht werden (Elleuch et al. 2011; Naumann et al. 2021). Das Probenmaterial wurde in einer Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200 (Retsch GmbH) auf unterschiedliche Partikelgrößen vermahlen (Tabelle 9). Dabei zeigte die bei einem Mahlgrad von $< 0,12$ mm vermahlene Schalenfraktion eine leichte Steigerung in der Wasser- und Ölbindung im Vergleich zu den gröber vermahlene Schalenfraktionen. Die Viskositäten der Fraktionen mit Partikelgrößen < 1 mm und < 2 mm waren signifikant erhöht im Vergleich zu den kleineren Mahlgraden. Die großen Partikel erschwerten jedoch die rheologische Messung und führten zu ungenauen Messergebnissen mit hoher Standardabweichung. Bei abnehmender Partikelgröße ($< 0,5$ mm, $< 0,25$ mm bis $< 0,12$ mm) war hingegen ein leichter Trend zum Viskositätsanstieg zu beobachten.

Tabelle 9: Wasser- und Ölbindevermögen und Viskosität der Ackerbohnschalen bei verschiedenen Mahlgraden; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).

Ackerbohnschale Mahlgrad	Wasserbindevermögen [mL/ g _{TS}]	Ölbindevermögen [mL/ g]	Viskosität bei Scherrate 50 s ⁻¹ [mPa s]
< 2,0 mm	4,2 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1	723,3 $\pm$ 306,6
< 1,0 mm	4,2 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,0	518,0 $\pm$ 33,1
< 0,5 mm	4,1 $\pm$ 0,0	1,5 $\pm$ 0,1	46,0 $\pm$ 5,8
< 0,25 mm	4,0 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,1	78,2 $\pm$ 13,6
< 0,12 mm	4,7 $\pm$ 0,0	2,1 $\pm$ 0,0	89,1 $\pm$ 13,8

Ein **Vergleich verschiedener Mühlentypen** und anschließender **Klassierung** wurde anhand der Erbsenschale durchgeführt. Neben den funktionellen Eigenschaften wurden zusätzlich die physikalischen Eigenschaften der Proben analysiert. Die unbehandelten Erbsenschalen wurden in der Prallmühle (UltraplexTyp 100 UPZ, Hosokawa Alpine) mit einem 0,3 mm und einem 0,5 mm-Siebeinsatz vermahlen. Weiterhin wurde die auf 0,3 mm vermahlene Probe in 3 Fraktionen – Fraktion 1 zwischen 500 und 250 μ m, Fraktion 2 zwischen 250 und 125 μ m, sowie Fraktion 3 < 125 μ m – klassiert. Zum direkten Vergleich der Mühlentypen wurden Erbsenschalen mit der Zentrifugalmühle auf Partikelgrößen von $\leq 0,5$ mm vermahlen. Von den Proben wurde jeweils die Partikelgrößenverteilung,

das Wasser- und Ölbindevermögen, die Viskosität in wässriger Dispersion, sowie das spezifische Schüttvolumen bestimmt (Tabelle 10). Das spezifische Schüttvolumen nahm mit der Feinheit der Vermahlung zu und war bei der Fraktion mit den kleinsten Partikelgrößen (Fraktion 3) am größten. Die feine Vermahlung führte auch zu einem höheren Wasser- und Ölbindevermögen. Die Fraktion 3 (kleinste Partikelgröße) erzielte auch die höchste Viskosität mit 405 mPas. Die mittels Prallmühle und Zentrifugalmühle unterschiedlich vermahlenen Schalenpräparate wiesen ähnliche funktionelle Eigenschaften auf. Die mittlere Partikelgröße der in der Prallmühle vermahlenen Probe war mit 358 μm etwas geringer als die in der Zentrifugalmühle vermahlenen Probe mit 538 μm . Die Spanne der Verteilung, gemessen an der Differenz von D_3 (90) zu D_3 (10), ist bei beiden Vermahlmethoden vergleichbar.

Tabelle 10 Spezifisches Schüttvolumen, Öl-(Öbi) und Wasserbindevermögen (Wabi), Viskosität bei einer Scherrate von 50 s^{-1} , sowie die Partikelgrößenverteilung (Werte D_3 (10), D_3 (50) und D_3 (90)) der unterschiedlich vermahlenen Erbsenschalen. Die Vermahlung wurde in einer Zentrifugalmühle (ZM) und einer Prallmühle (UPZ) mit unterschiedlichen Siebeinsätzen (0,3 mm; 0,5 mm) durchgeführt und weiterhin in 3 Größenfraktionen unterteilt. (MW $\pm$ SD).

Vermahlung		ZM <0,5 mm	UPZ <0,5 mm	UPZ <0,3 mm	Fraktion 1 250<x<500 μm	Fraktion 2 125<x<250 μm	Fraktion 3 <125 μm
Spezifisches Schüttvolumen	[ml/g]	-	1.7 $\pm$ 0,0	1.9 $\pm$ 0.0	1.6 $\pm$ 0.0	1.7 $\pm$ 0,0	2.5 $\pm$ 0.0
Öbi	[ml/g]	1.5 $\pm$ 0,0	1.5 $\pm$ 0,0	1.6 $\pm$ 0,0	1.2 $\pm$ 0,0	1.3 $\pm$ 0.1	1.9 $\pm$ 0.1
Wabi	[ml/g _{TS}]	4.4 $\pm$ 0.1	4.3 $\pm$ 0.0	4.4 $\pm$ 0.0	3.8 $\pm$ 0.1	3.5 $\pm$ 0.1	6,0 $\pm$ 0.1
Viskosität	[mPas]	192 $\pm$ 42	164 $\pm$ 144	58 $\pm$ 1	179 $\pm$ 17	34 $\pm$ 1	405 $\pm$ 30
D_3 (10)	[μm]	243 $\pm$ 13	149 $\pm$ 22	127 $\pm$ 23	338 $\pm$ 1	199 $\pm$ 3	52 $\pm$ 3
D_3 (50)	[μm]	538 $\pm$ 3	358 $\pm$ 17	352 $\pm$ 14	486 $\pm$ 4	299 $\pm$ 1	147 $\pm$ 2
D_3 (90)	[μm]	944 $\pm$ 9	717 $\pm$ 27	649 $\pm$ 13	707 $\pm$ 13	445 $\pm$ 3	271 $\pm$ 1

Zusammenfassend resultierte die Vermahlung und Fraktionierung auf kleinere Partikelgrößen in einer leicht verbesserten Wasser- und Ölbindung sowie einer höheren Viskosität bei Partikelgrößen < 125 μm . Demgegenüber stehen ein höherer energetischer Aufwand zum Vermahlen und ein erhöhter Bedarf an Lagerplatz durch Erhöhung des spezifischen Schüttvolumens.

Auswahl vielversprechendster Parameter und Übertragung auf drei weitere Schalenfraktionen

Eine hydrothermische Behandlung von 80 °C für 5 min bei einer Feuchte von 100% (80 °C, 5 min, Dampf) wurde als vielversprechendste Stabilisierungsmethode für Leguminosenschalen ausgewählt und auf drei weitere Schalenfraktionen (Ackerbohne, Lupine (Boregine), Soja) übertragen. Das feuchte Verfahren (100% Feuchte) konnte sowohl die mikrobiologische Belastung als auch die Gehalte potenziell antinutritiver Substanzen (Schalenpräparat 5 in Tabelle 5 und 6) signifikant reduzieren. Gleichzeitig zeigte das Präparat, welches bei 80 °C für 5 min stabilisiert wurde, eine höhere Viskosität als bei längeren Zeiten und höheren Temperaturen. Eine kurze Erhitzungszeit bei niedrigen

Temperaturen benötigt zudem weniger Energie. Aufgrund der Verbesserung der funktionellen Eigenschaften, wurde eine Vermahlung mittels Zentrifugalmühle $\leq 0,12$ mm für die Vermahlung der stabilisierten Schalen ausgewählt.

In Tabelle 11 sind die Zusammensetzung und die funktionellen Eigenschaften der stabilisierten und vermahlenden Schalen der Ackerbohne, Lupine, Soja und Erbse dargestellt. Die nach Folin-Ciocalteu ermittelten Daten zu den Gesamtpolyphenolen wiesen für die behandelten Schalen ähnliche Werte auf wie für die nicht behandelten Schalen. Die Phytinsäuregehalte und die Gehalte kondensierter Tannine konnten bei Schalen der Lupine und Sojabohne signifikant verringert werden. Der a_w -Wert, das Wasser- und Ölbindevermögen blieb annähernd unverändert.

Tabelle 11 Trockensubstanz (TS), Gehalte an wasserlöslichen- (SDF), wasserunlöslichen- (IDF) und Gesamtballaststoff (TDF), Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure – bezogen auf die Trockensubstanz, a_w -Werte, sowie die funktionellen Eigenschaften mit Wasser-, Ölbindevermögen und Viskositätswerte bei einer Scherrate von 50 s^{-1} der stabilisierten (80°C , 5min, 100% Feuchte) Schalenpräparate aus Ackerbohne, Lupine, Sojabohne und Erbse. (MW $\pm$ SD).

Stabilisierte Leguminosenschale		Ackerbohne	Lupine	Sojabohne	Erbse
TS	[g/100 g]	89,0 $\pm$ 0,3	89,6 $\pm$ 0,4	87,7 $\pm$ 0,5	92,9 $\pm$ 0,5
SDF	[g/100 g _{TS}]	6,0 $\pm$ 0,5	3,4 $\pm$ 0,1	5,3 $\pm$ 0,2	5,8 $\pm$ 0,1
IDF	[g/100 g _{TS}]	83,7 $\pm$ 0,9	88,7 $\pm$ 0,7	73,7 $\pm$ 0,6	79,1 $\pm$ 0,9
TDF	[g/100 g _{TS}]	89,7 $\pm$ 1,0	92,1 $\pm$ 0,7	79,0 $\pm$ 0,6	84,9 $\pm$ 0,9
Gesamtpolyphenole (Folin-Ciocalteu)	[g/100 g _{TS}]	1,5 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	1,9 $\pm$ 0,0
Kond. Tannine (Vanillin-HCl)	[g/100 g _{TS}]	6,4 $\pm$ 0,2	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,1	10,7 $\pm$ 0,2
Phytinsäure	[g/100 g _{TS}]	0,03 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,01
a_w	[-]	0,4 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0
Ölbindevermögen	[mL/ g]	1,8 $\pm$ 0,0	1,5 $\pm$ 0,0	1,3 $\pm$ 0,0	1,4 $\pm$ 0,0
Wasserbindevermögen	[mL/ g _{TS}]	4,1 $\pm$ 0,1	4,1 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,1	4,7 $\pm$ 0,1
Viskosität bei Scherrate 50 s^{-1}	[mPa s]	301 $\pm$ 48	139 $\pm$ 37	157 $\pm$ 18	39 $\pm$ 6

Die milde hydrothermische Behandlung erhöhte die Viskosität der Acker- und Sojabohnenschalen auf jeweils 301 mPas und 157 mPas im Vergleich zu den unbehandelten Schalen, wohingegen die der Erbsen- und Lupinenschalen abnahm (Abbildung 1). Der Anteil der löslichen Ballaststoffe (SDF) erhöhte sich minimal durch die Stabilisierung von 5,4% auf 6,0% bei der Ackerbohnschale und von 5,0 % auf 5,3% bei der Sojabohne, wohingegen der Gehalt löslicher Ballaststoffe der Lupine und Erbse durch die Stabilisierung minimal abnahm.

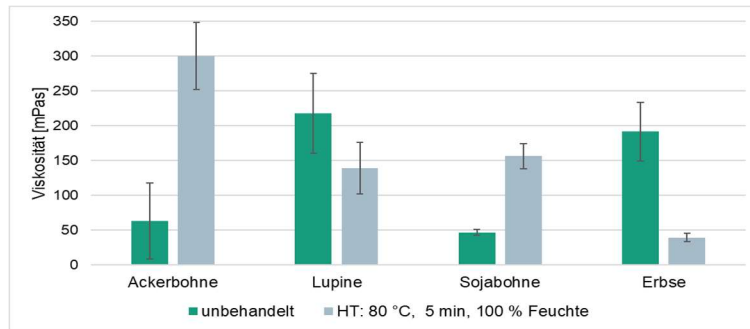


Abbildung 1: Viskositätswerte bei einer Scherrate von 50 s^{-1} der stabilisierten (80°C , 5min, 100% Feuchte) Schalenpräparate aus Ackerbohne, Lupine, Sojabohne und Erbse im Vergleich zu den unbehandelten Schalenpräparaten. (MW $\pm$ SD).

Somit konnte die Stabilisierung der Leguminosenschalen teilweise die Funktionalität erhöhen und die potenziell antinutritiven Inhaltsstoffe reduzieren.

Schalenpräparate der gelben Erbsen aus dem geeignetsten Stabilisierungsverfahren wurden den Projektpartner Taifun-Tofu GmbH und GoodMills Innovation GmbH für Applikationsversuche zur Verfügung gestellt.

AP 3: Entwicklung von Stabilisierungsverfahren zur Herstellung von Ballaststoffpräparaten aus Extraktionsrückständen

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung und Validierung einer Trocknungsmethode zur Stabilisierung von feuchten Extraktionsrückständen von Leguminosen. Die Ergebnisse umfassen die Auswirkungen verschiedener Verfahrensoptionen auf die physikalischen, chemischen, funktionellen und sensorischen Eigenschaften der getrockneten Extraktionsrückstände. Die vergleichenden Untersuchungen wurden unter Verwendung von Soja-Okara, das als repräsentativer Extraktionsrückstand ausgewählt wurde, durchgeführt. Die vielversprechendsten Verfahren wurden anhand der Funktionalität der gewonnenen Ballaststoffpräparate sowie der Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Energieeintrag ausgewählt. Die Verfahren wurden auf einen weiteren Extraktionsrückstand, feuchte Erbseninnenfaser, übertragen.

Das Soja-Okara wurde im Herstellungsprozess bei der Taifun Tofu GmbH direkt nach Entnahme tiefgefroren. Bei der mikrobiologischen Untersuchung von frischem Soja-Okara wurden keine Krankheitserreger, Hefen oder Schimmelpilze nachgewiesen (vgl. AP 1). Die aerobe Gesamtkeimzahl lag bei $1,3 \times 10^6$ KBE/ g. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass bereits im Herstellungsprozess eine intensive Erhitzung des Soja-Okara auf $> 100^\circ\text{C}$ erfolgte (vgl. Kapitel 3.1). Das feuchte Soja-Okara wurde pasteurisiert (70°C , 10 min) und autoklaviert (120°C , 20 min), was eine Reduktion der Gesamtkeimzahl um 2 bzw. 5 Zehnerpotenzen bewirkte, allerdings zu starken Qualitätseinbußen bei der Autoklavierung führte. Vergleichbare Keimbelastungen wurden auch bei den industriell getrockneten Präparaten ermittelt (Erbseninnenfaser: $4,0 \times 10^3$ KBE/ g; Ackerbohninnenfaser: $7,7 \times 10^3$ KBE/ g). Die Keimlast des frischen Okara auch unter Berücksichtigung der durch Trocknung zu

erwartenden Aufkonzentrierung und gleichzeitiger Inaktivierung während der Trocknung wurde als gesundheitlich unbedenklich eingestuft. Durch Walzentrocknung ist beispielsweise eine Keimzahlreduktion bei Milchpulver um 5 bis 6 Zehnerpotenzen ermittelt worden, so dass eine ergänzende Temperaturbehandlung als nicht zielführend bewertet wurde.

Die Zusammensetzung des Soja-Okara wurde im Hinblick auf verschiedene Makro- und Mikrokomponenten untersucht. In den Soja-Okara Proben konnten keine kondensierten Tannine nachgewiesen werden, weshalb im Laufe des Berichts nur Gehalte der Gesamtpolyphenole und Phytinsäure dargestellt sind. Im folgenden Abschnitt werden Ergebnisse zum Einfluss der Bandtrocknung, die konvektiv und unter Vakuum geführt wurde, sowie der Sprühtrocknung im Vergleich zur schonenden Gefriertrocknung gezeigt. Zusätzlich wurde eine Walzentrocknung von feuchtem Soja-Okara extern beauftragt.

Konvektive Bandtrocknung

Die Bandtrocknung mit konvektiver Wärmeübertragung wurde zunächst simuliert. Dabei wurde der Einfluss verschiedener Verfahrensparameter wie Auftragungsmethode, Schütthöhe, Trocknungstemperatur und Trocknungszeit untersucht. Nach Trocknung auf eine Trockensubstanz von mindestens 90 % wurden die Proben in einer Ultra-Zentrifugalmühle mit einem Siebeinsatz der Maschenweite von 0,5 mm (Retsch GmbH) vermahlen.

Einfluss der Auftragungsmethode

Die Auftragungsmethode wurde für ein perforiertes Band und ein geschlossenes Band mittels Auftragung auf einem Siebboden mit 250 µm Maschenweite und auf einem geschlossenen Siebboden nachgestellt. Das feuchte Soja-Okara wurde dafür entweder mittels Siebung aufgetragen oder flach auf die Böden aufgebracht. Der Vergleich wurde bei einer Trocknungstemperatur von 80 °C durchgeführt. Die schnellste Trocknung zeigte sich bei Verwendung des perforierten Bands mit einer gesiebten Probenauftragung (Abbildung 2, links). Auch zeigte sich hier das höchste Wasserbindevermögen mit 9,3 ml/g und die höchste Viskosität in Dispersion mit 1530 mPas im Vergleich zu den anderen Auftragungsmethoden, bei denen das Wasserbindevermögen zwischen 7,5 ml/g und 8,5 ml/g und die Viskosität zwischen 178 mPas und 890 mPas lag. Somit wurde diese Auftragungsmethode für die weiteren Versuche ausgewählt.

Einfluss der Schütthöhe

Die Schütthöhe der gesiebten Probe wurde von 0,5 cm, 1 cm, 2 cm bis 3 cm variiert. Dabei nahm die Trocknungszeit erwartungsgemäß mit steigender Schichtdicke zu (Abbildung 2, rechts). Zudem nahmen mit der Schichtdicke der a_w -Wert von 0,31 auf 0,24, das spezifische Schüttvolumen von 3,8 ml/g auf 3,5 ml/g, die OBC von 2,0 ml/g auf 1,8 ml/g und die Viskosität von 1877 mPas auf 1097 mPas ab. Die Unterschiede zwischen 0,5 cm und 1 cm Schütthöhe waren vernachlässigbar, weshalb in den weiteren Versuchen mit einer Schütthöhe von 1 cm weiter verfahren wurde. Auch die Gehalte an

Phytinsäure (1,1%) und an Gesamtpolyphenolen mit Werten zwischen 0,06 % und 0,07 % unterschieden sich nicht oder nur unwesentlich.

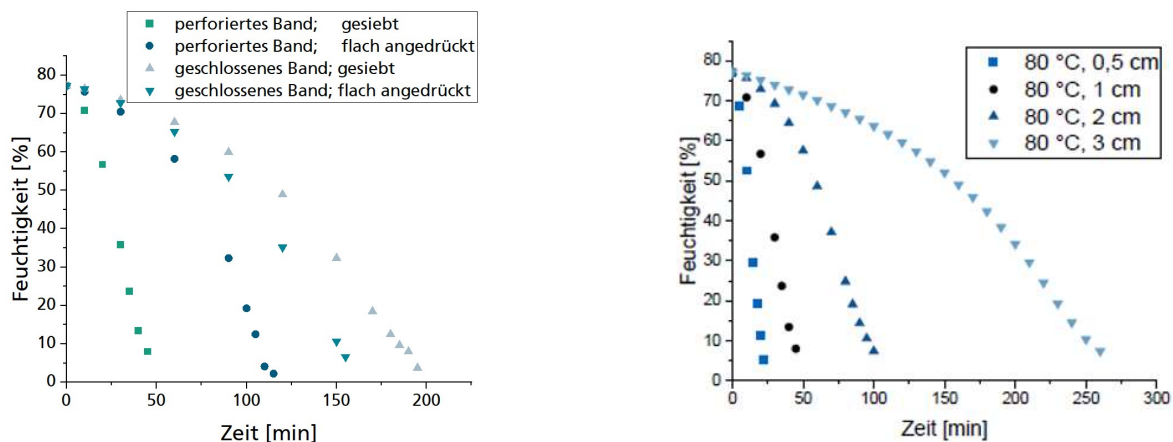


Abbildung 2 Auswirkung der Auftragsmethode (links) und der Schütthöhe (rechts) bei der simulierten konvektiven Bandtrocknung auf die Trocknungszeit

Einfluss der Trocknungstemperatur

Die Trocknung der Proben wurde bei 65 °C, 80 °C, 120 °C, 140 °C, 160 °C und 200 °C untersucht. Dabei verlief die Trocknung bei 120 °C etwa doppelt so schnell wie bei 65 °C und die Trocknungszeit nahm bei den Temperaturen über 120 °C nur noch leicht ab (Abbildung 3). Jedoch sank das Wasserbindevermögen von 9,6 ml/g auf 5,0 ml/g und die Viskosität von 1777 mPas auf 46 mPas mit Zunahme der Trocknungstemperatur. Zudem kam es bei 200 °C zu einer Bräunung der Probe. Daher ist eine Trocknung bei mäßigen Temperaturen von 65 °C oder 80 °C zu bevorzugen. Bei der höchsten Trocknungstemperatur von 200 °C konnte eine Umwandlung von unlöslichen (IDF) in lösliche Ballaststoffe (SDF) in geringem Umfang beobachtet werden. Mit dem Anstieg der Trocknungstemperatur von 65 °C auf 200 °C nahm der Anteil der SDF in der Probe von 2,8 % auf 4,6 % zu, wohingegen der Anteil an IDF von 50,5 % auf 47,3 % abnahm. Der Gehalt an potenziell antinutritiven Substanzen (Gesamtpolyphenole und Phytinsäure) wurde durch die Temperatur nicht beeinflusst. Diese lag bei den Gesamtpolyphenolen bei etwa 0,06 % und bei der Phytinsäure bei 1,1 %.

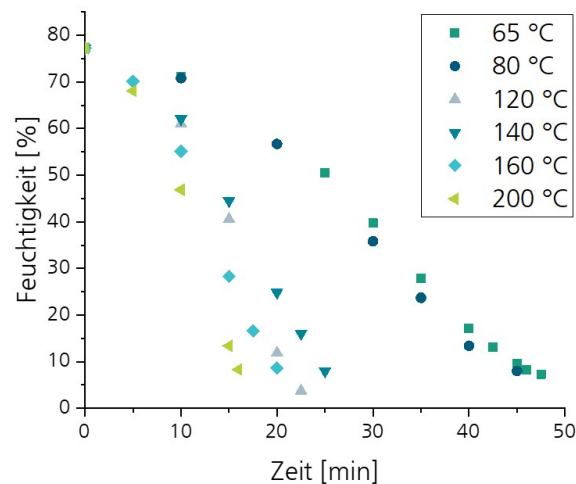


Abbildung 3 Auswirkung der Trocknungstemperatur bei der simulierten konvektiven Bandtrocknung auf die Trocknungszeit

Einfluss der Trocknungszeit

Um die Trocknungszeit zu optimieren, wurde der Trocknungsverlauf (Restfeuchtegehalt und a_w -Wert) bei 80 °C über eine Zeit von 60 min untersucht. Mit der Trocknungszeit nahm sowohl die Feuchtigkeit als auch der a_w -Wert sigmoidal ab, wobei die Feuchtigkeit schneller sank als der a_w -Wert (Abbildung 4, links). Somit war eine deutliche Absenkung des a_w -Wertes erst unterhalb einer Restfeuchte von 20 % zu erkennen (Abbildung 4, rechts). Um eine gute Haltbarkeit gewährleisten zu können, sollte der a_w -Wert zwischen 0,2 bis max. 0,5 liegen (Westphal et al.1996). Dies war bei einer Trocknungszeit zwischen 40 und 60 min erkennbar.

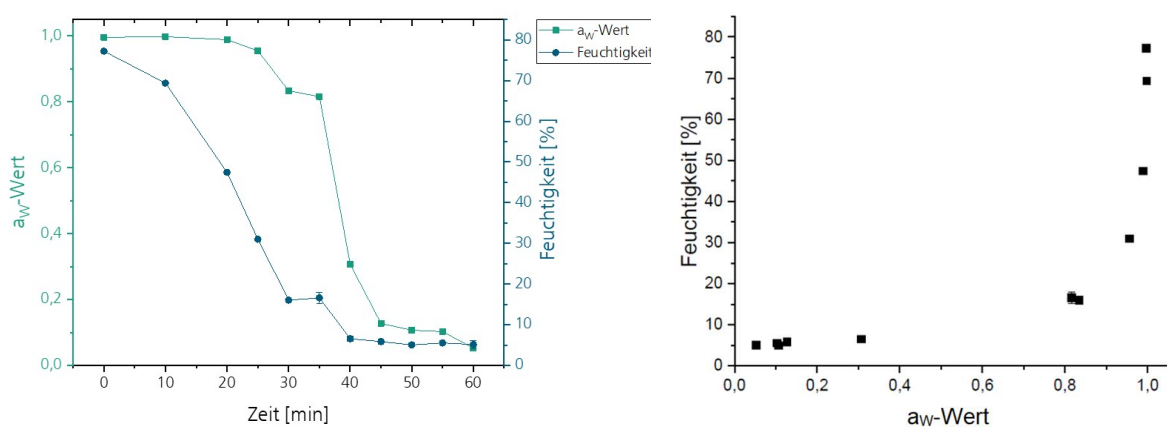


Abbildung 4 a_w -Wert und Feuchtigkeit von Soja-Okara in Abhängigkeit von der Trocknungszeit (links) und die Desorptionsisotherme durch Auftragung der Feuchtigkeit in Abhängigkeit vom a_w -Wert (rechts)

Mit Zunahme der Trocknungszeit nahmen die Ölbindekapazität, das spezifische Schüttvolumen und die Viskosität zusammen mit der Feuchtigkeit und dem a_w -Wert ab (Abbildung 5). Längere Trocknungszeiten als unbedingt erforderlich sind daher zu vermeiden.

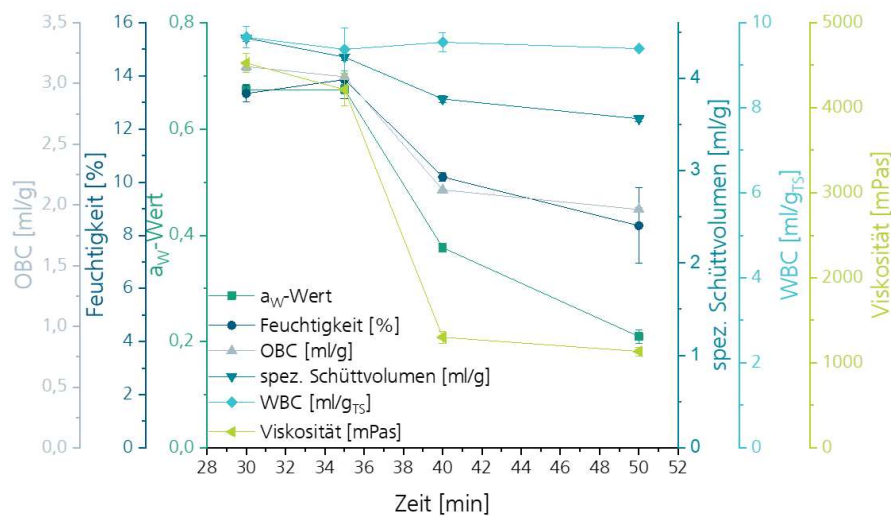


Abbildung 5 Physikalische und funktionelle Eigenschaften in Abhängigkeit der Trocknungszeit: a_w -Wert, Feuchtigkeit, Ölbinde- (OBC) und Wasserbindekapazität (WBC), spezifischen Schüttvolumen und Viskosität; OBC und WBC beziehen sich auf die Trockensubstanz der Probe

Vakuum-Bandtrocknung

Die Vakuum-geführte Bandtrocknung wurde ebenfalls nachgestellt und die Auswirkung der Auftragungsmethode auf die Trocknungszeit untersucht. Im Vakuum-Trockenschrank war entgegen den Erwartungen die Trocknungszeit deutlich länger im Vergleich zur konvektiv geführten Trocknung und die Auftragungsmethode hatte nur einen geringen Einfluss auf die Trocknungszeit (Abbildung 6). In Bezug auf die funktionellen Eigenschaften (Wasser- und Ölbindevermögen, Viskosität) zeigten sich vergleichbare Erkenntnisse wie bei der konvektiven Trocknung.

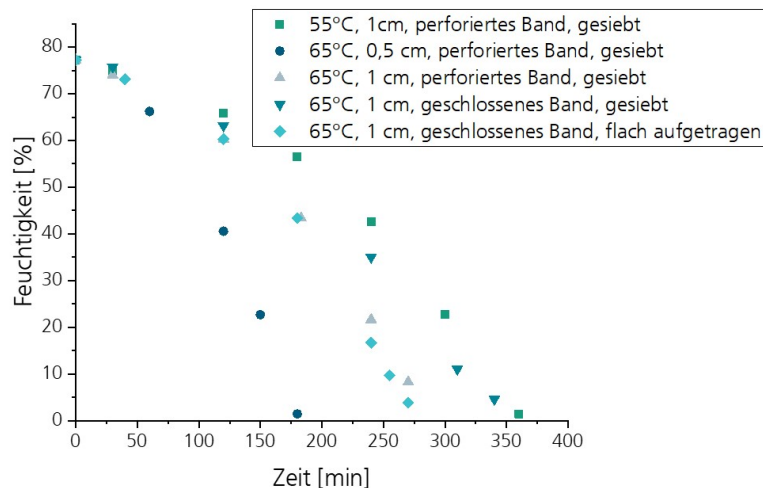


Abbildung 6 Auswirkung der Auftragungsmethode bei der simulierten Vakuum-Bandtrocknung auf die Trocknungszeit

Sprühtrocknung

Die Sprühtrocknung des Soja-Okaras erfolgte an einem Labor-Sprühtrockner (Mini Spray Dyer B-191, Büchi Labortechnik GmbH) mit einer Luft Eintrittstemperatur von 180 °C und einer Luftaustrittstemperatur von 100 °C. Dafür war sowohl eine Verdünnung des feuchten Soja-Okaras auf einen Trockensubstanzgehalt von ca. 4 % als auch eine Vorzerkleinerung auf Partikelgrößen $\leq 355 \mu\text{m}$ erforderlich. Für die Vorzerkleinerung wurden fünf Zerkleinerungsmaschinen getestet (Ultra-Turrax, Thermomix Pürierstab, kreuzverzahnte Kolloidmühle und Korundscheibenmühle). Dabei zeigten nur der Ultra-Turrax (T25 basic, IKA-Werke GmbH) und die Korundscheibenmühle (Laborkombimühle MZ 50 A, FRYMA-Maschinenbau GmbH) eine ausreichende Zerkleinerung der Fasern, weshalb nur diese für die weiteren Versuche verwendet wurden. Die Ausbeute bei der Sprühtrocknung war insgesamt sehr gering. Bei beiden Sprühtrocknungen konnte eine Reduktion der Gesamtballaststoffe beobachtet werden (Tabelle 14, Unterkapitel Vergleich der Trocknungsmethoden), mit einer Zunahme der löslichen und einer starken Abnahme der unlöslichen Anteile. Die Partikeldurchmesser waren bei der Sprühtrocknung am geringsten, wobei die getrockneten Proben, die zuvor mit der Korundscheibenmühle vermahlen wurden (Sprühtrocknung 2), die geringsten Partikelgrößen aufwiesen. Die Gehalte an potenziell antinutritiven Substanzen waren bei beiden Sprühtrocknungen ebenfalls am höchsten (Gesamtpolyphenole: 0,07 % und 0,08 %; Phytinsäure: 1,8 % und 2,5 %).

Walzentrocknung und Vakuum-Walzentrocknung

Die Machbarkeitsstudie zur **Walzentrocknung** wurde extern an einer Technikumswalze mit Soja-Okara durchgeführt. Die Trocknung von 100% Soja-Okara war nicht möglich, da kein gleichmäßiger Produktfilm gebildet werden konnte. Daher wurde ein Trägerstoff (Maisstärke) und Wasser zugesetzt. Es wurde eine schrittweise Erhöhung der Trägerstoffzugaben von 20% bis 40% Maisstärke, entsprechend einem Anteil an 80%-60% Soja-Okara (in Trockensubstanz), getestet (Versuch 1-3,

Tabelle 12), wobei sich ab einer Zugabemenge von 30% Maisstärke ein trockenbarer Produktfilm bilden ließ.

Tabelle 12: Trocknungsparameter der Walzentrocknung von Soja-Okara (TS: Trockensubstanz).

Versuch	1	2	3
Anteil Soja-Okara in Trockensubstanz	60%	70%	80%
Rezeptur	Soja-Okara (3 kg, 17% TS), Maisstärke (0,455 kg), Wasser (2 L)	Soja-Okara (3 kg, 17% TS), Maisstärke (0,292 kg), Wasser (3,5 L)	Soja-Okara (3 kg, 17% TS), Maisstärke (0,170 kg), Wasser (4 L)
Sattdampfdruck	3 bar	2,5 bar	Keine Trocknung möglich
Kontakttemperatur	133,5 °C	127,5 °C	
Walzenumdrehungen	2,55 U/min	2,55 U/min	
Anzahl Auftragungswalzen	3	3	
Trocknungszeit	10-15 s	10-15 s	

Die Machbarkeitsstudie zur **Vakuum-Walzentrocknung** wurde extern unter Verwendung von Soja-Okara durchgeführt. Zur Erhöhung der Pumpfähigkeit wurde das Soja-Okara mit Wasser verdünnt. Die Vakuum-Walzentrocknung erfolgte im Vakuum bei 70 °C.

Die getrockneten Ballaststoffpräparate wurden hinsichtlich ihrer funktionellen Eigenschaften untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt. Bei Vergleich der walzengetrockneten Soja-Okara-Proben zeigte insbesondere das unter Vakuum getrocknete Soja-Okara ein im Vergleich zu den anderen Proben erhöhtes Wasser- und Ölbindevermögen und eine hohe Viskosität in Dispersion. Da bei den Versuchen zur Walzentrocknung ohne Vakuum Maisstärke als Trägerstoff zugegeben werden musste, sollte für die zukünftige industrielle Umsetzung die Vakuum-Walzentrocknung favorisiert werden.

Tabelle 13: Funktionelle Eigenschaften von (vakuum-)walzengetrocknetem Soja-Okara.

Versuch	Walzentrocknung, Versuch 1 (60%)	Walzentrocknung, Versuch 2 (70%)	Vakuum- Walzentrocknung
Temperatur [°C]	133,5 °C	127,5 °C	70 °C
Trocknungszeit [min]	0,3	0,3	3
Trockensubstanz [g/ 100 g]	89,4	89,0	87,7
Ölbindevermögen [ml/g]	1,75	1,74	3,50
Wasserbindevermögen [ml/g _{TS}]	6,8	8,0	10,7
Viskosität (50 s ⁻¹) [mPas]	2583	3442	13748

Vergleich der Trocknungsmethoden, Auswahl vielversprechendster Parameter und Übertragung auf einen weiteren Extraktionsrückstand

Tabelle 14 zeigt die Messdaten der unterschiedlichen Trocknungsmethoden im Vergleich zur feuchten Soja-Okara Probe und der als Referenz herangezogenen gefriergetrockneten Soja-Okara Probe sowie der Citrusfaser. Für die konvektive Bandtrocknung und die Vakuum-Bandtrocknung wurden eine Trocknungstemperatur von 65 °C und die Schütthöhe von 1 cm als vielversprechend identifiziert. Bei der Walzentrocknung wurde der Versuch mit geringerer Trägerstoffzugabe „Versuch 2, 70% Soja-Okara in Trockensubstanz“ für den Vergleich herangezogen. Die Trocknung war bei allen angewandten Methoden mit einer a_w -Wert Absenkung auf $\leq 0,5$ bzw. einer Erhöhung der Trockensubstanz auf ≥ 88 % erfolgreich. Die Trocknungszeit der (Vakuum-)Walzentrocknung war mit 3 min bzw. 0,3 min am geringsten. Das Wasserbindevermögen der Proben war für die Vakuumwalzentrocknung sowie die Bandtrocknung und die Bandtrocknung unter Vakuum mit 10,7 ml/g, 9,6 ml/g und 9,5 ml/g höher als das der Referenz Citrusfaser mit einem Wert von 8,7 ml/g. Der Viskositätswert der vakuum-walzengetrockneten Probe lag mit 13.748 mPas am höchsten und war auch höher als die Viskosität der Citrusfaser mit 10.353 mPas, während die anderen Trocknungsmethoden in deutlich geringeren Viskositätswerten resultierten. Die gefriergetrocknete Probe zeigte die längste Trocknungsdauer mit dem höchsten spez. Schüttvolumen und dem höchsten Ölbindevermögen mit 3,2 ml/g und lag damit leicht höher verglichen mit der Citrusfaser (2,9 ml/g).

Aufgrund der geringen Ausbeute und der aufwändigen Probenvorbereitung stellte die Sprühtrocknung kein wirtschaftlich attraktives Trocknungsverfahren dar. Unter den beiden in den Vergleich einbezogenen Bandtrocknungsverfahren, zeigte die konvektive Bandtrocknung sehr geringe Trocknungszeiten und die gewonnene Probe gute funktionelle Eigenschaften. Zudem erwies sich die Vakuum-Walzentrocknung aufgrund der Trocknung ohne Einsatz eines Trägerstoffs und der mit Citrusfaser vergleichbaren funktionellen Eigenschaften als besonders vielversprechend. Die konvektive

Bandtrocknung und die Vakuum-Walzentrocknung wurden daher auf die feuchte Erbseninnenfaser übertragen.

Bei der **konvektiven Bandtrocknung** der Erbseninnenfaser zeigten sich ähnliche Trocknungsverläufe mit einer ähnlichen Desorptionsisothermen wie bei Soja-Okara. Verglichen mit der Soja-Okara Probe war das Wasserbindevermögen mit 5,9 ml/g und die Viskosität mit 51 mPas geringer, obwohl der mittlere Partikeldurchmesser mit 142 µm kleiner war. Das Ölbindevermögen war mit 2,0 ml/g vergleichbar. Der Gesamtballaststoffgehalt war mit 60,0 % höher, mit einem etwas niedrigeren Gehalt löslicher Ballaststoffe von 2,0 %. Die Gesamtpolyphenole und die Phytinsäure waren mit 0,03 % und 0,2 % geringer. Der Stärkegehalt der Erbseninnenfaserprobe war mit 22 % vergleichsweise hoch. Der Proteingehalt lag bei der Erbseninnenfaser bei 13 % und der Fettgehalt bei 1 %. Bei Soja-Okara lag der Proteingehalt bei 27 % und der Fettgehalt bei 14 %. Die Aschegehalte waren mit 3 % der Erbseninnenfaser und 4 % des Soja-Okaras vergleichbar. Ballaststoffpräparate aus Soja-Okara und Erbseninnenfaser, stabilisiert mit konvektiver Bandtrocknung wurde den Projektpartner Taifun-Tofu GmbH, GoodMills Innovation GmbH und Van Hees GmbH für Applikationsversuche zur Verfügung gestellt.

Für die Vakuum-Walzentrocknung wurde die Erbseninnenfaser ebenfalls mit Wasser verdünnt und im Vakuum bei 70°C getrocknet. Die Trocknungszeit betrug ebenfalls 3 min. Der Trockensubstanzgehalt der Erbseninnenfaser konnte durch die Vakuum-Walzentrocknung auf 86 % gesteigert werden. Das Wasser- und Ölbindevermögen lag mit 8,3 mL/g_{TS} bzw. 2,8 mL/ g unter der für das auf gleiche Weise getrockneten Soja-Okara ermittelten Werte, aber in vergleichbarer Größenordnung zu Citrusfaser. Die Viskosität in Dispersion war mit 4204 mPas deutlich niedriger als die für Soja-Okara bzw. Citrusfaser ermittelten Werte.

Tabelle 14 Vergleich der unterschiedlichen Trocknungsmethoden von Soja-Okara mit Betrachtung der Trocknungszeit, der Trockensubstanz (TS), des a_w -Werts, des spezifischen Schüttvolumens, des Öl- und Wasserbindevermögens, der Viskosität in Dispersion, des mittleren Partikeldurchmessers ($D_3(50)$), der unlöslichen (IDF), löslichen (SDF) und Gesamtballaststoffe (TDF), des Gesamtpolyphenol- und Phytinsäuregehalts.

	Ungetrocknet	Gefriertrocknung	Konvektive Bandtrocknung	Vakuum- Bandtrocknung	Sprühtrocknung 1	Sprühtrocknung 2	Walzen- trocknung (70% i.TS)	Vakuun- Walzen- trocknung	Referenz Citrusfaser
Trocknungszeit [min]	0	4320	48	270	/	/	0,3	3	/
TS [g/ 100 g]	17	90	90	90	91	94	89	88	90
a_w -Wert [-]	1,0	0,4	0,4	0,5	0,3	0,2	n.b.	n.b.	0,2
spez. Schüttvolumen [ml/g]	1,0	5,7	3,9	3,7	5,5	3,1	n.b.	n.b.	4,9
Ölbindevermögen [ml/g]	4,6	3,2	2,1	2,2	3,1	0,8	1,7	3,5	2,9
Wasserbindevermögen [ml/g _{TS}]	8,0	7,5	9,6	9,5	5,8	4,3	8,0	10,7	8,7
Viskosität bei Scherrate 50 s ⁻¹ [mPas]	4927	137	1777	2327	1170	22	3.442	13.748	10.353
D ₃ (50) [µm]	432	185	218	264	165	22	n.b.	n.b.	154
IDF [%]	n.b.	51,6	49,6	50,2	32,3	16,0	n.b.	n.b.	95,6
SDF [%]	n.b.	2,9	2,6	2,7	3,5	3,4	n.b.	n.b.	0,9
TDF [%]	n.b.	54,5	52,2	53,0	35,8	19,4	n.b.	n.b.	96,5
Gesamtpolyphenole (Folin- Ciocalteu) [g/100 g]	n.b.	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	n.b.	n.b.	0,04
Phytinsäure [g/100 g]	n.b.	1,2	1,1	1,1	1,8	2,5	n.b.	n.b.	0,03

Konvektive Bandtrocknung: Konvektive Trocknung; Auftragungsmethode perforiertes Band, gesiebt; Trocknungstemperatur 65 °C, Schütthöhe 1cm; Vakuum-Bandtrocknung: Vakuum-Trocknung, Auftragungsmethode perforiertes Band, gesiebt; Trocknungstemperatur 65 °C, Schütthöhe 1 cm; Sprühtrocknung 1: Vorvermahlung mit Ultra Turrax; Sprühtrocknung 2: Vorvermahlung mit Korrundscheibenmühle; Walzentrocknung: 70% Soja-Okara in Trockensubstanz, Zugabe von 30% Maisstärke als Trägerstoff; n.b.: nicht bestimmt

Sensorik der getrockneten Proben

Ausgewählte Ballaststoffpräparate wurden humansensorisch untersucht, um die Eignung als Lebensmittelzutaten zu prüfen. Hierfür wurden fünf unterschiedlich stabilisierte Soja-Okarapräparate untereinander (Abbildung 7, oben) und Soja-Okarapräparate mit Erbseninnenfaserpräparaten (Abbildung 7, unten) verglichen. Für die Sensorik wurden 3%ige Suspensionen (w/w) hergestellt und von 10 Personen hinsichtlich Geruch, Geschmack und Mundgefühl auf einer Skala von 0 bis 5 bewertet. Die meisten Merkmale wurden mit weniger als 3 Punkten (0 = nicht erkennbar, 1 = schwach erkennbar, 2 = schwach, 3 = deutlich) bewertet. Dies zeigt, dass die Proben relativ geruchs- und geschmacksneutral sind. Zudem unterschieden sich die Proben nicht wesentlich voneinander.

Bei den unterschiedlichen Stabilisierungsmethoden von Soja-Okara (Abbildung 7, oben) hoben sich zwei Proben von den anderen ab: Die bei 200 °C konvektiv getrocknete Probe (dunkelblaue Farbgebung in der Abbildung) hatte einen deutlich röstigeren Geschmack und Geruch im Vergleich zu den anderen Proben. Des Weiteren war die mit der Korundscheibenmühle gemahlene und sprühgetrocknete Probe (hellblaue Farbgebung in der Abbildung) kaum sandig und deutlich cremiger im Mundgefühl als die anderen Proben. Dies kann auf die feine Vermahlung zurückgeführt werden. Bei dem Vergleich mit der Erbseninnenfaser (Abbildung 7, unten) zeigte die schonend gefriergetrocknete Erbseninnenfaser (hellgraue Farbgebung in der Abbildung) einen stärkeren grün-grasigen Geruch und Geschmack im Vergleich zu den anderen Proben.

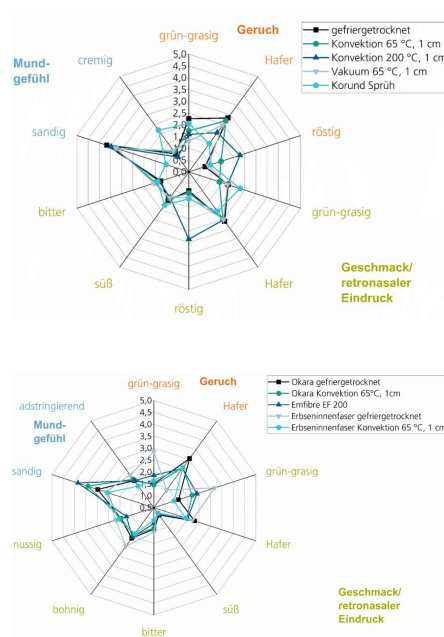


Abbildung 7 Sensorische Charakterisierung von Ballaststoffpräparaten (n=10). Oben: Vergleich der Trocknungsverfahren mit Soja-Okara; unten: Vergleich von Präparaten aus Soja-Okara und Erbseninnenfaser

AP 4: Modifikation von Leguminosen-Ballaststoffen mittels Extrusion

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Nutzung der Extrusion als Funktionalisierungsschritt der Schalen und Extraktionsrückstände/ Okara. Weiterhin sollte die Einbindung der Extrusion in die entwickelten Prozessketten der Stabilisierung (AP2) und Trocknung (AP3) geprüft werden. Im folgenden Abschnitt werden Ergebnisse zum Einfluss der Veränderung der Prozessvariationen (Temperatur, Schneckendrehzahl, Feuchtegehalt) auf die Mikrobiologie, die Zusammensetzung, die funktionellen Eigenschaften und die Sensorik der Ballaststoffpräparate gezeigt.

Die Extrusion erfolgte mit einem gleichlaufenden, ineinandergreifenden Doppelwellen-Extruder (ZSK 26, Coperion GmbH). Der Schneckendurchmesser beträgt 2,6 cm, das Längen-Durchmesserverhältnis 25:1.

Modifikationsversuche zu Schalen

Die Modifikation der Schalen wurde beispielhaft mit der Erbsenschale durchgeführt. Die gelben Erbsenschalen wurden über einen gravimetrischen Dosierer (DDW-MD5- DSR67-35, Brabender Technologie GmbH & Co. KG) und das benötigte Wasser über eine Kolbenpumpe (FD-DKMP-6, Brabender Technologie GmbH & Co. KG) zugegeben. Die Schalen wurden durch unterschiedliche Variationen der Temperatur (80 °C, 121 °C), der Schneckendrehzahl (300 rpm, 700 rpm) und des Feuchtegehalts (20%, 30%, 40%) während des Extrusionsprozesses modifiziert. Das modifizierte Präparat wurde anschließend auf $\leq 0,5$ mm in der Ultra-Zentrifugalmühle (Retsch GmbH) vermahlen. Im Gesamten wurden 9 modifizierte Schalenpräparate und das unbehandelte Schalenpräparat miteinander verglichen.

Durch die Extrusion der Erbsenschalen konnte eine Reduktion der **aeroben Gesamtkeimzahl**, der **Hefen** und **Schimmelpilze** auf <100 KBE/g bei allen Prozessvariationen erreicht werden, womit die modifizierten Erbsenschalen ein mikrobiologisch sicheres Lebensmittel darstellen. Der **a_w -Wert** der modifizierten Schalenpräparate lag zwischen 0,5 bis 1,0 (Tabelle 15). Um gute Haltbarkeits- und Lagereigenschaften zu erzielen, ist daher eine Nachtrocknung erforderlich. Die potenziell antinutritiven Substanzen, besonders die **Tannine** und **Phytinsäure**, wurden durch die Extrusion signifikant verringert (Tabelle 15). Die **Gesamtpolyphenole** wurden um mindestens das Zweifache, und die kondensierten Tannine um das bis zu Zwölffache reduziert.

Tabelle 15 Trockensubstanz (TS), antinutritive Substanzen – Gesamtpolyphenole, kondensierten Tannine und Phytinsäure – bezogen auf die Trockensubstanz, sowie a_w -Wert der Ballaststoffpräparate aus unbehandelter und mittel Extrusion (Extr) modifizierter Erbsenschalen; (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung).

Modifiziertes Erbsenschalenpräparat	TS [%]	Gesamtpolyphenole (Folin-Ciocalteu) [g/100 g _{TS}]	Kond. Tannine (Vanillin-HCl) [g/100 g _{TS}]	Phytinsäure [g/100 g _{TS}]	a_w [-]
unbehandelt	89,2 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,1	12,1 $\pm$ 0,3	0,21 $\pm$ 0,00	0,2 $\pm$ 0,0
1 Extr, 80°C, 40%, 700rpm	73,7 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,1	0,05 $\pm$ 0,01	1,0 $\pm$ 0,0
2 Extr, 80°C, 40%, 300rpm	71,8 $\pm$ 1,3	1,1 $\pm$ 0,0	0,9 $\pm$ 0,1	0,03 $\pm$ 0,01	1,0 $\pm$ 0,0
3 Extr, 80°C, 30%, 300rpm	84,9 $\pm$ 1,1	1,1 $\pm$ 0,1	5,5 $\pm$ 0,1	0,03 $\pm$ 0,01	0,8 $\pm$ 0,0
4 Extr, 121°C, 40%, 700rpm	78,5 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,0	6,0 $\pm$ 0,3	0,13 $\pm$ 0,01	0,9 $\pm$ 0,0
5 Extr, 121°C, 40%, 300rpm	74,8 $\pm$ 0,7	1,3 $\pm$ 0,0	8,5 $\pm$ 0,3	0,08 $\pm$ 0,02	1,0 $\pm$ 0,0
6 Extr, 121°C, 30%, 700rpm	84,6 $\pm$ 0,3	1,0 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,8	0,14 $\pm$ 0,02	0,8 $\pm$ 0,0
7 Extr, 121°C, 30%, 300rpm	84,7 $\pm$ 0,6	1,1 $\pm$ 0,0	4,5 $\pm$ 0,0	0,10 $\pm$ 0,00	0,8 $\pm$ 0,0
8 Extr, 121°C, 20%, 700rpm	90,4 $\pm$ 0,6	0,7 $\pm$ 0,0	3,6 $\pm$ 0,2	0,15 $\pm$ 0,00	0,5 $\pm$ 0,0
9 Extr, 121°C, 20%, 300rpm	89,3 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,0	2,9 $\pm$ 0,6	0,15 $\pm$ 0,01	0,6 $\pm$ 0,0

Die **Farbe** der modifizierten Ballaststoffpräparate war geringfügig dunkler, röter, und gelber im Vergleich zur unbehandelten Erbsenschale. Am stärksten war die Abweichung bei den Extrudaten mit dem geringsten Wasseranteil von 20% ausgeprägt.

Die Behandlung mittels Extrusion bewirkte in Abhängigkeit der Verfahrensparameter eine Modifikation der **Ballaststoffzusammensetzung**. Teilweise konnte der Anteil an löslichen Ballaststoffen der modifizierten Schalenpräparate im Vergleich zum unbehandelten Präparat erhöht werden (Tabelle 16). Gleichzeitig reduzierte sich der Anteil an unlöslichen Ballaststoffen. Das **Wasser- und Ölbindevermögen** der modifizierten Präparate unterschied sich nur geringfügig von dem unbehandelten Präparat. Die **Viskosität** in wässriger Dispersion der modifizierten Proben verringerte sich durch die Extrusion, jedoch in geringerem Umfang im Vergleich zu den stabilisierten Schalenpräparaten (vgl. AP 2). Der Grund dafür könnten die leicht erhöhten Gehalte an löslichen Ballaststoffen sein, die zu höheren Viskositäten führen können.

Tabelle 16 Gehalte an wasserlöslichen- (SDF), wasserunlöslichen- (IDF) und Gesamtballaststoff (TDF), sowie die funktionellen Eigenschaften mit Wasser- (Wabi) und Ölbindevermögen (Öbi) und Viskositätswerte bei einer Scherrate von 50 s⁻¹ der Ballaststoffpräparate aus unbehandelter und mittel Extrusion (Extr) modifizierter Erbsenschalen; (Mittelwert ± Standardabweichung)

Modifiziertes Erbsenschalenpräparat	SDF [g/ 100 g _{TS}]	IDF [g/ 100 g _{TS}]	TDF [g/ 100 g _{TS}]	Öbi [mL/ g]	Wabi [mL/ g _{TS}]	Viskosität bei Scherrate 50 s ⁻¹ [mPa s]
unbehandelt	6,3 ± 0,2	81,5 ± 0,6	87,8 ± 0,5	1,4 ± 0,0	4,4 ± 0,1	192 ± 42
1 Extr, 80°C, 40%, 700rpm	7,2 ± 0,5	78,3 ± 0,2	85,5 ± 0,6	1,6 ± 0,0	4,0 ± 0,1	60 ± 5
2 Extr, 80°C, 40%, 300rpm	6,5 ± 0,2	74,2 ± 1,4	80,7 ± 1,5	1,6 ± 0,1	4,1 ± 0,1	56 ± 26
3 Extr, 80°C, 30%, 300rpm	5,9 ± 0,3	72,0 ± 1,0	77,9 ± 1,0	1,5 ± 0,0	4,1 ± 0,1	43 ± 17
4 Extr, 121°C, 40%, 700rpm	7,8 ± 0,2	77,9 ± 0,4	85,7 ± 0,8	1,6 ± 0,0	4,0 ± 0,1	55 ± 14
5 Extr, 121°C, 40%, 300rpm	6,1 ± 0,2	77,6 ± 0,8	83,7 ± 0,8	1,6 ± 0,0	3,9 ± 0,1	28 ± 6
6 Extr, 121°C, 30%, 700rpm	6,4 ± 0,2	72,4 ± 0,8	78,8 ± 0,9	1,6 ± 0,0	3,6 ± 0,0	27 ± 6
7 Extr, 121°C, 30%, 300rpm	5,7 ± 0,0	73,8 ± 1,2	79,5 ± 1,2	1,5 ± 0,0	3,9 ± 0,1	43 ± 11
8 Extr, 121°C, 20%, 700rpm	10,0 ± 0,3	74,5 ± 0,4	84,5 ± 0,8	1,3 ± 0,0	3,3 ± 0,0	22 ± 4
9 Extr, 121°C, 20%, 300rpm	7,1 ± 0,1	72,2 ± 0,3	79,2 ± 0,3	1,5 ± 0,0	3,6 ± 0,0	24 ± 7

Sensorische Analysen der stabilisierten und modifizierten Schalenpräparate

Die Schalenpräparate wurden hinsichtlich ihrer sensorischen Eigenschaften untersucht, um die Akzeptanz als potenzielle Lebensmittelzutaten zu prüfen. Sechs ausgewählte stabilisierte oder modifizierte Schalenpräparate und das unbehandelte Schalenpräparat wurden von zwölf Personen hinsichtlich geruchlichen, sowie retronasalen und geschmacklichen Eigenschaften untersucht. Dafür wurden 2%ige wässrige Suspensionen aus den jeweiligen Schalenpräparaten hinsichtlich ihrer Intensität mit einer 10 Punkte-Skala bewertet, welche mit Zunahme der Merkmalausprägung anstieg.

Insgesamt zeigten sich keine sehr starken sensorischen Veränderungen im Vergleich zur unbehandelten Probe (Abbildung 8). Der Geschmack kräuter-teeartig, welcher stark bei der unbehandelten Probe wahrgenommen wurde, nahm durch die Behandlungen ab. Lange und hohe Hitzeeinwirkung (30 min bei 120 °C) im Trockenen oder Feuchten ohne zusätzlichen Druck führten zu einer Zunahme der Geruchs- und Geschmackseigenschaften von fruchtig und nussig. Die Behandlung bei einer geringen Temperatur von 80 °C und Feuchte von 100% führte zu einer niedrigen Geruchs- sowie Geschmacksausprägung der Probe. Für eine ausreichende Akzeptanz von potenziellen Lebensmittelzutaten sind sensorisch neutrale Produkte anzustreben, womit das ausgewählte stabilisierte Schalenpräparat 5 (80 °C, 5 min, 100% Feuchte) auch sensorisch betrachtet für den Einsatz als Lebensmittelzutat geeignet war.

Insgesamt zeigte sich, dass die Extrusion mit Nachtrocknung als alternatives Haltbarmachungsverfahren zur milden hydrothermischen Behandlung der Schalenpräparate

eingesetzt werden kann. Aufgrund des höheren Energiebedarfs ist jedoch eine Behandlung durch hydrothermische Behandlung vorteilhaft für die industrielle Implementierung.

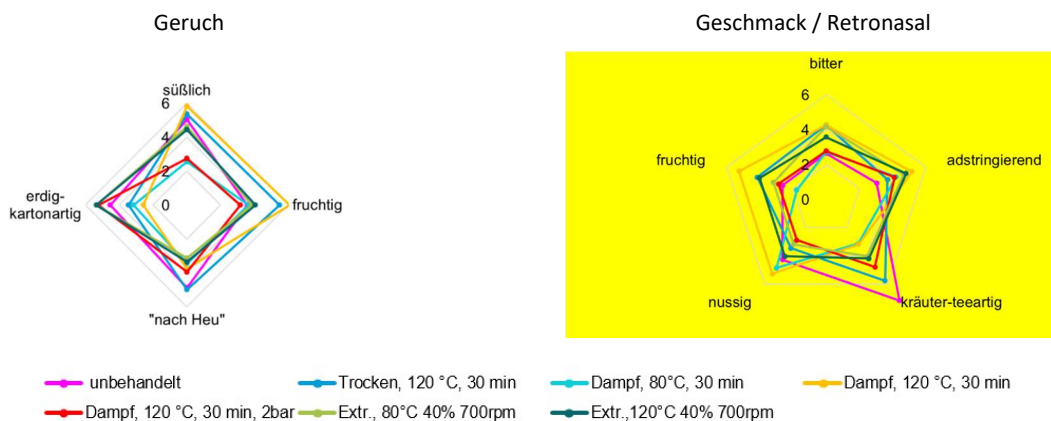


Abbildung 8 Sensorische Charakterisierung hinsichtlich geruchlichen, sowie retronasalen und geschmacklichen Eigenschaften ausgewählter stabilisierter und modifizierter Erbsenschalenpräparate im Vergleich zu unbehandeltem Erbsenschalenpräparat. Gezeigt sind die Mittelwerte.

Modifikationsversuche zu Okara

Es wurde der Einfluss der Prozessvariationen der Temperatur (80 °C, 120 °C, 140 °C, 160 °C und 180 °C) und Schneckendrehzahl (180 rpm, 300 rpm und 700 rpm) auf die chemische Zusammensetzung und die funktionellen Eigenschaften beispielhaft an feuchtem Soja-Okara untersucht. Die gewonnenen Extrudate wurde bei 65 °C auf eine TS ≥ 90 % nachgetrocknet und anschließend auf $\leq 0,5$ mm vermahlen. Zum Vergleich wurde eine Nullprobe angefertigt, welche nicht-extrudiert und nur nachgetrocknet (65 °C, 4 h) wurde. Im Gesamten wurden 18 extrudierte Proben mit der Nullprobe und der gefriergetrockneten Probe verglichen. Es konnte lediglich eine geringfügige Vortrocknung durch die Extrusion erreicht werden. Dabei lag die Trockensubstanz der unbehandelten Probe bei 17 % und bei den extrudierten Proben zwischen 18 % und 23 %. Jedoch konnte keine signifikante Verbesserung der Funktionalität durch die Extrusion erreicht werden (Tabelle 17). Auf Basis dieser Untersuchungen eignet sich die Extrusion nicht als Modifikationsverfahren des feuchten Extraktionsrückstands. Vermutlich war die Feuchtigkeit des Soja-Okaras zu hoch, um einen hohen spezifischen mechanischen Energieeintrag zu erreichen.

Daher wurden über den ursprünglichen Projektplan hinaus weitere Extrusionsversuche mit bandgetrocknetem Soja-Okara, getrockneter Ackerbohneninnenfaser und Erbseninnenfaser durchgeführt. Die Extrusion erfolgte bei 40% Feuchte, 700 rpm, unter Variation der Temperatur 120 bzw. 140 °C. Während die Trockenextrusion bei Soja-Okara (Tabelle 17) und Erbseninnenfaser (Tabelle 5) eine leichte Verbesserung Viskosität zeigte, wurde das Wasser- und Ölbindevermögen durch die Extrusion verringert. Aufgrund des im Vergleich zu optimierten Trocknungsverfahren geringen Potentials zur Verbesserung funktioneller Eigenschaften und des zusätzlichen prozesstechnischen Aufwands, zeigte sich die Extrusion als gezielte Modifikation daher als nicht wirtschaftlich attraktiv.

Tabelle 17 Vergleich der Zusammensetzung und Eigenschaften modifizierter Ballaststoffpräparate aus Soja-Okara, Ackerbohnen- und Erbseninnenfaser; Trockensubstanz: TS; Gesamtballaststoffe: TDF; Unlösliche Ballaststoffe: IDF; Lösliche Ballaststoffe: SDF.

	Soja-Okara					Ackerbohneninnenfaser		Erbseninnenfaser	
	Gefriertrocknung	Nullprobe	Extrusion des feuchten Okara	Extrusion des bandgetrockneten Okara*		Extrusion des industriell getrockneten Extraktionsrückstands		Extrusion des industriell getrockneten Extraktionsrückstands	
Feuchte [%]	Nicht extrudiert	Nicht extrudiert	83	40	40	40	40	40	40
Schneckenendrehzahl [rpm]	Nicht extrudiert	Nicht extrudiert	180 - 700	700	700	700	700	700	700
Temperatur [°C]	Nicht extrudiert	Nicht extrudiert	80 - 180	120	140	120	140	120	140
Nachtrocknung	Nicht erfolgt	65 °C, 4 h	65 °C, 7 h	65 °C, 2 h	65 °C, 2 h	65 °C, 2 h	65 °C, 2 h	65 °C, 2 h	65 °C, 2 h
TS [g/ 100 g]	90	94	92 – 94	95	94	93	92	92	93
a _w -Wert [-]	0,4	0,2	0,2 - 0,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Spez. Schüttvolumen [ml/g]	5,7	3,5	3,0 - 3,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ölbindevermögen [ml/g]	3,2	1,9	1,7 - 1,9	0,9	1,5	1,0	1,0	1,0	1,1
Wasserbindevermögen [ml/g _{TS}]	7,5	8,2	6,7 - 8,2	6,4	7,9	2,9	2,9	5,6	4,5
Viskosität [mPas]	137	543	100 - 550	2.800	5.150	165	35	5.550	1.700
SDF [g/ 100 g _{TS}]	3	n.b.	1,9 – 2,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
IDF [g/ 100 g _{TS}]	52	n.b.	48 - 52	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
TDF [g/ 100 g _{TS}]	55	n.b.	52 - 55	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Gesamtpolyphenole (Folin-Ciocalteu) [g/100 g _{TS}]	0,06	n.b.	0,06	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Phytinsäure [g/100 g _{TS}]	1,2	n.b.	1,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

n.b.: nicht bestimmt; *: Trocknung mittels konvektiver Bandtrocknung, (gesiebt, Schichtdicke 1 cm, 65 °C, 15 h)

Sensorische Analysen der stabilisierten und modifizierten Okara-Präparate

Ausgewählte Ballaststoffpräparate wurden wiederum humansensorisch untersucht, um die Eignung als Lebensmittelzutat zu prüfen. Hierfür wurden ein gefriergetrocknetes (Referenz), ein mittels konvektiver Bandtrocknung stabilisiertes, sowie ein extrudiertes Soja-Okarapräparat (Extrusion des feuchten Okara bei 180 °C, 180 rpm) verglichen. Für die Sensorik wurden 3%ige Suspensionen (w/w) hergestellt und von 10 Personen hinsichtlich Geruch, Geschmack und Mundgefühl auf einer Skala von 0 bis 5 bewertet. Die meisten Merkmale wurden mit weniger als 3 Punkten (0 = nicht erkennbar, 1 = schwach erkennbar, 2 = schwach, 3 = deutlich) bewertet. Dies zeigt, dass die Proben relativ geruchs- und geschmacksneutral sind. Zudem unterschieden sich die Proben nicht wesentlich voneinander.

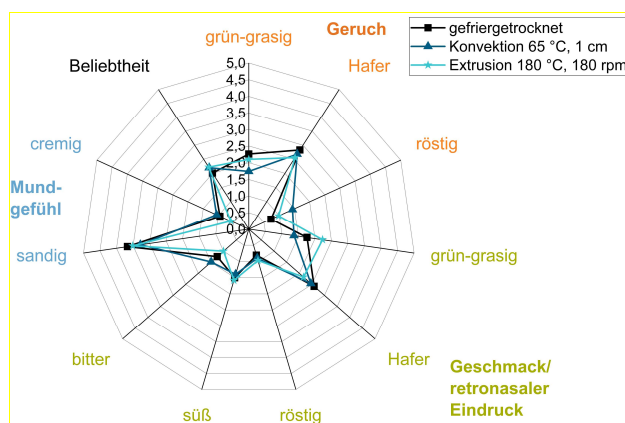


Abbildung 9: Sensorische Charakterisierung von Ballaststoffpräparaten. Vergleich gefriergetrockneter, konvektiv bandgetrockneter und extrudierter Soja-Okara Präparate.

AP 5: Abschätzung der Lagerstabilität

Die Abschätzung der Lagerstabilität erfolgte anhand von 5 Ballaststoffpräparaten: Ackerbohnschale, Erbsenschale, Schalenmischfraktion, Soja-Okara und Erbseninnenfaser. Die Ballaststoffpräparate wurden vor der Lagerung gemäß der in AP 2 und AP 4 ausgewählten Stabilisierungsverfahren behandelt: Schalen wurden hydrothermisch für 5 min bei 80 °C und 100 % Luftfeuchtigkeit behandelt. Soja-Okara und Erbseninnenfaser wurden mittels konvektiver Bandtrocknung (gesiebt, Schichtdicke 1 cm, 65 °C, Trocknung bis 90% Trockensubstanz) getrocknet. Im Anschluss wurden alle Präparate mittels Zentrifugalmühle $\leq 0,5$ mm vermahlen.

Um die möglichen Veränderungen der Ballaststoffpräparate während der Lagerung zu beobachten wurde ein Lagerversuch der Ballaststoffpräparate mit anschließender Analytik durchgeführt. Die fünf Ballaststoffpräparate wurden in Weckgläsern mit Datenloggern von EFENTO luftdicht verschlossen und im Temperaturschrank bei 45 °C für 13 Wochen gelagert. Gemäß der Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel entspricht dies einer Lagerdauer von 52 Wochen bei 25 °C (Westphal et al. 1996). Die Datenlogger zeichneten jede Stunde die Temperatur, die Feuchtigkeit und den Druck auf. Die

Probenahme erfolgte wöchentlich und der Druckunterschied zwischen den Messpunkten wurde berechnet und summiert. Der Farbwert der entnommenen Proben wurde bestimmt. Im Anschluss wurden die Proben luft- und blickdicht verpackt und bei -20 °C bis zur weiteren Analyse der Hexanalkonzentration gelagert.

Der Verlauf der Druckabnahme über die Lagerdauer bei 45 °C ist in Abbildung 10 dargestellt. Durch die Berechnung des Druckunterschieds kann beobachtet werden, ob Gas in der Luft durch Stoffwechselvorgänge aufgenommen oder abgegeben wird.

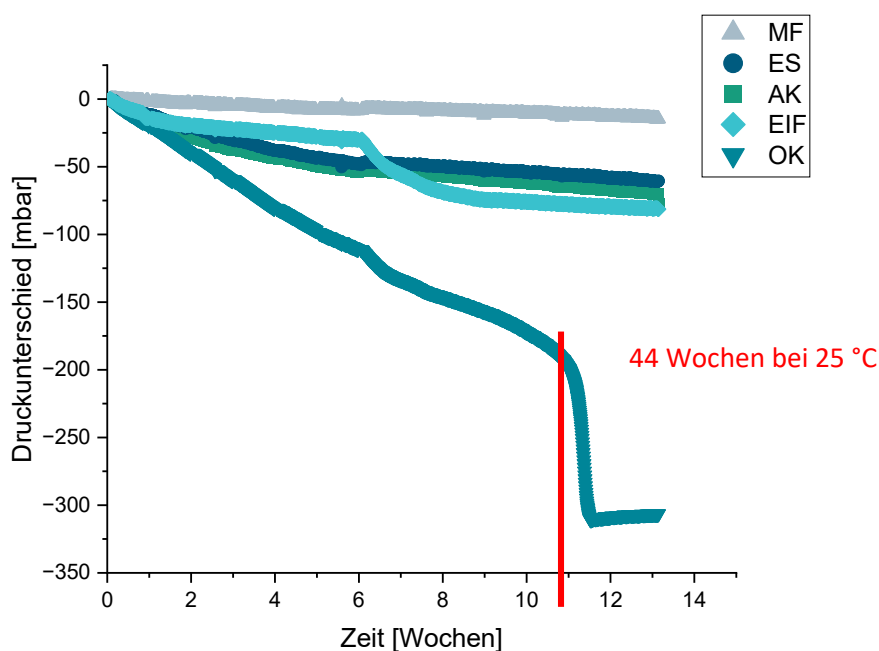


Abbildung 10: Druckunterschied während der Lagerung der Ballaststoffpräparate Ackerbohenschale (AK), Erbsenschale (ES), Schalenmischfraktion (MF), Soja-Okara (OK) und Erbseninnenfaser (EIF) bei 45 °C (eine Woche Lagerung bei 45 °C entspricht 4 Wochen Lagerung bei 25 °C).

Ackerbohenschale, Erbsenschale und die Schalenmischfraktion zeigten einen linearen Druckabfall, während Erbseninnenfaser in Woche 6 und Soja-Okara ab Woche 11 stärkere Abfälle verzeichneten. Der zu Beginn beobachtete lineare Verlauf entspricht der Induktionsphase der Autoxidation (Matissek und Baltes 2016), in der die Peroxide gebildet werden (Quast und Karel 1972). Die exponentielle Druckabnahme bei Soja-Okara deutet auf fortschreitende Fettoxidation hin, was durch eine Plateauphase nach Woche 12 bestätigt wird.

Der a_w -Wert von Schalenmischfraktion (0,6) und Erbseninnenfaser (0,1) weist auf ein erhöhtes Risiko für Fettoxidation hin, während die übrigen Präparate mit Werten zwischen 0,2 und 0,4 ein geringes Risiko aufzeigen (Matissek und Baltes 2016). Soja-Okara, mit dem höchsten Fettgehalt (18,1 %) und einem geringen Gehalt an phenolischen Antioxidantien, zeigte die geringste Lagerstabilität. Ackerbohenschale und Erbsenschale, mit niedrigem Fettgehalt und hohen Mengen phenolischer Verbindungen, wiesen eine längere Stabilität auf. Da die Lagerung von fetthaltigen Lebensmitteln auf

die Induktionsphase beschränkt ist, in der der sensorische Wert noch akzeptabel ist (Rahman 2007) wird für Soja-Okara eine maximale Lagerdauer von umgerechnet 44 Wochen bei 25 °C unter den untersuchten Bedingungen empfohlen. Wird das Ballaststoffpräparat bei einer niedrigeren Temperatur gelagert oder unter Licht- und Sauerstoffausschluss, verlängert sich die mögliche Lagerdauer entsprechend (Kilcast und Subramaniam 2000; Westphal et al. 1996). Bei den restlichen Ballaststoffpräparaten befindet sich die Autoxidation noch in der Induktionsphase und eine Lagerung bis mindestens 52 Wochen bei 25 °C kann empfohlen werden (Rahman 2007; Kilcast und Subramaniam 2000; Westphal et al. 1996).

Die Darstellung der Farbunterschiede ΔE ist in Abbildung 6 gezeigt.

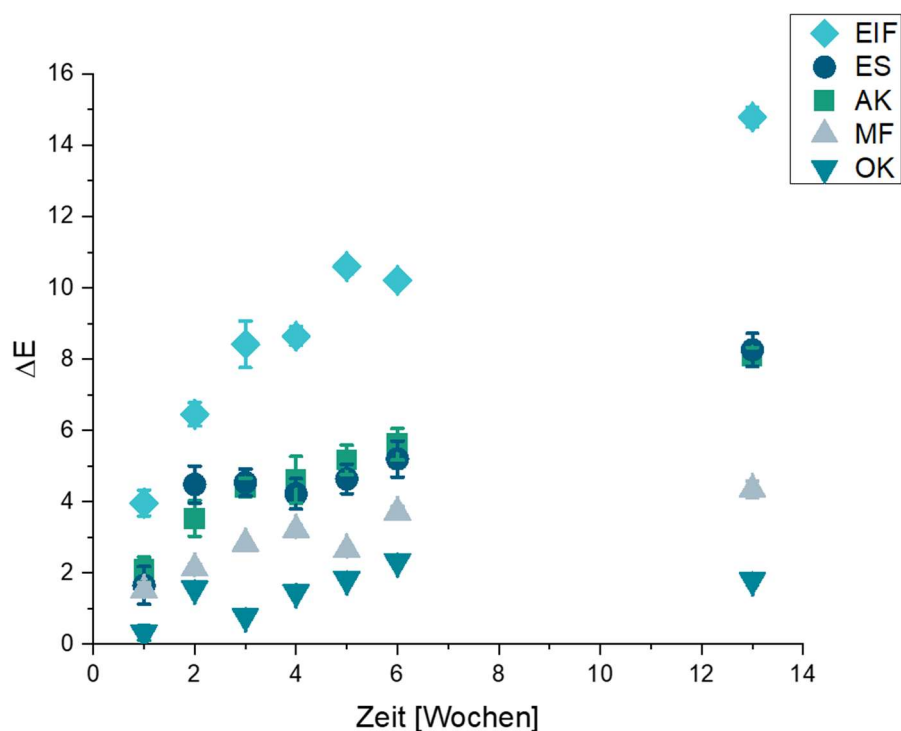


Abbildung 11: Farbunterschied ΔE der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK) und Erbseninnenfaser (EIF) während der Lagerung bei 45 °C im Vergleich zu den Werten aus Woche 0.

Soja-Okara zeigte die geringsten Farbabweichungen, während Erbseninnenfaser die stärksten Farbveränderungen aufwies. Farbänderungen können auf Maillard-Reaktionen oder die Bräunungsreaktion der Fettoxidation und nicht auf die Maillard-Reaktion zurückzuführen. Dabei reagieren Folgeprodukte der Hydroperoxide mit Proteinen (Belitz et al. 2008).

Der Hexanalgehalt, ein Marker für Fettoxidation, wurde zu Beginn und nach sechs Wochen gemessen (Abbildung 12).

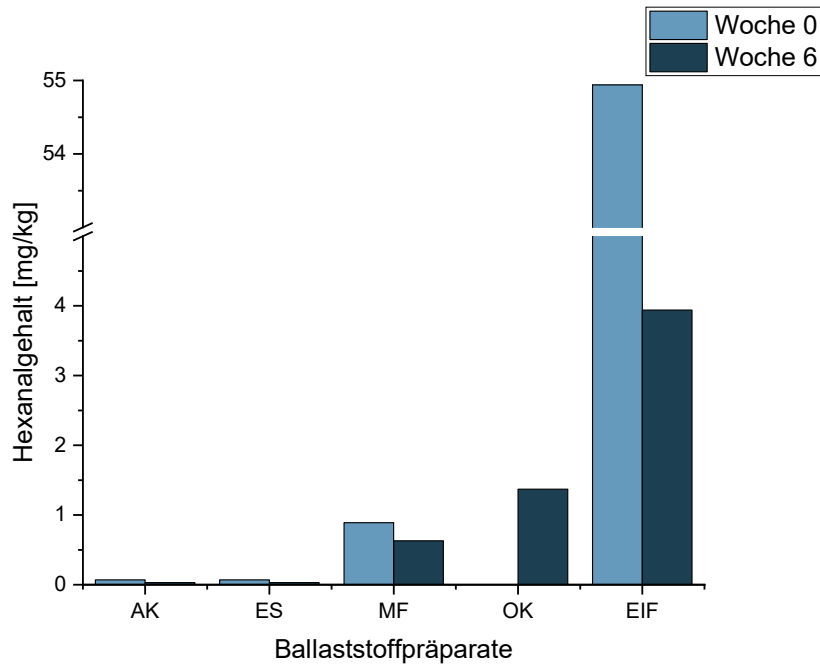


Abbildung 12: Hexanalgehalt der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK) und Erbseninnenfaser (EIF) nach 0 und 6 Wochen Lagerung bei 45 °C.

Ackerbohnen- und Erbsenschale sowie Schalenmischfraktion zeigten eine Abnahme des Hexanalgehalts, was auf einen Rückgang der flüchtigen Verbindungen hindeutet. Bei Soja-Okara stieg der Hexanalgehalt an, was auf eine fortschreitende Fettoxidation hinweist. Erbseninnenfaser zeigte zu Beginn einen hohen Hexanalgehalt, der nach sechs Wochen deutlich abnahm. Die Aromabeschreibung von Hexanal lautet: grüne Erbse, Gras (Xu et al. 2019) und ist Teil des Aromaprofils in Erbsenproteinisolat (Fischer et al. 2021).

AP 6: Anwendung der Leguminosenballaststoffe in Modell-Lebensmitteln

Um die Eignung der Ballaststoffpräparate als Lebensmittelzutat zu testen, wurden Applikationsversuche mit feinen Backwaren (Modellrezeptur für Rührkuchen) sowie backstabile Füllungen (Modellrezeptur für Pudding) durchgeführt.

Anwendung der Leguminosenballaststoffe in Rührkuchen

Die Ballaststoffe wurden mit 15 bis 25% des Mehlsanteils in Rührkuchen eingesetzt. Es zeigte sich, dass mit zunehmender Zugabe von Ballaststoffen das spezifische Kuchenvolumen abnahm (Abbildung 13).

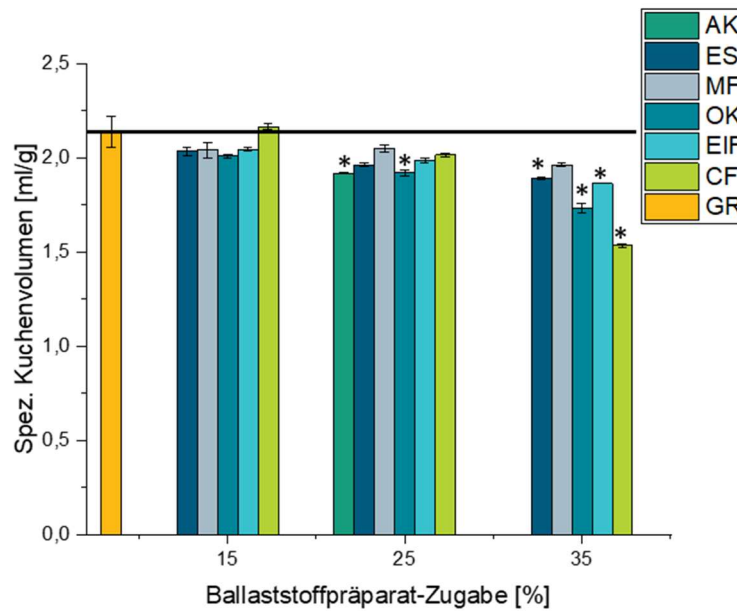


Abbildung 13: Spezifisches Kuchenvolumen bei Ersatz von 15 %, 25 % und 35 % der Mehlmenge eines Kuchens mit den Ballaststoffpräparaten Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept (GR); * es besteht ein signifikanter Unterschied zum Grundrezept; Signifikanzlevel = 0,05.

Eine Ausnahme bildete die Zugabe von 15 % Citrusfaser mit einem spezifischem Volumen von 2,17 ml/g, das minimal über dem der Basisrezeptur von 2,14 ml/g lag. Bei der Schalenmischfraktion war die Abnahme des spezifischen Volumens mit steigender Zugabe am geringsten, während bei der Citrusfaser die größte Abnahme beobachtet wurde. Bei Ackerbohnschalen und Soja-Okara zeigten sich signifikante Unterschiede ab einer Zugabe von 25 %, bei Erbsenschalen, Erbsenfaser und Citrusfaser ab einer Zugabe von 35 %.

Auch die Textur der Kuchen veränderte sich: Mit zunehmender Ballaststoffkonzentration nahm die Härte zu, wobei die stärkste Zunahme bei Citrusfaser und die geringste bei der Schalenmischfraktion beobachtet wurde. Auch die Gummiartigkeit nahm zu, insbesondere bei Extraktionsrückständen wie Soja-Okara, Erbseninnenfaser und bei der Referenz Citrusfaser. Die Elastizität zeigte dagegen keinen eindeutigen Trend.

Die Farbunterschiede waren bei Ackerbohnschale und Erbsenschale am deutlichsten, während Soja-Okara, Erbseninnenfaser und Citrusfaser geringere Farbabweichungen aufwiesen (Abbildung 14).

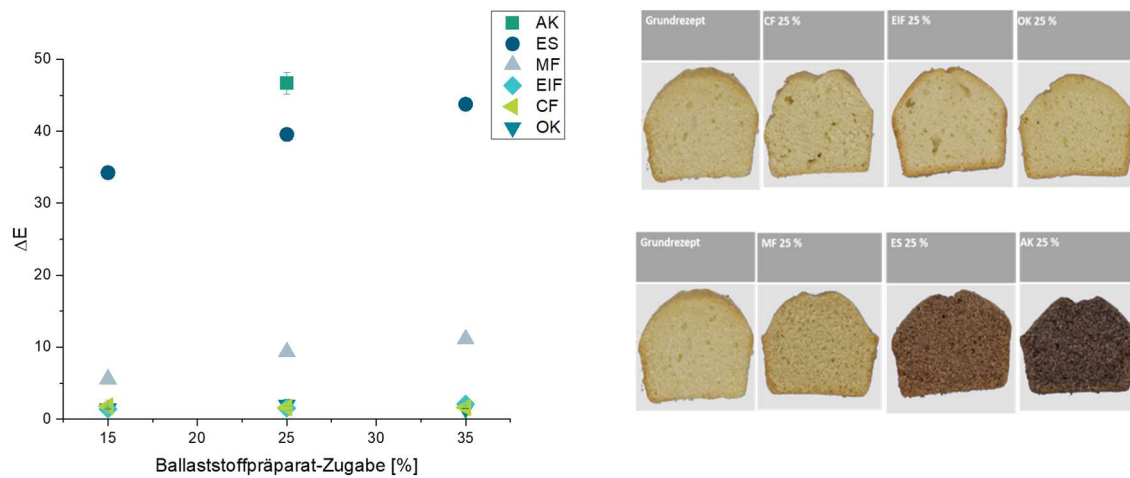


Abbildung 14: Links: Farbunterschied ΔE bei Kuchen mit 15 %, 25 % und 35 % Ersatz der Mehlmenge durch die Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF) im Vergleich zu dem Grundrezept. Rechts: Abbildungen der Rührkuchen bei 25% Ballaststoff-Zugabe im Vergleich zum Grundrezept.

Bei der sensorischen Bewertung wurden zunächst Geschmack und Mundgefühl/ Textur berücksichtigt (Abbildung 15, links). Das Grundrezept schnitt in allen Kategorien gut ab. Erbsenschalen und Soja-Okara wurden geschmacklich am besten bewertet, während Ackerbohnschalen und die Schalenmischfraktion als leicht unangenehm empfunden wurden. Beim Mundgefühl wurde der Zusatz von Soja-Okara alleinig als positiv bewertet, während die Zugabe von Ackerbohnschale als unangenehm empfunden wurde. Zusätzlich zeigte sich in einer Profilprüfung (Abbildung 15, rechts), dass die Schalenmischfraktion einen deutlichen heuartigen Eindruck erzeugte, während alle Rezepturen mit Ballaststoff-Zusatz einen schwach wahrnehmbaren erdig/muffigen und bohnenartigen Geschmack aufwiesen, insbesondere die Schalenmischfraktion. Auffällig war zudem der sandig/ griesige Eindruck durch Ackerbohnen- und Erbsenschalenzugabe.

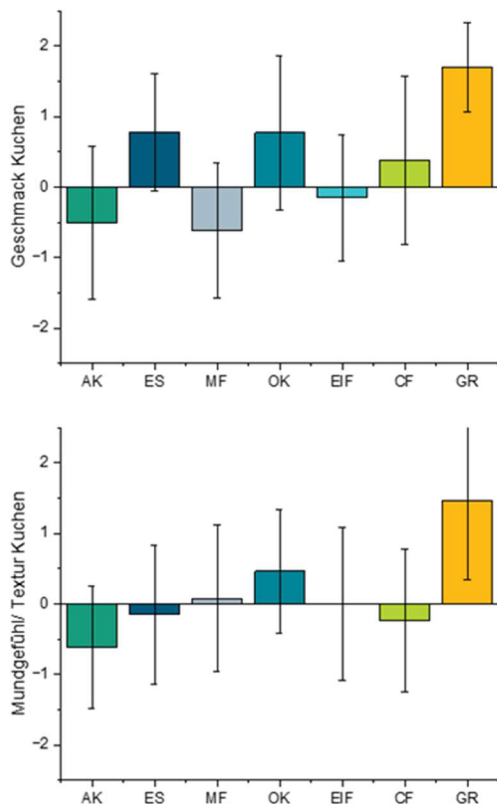


Abbildung 15: Links: Geschmack und Mundgefühl/ Textur von Rührkuchen mit 25 % Ersatz der Mehlmenge mit den Ballaststoffpräparaten Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF) im Vergleich zu dem Grundrezept (GR). -2 = unangenehm; -1 = leicht unangenehm; 0 = neutral; 1 = leicht angenehm; 2 = angenehm. Rechts: Profilprüfung von Rührkuchen mit 25 % Ersatz der Mehlmenge mit den Ballaststoffpräparaten; 1 = nicht vorhanden, 2 = schwach wahrnehmbar, 3 = deutlich wahrnehmbar, 4 = stark wahrnehmbar.

Anwendung der Leguminosenballaststoffe in backstabilen Füllungen

Die Applikation in den backstabilen Füllungen auf Stärkebasis erfolgte mit 0 %, 0,5 %, 2 %, 5 % und 10 % Zugabe der Ballaststoffpräparate. Die Herstellung wurde im RVA (Rapid Visco Analyzer) durchgeführt, wobei zeitgleich die Verkleisterungstemperatur, Peak-Viskosität, Peak-Zeit, Breakdown, Setback und finale Viskosität gemessen wurden. Der Kurvenverlauf der **RVA-Messung** der backstabilen Füllung mit 2 % Ballaststoffzugabe ist exemplarisch in Abbildung 16 dargestellt.

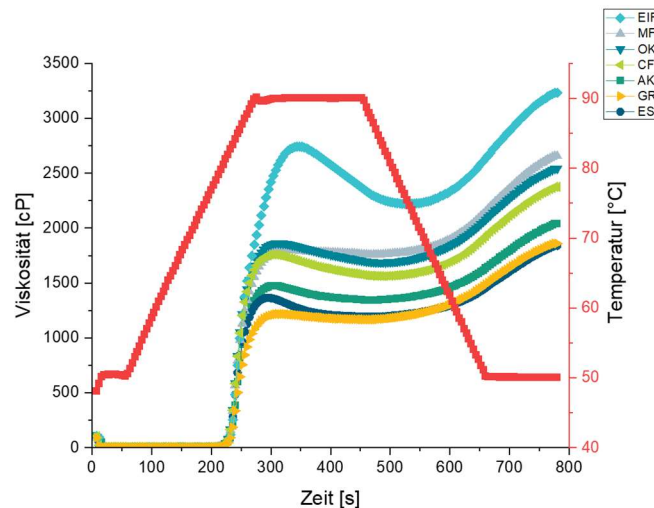


Abbildung 16: Viskositätsänderung der backstabilen Füllung mit 2 % Zugabe der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept (GR) während der Herstellung im RVA.

Bis zu einer Zugabe von 0,5 % zeigten Erbsenschalen, Schalenmischfraktion, Soja-Okara, Zitrusfaser und 2 % Ackerbohnschalen keine signifikanten Unterschiede zur Grundrezeptur. Der Zusatz von Erbseninnenfasern zeigte die größten Unterschiede, gefolgt von der Zugabe der Schalenmischfraktion, des Soja-Okara und der Citrusfaser. Bei einer Zugabe von 10 % konnten bei allen Rezepturen signifikante Unterschiede festgestellt werden, außer bei der Verkleisterungstemperatur der Erbsenschale. Erbsenschale zeigte insgesamt den niedrigsten Einfluss auf die Viskositätskurve. Die Verkleisterungstemperatur sank generell mit zunehmender Ballaststoffzugabe, während die Peakviskosität und die Endviskosität anstiegen. Erbseninnenfaser erreichte die höchste Peakviskosität bei 10 % Zugabe. Die Schalenpräparate, Ackerbohnschale und Erbsenschale, zeigten die niedrigsten Peakviskositäten, was dadurch erklärt werden kann, dass sie keine Stärke enthalten und ein geringeres Wasserbindungsvermögen aufweisen.

Die **Texturprofilanalyse** ergab, dass die Härte der backstabilen Füllungen mit steigendem Fasergehalt zunahm. Nach erneutem Backen waren die Füllungen tendenziell härter als die ungebackenen Füllungen. Erbseninnenfasern und Citrusfasern zeigten ab 2 % bzw. 5% signifikante Unterschiede im Vergleich zur Grundrezeptur. Erbsenschalen, Schalenmischfraktion und Soja-Okara weisen ab 5-10 % Zugabe signifikante Unterschiede auf. Im Gegensatz zur Literatur nahm die Härte mit steigender Ballaststoffkonzentration zu, was auf spezifische Wechselwirkungen mit dem Stärkegel-Netzwerk hinweist. Die Klebrigkeit unterschied sich im ungebackenen Zustand kaum von der Basisrezeptur, nach dem Backen zeigten die Schalenpräparate jedoch signifikant niedrigere Werte. Die Klebrigkeit nahm mit steigendem Ballaststoffgehalt zu, wobei die Schalenpräparate generell niedrigere Werte aufwiesen als die Extraktionsrückstände wie Soja-Okara und Erbseninnenfaser.

Die Synärese der backstabilen Füllungen wurde über einen Zeitraum von 14 Tagen beobachtet (Abbildung 17). Je höher der Ballaststoffzusatz war, desto geringer war die Synärese. Erbsenschalen und die Schalenmischfraktion zeigten erst bei höheren Konzentrationen eine signifikante Reduktion der Synärese. Citrusfaser war besonders wirksam, der Zusatz konnte die Synäreseneigung bereits ab 0,5 % signifikant reduzieren. Erbseninnenfaser und Sojaokara zeigten ab 2% Zugabe eine signifikante Reduktion der Synäreseneigung.

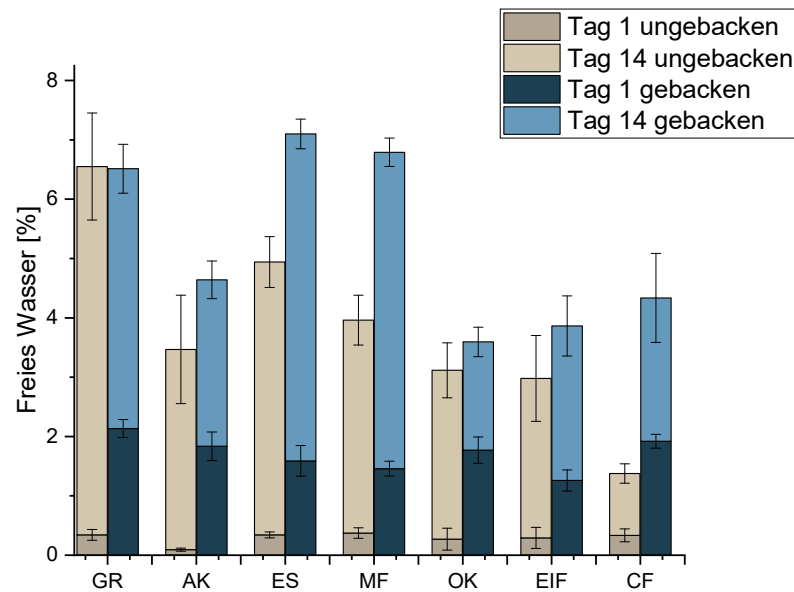


Abbildung 17: Synärese nach einem, bzw. 14 Tagen Lagerung bei 4 °C der ungebackenen und gebackenen Puddings mit 2 % Zugabe (bezogen auf das Puddinggesamtgewicht) der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept (GR).

Die Farbe der Füllungen veränderte sich mit steigender Ballaststoffkonzentration (Abbildung 18). Ackerbohnschalen und Erbsenschalen zeigten die größten, Citrusfaser und Soja-Okara die geringsten Farbunterschiede.

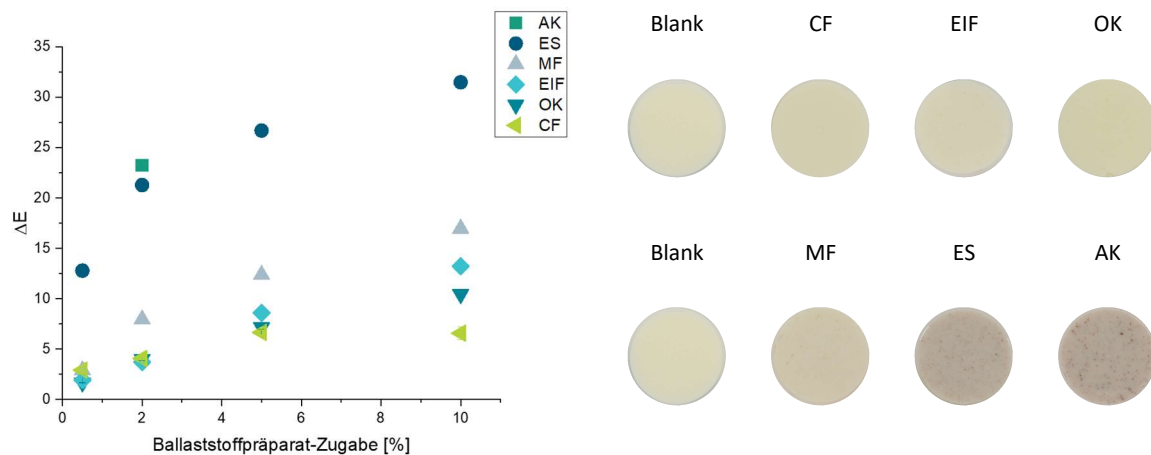


Abbildung 18: Links: Farbunterschied ΔE bei Füllungen mit 0,5 %, 2 %, 5 %, und 10 % Zugabe (bezogen auf das Puddinggesamtgewicht) der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept. Rechts: Abbildungen der Pudding bei 2% Ballaststoff-Zugabe im Vergleich zum Grundrezept (Blank).

Sensorisch wurden zunächst Geschmack und Mundgefühl/Textur bewertet (Abbildung 19, links). Die Basisrezeptur schnitt durchweg positiv ab. Geschmacklich wurde Erbsenschale positiv und Soja-Okara neutral bewertet, während Schalenmischfraktion, Erbseninnenfaser und Citrusfaser schlechter abschnitten. Schalenpräparate verursachten einen sandige/ griesigen Eindruck, insbesondere Ackerbohnen- und Erbsenschale (Abbildung 19, rechts).

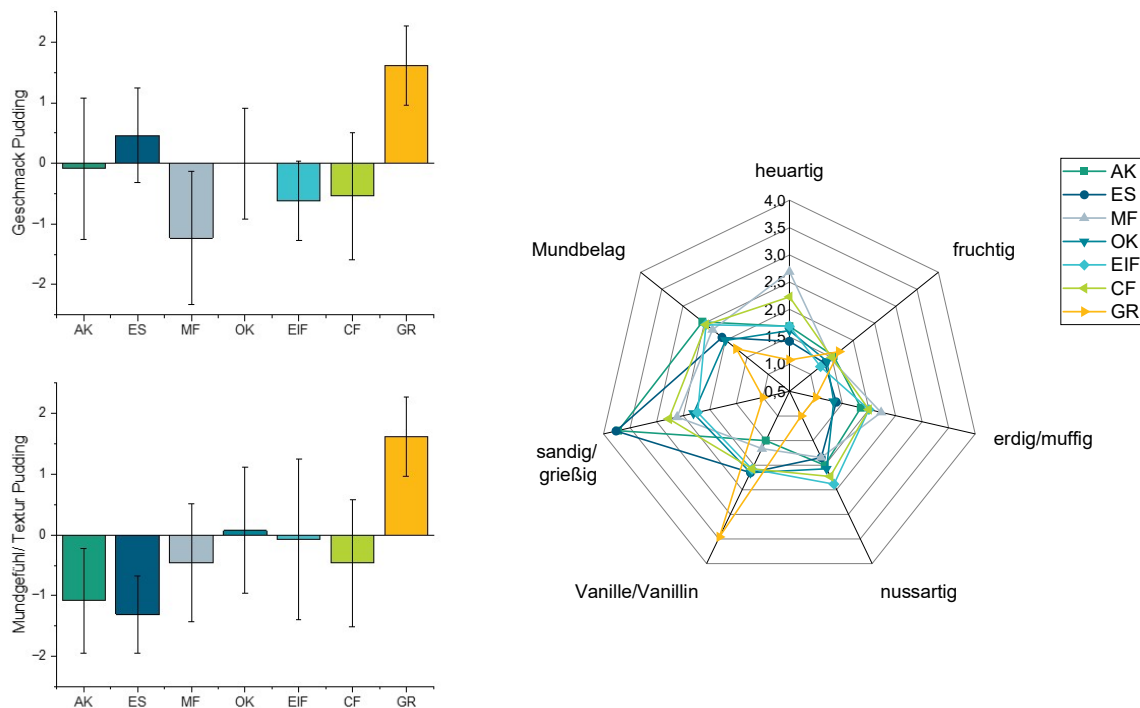


Abbildung 19: Links: Geschmack und Mundgefühl/ Textur von Füllungen mit 2 % Zugabe (bezogen auf das Gesamtgewicht) der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF), im Vergleich zu dem Grundrezept. -2 = unangenehm; -1 = leicht unangenehm; 0 = neutral; 1 = leicht angenehm; 2 = angenehm. Rechts: Profilprüfung von Pudding mit 2 % Zugabe der Ballaststoffpräparate; 1 = nicht vorhanden, 2 = schwach wahrnehmbar, 3 = deutlich wahrnehmbar, 4 = stark wahrnehmbar.

Bewertung der maximalen Ballaststoffpräparat-Zugabe

Der Ballaststoffgehalt pro 100 g Füllung bzw. Kuchen wird in Tabelle 18 gezeigt.

Ackerbohnen- und Erbsenschale zeigten ähnliche funktionelle Veränderungen bei der Applikation in Lebensmitteln. Ab einer Zugabe von 2 % treten bei der Schalenmischfraktion bereits signifikante Unterschiede bei der Herstellung der backstabilen Füllungen auf. Die Textur veränderte sich ab einer Zugabe von 5 % in den Füllungen bei allen Präparaten signifikant. Die Synäreseneigung in den Füllungen wurde durch eine Zugabe von 2-5 % bei Ackerbohnen- und Erbsenschale verbessert, bei der Schalenmischfraktion jedoch erst ab 5 %. Geschmacklich wurde die Erbsenschale am besten bewertet, gefolgt von Ackerbohnen- und Schalenmischfraktion.

In Kuchen zeigten sich signifikante Unterschiede bei einem Mehlersatz von 25 % für Ackerbohnen- und Erbsenschale, während die Schalenmischfraktion erst ab einem Mehlersatz von 35 % deutliche Texturveränderungen bewirkte. Die Schalenmischfraktion wird aufgrund des deutlich wahrnehmbaren sandig/grießigen Mundgefühls und des negativen Geschmacks sowohl in Kuchen als auch backstabilen

Füllungen kritischer bewertet. Ein Mehlersatz von 15-25 % bei Erbsen- und Ackerbohnschale bzw. 25 % bei Schalenmischfraktion in Kuchen kann dennoch erfolgen, wobei der Kuchen in beiden Fällen als Ballaststoffquelle gilt. Aufgrund der deutlichen Wahrnehmung der Schalenpräparate in den backstabilen Füllungen wird die Applikation hier nicht empfohlen.

Tabelle 18: Ballaststoffgehalt der backstabilen Füllungen und Kuchen durch unterschiedliche Zugabe der Ballaststoffpräparate Ackerbohne (AK), Erbsenschale (ES), Mischfraktion (MF), Okara (OK), Erbseninnenfaser (EIF) und Citrusfaser (CF)

Ballaststoffgehalt		Pudding				Kuchen		
		0,5 %	2 %	5 %	10 %	15 %	25 %	35 %
AK	[g/100 g]	0,5	1,8	4,5	9,1	4,0	6,6	9,3
	[g/ 100 kcal]	0,4	1,7	4,2	8,5	1,2	1,9	2,7
ES	[g/100 g]	0,4	1,7	4,3	8,5	3,8	6,3	8,8
	[g/ 100 kcal]	0,4	1,6	4,0	8,0	1,1	1,8	2,5
MF	[g/100 g]	0,3	1,2	3,0	6,0	2,7	4,5	6,3
	[g/ 100 kcal]	0,3	1,1	2,8	5,6	0,8	1,3	1,8
OK	[g/100 g]	0,3	1,1	2,7	5,3	2,2	3,6	5,0
	[g/ 100 kcal]	0,2	1,0	2,5	5,0	0,6	1,0	1,5
EIF	[g/100 g]	0,3	1,2	3,0	6,0	2,5	4,1	5,2
	[g/ 100 kcal]	0,3	1,1	2,8	5,6	0,7	1,2	1,5
CF	[g/100 g]	0,5	1,9	4,8	9,7	4,1	6,9	9,6
	[g/ 100 kcal]	0,5	1,8	4,5	9,0	1,2	2,0	2,8
Berechnet anhand der Zutatenmenge vor dem Erhitzen/ Backprozess und unter der Annahme, dass die Füllungen 107 kcal/100 g und Kuchen 344 kcal/100 g besitzen; hellgrün = Ballaststoffquelle; dunkelgrün = ballaststoffreich (European Commission; Parliament 2006)								

Okara und Erbseninnenfaser: Beide Ballaststoffpräparate zeigten signifikante Unterschiede in der Textur der backstabilen Füllungen ab einer Zugabe von 5 %. Während die Viskosität beim Herstellungsprozess bei Erbseninnenfaser bereits ab 2 % signifikant beeinflusst wird, bleibt sie bei Okara bis zu einer Zugabe von 5 % weitgehend unverändert. In Kuchen treten Unterschiede in der Textur ab einem Mehlersatz von 25 % bei Okara und 15 % bei Erbseninnenfaser auf. Beide Präparate verbessern die Synäreseneigung ab einer Zugabe von 2 % in backstabilen Füllungen, wobei die sensorische Wahrnehmung unterschiedlich ausfällt: Okara wird in den Füllungen neutral und in Kuchen positiv bewertet, während Erbseninnenfaser einen leicht unangenehmen Geschmack aufweist, der jedoch durch geschmacksgebende Stoffe überdeckt werden kann.

Eine Zugabe von 2 % Okara in backstabilen Füllungen ist realistisch. Hierbei wird allerdings kein Nutrition Claim erreicht. Bei Erbseninnenfaser können bis zu 2 % in den Füllungen und 15 % in Kuchen zugegeben werden. Auch mit dieser Zugabemenge wird kein Nutrition Claim erreicht. Ein

Mehlersatz von 25 % Okara in Kuchen wird empfohlen, was den Kuchen als Ballaststoffquelle klassifiziert.

5. Diskussion der Ergebnisse

Das Projekt LeguFiber demonstriert die Chancen und Herausforderungen bei der Entwicklung von Ballaststoffpräparaten aus Leguminosen wie Erbsen, Ackerbohnen und Sojabohnen. Die im Projekt entwickelten Stabilisierungs- und Trocknungsverfahren für Schalen und Extraktionsrückstände/Okara besitzen das Potenzial, die wirtschaftliche Nutzung von Leguminosenfasern als Lebensmittelzutat voranzutreiben. Während die Modifizierung mittels Extrusion keine ausreichende Funktionalisierung ergab, um die zusätzlichen Prozesskosten für Extrusion und Nachtrocknung zu kompensieren, zeigten optimierte Trocknungsverfahren mittels Band- oder Walzentrocknung für die feuchten Nebenströme und die hydrothermische Behandlung der Schalenfraktionen vielversprechende Effekte auf die Funktionalität und die Herstellung von mikrobiologisch unbedenklichen Ballaststoffpräparaten. So konnte bei der Vakuumwalzentrocknung von Okara eine mit Citrusfasern vergleichbare bzw. bessere Funktionalität erreicht werden. Untersuchungen zur Lagerstabilität und zum Einsatz in feinen Backwaren zeigten zudem die Praxistauglichkeit. Die Kontakttrocknung (Vakuum-Walzentrocknung) zeichnet sich durch eine erhöhte Energieeffizienz und eine verbesserte Kontrolle des Trocknungsprozesses aus, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Methoden wie der Konvektionstrocknung (z.B. Bandtrocknung), die häufig mit erheblichen Energieverlusten und Qualitätseinbußen verbunden ist. Die Trocknung ist mit bis zu 15 % des gesamten industriellen Energieverbrauchs (Chua et al.) wahrscheinlich der energieintensivste Prozess. Daher ist insbesondere bei der Lebensmitteltrocknung auf eine maximale Energieeffizienz zu achten.

Die Implementierung dieser Trocknung-Technologie in die Wertschöpfungskette der Leguminosenverarbeitung eröffnet erhebliche wirtschaftliche Potenziale. Insbesondere die wirtschaftliche Nutzung bisher ungenutzter Nebenströme wie Schalen und Extraktionsrückstände ermöglicht eine deutliche Erweiterung der Wertschöpfungskette und eine Reduktion der Abfallmengen, was wesentlich zur Nachhaltigkeit der gesamten Produktion beiträgt. Die so gewonnenen Ballaststoffe haben das Potenzial, eine vergleichbare oder sogar höhere Funktionalität zu etablierten Citrusfasern zu bieten, die derzeit zu einem Marktpreis von ca. 9 €/kg gehandelt werden, während weniger funktionale Erbsenfasern nur ca. 2 €/kg kosten. Diese Innovation könnte die Wettbewerbsfähigkeit der resultierenden Produkte deutlich erhöhen und den Zugang zu neuen Märkten ermöglichen.

Auch im gesundheitlichen Kontext bietet das LeguFiber-Projekt erhebliche Vorteile. Die entwickelten Ballaststoffpräparate aus Leguminosen wie Erbsen, Ackerbohnen und Soja sind für ihre positive Wirkung auf die Verdauungsgesundheit bekannt und könnten das Risiko chronischer Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes und Fettleibigkeit verringern. Dies sollte jedoch gezielt in weiteren Vorhaben untersucht werden. Die sensorisch neutralen Eigenschaften dieser Ballaststoffe ermöglichen ihre Integration in eine Vielzahl von Lebensmitteln, ohne deren Geschmack oder Textur zu beeinträchtigen. Dies ist ein großer Vorteil im Vergleich zu den häufig verwendeten Vollkornprodukten, die aufgrund eines rauen Mundgefühls und Geschmacksveränderungen die Verbraucherakzeptanz verringern. Diese Eigenschaften der Leguminosenballaststoffe bieten eine vielversprechende Möglichkeit, gesundheitsbewusste Verbraucher anzusprechen und den Markt für ballaststoffreiche Produkte zu erweitern (Hall et al. 2010). Dennoch ist eine sorgfältige Abstimmung der Ballaststoffdosierung in verschiedenen Lebensmitteln erforderlich, um unerwünschte sensorische Effekte zu vermeiden und die Produktakzeptanz sicherzustellen.

Ein weiterer Erfolgsfaktor ist die Verbraucherakzeptanz. Während sensorisch neutrale Ballaststoffe das Potenzial haben, eine breite Akzeptanz zu finden, hängt der Erfolg wesentlich von der Qualität und den sensorischen Eigenschaften der Endprodukte ab. Eine gezielte Marketingstrategie, die das Bewusstsein der Verbraucher für die gesundheitlichen Vorteile dieser Ballaststoffe schärft, sollte daher begleitend zur Markteinführung entwickelt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Projekt LeguFiber erhebliche Potenziale in der Erweiterung der Wertschöpfungskette, der Verbesserung der öffentlichen Gesundheit durch ballaststoffreiche Lebensmittel und der Entwicklung innovativer technologischer Verfahren bietet. Die wirtschaftliche Nutzung von Nebenströmen und die Einführung neuer Technologien eröffnen weitreichende Marktchancen. Obwohl die Realisierung dieser Potenziale mit Herausforderungen verbunden ist, kann das Projekt LeguFiber einen wichtigen Beitrag zu einer gesünderen Ernährung und einer nachhaltigeren Lebensmittelproduktion leisten.

6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse - praxisrelevante Ergebnisse

Die aktualisierte Patentrecherche innerhalb des Projektes ergab eine Zunahme um 15 Patentschriften für Ballaststoffe aus Erbsen im Vergleich zum Zeitpunkt der Antragstellung. Keine der Patentschriften beschreibt die Gewinnung eines Ballaststoffpräparates aus Erbsenschale oder Erbseninnenfaser. Ebenso konnte keine relevante Patentschrift zur Herstellung von Ballaststoffen aus Sojaokara gefunden werden. Daher soll die Patentierbarkeit der in LeguFiber entwickelten Verfahren und Produkte vor Umsetzung geprüft werden. Nach erfolgter Prüfung kann eine Verwertung der Ergebnisse kurz- bis mittelfristig angestrebt werden.

Innerhalb des LeguFiber Projektes wurden folgende Ergebnisse erzielt, die zukünftig genutzt und verwertet werden sollen und in die Praxis einfließen können:

- **Herstellung stabilisierter, funktioneller Ballaststoffe aus Leguminosenschalen am Beispiel Erbsen- und Ackerbohnschalen:**

Durch eine moderate hydrothermische Behandlung mit anschließender Vermahlung war es möglich, Ballaststoffpräparate aus Erbsen- und Ackerbohnschalen mit verringerten Gehalten an Phytinsäure, Tanninen und Polyphenolen herzustellen, die in verschiedenen Applikationen zur Ballaststoffanreicherung eingesetzt werden können. Die untersuchten Ballaststoffpräparate hatten alle einen sehr hohen Ballaststoffgehalt von > 87% (mit Ausnahme der Sojaschale). Durch hydrothermische Behandlung und anschließende Vermahlung konnten vergleichbare Wasserbindekapazitäten der Schalenballaststoffe wie beispielsweise einer weitgehend unlöslichen Weizenfaser (z.B. WF 101 oder WF 600) erzielt werden. Ein Einsatz in Back- und Wurstwaren zur Ballaststoffanreicherung ist damit möglich. Die Einsatzmengen werden aber aufgrund eines rauen Mundgefühls limitiert. In backstabilen Füllungen ist eine maximale Einsatzmenge der Schalen von 2% möglich. Diese führte aber bereits zu deutlichen Farbunterschieden, so dass die akzeptablen Einsatzmengen eher zwischen 0,5% und 1 % liegen. In Feinen Backwaren konnte 25% der Mehlmenge durch die Schalenballaststoffe ersetzt werden, wobei die sensorischen Eigenschaften nahezu unverändert blieben. Dies entspricht damit Ballaststoffgehalte zwischen 3,8% und 6,3%. Mit diesen Gehalten ist eine Auslobung als „Ballaststoffquelle“ bzw. „ballaststoffreich“ möglich. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Ballaststoffpräparate aus Leguminosenschalen für > 52 Wochen ohne Qualitätsverluste gelagert werden. Die mikrobielle Belastung sowie der Mykotoxingehalt der Leguminosenschalen waren unkritisch und stehen einer Verwertung nicht entgegen. Diese Ergebnisse zum Einsatz der Leguminosenschalen in Lebensmitteln lassen sich kurz- bis mittelfristig nach Ende des Projektes durch einfache Nachbehandlung der Schalen umsetzen und verwerten. Hierzu ist geplant, die Ergebnisse stärker an die Verarbeiter zu kommunizieren, um eine Umsetzung zu gewährleisten.

- **Herstellung funktioneller und sensorisch attraktiver Ballaststoffe aus Nebenströmen der wässrigen Leguminosenverarbeitung (Sojaokara und Erbseninnenfaser):**

Durch Kombination einer thermischen Behandlung und anschließenden Trocknung konnten im Rahmen von LeguFiber funktionell hochwertige und sensorisch attraktive Ballaststoffpräparate aus Sojaokara und aus Nebenströmen der Erbsenprotein- und -stärkegewinnung hergestellt werden. Als vielversprechende und kostengünstige Trocknungsmethoden wurde die Bandtrocknung sowie eine Walzentrocknung ggf. unter Vakuum identifiziert. Die Walzentrocknung unter Vakuum führte im Vergleich zur herkömmlichen Walzentrocknung und zur Bandtrocknung zu Ballaststoffen mit verbesserten funktionellen und sensorischen Eigenschaften, so dass diese für die Anwendung zu präferieren ist. Hierdurch können Ballaststoffpräparate mit vergleichbaren Eigenschaften (Wasserbindung, Ölbindung und Viskosität) wie Citrusfaser hergestellt werden. Die Anwendungsgebiete können daher analog zur Citrusfaser erschlossen werden. Über die Lagerzeit verändern sich aber die aus den Nebenströmen der wässrigen Extraktion gewonnenen Ballaststoffe

hinsichtlich Farbe (Erbseninnenfaser) und Hexanalgehalt (Sojaokara) deutlicher, so dass bei einer ersten Haltbarkeitsabschätzung eine maximale Lagerdauer von 44 Wochen bei Sojaokara ermittelt wurde. Inwieweit diese Lagerzeit durch Zugabe von Antioxidantien, der Auswahl lichtdichter Verpackungen oder der Verpackung unter Inertgas verlängert werden kann, müsste während der industriellen Implementierung untersucht werden. Die Anwendung der Ballaststoffe aus Sojaokara und aus der Erbseninnenfaser in backstabilen Füllungen zeigte eine Reduktion der Synärese vergleichbar mit Citrusfaser bei einer Konzentration von 2%. In Feinen Backwaren wurde der Einsatz von Sojaokara überwiegend positiv bewertet, während der Einsatz der Erbseninnenfaser als neutral bewertet wurde. Für die Anwendung in Feinen Backwaren wären daher die Ballaststoffe aus Sojaokara besser geeignet als die Ballaststoffe aus Erbseninnenfaser. Diese Ergebnisse zur Gewinnung und zum Einsatz von Ballaststoffen aus Leguminosennebenströmen in Lebensmitteln lassen sich mittelfristig nach Ende des Projektes umsetzen und verwerten. Die Umsetzung benötigt allerdings noch weitere begleitende Forschung und Entwicklung im Bereich der Haltbarkeit sowie der Implementierung eines neuen Trocknungsverfahrens bei Leguminosenverarbeitern. Um eine Umsetzung in die Praxis vorzubereiten, ist die Prüfung einer Patentanmeldung geplant. Zudem werden nach erfolgter Patentierung die Ergebnisse über weitere Publikationen in wissenschaftlichen Journalen bzw. in Fachjournalen sowie bei Kongressen verschiedenen Stakeholdern vorgestellt. Zudem erfolgt eine gezielte Ansprache von Sojaproduzenten und Erbsenverarbeitern, um die industrielle Implementierung voranzutreiben.

- **Formulierung nutritiv verbesserter Lebensmittel unter Einsatz von Leguminosenballaststoffen**

Die Erkenntnisse zur Formulierung und Rezepturentwicklung für Lebensmittel mit verbesserten nutritiven Eigenschaften unter Einsatz der Ballaststoffe sollen und werden in verschiedenen bilateralen und nationalen sowie internationalen Forschungsprojekten weiterverfolgt wie z.B. APPETITE (FKZ: 2820ERA18E) sowie des in der Phase der Vollantragsstellung befindlichen Projektes BallanceID (FKZ: 281A909C22). Durch die im Rahmen des Vorhabens durch die Industriepartner durchgeführten Untersuchungen wurden bereits Wissen zur Nutzung von Leguminosenschalen übertragen. Diese Erkenntnisse können kurzfristig durch die Unternehmen bei eigenen Produktentwicklungen einfließen und sichern somit eine schnelle Umsetzung.

7. Gegenüberstellung ursprünglich geplante zu den tatsächlich erreichten Zielen

Geplante Ziele	Erreichte Ziele
Charakterisierung der Zusammen-setzung, der Funktionalität und der mikrobiologischen Belastung indust-rieller Extraktionsrückstände und Schalen	In AP 1 wurden 6 unterschiedliche Leguminosenschalen sowie 5 unterschiedliche Nebenströme aus der wässrigen Extraktion charakterisiert. Für die weiteren Untersuchungen in AP 2, AP 3 und AP 4 wurden die Erbsenschale sowie Sojaokara und Erbseninnenfaser ausgewählt.

Entwicklung und Validierung unterschiedlicher Stabilisierungsverfahren und der Trocknung im Hinblick auf mikrobiologische Stabilität, Verarbeitbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Funktionalität:	Es wurden verschiedene Verfahren zur Reduktion potentiell antinutritiver Inhaltsstoffe (Phytinsäure, Polyphenole und kondensierte Tannine) und der Reduktion der endogenen Keimflora auf den Leguminosenschalen entwickelt (AP 2). Durch eine schonende hydrothermische Behandlung konnten Ballaststoffe aus Erbsenschalen mit guten funktionellen und sensorischen Eigenschaften sowie reduzierten Gehalten an potenziell antinutritiven Inhaltsstoffen sowie geringerer Keimbelastung hergestellt werden. Das entwickelte Verfahren wurde auf 3 weitere Leguminosenschalen übertragen und Muster für Anwendungsversuche am IVV und bei den Industriepartnern des projektbegleitenden Ausschusses bereitgestellt. Darüber hinaus wurde der Einfluss verschiedener Stabilisierungs- und Trocknungsverfahren auf die Eigenschaften von Sojaokara und Erbseninnenfaser untersucht (AP 3). Aus wirtschaftlichen Gründen eignet sich eine Bandtrocknung oder eine Vakuumwalzentrocknung für die Herstellung funktioneller, sensorisch attraktiver und mikrobiell stabiler Ballaststoffpräparate aus Extraktionsnebenströmen der Leguminosenverarbeitung am besten.
Funktionalisierung der Leguminosen-Ballaststoffe:	In LeguFiber wurde eine Funktionalisierung ausgewählter Leguminosen-Ballaststoffe (Schale und Extraktionsnebenstrom) mittels Nass- und Trockenextrusion untersucht (AP 4). Durch Trockenextrusion konnte eine leichte Verbesserung der funktionellen Eigenschaften erzielt werden. Auf die Extrusion der Ballaststoffpräparate sollte jedoch verzichtet werden, da die Steigerung der funktionellen Eigenschaften nur gering war und somit aus wirtschaftlichen Gründen der einfachste Verfahrensweg (Stabilisierung und ggf. anschließende Trocknung) gewählt werden sollte.
Lagerstabilität der Leguminosen-Ballaststoffe	Die Lagerstabilität der Leguminosen-Ballaststoffpräparate wurde mittels eines forcierten Lagertests untersucht und die Veränderungen der Farbe und des Hexanal-Gehalts sowie der Luftzusammensetzung im Kopfraum der Präparate untersucht (AP 5). Dabei zeigte sich, dass die untersuchten Schalenpräparate eine Haltbarkeit > 52 Monate aufwiesen, während die Ballaststoffpräparate der Extraktionsnebenströme insbesondere die Ballaststoffe des Sojaokara eine geringere Haltbarkeit von 44 Wochen hatten. Die ermittelte Haltbarkeit sollte im Zuge weiterer Entwicklungsvorhaben bei der industriellen Implementierung nochmal überprüft und ggf. durch Zugabe antioxidativer Additive oder Anpassung der Verpackung (optimiertes Verpackungsmaterial, Verpackung unter modifizierter Atmosphäre) genauer betrachtet und optimiert werden.
Anwendung der entwickelten Ballaststoffe in Lebensmitteln:	In ersten Anwendungsversuchen wurden die Leguminosenballaststoffe in Rezepturen für backstabile Füllungen und Feinen Backwaren eingesetzt. Darüber hinaus wurde durch die Industriepartner des

	projektbegleitenden Ausschusses die Anwendung in Fleisch-/Wurstalternativen sowie weiteren Backwaren untersucht (AP 6). Die Applikation in Feinen Backwaren führte zu sensorisch attraktiven Lebensmitteln. Bei diesen ist auch eine Auslobung als „Ballaststoffquelle“ bzw. „Ballaststoffreich“ möglich. In backstabilen Füllungen konnte durch Einsatz geringer Ballaststoffmengen die Synärese reduziert werden.
--	---

8. Zusammenfassung

Das Hauptziel des Vorhabens war die wirtschaftliche Gewinnung von funktionellen Ballaststoffpräparaten aus den Extraktionsrückständen und Schalen von Leguminosen zur Herstellung von Lebensmitteln. Zur Realisierung dieses Ziels wurden Nebenströme der Leguminosenverarbeitung (Extraktionsrückstände und Schalen) zunächst umfassend analytisch charakterisiert. Dabei wurde zum einen die chemische Zusammensetzung durch Analysen des Gehalts an Feuchte, Öl, Protein, Stärke und Ballaststoffe bewertet, die antinutritiven Substanzen wie der Gehalt an Gesamtpolyphenolen, Phytinsäure und kondensierte Tannine analysiert und die funktionellen Eigenschaften wie die Wasser- und Ölbindung und Viskosität beurteilt. Es zeigten sich Unterschiede in der Zusammensetzung der Leguminosenschalen und der Extraktionsrückstände, wobei die Schalen tendenziell einen höheren Ballaststoffgehalt und höheren Gehalt an antinutritiven Substanzen aufwiesen und die Extraktionsrückstände bessere Funktionalitäten zeigten.

Die Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von ballaststoffreichen Zutaten umfasste die Stabilisierung von Schalen, die Stabilisierung und Trocknung von Extraktionsrückständen sowie die Modifikation von Ballaststoffpräparaten mittels Extrusion. Durch die Stabilisierung der Schalen und Extraktionsrückstände konnte eine gute Haltbarkeit erzielt werden und antinutritive Substanzen vorrangig Phytinsäure und kondensierte Tannine abgereichert werden. Eine intensive Behandlung durch hohe Temperatur und hohen Druck führte tendenziell zu einer geringeren Funktionalität, auch wenn der Anteil an löslichen Ballaststoffen teilweise erhöht wurde. Eine Vermahlung der Ballaststoffpräparate auf geringere Partikelgrößen erhöhte die Funktionalität. Bei den Trocknungsmethoden zeigte sich sowohl die Bandtrocknung als auch die Walzentrocknung als vielversprechend im Hinblick auf die Funktionalität und Zusammensetzung der Ballaststoffpräparate. Die Trockenextrusion zeigte verbesserte funktionelle Eigenschaften verglichen mit der Nassextrusion. Insgesamt erzielte die Modifikation durch Extrusion jedoch nicht die erwartete Erhöhung der Funktionalität der Ballaststoffe. Die Extrusion kann aber als Alternative zur Stabilisierung der Schalenpräparate und zur Vortrocknung der Extraktionsrückstände genutzt werden. Es zeigte sich, dass durch ein optimiertes Trocknungsverfahren für Extraktionsrückstände Ballaststoffpräparate mit

verbesserten Funktionalitäten gewonnen werden können, die sogar im Vergleich mit Citrusfasern besser waren, Durch ein optimiertes Trocknungsverfahren wurden beispielhaft ein Ballaststoffpräparat aus Soja-Okara mit einer Viskosität von 18 Pas erzielt verglichen mit einer Viskosität von 10 Pas bei gleicher Konzentration an Citrusfaser. Die Arbeiten zur Abschätzung der Lagerstabilität zeigten eine Haltbarkeit der gewonnenen Ballaststoffpräparate von mindestens 44 Wochen bei 25 °C. Die Applikation der Ballaststoffpräparate in backstabile Füllungen zeigte, dass die Ballaststoffpräparate in geringen Mengen die funktionellen Eigenschaften z.B. über eine geringere Synäreseneigung verbessern können. Die maximale Konzentration war dabei durch die sensorische Wahrnehmung der Partikel in den Füllungen beschränkt. Bei der Applikation der Ballaststoffpräparate in feinen Backwaren kam es zu geringerer Veränderung der Eigenschaften, wodurch auch höhere Konzentrationen im Lebensmittel eingesetzt werden konnten und dadurch auch eine Auslobung mit dem Nutrition Claim „ballaststoffreich“ erreicht werden kann.

9. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

- Dietary Fiber Conference Posterbeitrag: "Characterization, stabilization, and modification of legume hull fractions for use as food ingredients", Daria Wohlt, Elisabeth Miehle, Susanne Gola, Stephanie Bader Mittermaier, S; 16.-18.10.22, Leuven, Belgien
- Webaufttritt des Projektes auf der Fraunhofer IVV Webseite (Juli/August 2023)
- LinkedIn Post anlässlich des Erhalts des Joachim Boeksteger Förderpreises im Rahmen einer Masterarbeit innerhalb des Projektes (Juli 2023)

Geplante/ eingereichte Beiträge:

- "Neue Ansätze zur Nutzung von Nebenströmen aus der Pflanzendrinkproduktion am Beispiel von Soja- und Haferokara", Daria Wohlt Susanne Gola, Stephanie Mittermaier, AGF Sourcing Trends Tagung 24.-25.09.2024, Detmold
- „Optimierung der Nutzung von Leguminosen-Nebenströmen: Funktionelle Ballaststoffe für die Lebensmittelindustrie“, Susanne Gola; Elisabeth, Miehle, Stephanie Mittermaier, 2. Nationaler Leguminosen-Kongress – Perspektiven für Landwirtschaft und Ernährung, 07.- 10.10.24, Leipzig

Im Anschluss an die Prüfung der Patentierbarkeit werden die Ergebnisse zudem in Form von Publikationen in wissenschaftlichen bzw. Fachjournalen sowie auf weiteren Kongressen verschiedenen Interessengruppen präsentiert.

10.Literaturverzeichnis

AACC International (Hg.): AACC International Approved Methods of Analysis. Method 56-20.01, Hydration capacity of pregelatinized cereal products. 11. Aufl. St. Paul, MN: AACC International.

Ahuja, K. R. (2020): Global Dietary Fibers Market Size By Product (Soluble [Inulin, Pectin, Polydextrose, Beta-Glucan, Fructooligosaccharides (FOS), Galactooligosaccharides (GOS), Corn Fiber], Insoluble [Cellulose, Hemicellulose, Chitin & Chitosan, Lignin, Fiber/Bran, Resistant Starch]), By Source (Cereals & Grains, Fruits & Vegetables), By Application (Food [Bakery, Breakfast Cereals & Snacks, Confectionery, Dairy, Meat Products, Infant Food], Beverages, Pharmaceutical, Companion Animal Nutrition) Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2020 – 2026. Report ID: GMI2331. Global Market Insights.

Aichinger, P. A.; Michel, M.; Servais, C.; Dillmann, M. L.; Rouvet, M.; D'Amico, N. et al. (2003): Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. In: *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 31 (1-4), S. 243–255. DOI: 10.1016/S0927-7765(03)00144-9.

AOAC International (2019): Official methods of analysis of AOAC International. 21st Edition. Gaithersburg, Md.: AOAC International.

Arrigoni, Eva; Caprez, Andrea; Amadò, Renato; Neukom, Hans (1986): Chemical composition and physical properties of modified dietary fibre sources. In: *Food Hydrocolloids* 1 (1), S. 57–64. DOI: 10.1016/S0268-005X(86)80007-8.

Aydogdu, A.; Sumnu, G.; Sahin, S. (2018): Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. In: *Journal of food science and technology* 55 (2), S. 667–677. DOI: 10.1007/s13197-017-2976-y.

Backhaus, G. F. (2009): Anbau und Züchtung von Leguminosen in Deutschland – Sachstand und Perspektiven. In: *Journal für Kulturpflanzen* 61 (64).

Bader Ul Ain, Huma; Saeed, Farhan; Ahmed, Aftab; Asif Khan, Muhammad; Niaz, Bushra; Tufail, Tabussam (2019): Improving the physicochemical properties of partially enhanced soluble dietary fiber through innovative techniques: A coherent review. In: *J Food Process Preserv* 43 (4), e13917. DOI: 10.1111/jfpp.13917.

Belitz, H. D.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2008): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Beutler, H.-O. (1978): Enzymatische Bestimmung von Stärke in Lebensmitteln mit Hilfe der Hexokinase-Methode. In: *Starch Stärke* 30 (9), S. 309–312. DOI: 10.1002/star.19780300906.

Biesalski, K. H. (2000): Wissenschaftliche Ernährungsinformation: Ballaststoffe. In: *Forum Ernährungsmedizin*, 2000.

BVL (Hg.) (1980 - 2024): Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach §64 LFGB, §35 Vorläufiges Tabakgesetz, §28b GenTG. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Berlin: Beuth.

Çalışkantürk Karataş, Selen; Günay, Demet; Sayar, Sedat (2017): In vitro evaluation of whole faba bean and its seed coat as a potential source of functional food components. In: *Food chemistry* 230, S. 182–188. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.03.037.

Chaieb, Nadia; González, Johannes Luis; López-Mesas, Montserrat; Bouslama, Mohamed; Valiente, Manuel (2011): Polyphenols content and antioxidant capacity of thirteen faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes cultivated in Tunisia. In: *Food Research International* 44 (4), S. 970–977. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.02.026.

deMan, John M.; Finley, John W.; Hurst, W. Jeffrey; Lee, Chang Yong (2018): Principles of Food Chemistry. 4th ed. 2018. Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer (Food Science Text Series).

DIN (1999): DIN 10967-1 - 1999-10 Sensorische Prüfverfahren - Profilprüfung - Teil 1: Konventionelles Profil.

Dubois, C.; Cara, L.; Armand, M.; Borel, P.; Senft, M.; Portugal, H. et al. (1993): Effects of pea and soybean fibre on postprandial lipaemia and lipoproteins in healthy adults. In: *European journal of clinical nutrition* 47 (7), S. 508–520.

Elleuch, Mohamed; Bedigian, Dorothea; Roiseux, Olivier; Besbes, Souhail; Blecker, Christophe; Attia, Hamadi (2011): Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. In: *Food Chemistry* 124 (2), S. 411–421. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.077.

European Commission: Nutrition claims. In: Online verfügbar unter https://food.ec.europa.eu/safety/labelling-and-nutrition/nutrition-and-health-claims/nutrition-claims_en, zuletzt geprüft am 09.07.24.

Fechner, Anita; Fenske, Katrin; Jahreis, Gerhard (2013): Effects of legume kernel fibres and citrus fibre on putative risk factors for colorectal cancer: a randomised, double-blind, crossover human intervention trial. In: *Nutrition journal* 12, S. 101. DOI: 10.1186/1475-2891-12-101.

Fechner, Anita; Kiehntopf, Michael; Jahreis, Gerhard (2014): The formation of short-chain fatty acids is positively associated with the blood lipid-lowering effect of lupin kernel fiber in moderately hypercholesterolemic adults. In: *The Journal of nutrition* 144 (5), S. 599–607. DOI: 10.3945/jn.113.186858.

Fischer, Estelle; Cachon, Rémy; Cayot, Nathalie (2021): Effects of extraction pH on the volatile compounds from pea protein isolate: Semi-Quantification method using HS-SPME-GC-MS. In: *Food research international (Ottawa, Ont.)* 150 (Pt A), S. 110760. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110760.

Frost and Sullivan (2010): Trends and Opportunities in European Food Fibers Market New Sources, Applications, and Price Stability Drive the Market.

Gardner, R. O. (1975): Vanillin-hydrochloric acid as a histochemical test for tannin. In: *Stain technology* 50 (5), S. 315–317. DOI: 10.3109/10520297509117081.

Gidley, Michael J.; Yakubov, Gleb E. (2019): Functional categorisation of dietary fibre in foods: Beyond 'soluble' vs 'insoluble'. In: *Trends in Food Science & Technology* 86, S. 563–568. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.12.006.

Grand View Research (2020): Dietary Fibers Market Size, Share & Trends Analysis Report By Raw Material (Fruits & Vegetables, Cereals & Grains), By Product (Soluble, Insoluble), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027. Report ID: GVR-1-68038-712-4.

- Guillon, F.; Champ, M. (2000): Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. In: *Food Research International* 33 (3-4), S. 233–245. DOI: 10.1016/S0963-9969(00)00038-7.
- Guillon, F.; Saulnier, L.; Robert, P.; Thibault, J. F.; Champ, M. (2007): Chemical structure and function of cell walls through cereal grains and vegetable samples. Online verfügbar unter <https://brill.com/edcollchap/book/9789086866229/bp000003.xml>.
- Gularte, M. A.; Hera, E.; Gómez, M. (2012): Effect of different fibers on the enrichment of gluten-free layer cake. In: *LWT-Food Science and Technology* (48), S. 209–214.
- Hall, R. S.; Johnson, S. K.; Baxter, A. L.; Ball, M. J. (2005): Lupin kernel fibre-enriched foods beneficially modify serum lipids in men. In: *European journal of clinical nutrition* 59 (3), S. 325–333. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1602077.
- Hashemi, Zohre; Foughse, Janelle; Im, Hyun Seun; Chan, Catherine B.; Willing, Benjamin P. (2017): Dietary Pea Fiber Supplementation Improves Glycemia and Induces Changes in the Composition of Gut Microbiota, Serum Short Chain Fatty Acid Profile and Expression of Mucins in Glucose Intolerant Rats. In: *Nutrients* 9 (11). DOI: 10.3390/nu9111236.
- Huang, Kehao; Du, Bin; Xu, Baojun (2018): Alterations in physicochemical properties and bile acid binding capacities of dietary fibers upon ultrafine grinding. In: *Powder Technology* 326, S. 146–150. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.12.024.
- Huang, Ya-Ling; Ma, Ya-Sheng (2016): The effect of extrusion processing on the physiochemical properties of extruded orange pomace. In: *Food chemistry* 192, S. 363–369. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.039.
- Kartal, Elif; Ozturk, Serpil (2016): PINE CONE AS AN ALTERNATIVE DIETARY FIBER SOURCE AND ITS EFFECT ON CAKE AND COOKIE QUALITY. In: *GIDA*, S. 291–297. DOI: 10.15237/gida.GD16016.
- Kilcast, D.; Subramaniam, P. (2000): The stability and shelf life of food. Boca Raton, Cambridge England: CRC Press; Woodhead Pub (Woodhead Publishing in food science and technology).
- Lambert, Jennifer E.; Parnell, Jill A.; Tunnicliffe, Jasmine M.; Han, Jay; Sturzenegger, Troy; Reimer, Raylene A. (2017): Consuming yellow pea fiber reduces voluntary energy intake and body fat in overweight/obese adults in a 12-week randomized controlled trial. In: *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)* 36 (1), S. 126–133. DOI: 10.1016/j.clnu.2015.12.016.
- Lin, M. J. Y.; Humbert, E. S.; Sosulski, F. W. (1974): Certain functional properties of sunflower meal products. In: *Journal of Food Science* 39 (2), S. 368–370. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x.

- Long, C.; Yaoqi, T.; Qunyi, T.; Zhang, Z.; Zhengyu, J. (2017): Effect of pullulan on the water distribution, microstructure and textural properties of rice starch gels during cold storage. In: *Food chemistry* 214, S. 702–709. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.122.
- Majzoobi, M.; Habibi, M.; Hedayati, S.; Ghiasi, F.; Farahnaky, A. (2015): Effects of Commercial Oat Fiber on Characteristics of Batter and Sponge Cake. In: *J.Agr. Sci. Tech* (17), S. 99–107.
- Matissek, R.; Baltes, W. (2016): Lebensmittelchemie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Megazyme (2019): phytic acid (Phytat)/ total phosphorus. Measured as phosphorus released by phytase and alkaline phosphatase ASSAY PROCEDURE.
- Modor Intelligence (2020): Food Fibers Market - Growth, Trends, Covid-19 Impact, and Forecasts (2021-2026).
- Morales-Medina, R.; Schalow, S.; Schefer, S.; Rohn, S.; Drusch, S. (2021): Schlussbericht zum Thema “ Erbsenfaser 2.0 – Neue Konzepte zur Erhöhung der Wertschöpfung und zur Optimierung der technofunktionellen sowie nutritiven Eigenschaften der bei der Erbsenverarbeitung anfallenden faserreichen Nebenprodukte “. Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie, FKZ: 2815EPS010 und 2815EPS062.
- Muscholik, G.; Schmandke, H. (2000): Funktionelle Eigenschaften von Ackerbohnenprodukten (*Vicia faba*): Shaker.
- Naumann, Susanne; Schweiggert-Weisz, Ute; Martin, Anna; Schuster, Melanie; Eisner, Peter (2021): Effects of extrusion processing on the physiochemical and functional properties of lupin kernel fibre. In: *Food Hydrocolloids* 111, S. 106222. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106222.
- Ostermann-Porcel, M. V.; Rinaldoni, A. N.; Campderrós, M. E.; Gómez, M. (2020): Evaluation of gluten-free layer cake quality made with okara flour. In: *Food Measure* 14 (3), S. 1614–1622. DOI: 10.1007/s11694-020-00409-0.
- Paraginski, R. T.; Vanier, Nathan L.; Berrios, J.; Oliveira, M.; Elias, M. C. (2014): Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. In: *Journal of Stored Products Research* 59, S. 209–214. DOI: 10.1016/j.jspr.2014.02.010.
- Parliament, E. (2006): Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods E. Parliament (Ed.) (Vol. 1924, pp. 2006).
- Pendl, Roger; Bauer, Marcel; Caviezel, Rafael; Schulthess, Peter (1998): Determination of Total Fat in Foods and Feeds by the Caviezel Method, Based on a Gas Chromatographic Technique. In: *J AOAC Int* 81 (4), S. 907–917. DOI: 10.1093/jaoac/81.4.907.

- Poutanen, K. (2008): Effect of processing on the properties of dietary fibre. Advanced dietary fibre technology,. In: Leon Prosky und Barry McCleary (Hg.): Advanced Dietary Fibre Technology. 1. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd, S. 277–282.
- Qasem, A.; Akram. A.; Alamri, M. S.; Mohamed, A. A.; Hussain, S.; Mahmood, K.; Ibraheem, M. A. (2017a): High Soluble-Fiber Pudding: Formulation, Processing, Texture and Sensory Properties. In: *Journal of Food Processing and Preservation* 41 (3), e12931. DOI: 10.1111/jfpp.12931.
- Qasem, Akram A. Abdo; Alamri, M. S.; Mohamed, A. A.; Hussain, S.; Mahmood, K.; Ibraheem, M. A. (2017b): Soluble fiber-fortified sponge cakes: formulation, quality and sensory evaluation. In: *Food Measure* 11 (3), S. 1516–1522. DOI: 10.1007/s11694-017-9530-5.
- Quast, D. G.; Karel, M. (1972): Effects of environmental factors on the oxidation of potato chips. In: *Journal of Food Science* 37 (4), S. 584–588. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1972.tb02698.x.
- Rahman, M. S.; Al-Mahrouqi, A. I. (2009): Instrumental texture profile analysis of gelatin gel extracted from grouper skin and commercial (bovine and porcine) gelatin gels. In: *International journal of food sciences and nutrition* 60 Suppl 7, S. 229–242. DOI: 10.1080/09637480902984414.
- Rahman, S. (2007): Handbook of food preservation. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press (Food science and technology).
- Sharoba, A. M.; Farrag, M. A.; Abd El-Salam, A.M.A. (2013): Utilization of some fruits and vegetables wastes as a source of dietary fibers in cake making. In: *J. Food and dairy Sci.* (9), S. 433–453.
- Siddiqui, Shahida Anusha; Ucak, İlknur; Jain, Surangna; Elsheikh, Wadah; Ali Redha, Ali; Kurt, Abdullah; Toker, Omer Said (2024): Impact of drying on techno-functional and nutritional properties of food proteins and carbohydrates - A comprehensive review. In: *Drying Technology* 42 (4), S. 592–611. DOI: 10.1080/07373937.2024.2303580.
- Singleton, V. L.; Rossi, Joseph A. (1965): Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. In: *Am J Enol Vitic.* 16 (3), S. 144–158. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144.
- Stoll (2012): Körnerleguminosen aus Sicht der Verarbeitung - aktuelle Marktlage und Ausblick in die Zukunft. Feldtage, 19.07.2012.
- Tiwari, Brijesh K.; Gowen, Aoife; McKenna, Brian (2020): Pulse foods. Processing, quality and nutraceutical applications. Second edition. Place of publication not identified: ELSEVIER ACADEMIC Press.
- Tosh, Susan M.; Yada, Sylvia (2010): Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. In: *Food Research International* 43 (2), S. 450–460. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.09.005.

- Trepel, Friedrich (2004): Ballaststoffe: Mehr als ein Diätmittel. II. Präventive und therapeutische Anwendungen. In: *Wiener klinische Wochenschrift* 116 (15-16), S. 511–522. DOI: 10.1007/bf03217703.
- Troszyńska, A.; Ciska, E. (2002): Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. In: *Czech J. Food Sci.* 20 (1), S. 15–22. DOI: 10.17221/3504-cjfs.
- Tsai, A. C.; Vinik, A. I.; Lasichak, A.; Lo, G. S. (1987): Effects of soy polysaccharide on postprandial plasma glucose, insulin, glucagon, pancreatic polypeptide, somatostatin, and triglyceride in obese diabetic patients. In: *The American journal of clinical nutrition* 45 (3), S. 596–601. DOI: 10.1093/ajcn/45.3.596.
- Wallhäußer, Karl-Heinz (1990): Lebensmittel und Mikroorganismen. Frischware - Konservierungsmethoden - Verderb. Heidelberg: Steinkopff.
- Westphal, G.; Buhr, H.; Otto, H. (Hg.) (1996): Reaktionskinetik In Lebensmitteln: Springer.
- Westphal, Günter (1996): Reaktionskinetik in Lebensmitteln. Unter Mitarbeit von Hans Buhr und Horst Otto. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.
- Xu, Minwei; Jin, Zhao; Lan, Yang; Rao, Jiajia; Chen, Bingcan (2019): HS-SPME-GC-MS/olfactometry combined with chemometrics to assess the impact of germination on flavor attributes of chickpea, lentil, and yellow pea flours. In: *Food chemistry* 280, S. 83–95. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.048.
- Yang, Jun; Xiao, Anhong; Wang, Chunwei (2014): Novel development and characterisation of dietary fibre from yellow soybean hulls. In: *Food chemistry* 161, S. 367–375. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.030.
- Yang, Lina; Zhao, Yafan; Huang, Jinghang; Zhang, Hongyun; Lin, Qian; Han, Lin et al. (2020): Insoluble dietary fiber from soy hulls regulates the gut microbiota in vitro and increases the abundance of bifidobacteriales and lactobacillales. In: *Journal of food science and technology* 57 (1), S. 152–162. DOI: 10.1007/s13197-019-04041-9.
- Yildiz, Ö.; Yurt, B.; Baştürk, A.; Toker, Ö. S.; Yilmaz, M. T.; Karaman, S.; Dağlıoğlu, O. (2013): Pasting properties, texture profile and stress–relaxation behavior of wheat starch/dietary fiber systems. In: *Food Research International* 53 (1), S. 278–290. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.04.018.
- Zheng, J.; Wu, J.; Dai, Y.; Kan, J.; Zhang, F. (2017): Influence of bamboo shoot dietary fiber on the rheological and textural properties of milk pudding. In: *LWT* 84, S. 364–369. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.05.051.
- Zhong, Liezhou; Ali, Hayder; Fang, Zhongxiang; Wahlqvist, Mark L.; Hodgson, Jonathan M.; Johnson, Stuart K. (2020): Lupin seed coat as a promising food ingredient: physicochemical, nutritional,

antioxidant properties, and effect of genotype and environment. In: *Int J of Food Sci Tech* 55 (4), S. 1816–1824. DOI: 10.1111/ijfs.14460.

Zhong, Liezhou; Fang, Zhongxiang; Wahlqvist, Mark L.; Hodgson, Jonathan M.; Johnson, Stuart K. (2019): Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. In: *LWT* 99, S. 547–554. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.10.018.

Zhu, F.; Cai, Y.-Z.; Sun, M.; Corke, H. (2009): Effect of phytochemical extracts on the pasting, thermal, and gelling properties of wheat starch. In: *Food chemistry* (112), S. 919–923.

Zhuang, Y.; Xu, W.; Wang, Y.; Yang, H. (2023): Effects of Okara and Its Dietary Fiber on the Retrogradation and Rheological Characteristics of Potato Starch. In: *Starch Stärke* 76 (3-4), Artikel 2300081. DOI: 10.1002/star.202300081.

Zia-ur-Rehman, Z.; Islam, Mehwish; Shah, W.H (2003): Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. In: *Food Chemistry* 80 (2), S. 237–240. DOI: 10.1016/s0308-8146(02)00259-5.