

Leguminosenproteine*

Technofunktionalität und funktionelle Eigenschaften

Gerald Muschiolik

Mit der technologischen Bedeutung und den Einsatzmöglichkeiten von Leguminosenprotein-Produkten sowie den physikalischen und sonstigen Einflüssen auf die molekularen und die funktionellen Eigenschaften von Leguminosenproteinen haben sich in der Vergangenheit bereits mehrere Autoren beschäftigt, z. B. [1–5]. Weiterhin existieren hierzu verschiedene Sammelwerke (z. B. [6–10]).



Prof. Dr. rer. nat. habil.
Gerald Muschiolik

» Zur Person

Lebensmitteltechnologie; langjährige Forschungs- und Lehrtätigkeit, derzeit Consultant und wiss. Gutachter, Schwerpunkte Proteinapplikation und neuartige Emulsionen «

Derzeit konzentriert sich die Forschung zur Funktionalität von Leguminosenproteinen insbesondere auf die Rohstoffe Soja, Ackerbohnen, Lupinen, Erbsen, Linsen und *Phaseolus*-Bohnen. Dieser Beitrag erläutert die Begriffe „Technofunktionalität“ und „funktionelle Eigenschaften“ und stellt die Funktionalität von Ackerbohnen-, Erbsen- und Süßlupinenprotein unter Einbeziehung aktueller Literatur in den Mittelpunkt.

Was beeinflusst die Funktionalität der Leguminosenproteine?

Die technologische Bedeutung der Proteine hängt davon ab, ob beim Zusatz von Leguminosenprotein-Produkten zum Lebensmittel bestimmte Eigenschaften in gewünschter Weise verändert werden. Hierzu gehören

z. B. Mundgefühl, Saftigkeit, Strukturgebung, Textur, Viskosität, Volumengebung, Frischhaltevermögen, Kochverlust, Fettbindung, Lagerstabilität, Hitzestabilität, Gefrier-Tau-Stabilität sowie das Aussehen. Diese Technofunktionalität kann beim Einsatz von Leguminosenmehlen zusätzlich durch deren weitere Inhaltstoffe (Kohlenhydrate, Lipide) beeinflusst werden. Die erzielten Lebensmitteleigenschaften sind das Ergebnis komplexer Wechselwirkungen zwischen Leguminosenprotein-Produkt und Lebensmittelinhaltsstoffen bei unterschiedlichen äußeren Einwirkungen (u. a. Temperatur, Druck, Scherbedingungen).

Um jedoch Leguminosenprotein-Produkte hinsichtlich ihrer technologischen Effekte deutlicher charakterisieren zu können, ist eine Reduzierung der Einflussgrößen erforderlich. Deshalb werden überwiegend unter definierten Bedingungen – jedoch selten mit standardisierten Methoden – die spezifischen funktionellen Eigenschaften, z. B. hinsichtlich Wasser- und Fettbindevermögen, Emulsions- und Schaumbildung, Viskositätsgebung und Gelbildungsvermögen, charakterisiert.

* Dieser Beitrag ist die Kurzfassung eines im Behr's Handbuch Backwaren Technologie, 57. Aktualisierungs-Lieferung 2018, erschienenen Beitrags.

Der Effekt des Proteinrohstoffs sollte zuerst in einfachen Modellsystemen und dann in komplexen Lebensmitteln getestet werden [4]. Hierzu gehört die Erfassung der physikochemischen Eigenschaften der Proteine, die Ermittlung der Wechselwirkungen mit anderen Stoffen und die Untersuchung des Einflusses sonstiger äußerer Einwirkungen.

Wird einem Proteinprodukt eine besondere technologische Bedeutung bzw. Technofunktionalität zugeordnet, sollte sich diese positiv auf eine spezielle oder mehrere Lebensmitteleigenschaften auswirken. Es ist daher wichtig, den Einfluss auf die Lebensmitteleigenschaften (z. B. Strukturgebung, Textur, Volumengebung) durch Korrelationsuntersuchungen mit bestimmten funktionellen Eigenschaften (Gelbildungsvermögen, Viskosität, Wasser- und Fettbindung, Emulsions- und Schaumbildung) zu belegen. Derartige Korrelationen werden bisher zu selten ermittelt.

Einfluss der molekularen Eigenschaften

Die Technofunktionalität und die verschiedenen funktionellen Eigenschaften der Proteine werden durch deren Aminosäuren-Profil, Sekundärstruktur bzw. Anteil an α -Ketten und β -Faltblattstruktur, Molmassenverteilung, Flexibilität der Quartärstruktur bzw. Molekülfaltungsgrad, Oberflächenhydrophobizität, Denaturierungsgrad, Oberflächenladung (Zetapotenzial) sowie durch Wechselwirkungen mit dem umgebenden Milieu und einwirkende Prozessbedingungen bestimmt [4,5].

Leguminosenprodukte Proteingehalte:

Leguminosenmehle < 50 %,
Proteinkonzentrate 50–90 %,
Proteinisolate > 90 %

Leguminosenproteine weisen ähnliche Eigenschaften in der Molekülstruktur auf [11]. Hierauf basiert der vergleichbare Einfluss äußerer Einwirkungen auf die molekularen Eigenschaften und somit auf deren funktionelle Eigenschaften.

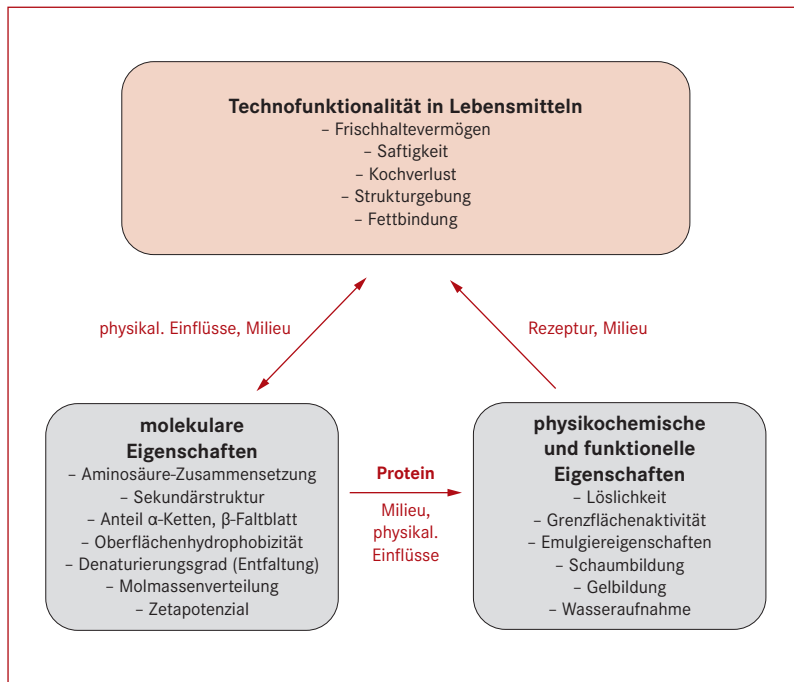
Die molekularen Unterschiede zwischen den Leguminosen bestehen insbesondere im Anteil an hochmolekularen Speicherproteinen (7S-/8S-Fraktion Vicilin/Convicin; 11S-Fraktion Legumin), in deren Molekülgröße und in der Zusammensetzung der Sekundärstruktur. Unerwünscht sind in den Leguminosenprodukten insbesondere die Gehalte an Trypsininhibitor (TI), Lipoxygenase (LOX) und Glykoproteinen (Lektin, Vicin/Convicin). Während TI und LOX hitzeempfindlich sind, kann Lektin durch Hitzebehandlung und Keimung und Vicin/Convicin durch Extraktionsprozesse reduziert bzw. eliminiert werden [9]. Ein gleichzeitiges Reduzieren des Gehaltes an TI sowie an Vicin/Convicin wurde durch Fermentation von Ackerbohnenmehl mit *Lactobacillus plantarum* erreicht [12]. Ein aktueller Überblick über mögliche Verfahren zur Senkung des TI-Gehaltes in Leguminosen wird in [13] gegeben. Möglichkeiten zur Senkung des Gehaltes antinutritiver Inhaltsstoffe in Proteinprodukten zeigt Tabelle 1.

Während ein hoher Anteil an Vicilin und β -Faltblattstruktur die Emulgierereigenschaf-

» Das Nutzungspotenzial der Proteine bestimmen insbesondere: (1) molekulare und physikochemische Eigenschaften, (2) Anteil an antinutritiven Fraktionen. «

Tab. 1 Varianten zur Senkung des Gehaltes an antinutritiven Inhaltsstoffen in Leguminosen-Produkten (Beispiele)

Behandlung der Hülsenfrüchte	Behandlung der Proteinextrakte	Behandlung der Mehle
Samen	(wenn keine Vorbereitung der Samen)	(wenn keine Vorbereitung der Samen)
• Vorkeimen	• Erhitzen auf Temperaturen < 100 °C (Zusatz Na ₂ CO ₃)	• Erhitzen auf Temperaturen < 100 °C (Zusatz Na ₂ CO ₃)
• Trockenhitzen (Rösten)	• Ultra-Hochdruck-Behandlung (< 100 °C)	• Ultra-Hochdruck-Behandlung (< 100 °C)
• Feuchthitzen	• Hoch-Kurzzeit-Erhitung (> 100 °C)	• Hoch-Kurzzeit-Erhitung (> 100 °C)
• Autoklavieren		

**Abb. 1**

Darstellung möglicher Abhängigkeit der Technofunktionalität der Proteine in Lebensmitteln von den molekularen, physikochemischen und funktionellen Eigenschaften

ten positiv beeinflusst [14], führt ein hoher Leguminanteil zum Anstieg der Protein-Denaturierungstemperatur [15]. Die Flexibilität der Quartärstruktur von Vicilin kann durch Glykosylierung mit Glucose erhöht und somit die Emulgierereigenschaft zusätzlich verbessert werden [16]. Eine gleichzeitige Reduzierung der Protein-Allergenität wird durch Glykosylierung von Glycinin (Soja 11S-Fraktion) mit Lactose erreicht [17].

Die geringere Flexibilität und Grenzflächenaktivität des Legumins kann durch chemischen Modifizierung (z. B. Acetylierung, Succinylierung), begrenzte Hydrolyse oder thermische Behandlung verbessert werden. Die Acetylierung von Ackerbohnenprotein wirkt sich neben den Emulgierereigenschaften auch positiv auf das Gelbildungsvermögen aus [9]. Mit Zunahme des Acetylierungsgrades werden die Emulgierereigenschaften sowie die Grenzflächenstabilität von Ackerbohnenprotein erheblich verbessert [9, 18]. Dies gilt auch für die Succinylierung von Ackerbohnenprotein [19]. Die Acetylierung verbessert auch das Schaumbildungsvermögen von entfettetem Ackerbohnenprotein [9]. Bei Lupinenprotein führt die Succinylierung zur höheren Viskosität und verbesserten Gelbildung [20].

» **Chemische und physikalische Modifizierungen sowie Milieuänderungen ermöglichen eine Manipulation der Proteinfunktionalität.** «

Derzeit ist die chemische Proteinmodifizierung für Lebensmittel nicht relevant, könnte aber für technische Anwendungsgebiete eine besondere Bedeutung erlangen. Zur Erhöhung der Grenzflächenaktivität und Verbesserung der Emulgierereigenschaften bietet sich als Alternative die begrenzte tryptische Hydrolyse [5] und für die Verbesserung der Schaumbildung die Schwingmahlung an [21]. Einen Überblick über die aufgezeigten Wechselwirkungen gibt Abbildung 1.

Gewinnung: Ackerbohnenproteinprodukte

Verschiedene Möglichkeiten zur Gewinnung und Modifizierung von Ackerbohnenmehlen und Ackerbohnenproteinisolen werden in [9] aufgezeigt.

Ackerbohnenmehl kann zur Inaktivierung des TI und der LOX sowie zur gleichzeitigen geschmacklichen Verbesserung einer Dampfbehandlung unterzogen oder als Dispersion (z. B. 40 % TS) erhitzt werden (95 °C, 60 min). Weiterhin sind hierfür ein Erhitzen der geschälten Bohnen vor dem Mahlen, eine Extraktion des Mehles mit Isopropanol oder eine wässrige Extraktion am isoelektrischen Punkt (IP) möglich. Bei der Hitzebehandlung ist zu beachten, dass einerseits mit zunehmender Proteindenaturierung und Abnahme der Proteinlöslichkeit das Wasser- und Fettbindungsvermögen ansteigt, andererseits die Grenzflächenaktivität (Emulgierereigenschaft, Schaumbildungsvermögen) erheblich reduziert wird.

Ein Vergleich kommerzieller Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenmehle hinsichtlich Löslichkeit, Emulgiervermögen, Schaumbildung, Gelbildung und Wasserhaltevermögen wurde bei unterschiedlichen pH-Werten (4, 7 und 10) durchgeführt [22]. Die Leguminosenmehle wiesen trotz eines unterschiedlichen Fettgehaltes (Erbsen 0 %, Ackerbohnen ~ 1,7 %, Lupinen ~ 10 %) bei pH 7 ein gutes Emulgiervermögen auf. Bei fettfreiem Erbsenmehl wurde dagegen ein hohes Schaumbildungsvermögen ermittelt.

Das Wasserhaltevermögen und die Gelbildungseigenschaft war bei Erbsenmehl und Ackerbohnenmehl ähnlich, das Wasserhaltevermögen von Lupinenmehl gering höher.

Die hier gezeigten Unterschiede zwischen den Mehlen lassen jedoch keine allgemeine Wertung hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu, da durch spezielle Modifizierungen (siehe Erbsenproteinpräparate) diese in ihren funktionellen Eigenschaften wesentlich verändert werden können.

Untersucht wurde auch, ob bei der Isolierung von Ackerbohnenprotein zugleich Polyphenole gewonnen werden können [23]. Dazu wurde Ackerbohnenmehl erst mit Hexan entfettet, anschließend wurden die Polyphenole mit Aceton (75 %ig) extrahiert. Die Extraktion des Proteins aus dem Mehl (10 %ige Mehldispersion) erfolgte in einer 0,25%igen Na_2SO_3 -Lösung bei pH 10,5. Nach der Zentrifugation wurde das im Überstand befindliche Protein bei pH 4 gefällt, mit Wasser gewaschen und gefriergetrocknet. Durch diese Isolierungsmethode konnte der Glycosidgehalt (Vicin/Convicin) um 99 % reduziert werden. Zu den gewonnenen Nebenprodukten der Proteinisolierung gehören ein unlöslicher Rückstand mit hoher Fettbindungseigenschaft, ein Fettextrakt mit hohem Gehalt an ungesättigten Fettsäuren und ein Polyphenolextrakt mit hoher antioxidativer Aktivität.

Bei einem Vergleich verschiedener Methoden zur Gewinnung von Ackerbohnen- und Erbsenproteinisolat wurde festgestellt, dass isoelektrisch gefälltes Isolat aus Ackerbohnen gegenüber dem Isolat aus Erbsen eine höhere Emulgierkapazität aufweist [24]. Erfolgt die Isolierung durch Salzextraktion, besteht zwischen beiden Proteinen kein Unterschied in den funktionellen Eigenschaften. Emulsionen mit salzextrahierten Proteinen wiesen jedoch größere Öltropfen gegenüber den IP-gefällten Isolaten auf, obwohl alle isolierten Proteine eine ähnliche Oberflächenhydrophobizität und Grenzflächenaktivität zeigen.

Gewinnung: Erbsenproteinprodukte

Durch gezielte thermische Behandlung nicht entfetteter Leguminosenprotein-Produkte kann gleichzeitig die LOX inaktiviert, der TI gesenkt und während der Lagerung eine sensorische Veränderung eingeschränkt werden. Bei Untersuchungen zur Reduzierung des TI- und Tanningehaltes in Erbsenmehl wurden der Effekt des Vorkeimens der Bohnen (70 Std., 30 °C) sowie die Anwendung verschiedener Erhitzungsverfahren getestet [25]. Der TI-Gehalt konnte insbesondere durch Hitzebehandlung und der Tanningehalt durch Kombination von Keimung und Erhitzen gesenkt und somit die Verdaulichkeit des Proteinproduktes verbessert werden.

Ein hitzebehandeltes Erbsenmehl (angefeuchtet bei 90 °C 20 min erhitzt) mit einem erhöhten Proteingehalt (51–55 %, Proteinanreicherung durch Luftklassierung) eignet sich zur Proteinanreicherung von Lebensmitteln und als Substitut für Eiweiß [26].

Neben der oben geschilderten Möglichkeit zur Isolierung von Erbsenproteinisolat soll ein spezielles Verfahren zur Gewinnung von Sojaproteinen aus nicht entfetteten Bohnen auf die Gewinnung von Erbsen- und Lupinenprotein übertragbar sein [27]. Bei diesem Verfahren wurden insbesondere der Zerkleinerungsgrad der Bohnen, die Durchführung der wässrigen Extraktion und die Phasentrennung mittels Dekanter zur Erzielung einer hohen Proteinausbeute optimiert.

Gewinnung: Lupinenproteinprodukte (Blaue Süßlupine)

Da der Fettgehalt im Lupinenmehl zur sensorischen Beeinträchtigung führt (unerwünschter Bohnengeschmack), wurde die Entfettungsart verglichen (Extraktion mit verschiedenen Lösemitteln) und dessen Einfluss auf die Proteindenaturierung untersucht (Proteinausbeute bei pH 7,2) [28]. Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Extraktion mit Ethanol und 2-Propanol am

Achtung:
neue Stellenanzeigen
auf www.dlr-online.de

» Die Verfahren zur Proteinisolierung und die thermische Belastung der Proteine bestimmen zusätzlich die funktionellen Eigenschaften. «

Tab. 2 Beispiele für die Modifizierung von Leguminosenmehlen, zum Aufkonzentrieren des Proteingehaltes in Mehlen und für Varianten der Proteinisolierung

Mehle	Proteinisolierung
modifizierte Mehle:	Mehl/Flakes entfettet:
<ul style="list-style-type: none"> • Vorkeimen der Bohnen 	<ul style="list-style-type: none"> • alkalisch (pH 8–9) oder sauer (pH 1,5–2,0) extrahieren und am IP (pH ~ 4,5) fällen (Mehle/Flakes thermisch behandelt)
<ul style="list-style-type: none"> • hydrothermische Behandlung oder Erhitzung der Bohnen 	<ul style="list-style-type: none"> • alkalisch (pH 8) mit KCl extrahieren, Extrakt nach Zentrifugation mittels Dialyse aufkonzentrieren und trocknen
<ul style="list-style-type: none"> • Dampfbehandlung der Mehle 	<ul style="list-style-type: none"> • mit Phosphatpuffer (pH 7,2, enthält 0,5 mol/L NaCl) extrahieren, Proteinextrakt mit entionisiertem Wasser durch Verdünnen mizellar fällen, abtrennen und trocknen
Aufkonzentrierung des Proteingehaltes nach Feinmahlung (bei hohem Stärkeanteil):	Proteinisolierung aus nicht entfetteten Sojabohnen:
<ul style="list-style-type: none"> • dynamische Windsichtung • tribo-elektrisches Aufkonzentrieren 	<ul style="list-style-type: none"> • geschälte Bohnen bei pH 8 mit heißem Wasser mahlen (Zellaufschluss), unlöslichen Rückstand und Öl mittels Dreiphasen-Dekanter abtrennen, Proteinlösung durch Dampf-injektion kurzzeitig erhitzen, Protein isoelektrisch fällen oder mittels Membran aufkonzentrieren, Trocknung

deutlichsten auf die Reduzierung des Boh-nengeschmacks auswirkt, Ethanol führt je-doch zur Verringerung der Proteinausbeute.

Zur Vermeidung von Sporenbildnern in Lupinenproteinisolat wurden geschälte Saat, Flakes und aus Flakes extrahiertes Protein (mizellares Protein, kochsalzextra-hiert) einer thermischen Behandlung unter-zogen [29]. Als geeignete Bedingungen zur Keimreduktion wurden für geschälte Bohnen 60 min trockene Erhitzung bei 130 °C und für nicht entfettete Flakes 60 min trockene Erhitzung bei 130 °C oder 60 min UV-C-Behandlung ermittelt. Eine hydrothermische Behandlung der geschälten Lupinen-Saat bei 80 °C (7 min) eignet sich zur Inaktivie-rung der LOX [30].

Um den Einsatz organischer Lösemittel für die Fettextraktion zu vermeiden sowie zur Inaktivierung der LOX wurde Lupinen-mehl in wässriger Phase bei pH 9 disper-giert (1 h), die Dispersion auf 80 °C erhitzt und nach Abkühlen der unlösliche Rück-stand abzentrifugiert [31]. Das gelöste Pro-tein wurde bei pH 4,5 gefällt, mit destillier-tem Wasser gewaschen und bei pH 4,5 oder pH 7,0 gefriergetrocknet. Der Vergleich der Verfahrensdurchführung bei 4 °C und 20 °C ergab bei 4 °C eine höhere Peroxidzahl (hö-here Löslichkeit von O₂ bei 4 °C), die Durch-führung des Verfahrens ist daher bei 20 °C vorteilhafter. Das Erhitzen der Dispersion

führt jedoch zur geringeren Protein- und Ölausbeute.

Ebenfalls bei pH 9 extrahiertes und bei pH 4,5 gefälltes und gefriergetrocknetes Lupinenprotein wies bei Anwesenheit von 100 mmol/L NaCl erhöhte Emulgier- und Schaumbildungseigenschaften auf [32].

Werden die Emulgiereigenschaften von IP-gefälltem Lupinenprotein (Extraktion bei pH 8, Fällung bei pH 4,5) mit salzextrahier-tem Protein verglichen (Extraktion mit 0,5 mol/L NaCl, Fällung durch Senkung der Ionenstärke), bewirkt die Salzextraktion eine höhere Proteinlöslichkeit unterhalb und oberhalb des IP und eine verbesserte Emul-giereigenschaft [33]. Das IP-gefällte Protein weist dagegen infolge geringer Löslichkeit eine höhere Wasserbindung auf.

Tabelle 2 zeigt Möglichkeiten zur Modifi-zierung von Leguminosenmehlen, zum Auf-konzentrieren des Proteingehaltes in Meh-len und Varianten zur Proteinisolierung.

Einsatzmöglichkeiten der Leguminosenmehle

Die funktionellen Eigenschaften der Mehle und somit deren Technofunktionalität in Le-bensmitteln wird wesentlich durch deren Protein-Denaturierungsgrad (Entfaltungs-grad bzw. Flexibilität) bzw. Löslichkeit (N-

›› **Senkung des Lipidgehaltes in den Proteinprodukten und Hitzeinaktivierung der Lipoxygenase verbessern die Geschmacksneutralität.** ‹‹

Löslichkeits-Index, NSI) und die Anwesenheit von nichtionischen und ionischen Polysacchariden (Stärke- und Nichtstärke-Fraktion) bestimmt. Stärkehaltige Mehle mit geringer Proteindenaturierung eignen sich als Emulsionsbildner und Konsistenzgeber (Quellung der Stärke erfolgt bei Hitzebehandlung).

Bei höherer Proteindenaturierung (geringe Proteinlöslichkeit) sind derartige Mehle weniger zur Emulsionsbildung, jedoch zur Konsistenzgebung sowie zur Erhöhung der Wasser- und Fettbindung geeignet. Eine stärkere Denaturierung fördert die Bildung feinporöser Mikrostruktur pulverförmiger Proteinprodukte und somit die Wasser- und Fettbindung. Die Auswahl der Proteinprodukte zur Erzielung der gewünschten Technofunktionalität (z. B. Emulsionsbildung, Struktur-, Konsistenz- und Volumengebung, Fett- und Wasserbindung, Senkung Kochverlust) erfolgt somit über die Proteineigenschaft und die Funktionalität anwesender Begleitstoffe.

Bei Lupinenmehl (sehr geringer Stärkegehalt) wird dessen Funktionalität insbesondere durch den Denaturierungsgrad des Proteins bestimmt. Sollen der Proteingehalt von Lebensmitteln erhöht und deren sonstige Qualitätseigenschaften unverändert bleiben (z. B. Textur von Brot, Teigwaren, Fleischerzeugnissen), bieten sich hierfür Proteinstrukturen (insbesondere Extrusionsprodukte oder Gelpartikel) sowie proteinstabilisierte bzw. proteinangereicherte Emulsionen an.

Leguminosenprotein-konzentrate- und Isolate

Leguminosenproteine sind zur Herstellung fett-/öhlhaltiger Lebensmittel (Dressing, Mayonnaise, Backwaren, milchähnliche Mischgetränke, Suppen, Soßen, Brotaufstriche usw.) geeignet. Der Vorteil besteht insbesondere darin, dass die Proteine bei der Emulsionsbildung hochwertige Öle (z. B. mit Omega-3-Fettsäuren) in eine Membran einschließen und vor Oxidation schützen.

Oberhalb der Denaturierungstemperatur (> 80 °C) stabilisieren die Proteingrenzflächen die Öl-/Fettphase zusätzlich und erhöhen die Koaleszenzstabilität.

Der Austausch von Fleischfett durch Pflanzenöl kann in Brühwurst (z. B. Frankfurter-Typ) mittels proteinstabilisierten Öl-Emulsionen erfolgen (Zugabe zum Fleischbrät) [34]. Leguminosenmehle und -proteine (hohe Proteinlöslichkeit) verbessern in Kochwurstzeugnissen die Konsistenz und Fettverteilung (Emulsionsbildung). Erfolgt die Emulsionsbildung mit Protein-Polysaccharid-Gemischen (ionische Polysaccharide, z. B. Pektin) sind die Fließ- und Konsistenzigenschaften der Emulsionsprodukte über das Protein-Polysaccharid-Verhältnis und den Ölanteil gut variierbar [35,36].

Beispiele für weitere Lebensmittelapplikationen

Ackerbohnenproteinisolat (IP-gefällt) eignet sich zur Herstellung von Strukturgebern (Proteinfasern, Extrusionsprodukte) für Fleischerzeugnisse. Eine bei pH 2 extrahierte Proteinfraction kann als Gelbildner für säurehaltige Süßwarengele (Substitution von Gelatine oder Agar-Agar) eingesetzt werden. Schwach hydrolysierte Ackerbohnenproteinisolate weisen verbesserte O/W-Emulsionsbildung und Schaumbildung auf, die Schaumstabilität ist jedoch im Vergleich zu Eialbumin wesentlich geringer. Für technische Anwendungen bietet sich die Proteinmodifizierung durch Acetylierung an, hierdurch wird neben der Emulsionsbildung auch die Gelbildung erheblich verbessert.

Ackerbohnenmehl eignet sich u. a. als Mehlaustauscher in Brot (10 % Austausch), Nudeln (20 %) und Spaghetti (~13 %) sowie als Austauscher für Milchprotein bei der Herstellung von Speiseeis (Mehl aus dampfbehandelten Bohnen).

Ackerbohnenstärke kann für Kochpudding oder zur Herstellung von Stärkesirup (Säurehydrolyse) verwendet werden. Phosphatierte Ackerbohnenstärke weist unter 95 °C eine geringe Viskosität mit verbesser-

» Mehle mit höherem Proteindenaturierungsgrad sind geeigneter für die Proteinanreicherung von Lebensmitteln (geringerer Einfluss auf die native Lebensmitteltextur). «

» Funktionalität der Leguminosenmehle: (1) hohe Proteinlöslichkeit = gute Emulsions- und Schaumbildung, (2) geringe Proteinlöslichkeit = höhere Wasser- und Fettbindung «

Mehle, Konzentrate, Isolate (funktioneller Zusatzstoff)	Maillard-Produkte (Protein-Zucker-Reaktionsprodukte)	Protein-Polysaccharid-Interaktionsprodukte	enzym-modifizierte Proteine	strukturierte Proteine
<ul style="list-style-type: none"> • Emulsionsbildner • Schaumbildner, Volumengeber • Gelbildner • Texturgeber (Netzwerkbildung) • Haftvermittler an hydrophoben Flächen 	<ul style="list-style-type: none"> • Antioxidans • Farbgeber 	<ul style="list-style-type: none"> • Emulsionsbildner • Verringerung pH-Empfindlichkeit • Schaumbildner • Trubgeber (Trubstoffbildung für Getränke) • Schaumstabilisierer • Fleischsubstitut (anisotropes Gemisch strukturiert) 	<p>begrenzte Hydrolyse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schaumbildner • Emulsionsbildner • Gelbildner <p>nicht begrenzte Hydrolyse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aminosäurengewinnung • Fungizidwirkung <p>Vernetzung mit Transglutaminase</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gelbildung • Strukturgebung 	<p>extrudiert</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fleischsubstitute • Flips <p>hitzegekocht</p> <ul style="list-style-type: none"> • Füllstoffe • Strukturgeber • Fettausstauscher <p>versponnen (Säurefällung)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fleischsubstitute <p>nanoversponnen (Electrospinning)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Texturgebung • Verkapselung bioaktiver Stoffe

Abb. 2

Beispiele für Einsatzmöglichkeiten von Leguminosen-Produkten

serten Quellungs- und Löslichkeitseigenschaften auf.

Neben den hier ausgewählten Einsatzmöglichkeiten für Ackerbohnenmehl, Ackerbohnenprotein und Ackerbohnenstärke [9,37] besteht die Möglichkeit des Einsatzes von Hydrolysat aus einem Gemisch von Ackerbohnen-, Erbsen- und Linsenprotein (1:1:1) als Fungizid für Weißbrot [38].

Erbsenproteinisolat* ist ein guter Emulsionsbildner und eignet sich z. B. auch zur Verkapselung von konjugierter Linolsäure in O/W-Emulsionen [39]. Durch Kombination mit Na-Kaseinat (1:1) können stabile Nanoemulsionen (< 200 nm) erzeugt werden [40]. Eine reduzierte NaCl-Empfindlichkeit bei gleichzeitig verbesserter Emulsions- und Schaumbildungseigenschaft wird durch Vernetzen einer 1%igen Proteinlösung mit Transglutaminase erreicht [41]. Weiterhin führt das Vorerhitzen (90 °C, 10 min) der Proteinlösung zu kleineren Emulsionstropfen [42]. Eine thermische Vorbehandlung (95 °C, 30 min) des Proteins führt in Emulsionen zur Verringerung der Tropfengröße

(nicht erhitzt Tropfen Ø 1,16 µm, vorerhitzt Ø 0,53 µm) [43].

Zur Bildung stabiler Emulsionen (hohes negatives Zetapotenzial, keine Tropfenaggregatbildung) sind Erbsenprotein-Pektin-Konjugate (Erzeugung bei 60 °C und 79 % relative Luftfeuchte) geeignet [44].

Als Antioxidans kann das Erbsenprotein nach Bildung eines Melanoproteins (Erhitzen mit Glucose, 180 °C, 5 min) eingesetzt werden [45]. Weitere Beispiele sind: Erbsenprotein/ β -Lactoglobulin-Aggregate (85 °C, 60 min) als neue Lebensmittelkomponente für die Produktentwicklung [46], TOFU-Ersatz durch Vorerhitzen (85 °C, 60 min) und Abkühlen der Proteinlösung unter Zusatz von Glucono- δ -Lacton [15], Extrusionsprodukte als Fleischsubstitute [47,48], Substitut für Eialbumin (luftklassiertes und hitzemoifiziertes Proteinkonzentrat [26]).

Mehl aus vorgekeimten Erbsen eignet sich zur Proteinanreicherung von Brot (Austausch von 10 % Weizenmehl [49]), weiterhin kann Erbsenmehl zur Proteinanreicherung von Biskuitkuchen (Austausch von 50 % Weizenmehl) und Biskuitplätzchen (Austausch von 25 % Weizenmehl) eingesetzt werden [50].

» Mögliche Erweiterung der Proteinapplikation: Schwache Hydrolyse, Kombinieren mit anderen Proteinen oder ionischen Polysacchariden, Zusatz Proteinvernetzer, Reaktion mit Kohlenhydraten «

* siehe auch PISANE, SATIVA und SWELITE unter www.foodingredients.de/rohstoffe

Möglichkeiten zum Einsatz von Leguminosen-Produkten sind in Abbildung 2 zusammengestellt.

Verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Lupinenprotein sind unter www.lupino-ag-deutschland.com aufgezeigt: Mayonnaise, Speiseeis, Backwaren, Fleisch- und Wurstwaren, Gesundheitsgetränke und Milcherzeugnisse. Weitere Beispiele sind neben der Herstellung von milchfreiem Joghurt [51,52] die Proteinanreicherung von Brot [53,54] und die Verkapselung von D-Limonen durch Mehrschichtenbildung aus Lupinenprotein und ionischen Polysacchariden [55].

Fazit

Leguminosenmehle und Leguminosenprotein-Produkte weisen eine gute Technofunktionalität auf und eignen sich zur Einstellung spezifischer Lebensmitteleigenschaften, zur Verkapselung von Inhaltsstoffen [56] sowie zur Proteinanreicherung. Die Luftklassierung und ein tribo-elektrisches Verfahren [57] können zur Herstellung von Proteinkonzentraten, wässrige Extraktionsverfahren zur Konzentrat- und Isolatherstellung eingesetzt werden. Durch partielle Hydrolyse, Hitze- und Druckbehandlung sowie durch Interaktionen mit ionischen Polysacchariden sind die funktionellen Eigenschaften der Leguminosenprotein-Produkte breit variierbar.

Derartige Produkte sind grenzflächenaktiv und eignen sich daher als Emulgatoren, damit hergestellte Emulsionen weisen eine höhere Oxidations-, Hitze und Kältestabilität auf. Partiiell hydrolysierte Leguminosenprotein-Produkte eignen sich zugleich als Schaumbildner, die Schaumstabilität kann durch Kombination mit viskositätsgebenden Proteinen oder Polysacchariden erhöht werden. Vernetzende Agenzien (Enzyme) und gelierende Polysaccharide (z. B. NV-Pektin, Alginat) unterstützen die Ausbildung von Gelstrukturen.

Die Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Leguminosenprotein-Produkten kann durch

weitere Fraktionierung der Proteine (hochmolekular, niedermolekular einschließlich Glykoside und Enzyme) und Verwertung weiterer Inhaltsstoffe (Stärke, Zellulose, sonstige Kohlenhydrate, Lipide, Enzyme) erhöht werden. Zur Senkung des Energieverbrauchs könnten die Fraktionierung mittels Membrantrenntechnik und die Herstellung von Protein-Flüssigkonzentraten beitragen. Als Möglichkeit zur Effektivitätserhöhung der Leguminosenaufbereitung wird die gleichzeitige Vermarktung von Spezialprodukten für den medizinischen Bereich (z. B. Lektin als Antibiotikaersatz, Polyphenole als Antidiabetikum), den technischen Bereich (z. B. Emulgatoren, Klebstoffe, Bindemittel, Zusätze für Bau- und Dämmstoffe) und für den Einsatz in umweltfreundlichen Folien und andere bioabbaubaren Verpackungsmaterialien gesehen.

Literatur

- [1] Braudo EE, Plashchina IG, Schwenke KD: Plant protein interactions with polysaccharides and their influence on legume protein functionality – A review. *Nahrung/Food* **45**, 382–384 (2001a).
- [2] De Graaf LA et al.: Requirements for non-food applications of pea proteins – A review. *Nahrung/Food* **45**, 408–411 (2001).
- [3] Foegeding EA, Davis JD: Food protein functionality: A comprehensive approach. *Food Hydrocolloid* **25**, 1853–1864 (2011).
- [4] Kinsella JE: Functional properties of soy proteins. *JAOCS* **56**, 241–258 (1979).
- [5] Schwenke KD: Reflections about the functional potential of legume proteins – A review. *Nahrung/Food* **45**, 377–381 (2001).
- [6] Arntfield SD, Maskus HD: Peas and other legume proteins. In: Phillips GO, Williams PA (Hrsg.): *Handbook of food proteins*, pp. 233–266. Woodhead Publ. Ltd., Oxford (2011).
- [7] Gueguen J, Cerletti P: Proteins of some legume seeds: soybean, pea, fababean and lupin. In: Hudson BJF (Hrsg.): *New and Developing Sources of Food Proteins*, pp. 145–193. Chapman & Hall, London (1994).

Danksagung
Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP) gefördert.

» Leguminosenprotein-Produkte weisen eine hohe Anwendungsbreite auf, deren Funktionalität beeinflussbar ist. Ein vielseitiger Einsatz ist auch im Non-Food-Bereich möglich. «

- [8] *Gueguen J, Poppineau Y* (Hrsg.): Plant Proteins from European Crops, Food and Non-Food Applications. Springer (1998).
- [9] *Muschiolik G, Schmandke H*: Funktionelle Eigenschaften von Ackerbohnenprodukten (*Vicia faba*), Ernährung, Biochemie und Verarbeitung. Shaker Verlag, Maastrich und Herzogenrath (2000).
- [10] *Schwenke KD, Mothes R* (Hrsg.): Food proteins structure and functionality. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim (1993).
- [11] *Derbyshire E, Wright DJ, Boulter D*: Legumin and vicilin, storage proteins of legume seeds. *Phytochem* **15**, 3–24 (1976).
- [12] *Coda R et al.*: Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum* VTT E-133328 on faba bean (*Vicia faba* L.) flour nutritional properties. *Int J Food Microbiol* **193**, 34–42 (2015).
- [13] *Avilés-Gaxiola S, Chuck-Hernández C, Saldivar SOS*: Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *J Food Sci* **83**, 17–29 (2018).
- [14] *Shevkani K et al.*: Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study. *Food Hydrocolloid* **43**, 679–689 (2015).
- [15] *Mession J-L et al.*: Effect of globular pea proteins fractionation on their heat-induced aggregation and acid cold-set gelation. *Food Hydrocolloid* **46**, 233–243 (2015).
- [16] *Tang C-H, Sun X, Foegeding EA*: Modulation of physicochemical and conformational properties of Kidney Bean vicilin (phaseolin) by glycation with glucose: Implications for structure-function relationships of legume vicilins. *J Agric Food Chem* **59**, 10114–10123 (2011).
- [17] *Bu G, Zhang N, Chen F*: The influence of glycosylation on the antigenicity, allergenicity, and structural properties of 11S-lactose conjugates. *Food Res Int* **76**, 511–517 (2015).
- [18] *Krause J-P, Buchheim W*: Ultrastructure of o/w emulsions stabilized by faba bean protein isolates. *Nahrung* **38**, 455–463 (1994).
- [19] *Krause J-P, Krägel J, Schwenke KD*: Properties of interfacial films formed by succinylated legumin from faba beans (*Vicia faba* L.). *Colloids Surf B Biointerfaces* **8**, 279–286 (1997).
- [20] *Krause J-P, Bagger Ch, Schwenke KD*: Rheological properties of modified lupin proteins. *Nahrung/Food* **45**, 412–415 (2001).
- [21] *Muschiolik G et al.*: Proteinmodifizierung mittels Schwingmahlung. *Nahrung* **38**, 464–477 (1994).
- [22] *Raikos V et al.*: Comparative study of the functional properties of lupin, green pea, fava bean, hemp, and buckwheat flours as affected by pH. *Food Sci Nutr* **2**, 802–810 (2014).
- [23] *Vioque J, Alaiz M, Girón-Calle J*: Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food Chem* **132**, 67–72 (2012).
- [24] *Karaca AC, Low N, Nickerson MT*: Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Res Int* **44**, 2742–2750 (2011).
- [25] *Ma Z, Boye JI, Hu X*: *In vitro* digestibility, protein composition and techno-functional properties of Saskatchewan grown yellow field peas (*Pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food Res Int* **92**, 64–78 (2017).
- [26] *Pelgrom PIM et al.*: Dry fractionation for production of functional pea protein concentrates. *Food Res Int* **53**, 232–239 (2013).
- [27] *Preece KE, Hooshyar N, Zuidam NJ*: Whole soybean protein extraction processes: A review. *Innov Food Sci Emerg Technol* **43**, 163–172 (2017).
- [28] *Bader St et al.*: Influence of different organic solvents on the functional and sensory properties of lupin (*Lupinus angustifolius* L.) proteins. *LWT – Food Sci Technol* **44**, 1396–1404 (2011).
- [29] *Melde D, Wiacek C, Braun PG*: Physical decontamination of lupin (*Lupinus*

Wissenschaft aktuell

■ Hülsenfrucht-Produkte im Aufwind

In den Jahren von Mitte 2013 bis Mitte 2017 sind weltweit 27 058 neue Produkte auf den Markt gekommen, die Hülsenfrüchte enthalten. Dies fanden Carla Teixeira und ihr Team vom Praxispartner PortugalFoods zusammen mit Wissenschaftlern der Universidade Católica Portuguesa (UCP) im Rahmen des EU-Projektes TRUE heraus.

Die höchste Wachstumsrate mit 39 % verzeichnete der europäische Markt. Spitzenreiter ist das Vereinigte Königreich mit 19 % der neuen Produkte, gefolgt von Frankreich (14 %) und Deutschland (13 %).

Bei den verschiedenen Produktkategorien haben vor allem Fleischersatzprodukte mit einer Wachstumsrate von 451 % zugelegt. Es folgten Pasta (295 %) und Snacks aus Bohnen (128 %).

Betrachtet man die gesundheitsbezogenen Angaben bei den Produkten mit Hülsenfrüchten, so kann man einen Anstieg um 196 % bei veganen und 73 % bei glutenfreien Produkten beobachten. Das entspricht dem globalen Markttrend.

TRUE (TRansition paths to sUustainable legume-based systems in Europe): Die EU fördert dieses Projekt im Rahmenprogramm Horizont 2020 mit insgesamt 5 Millionen Euro. Beteiligt sind 24 Projektpartner aus elf Ländern: Kroatien, Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Griechenland, Ungarn, Irland, Portugal, Slowenien, Spanien und Kenia. Auch die Universität Hohenheim erhält über vier Jahre insgesamt Fördermittel in Höhe von 541 866 Euro.

www.uni-hohenheim.de

- angustifolius*) protein isolates, seeds and flakes: Effects on microbiological status and micellar protein yield. *LWT – Food Sci Technol* **66**, 651–656 (2016).
- [30] *Stephany M* et al.: Lipoxygenase inactivation kinetics and quality-related enzyme activities of narrow-leaved lupin seeds and flakes *LWT – Food Sci Technol* **68**, 36–43 (2016).
- [31] *Berghout JAM* et al.: Aqueous fractionation yields chemically stable lupin protein isolates. *Food Res Int* **72**, 82–90 (2015).
- [32] *Piornos JA* et al.: Functional and physicochemical properties of a protein isolate from AluProt-CGNA: A novel protein-rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Res Int* **76**, 719–724 (2015).
- [33] *Muranyi IS* et al.: Influence of the isolation method on the technofunctional properties of protein isolates from *Lupinus angustifolius* L. *J Food Sci* **81**, C2656–C2663 (2016).
- [34] *Kang Z-L, Chen F-S, Ma H-J*: Effect of pre-emulsified soy oil with soy protein isolate in frankfurters: A physicochemical and Raman spectroscopy study. *LWT – Food Sci Technol* **74**, 465–471 (2016).
- [35] *Muschiolik G, Paulus KO*: Sensorisch und ernährungsphysiologisch verbesserte Nahrungsmittel und Verfahren zu deren Herstellung. DE 10 2009 019 550 B4 (2009a).
- [36] *Muschiolik G, Paulus KO*: Zusammensetzung aus einer phasenstabilen Öl-in-Wasser-Emulsion, Verfahren zu deren Herstellung, diese enthaltende Formulierung und deren Verwendung. DE 10 2009 019 551 B4 (2009b).
- [37] *Laleg K* et al.: How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT – Food Sci Technol* **79**, 471–478 (2017).
- [38] *Rizzello CG* et al.: Hydrolysate from a mixture of legume flours with antifungal activity as an ingredient for prolonging the shelf-life of wheat bread. *Food Microbiol* **64**, 72–82 (2017).
- [39] *Fernandez-Avila C* et al.: Vegetable protein isolate-stabilized emulsions for enhanced delivery of conjugated linoleic acid in Caco-2 cells. *Food Hydrocolloid* **55**, 144–154 (2016).
- [40] *Yerramilli M, Longmore N, Ghosh S*: Improved stabilization of nanoemulsions by partial replacement of sodium caseinate with pea protein isolate. *Food Hydrocolloid* **64**, 99–111 (2017).
- [41] *Salma HA* et al.: Changes in the functional properties as a function of NaCl concentration of legumes protein isolate by transglutaminase cross linking. *Int Food Res J* **17**, 817–824 (2010).
- [42] *Benjamin O* et al.: Emulsifying properties of legume proteins compared to β -Lactoglobulin and Tween 20 and the volatile release from oil-in-water emulsions. *J Food Sci* **79**, E2014–E2022 (2014).
- [43] *Peng W* et al.: Effects of heat treatment on the emulsifying properties of pea proteins. *Food Hydrocolloid* **52**, 301–310 (2016).
- [44] *Tamnak S* et al.: Physicochemical properties, rheological behavior and morphology of pectin-pea protein isolate mixtures and conjugates in aqueous system and oil in water emulsion. *Food Hydrocolloid* **56**, 405–416 (2016).
- [45] *Žilić S* et al.: Effects of isolation, enzymatic hydrolysis, heating, hydration and Maillard reaction on the antioxidant capacity of cereal and legume proteins. *Food Res Int* **49**, 1–6 (2012).
- [46] *Chihl M-L* et al.: Heat-induced soluble protein aggregates from mixed pea globulins and β -Lactoglobulin. *J Agric Food Chem* **64**, 2780–2791 (2016).
- [47] *Beck SM, Knoerzer K, Arcot J*: Effect of low moisture extrusion on a pea protein isolate's expansion, solubility, molecular weight distribution and secondary structure as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). *J Food Eng* **214**, 166–174 (2017).
- [48] *Osen R* et al.: High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *J Food Eng* **127**, 67–74 (2014).
- [49] *Mondor M, Guévremont E, Villeneuve S*: Processing, characterization and bread-making potential of malted yellow peas. *Food Biosci* **7**, 11–18 (2014).
- [50] *Gómez M, Doyagüe MJ, de la Hera E*: Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. *LWT – Food Sci Technol* **46**, 142–147 (2012).
- [51] *Hickisch A* et al.: Influence of lupin-based milk alternative heat treatment and exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria on the physical characteristics of lupin-based yogurt alternatives. *Food Res Int* **84**, 180–188 (2016a).
- [52] *Hickisch A* et al.: Thermal treatment of lupin-based milk alternatives – Impact on lupin proteins and the network of respective lupin-based yogurt alternatives. *Food Res Int* **89**, 850–859 (2016b).
- [53] *Paraskevopoulou A, Chrysanthou A, Koutidou M*: Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate enriched wheat flour bread. *Food Res Int* **48**, 568–577 (2012).
- [54] *Villarino CBJ* et al.: The effects of Australian sweet lupin (ASL) variety on physical properties of flours and breads. *LWT – Food Sci Technol* **60**, 435–443 (2015a).
- [55] *Burgos-Díaz C* et al.: Influence of multilayer o/w emulsions stabilized by proteins from a novel lupin variety AluProt-CGNA and ionic polysaccharides on α -limonene retention during spray-drying. *Colloids Surf A* **536**, 234–241 (2018).
- [56] *Sharif HR* et al.: Current progress in the utilization of native and modified legume proteins as emulsifiers and encapsulants – A review. *Food Hydrocolloid* **76**, 2–16 (2018).
- [57] *Tabtabaei S* et al.: Solvent-free production of protein-enriched fractions from navy bean flour using a triboelectrification-based approach. *J Food Eng* **174**, 21–28 (2016).

Kontakt

Prof. Dr. Gerald Muschiolik
Food Innovation Consultant
info@muschiolik.de
www.muschiolik.de