

Technologische Bedeutung von Leguminosenproteinen bei der Lebensmittelherstellung – aktueller Stand der Forschung

Gerald Muschiolik
www.muschiolik.de

Mit der technologischen Bedeutung und den Einsatzmöglichkeiten von Leguminosenprotein-Produkten¹ 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. Braudo et al., 2001; De Graaf et al., 2001; Foegeding & Davis, 2011; Kinsella, 1979.; Schwenke, 2001). Weiterhin existieren hierzu verschiedene Sammelwerke (z.B. Arntfield & Maskus, 2011; Gueguen & Cerletti, 1994; Gueguen & Poppineau, 1998; Muschiolik & Schmandke, 2000; Schwenke & Mothes, 1993).

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 „technofunktionelle 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 Inhaltsstoffe (Kohlenhydrate, Lipide) beeinflusst werden. Die erzielten Le-

¹ Proteingehalte: Leguminosenmehle < 50 %, Proteinkonzentrate 50-90 %, Proteinisolate > 90 %

bensmitteleigenschaften sind das Ergebnis komplexer Wechselwirkungen zwischen Leguminosenprotein-Produkt und Lebensmittelinhaltsstoffen bei unterschiedlich 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.

Nach Kinsella (1979) sollte der Effekt des Proteinrohstoffs zuerst in einfachen Modellsystemen und dann in komplexen Lebensmitteln getestet werden. 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 usw.) 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 (Zetapotential) sowie die Wechselwirkungen mit dem umgebenden Milieu und einwirkende Prozessbedingungen bestimmt (Kinsella, 1979; Schwenke, 2001).

Leguminosenproteine weisen ähnliche Eigenschaften in der Molekülstruktur auf (Derbyshire et al., 1976). 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/Convicilin; 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 (Muschiolik & Schmandke, 2000). Möglichkeiten zur Senkung des Gehaltes an derartigen antinutritiven Inhaltsstoffen werden in Abb. 1 aufgezeigt.

Behandlung der Hülsenfrüchte

(Samen)

- Vorkeimen
- Trockenerhitzen (Rösten)
- Feuchterhitzen
- Autoklavieren

Behandlung der Proteinextrakte

(wenn keine Vorbehandlung der Samen u. Mehle):

- Erhitzen auf Temperaturen $< 100\text{ °C}$
(Zusatz Na_2CO_3)
- Ultra-Hochdruck-Behandlung ($< 100\text{ °C}$)
- Hoch-Kurzzeit-Erhitzen ($> 100\text{ °C}$)

Behandlung der Mehle

(wenn keine Vorbehandlung der Samen):

- Trockenerhitzen (Rösten)
- Feuchterhitzen (Dampfbehandlung)
- Wässrige Extraktion bei pH 4,5
- Alkoholische Lösemittelextraktion

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

Während ein hoher Anteil an Vicilin und β -Faltblattstruktur die Emulgiereigenschaften positiv beeinflusst (Shevkani et al., 2015), führt ein hoher Leguminanteil zum Anstieg der Protein-Denaturierungstemperatur (Mession et al., 2015). Die Flexibilität der Quartärstruktur von Vicilin kann durch Glykosylierung mit Glucose erhöht und somit die Emulgiereigenschaft zusätzlich verbessert werden (Tang et al., 2011). Bu et al. (2015) ermittelten, dass die Glykosylierung von Glycinin (Soja 11S-Fraktion) mit Lactose gleichzeitig zur Reduzierung der Protein-Allergenität beiträgt.

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 Emulgiereigenschaften auch positiv auf das Gelbildungsvermögen aus (Muschiolik & Schmandke, 2000). Mit Zunahme des Acetylierungsgrades werden die Emulgiereigenschaften sowie die Grenzflächenstabilität von Ackerbohnenprotein erheblich verbessert (Muschiolik et al., 1987; Krause et al., 1994). Dies gilt auch für die Succinylierung von Ackerbohnenprotein (Krause et al., 1997, 1998). Die Acetylierung verbessert auch das Schaumbildungsvermögen von entfettetem Ackerbohnenprotein (Muschiolik & Schmandke, 2000). Bei Lupinenprotein führt die Succinylierung zur höheren Viskosität und verbesserten Gelbildung (Krause et al., 2001).

Aktuell ist die chemische Proteinmodifizierung für Lebensmittel nicht relevant, könnte aber für technische Anwendungsgebiete eine besondere Bedeutung erlangen. Zur Erhöhung der Grenzflächenaktivität und Verbesserung der Emulgiereigenschaften bietet sich als Alternative die begrenzte tryptische Hydrolyse (Krause & Schwenke, 1995; Schwenke, 2001) und für die Verbesserung der Schaumbildung die Schwingmahlung an (Muschiolik et al., 1994). Einen Überblick über die aufgezeigten Wechselwirkungen gibt Abbildung 2.

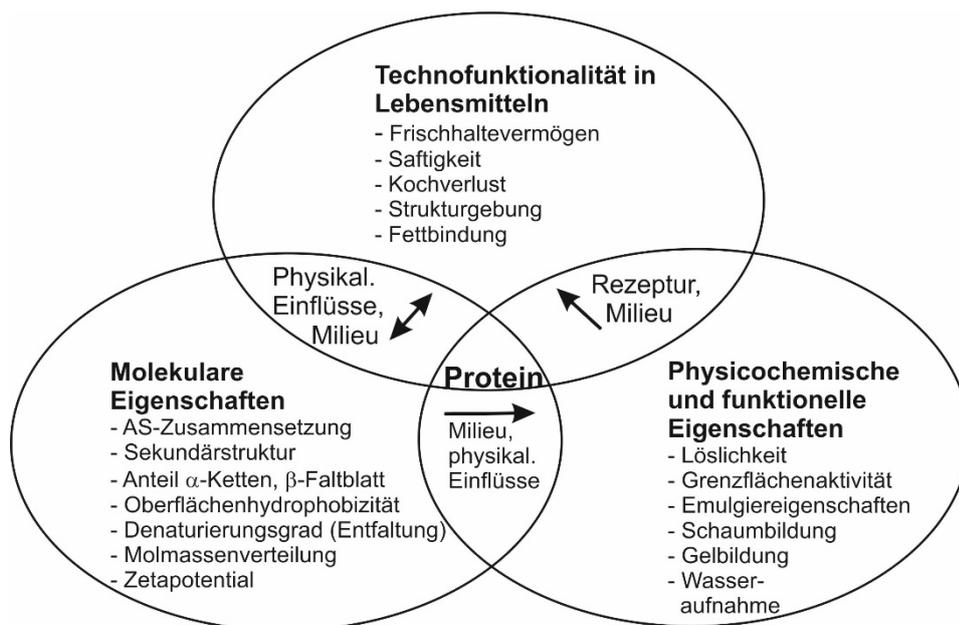


Abb. 2: Darstellung möglicher Abhängigkeit der Technofunktionalität der Proteine in Lebensmitteln von den molekularen, physikochemischen und funktionellen Eigenschaften

Gewinnung von Leguminosenprodukten

Ackerbohnenproteinprodukte

Verschiedene Möglichkeiten zur Gewinnung und Modifizierung von Ackerbohnenmehlen und Ackerbohnenproteinisolaten werden bei Muschiolik & Schmandke (2000) 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.

Raikos et al. (2014) untersuchten kommerzielles Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenmehl bei unterschiedlichen pH-Werten (4, 7 und 10) hinsichtlich Löslichkeit, Emulgiervermögen, Schaumbildung, Gelbildung und Wasserhaltevermögen. Die Leguminosenmehle mit unterschiedlichem Fettgehalt (Erbsen 0 %, Ackerbohnen ~ 1,7 %, Lupinen ~ 10 %) weisen bei pH 7 ein besseres Emulgiervermögen auf. Das beste Schaumbildungsvermögen wurde mit Erbsenmehl (fettfrei) ermittelt. Das Wasserhaltevermögen und die Gelbildungseigenschaft sind bei Erbsenmehl und Ackerbohnenmehl ähnlich, das Wasserhaltevermögen von Lupinenmehl ist gering höher. Die hier gezeigten Unterschiede zwischen den Mehlen lassen jedoch keine allgemeine Wertung hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu, da durch

spezielle Modifizierungen (siehe Erbsenproteinpräparate) die Mehle in ihren funktionellen Eigenschaften wesentlich verändert werden können.

Vioque et al. (2012) untersuchten die Möglichkeit zur Gewinnung von Nebenprodukten bei der Proteinisolierung. Ackerbohnenmehl wurde mit Hexan entfettet, Polyphenole wurden anschließend mit Aceton (75 %ig) extrahiert. Die Proteinextraktion (10 %ige Mehldispersion) erfolgte in 0,25% Na₂SO₃-Lösung (pH 10,5). Das Protein im abzentrifugierten Überstand wurde bei pH 4 gefällt, mit Wasser gewaschen und gefriergetrocknet. Der Glycosidgehalt (Vicin/Convicin) konnte um 99 % reduziert werden, die gewonnenen Nebenprodukte der Proteinisolierung sind ein unlöslicher Rückstand mit hoher Fettbindungseigenschaft, ein Fettextrakt reich an ungesättigten Fettsäuren und ein Polyphenolextrakt mit hoher antioxidativer Aktivität.

Karaca et al. (2011) verglichen Ackerbohnenproteinisolat und Erbsenproteinisolat, gewonnen durch isoelektrische Fällung oder Salzextraktion aus entfettetem Ackerbohnenmehl und Erbsenmehl. Während isoelektrisch gefälltes Ackerbohnenproteinisolat gegenüber dem isoelektrisch gefällten Erbsenproteinisolat eine höhere Emulgierkapazität aufwies, zeigten die salzextrahierten Proteinextrakte keine Unterschiede in den funktionellen Eigenschaften. Emulsionen mit salzextrahierten Proteinen wiesen jedoch größere Öltropfen auf. Beide Isolierungsverfahren führten zu ähnlicher Oberflächenhydrophobizität und Grenzflächenaktivität des Proteins.

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. Ma et al. (2017) untersuchten verschiedene Möglichkeiten zur Reduzierung des TI- und Tanningehaltes in Erbsenmehl durch Vorkeimen der Bohnen (70 Std., 30 °C) und verschiedener Erhitzungsverfahren. Durch Erhitzen kann der TI-Gehalt und durch Kombination von Keimung und Erhitzen zugleich der Tanningehalt erheblich reduziert und somit die Verdaulichkeit verbessert werden.

Erbsenmehl mit einem erhöhten Proteingehalt (51-55 % Protein), das zur Proteianreicherung von Lebensmitteln und als Substitut für Eiweiß geeignet ist, wurde durch Luftklassierung mit nachfolgender Erhitzung (angefeuchtet, 90 °C, 20 min) gewonnen (Pelgrom et al., 2013).

Neben den oben geschilderten Möglichkeiten zur Isolierung von Erbsenproteinisolat wurde durch Preece et al. (2017) ein Verfahren zur Sojaproteingewinnung aus nicht entfetteten Bohnen optimiert (Optimierung des Zerkleinerungsgrads der Bohnen, der wässrigen Extraktion und der Phasentrennung mittels Dekanter). Die ermittelten Verfahrensparameter sollen nach Preece et al. (2017) auch auf die Proteingewinnung aus Erbsen und Lupinen übertragbar sein.

Lupinenproteinprodukte (Blaue Süßlupine)

Nach Bader et al. (2011) führt der Fettgehalt im Lupinenmehl zu sensorischen Nachteilen (unerwünschter Bohnengeschmack). Aus diesem Grund wurde die Fettextraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln durchgeführt und der Einfluss auf die Proteindenaturierung (Proteinausbeute bei pH 7,2) untersucht. Die Extraktion mit Ethanol und 2-Propanol wirkte sich am deutlichsten auf die Reduzierung des Bohnengeschmacks aus, Ethanol reduzierte jedoch die Proteinausbeute.

Melde et al. (2016) untersuchten den Einfluss der thermischen Keimreduktion auf die Proteinextraktion und ermittelten als geeignete Bedingungen 60 min trockene Erhitzung bei 130 °C für geschälte Bohnen und 60 min trockene Erhitzung bei 130 °C oder 60 min UV-C-Behandlung für nicht entfettete Flakes. Zur Inaktivierung der LOX genügen nach Stephany et al. (2016) 7 min hydrothermische Behandlung der Bohnen bei 80 °C.

Berghout et al. (2015) entwickelten ein Verfahren zur Proteinisolierung aus nicht entfettetem Lupinenmehl. Das Mehl wurde bei pH 9 dispergiert (1 Std.), auf 80 °C erhitzt und nach Abkühlen der unlösliche Rückstand abzentrifugiert. Aus dem Überstand wurde das Protein bei pH 4,5 gefällt, nach dem Abzentrifugieren mit destilliertem Wasser gewaschen und anschließend neutralisiert.

Piornos et al. (2015) dispergierten Lupinenmehl in wässriger Lösung bei pH 9, fällten das gelöste Protein bei pH 4,5 und nach Abtrennung des Präzipitates erfolgte die Gefriertrocknung. Dieses Proteinisolat wies bei Anwesenheit von 100 mmol/L NaCl verbesserte Emulgier- und Schaumbildungseigenschaften auf. Muranyi et al. (2016) verglichen IP-gefälltes (pH 8 extrahiert, bei pH 4,5 präzipitiert) und durch Salzextraktion isoliertes Lupinenprotein (0,5 mol/L NaCl, gefällt durch Senkung der Ionenstärke). Die Salzextraktion führte zur besseren Löslichkeit des Proteins unterhalb und oberhalb des IP und zu besseren Emulgiereigenschaften. Das IP-gefällte Protein wies infolge der geringeren Löslichkeit eine höhere Wasserbindung auf.

Abbildung 3 zeigt Möglichkeiten zur Modifizierung von Leguminosenmehlen, zum Aufkonzentrieren des Proteingehaltes in Mehlen und Varianten zur Proteinisolierung.

Mehle

Modifizierte Mehle:

- Vorkeimen der Bohnen
- Hydrothermische Behandlung oder Erhitzung der Bohnen
- Dampfbehandlung der Mehle

Aufkonzentrieren des Proteingehaltes nach Feinmahlung

(bei hohem Stärkeanteil):

- Dynamische Windsichtung
- Tribo-elektrisches Aufkonzentrieren

Proteinisolierung

Mehl/Flakes entfettet:

- Alkalisch (pH 8-9) oder sauer (pH 1,5-2,0) extrahieren und am IP (pH ~4,5) fällen (Mehle/Flakes thermisch behandelt)
- Alkalisch (pH 8) mit KCl extrahieren, Extrakt nach Zentrifugation mittels Dialyse aufkonzentrieren und trocknen
- Mit Phosphatpuffer (pH 7,2, enthaltend 0,5 mol/L NaCl) extrahieren, Proteinextrakt mit entionisiertem Wasser durch Verdünnen micellar fällen, abtrennen und trocknen

Proteinisolierung aus nicht entfetteten Sojabohnen:

- Geschälte Bohnen bei pH 8 mit heißem Wasser mahlen (Zellaufschluss), unlöslichen Rückstand und Öl mittels Drei-Phasen-Dekanter abtrennen, Proteinlösung durch Dampf-injektion kurzzeitig erhitzen, Protein isoelektrisch fällen oder mittels Membran aufkonzentrieren, Trocknung

Abb. 3: Beispiele für die Modifizierung von Leguminosenmehlen, zum Aufkonzentrieren des Proteingehaltes in Mehlen und für Varianten der Proteinisolierung

Einsatzmöglichkeiten für die Proteinprodukte in Lebensmitteln

Leguminosenmehle

Die funktionelle Eigenschaft der Mehle und somit deren Technofunktionalität in Lebensmitteln wird wesentlich durch deren Protein-Denaturierungsgrad (Entfaltungsgrad bzw. Flexibilität) bzw. Löslichkeit (N-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. Soll der Proteingehalt von Lebensmitteln erhöht und deren sonstige Qualitätseigenschaften unverändert bleiben (z.B. Textur von Brot, Teigwaren, Fleischerzeugnissen) bieten sich hierfür Proteinstrukturate (insbesondere Extrusionsprodukte oder Gelpartikel) sowie proteinstabilisierte bzw. proteinangereicherte Emulsionen an.

Leguminosenproteinkonzentrate- 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, Kang et al., 2016). 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 Konsistenzeigenschaften der Emulsionsprodukte über das Protein-Polysaccharid-Verhältnis und den Ölanteil gut variierbar (Muscholik & Paulus, 2009a, 2009b).

Beispiele für weitere Lebensmittelapplikationen

Ackerbohnenproteinisolat (IP-gefällt) eignet sich zur Herstellung von Strukturgebern (Proteinfasern, Extrusionsprodukte) für Fleischerzeugnisse. Eine bei pH 2 extrahierte Proteinfraktion 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 verbesserten Quellungs- und Löslichkeitseigenschaften auf.

Neben den hier ausgewählten Einsatzmöglichkeiten für Ackerbohnenmehl, Ackerbohnenprotein und Ackerbohnenstärke (Muscholik & Schmandke, 2000; Laleg et al., 2017) besteht die Möglichkeit des Einsatzes von Hydrolysat aus einem Gemisch von Ackerbohnen-, Erbsen- und Linsenprotein (1:1:1) als Fungizid für Weißbrot (Rizello et al., 2017).

Erbsenproteinisolat² ist ein guter Emulsionsbildner und eignet sich z.B. auch zur Verkapselung von konjugierter Linolsäure in O/W-Emulsionen (Fernandez-Avila et al., 2016). Durch Kombination mit Na-Kaseinat (1:1) können stabile Nanoemulsionen (< 200 nm) erzeugt werden (Yerramilli et al., 2017). Eine reduzierte NaCl-Empfindlichkeit bei gleichzeitig verbesserter Emulsions- und Schaumbildungseigenschaft wird durch Vernetzen einer 1 %igen Proteinlösung mit Transglutaminase erreicht (Salma et al., 2010). Weiterhin führt das Vorerhitzen (90 °C, 10 min) der Proteinlösung zu kleineren Emulsionstropfen (Benjamin et al., 2014). Eine thermische Behandlung (95 °C, 30 min) des Proteins führte bei Peng et al. (2016) ebenfalls zur Verringerung der Tropfengröße (nicht erhitzt Tropfen Ø 1,16 µm, vorerhitzt Ø 0,53 µm).

Zur Bildung stabiler Emulsionen (hohes negatives Zetapotential, keine Tropfenaggregatebildung) sind Erbsenprotein-Pektin-Konjugate (Erzeugung bei 60 °C und 79 % relative Luftfeuchte) geeignet (Tamanak et al., 2016).

Als Antioxidans kann das Erbsenprotein nach Bildung eines Melanoproteins (Erhitzen mit Glucose, 180 °C, 5 min) eingesetzt werden (Žilić et al., 2012). Weitere Beispiele sind: Erbsenprotein/β-Lactoglobulin-Aggregate (85 °C, 60 min) als neue Lebensmittelkomponente für die Produktentwicklung (Chihi et al., 2016), TOFU-Ersatz durch Vorerhitzen (85 °C, 60 min) und Abkühlen der Proteinlösung unter Zusatz von Glucono-δ-Lacton (Mession et al., 2015), Extrusionsprodukte als Fleischsubstitute (Osen et al., 2014; Beck et al., 2017), Substitut für Eialbumin (luftklassiertes und hitzemodifiziertes Proteinkonzentrat, Pelgrom et al., 2013).

Mehl aus vorgekeimten Erbsen eignet sich zur Proteianreicherung von Brot (Austausch von 10 % Weizenmehl, Mondor et al., 2014), weiterhin kann Erbsenmehl zur Proteianreicherung von Biskuitkuchen (Austausch von 50 % Weizenmehl) und Biskuitplätzchen (Austausch von 25 % Weizenmehl) eingesetzt werden (Gómez et al., 2012).

Möglichkeiten zum Einsatz von Leguminosen-Produkten sind in Abbildung 4 zusammengestellt.

² siehe auch PISANE, SATIVA und SWELITE unter <http://www.foodingredients.de/rohstoffe/>

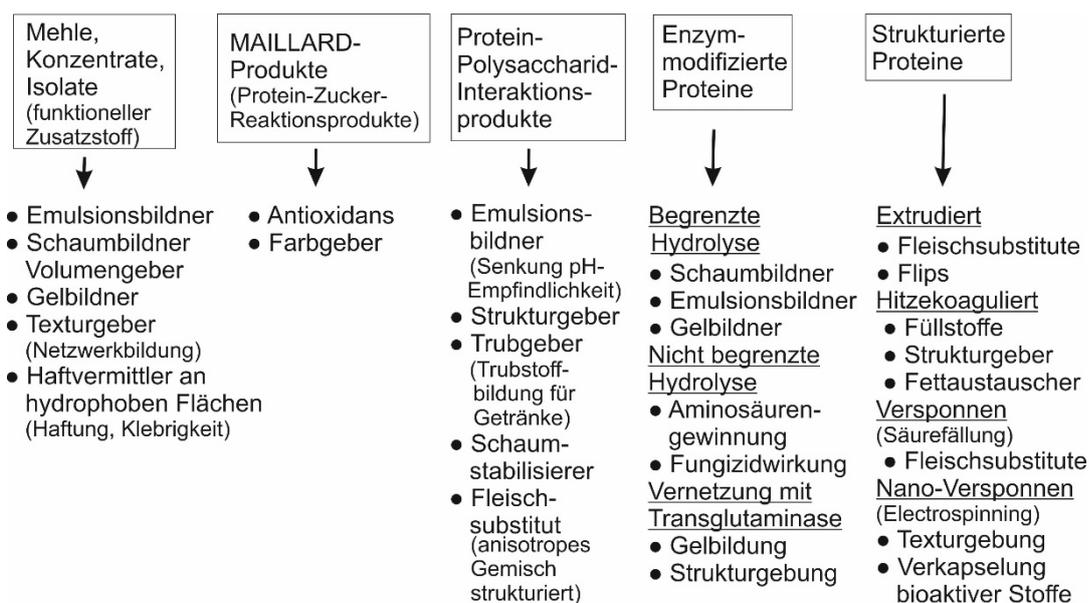


Abb. 4: Beispiele für Einsatzmöglichkeiten von Leguminosen-Produkten

Verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Lupinenprotein sind unter <http://www.lupino-ag-deutschland.com/> aufgezeigt: Mayonnaise, Speiseeis, Backwaren, Fleisch- und Wurstwaren, Gesundheitsgetränke und Milcherzeugnisse. Weitere Beispiele sind neben der Herstellung von milchfreiem Joghurt (Hickisch et al., 2016a, b) die Proteinanreicherung von Brot (Paraskevopoulou et al., 2012; Villarino et al., 2015) und die Verkapselung von D-Limonen durch Mehrschichtenbildung aus Lupinenprotein und ionischen Polysacchariden (Burgos-Díaz et al., 2018).

Resümee

Leguminosenmehle und Leguminosenprotein-Produkte weisen eine gute Technofunktionalität auf und eignen sich zur Einstellung spezifischer Lebensmitteleigenschaften, zur Verkapselung von Inhaltsstoffen (Sharif et al., 2017) sowie zur Proteinanreicherung. Die Luftklassierung und ein triboelektrisches Verfahren (Tabtabaei et al., 2016) 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 können die funktionelle Eigenschaft von Leguminosenprotein-Produkten breit variiert werden. Leguminosenprotein-Produkte sind grenzflächenaktiv und eignen sich als Emulgatoren, damit hergestellte Emulsionen weisen eine höhere Oxidations-, Hitze und Kältestabilität auf. Partiiell hydrolysierte Leguminosenprotein-Produkte eignen sich 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 eine weitere Fraktionierung der Proteine (hochmolekular, niedermolekular einschließlich Glycoside 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 bioabbaubare Verpackungsmaterialien gesehen.

Literatur

- Arntfield S.D. & Maskus H.D. (2011). Peas and other legume proteins. In: Phillips G.O. & Williams P.A. (Hrsg.) *Handbook of Food Proteins*. Woodhead Publ. Ltd., Oxford, 233-266.
- Bader St., Oviedo J.P., Pickardt C., Eisner P. (2011). Influence of different organic solvents on the functional and sensory properties of lupin (*Lupinus angustifolius* L.) proteins. *LWT - Food Sci. Technol.* 44, 1396-1404.
- Beck S.M., Knoerzer K., Arcot J. (2017). 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 (2017) 166-174.
- Benjamin O., Silcock P., Beauchamp J., Buettner A., Everett D.W. (2014). 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.
- Berghout J.A.M., Marmolejo-Garcia C., Berton-Carabin C.C., Nikiforidis C.V., Boom R.M., van der Goot A.J. (2015). Aqueous fractionation yields chemically stable lupin protein isolates. *Food Res. Int.* 72, 82–90.
- Braudo E.E., Plashchina I.G., Schwenke K.D. (2001a). Plant protein interactions with polysaccharides and their influence on legume protein functionality - A Review. *Nahrung/Food* 45, 382-384.
- Bu G., Zhang N., Chen F. (2015). The influence of glycosylation on the antigenicity, allergenicity, and structural properties of 11S-lactose conjugates. *Food Res. Int.* 76, 511–517.
- Burgos-Díaz C., Hernández X., Wandersleben T., Barahona T., Medina C., Quiroz A., Rubilar M. (2018). Influence of multilayer O/W emulsions stabilized by proteins from a novel lupin variety AluProt-CGNA and ionic polysaccharides on D-limonene retention during spray-drying. *Colloids and Surfaces A* 536, 234-241.
- Chihi M.-L., Mession J.L., Sok N., Saurel R. (2016). Heat-induced soluble protein aggregates from mixed pea globulins and β -Lactoglobulin. *J. Agric. and Food Chem.* 64, 2780–2791.
- De Graaf L.A., Harmsen P.F.H., Vereijken J.M., Mönikes M. (2001). Requirements for non-food applications of pea proteins - A Review. *Nahrung/Food* 45, 408-411.
- Derbyshire E., Wright D.J., Boulter D. (1976). Legumin and vicilin, storage proteins of legume seeds. *Phytochem.* 15, 3-24.
- Fernandez-Avila C., Arranz E., Guri A., Trujillo A.J., Corredig M. (2016). Vegetable protein isolate-stabilized emulsions for enhanced delivery of conjugated linoleic acid in Caco-2 cells. *Food Hydrocolloids* 55, 144-154.
- Foegeding E.A. & Davis J.D. (2011). Food protein functionality: A comprehensive approach. *Food Hydrocolloids* 25, 1853-1864.
- Gómez M., Doyagüe M.J., de la Hera E. (2012). Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. *LWT - Food Sci. and Technol.* 46, 142-147.
- Gueguen J., Cerletti P. (1994). Proteins of some legume seeds: soybean, pea, fababean and lupin. In: Hudson B.J.F., Hsg. *New and Developing Sources of Food Proteins*. Chapman & Hall, 145-193.
- Gueguen J. & Poppineau Y., Hsg. (1998). *Plant Proteins from European Crops, Food and Non-Food Applications*, Springer.

- Hickisch A., Beer R., Vogel R.F., Toelstede S. (2016a). 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.
- Hickisch A., Bindl K., Vogel R.F., Toelstede S. (2016b). 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.
- Kang Z.-L., Chen F.-S., Ma H.-J. (2016). Effect of pre-emulsified soy oil with soy protein isolate in frankfurters: A physical-chemical and Raman spectroscopy study. *LWT - Food Sci. and Technol.* 74, 465-471.
- Karaca A.C., Low N., Nickerson M.T. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Res. Int.* 44, 2742–2750.
- Kinsella J.E. (1979). Functional properties of soy proteins. *JAOCS* 56, 241-258.
- Krause J.-P., Buchheim W. (1994). Ultrastructure of o/w emulsions stabilized by faba bean protein isolates. *Die Nahrung* 38, 455-463.
- Krause J.-P., Krägel J., Schwenke K.D. (1997). Properties of interfacial films formed by succinylated legumin from faba beans (*Vicia faba* L.). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 8, 279-286.
- Krause J.-P., Bagger Ch., Schwenke K.D. (2001). Rheological properties of modified lupin proteins. *Nahrung/Food* 45, 412-415.
- Laleg K., Barron C., Cordelle S., Schlich P., Walrand S., Micard V. (2017). How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT - Food Sci. and Technol.* 79 (2017) 471-478.
- Ma Z., Boye J.I., Hu X. (2017). 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.
- Melde D., Wiacek C., Braun P.G. (2016). Physical decontamination of lupin (*Lupinus angustifolius*) protein isolates, seeds and flakes: Effects on microbiological status and micellar protein yield. *LWT - Food Sci. and Technol.* 66, 651-656.
- Mession J.-L., Chihi M.L., Sok N., Saurel R. (2015). Effect of globular pea proteins fractionation on their heat-induced aggregation and acid cold-set gelation. *Food Hydrocolloids* 46, 233-243.
- Mondor M., Guévremont E., Villeneuve S. (2014). Processing, characterization and bread-making potential of malted yellow peas. *Food Biosci.* 7, 11–18.
- Muranyi I.S., Otto C., Pickardt C., Osen R., Koehler P., Schweiggert-Weisz U. (2016). Influence of the isolation method on the technofunctional properties of protein isolates from *Lupinus angustifolius* L. *J Food Sci.* 81, C2656-C2663.
- Muschiolik G., Dickinson E., Murray B.S., Stainsby G. (1987). Interfacial and emulsifying behaviour of acetylated field bean protein isolate. *Food Hydrocolloids* 3, 191-196.
- Muschiolik G., Rawel H.M, Th. zu Höne, Heinzelmann K. (1994). Proteinmodifizierung mittels Schwingmahlung. *Die Nahrung* 38, 464-477.
- Muschiolik G. & Schmandke H. (2000). *Funktionelle Eigenschaften von Ackerbohnenprodukten (Vicia faba), Ernährung, Biochemie und Verarbeitung*, Shaker Verlag.
- Muschiolik G. & Paulus K.O. (2009a). Sensorisch und ernährungsphysiologisch verbesserte Nahrungsmittel und Verfahren zu deren Herstellung. DE 10 2009 019 550 B4.
- Muschiolik G. & Paulus K.O. (2009b). Zusammensetzung aus einer phasenstabilen Öl-in-Wasser-Emulsion, Verfahren zu deren Herstellung, diese enthaltende Formulierung und deren Verwendung. DE 10 2009 019 551 B4.
- Osen R., Toelstede S., Wild F., Eisner P., Schweiggert-Weisz U. (2014). High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *J. Food Eng.* 127, 67–74.
- Paraskevopoulou A., Chrysanthou A., Koutidou M. (2012). Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate-enriched wheat flour bread. *Food Res. Int.* 48, 568–577.
- Pelgrom P.J.M., Vissers A.M., Boom R.M., Schutyser M.A.I. (2013). Dry fractionation for production of functional pea protein concentrates. *Food Res. Int.* 53, 232–239.
- Peng W., Kong X., Chen Y., Zhang C., Yang Y., Hua Y. (2016). Effects of heat treatment on the emulsifying properties of pea proteins. *Food Hydrocolloids* 52, 301-310.

- Piornos J.A., Burgos-Díaz C., Ogura T., Morales E., Rubilar M., Maureira-Butler I., Salvo-Garrido H. (2015). 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.
- Preece K.E., Hooshyar N., Zuidam N.J. (2017). Whole soybean protein extraction processes: A review. *Innovative Food Sci. and Emerging Technologies* 43 (2017) 163–172.
- Raikos V., Neacsu M., Russell W., Duthie G. (2014). Comparative study of the functional properties of lupin, green pea, fava bean, hemp, and buckwheat flours as affected by pH. *Food Sci. and Nutrition* 2, 802–810.
- Rizzello C.G., Verni M., Bordignon S., Gramaglia V., Gobbetti M. (2017). 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.
- Salma H.A., Nahid A.A., ElShazali A.M., Isam A.M.A., Elfadil E.B. (2010). 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.
- Schwenke K.D. & Mothes R., Hsg. (1993). *Food Proteins Structure and Functionality*, VCH Verlagsgesellschaft.
- Schwenke K.D. (2001). Reflections about the functional potential of legume proteins - A Review. *Nahrung/Food* 45, 377-381.
- Sharif H.R., Williams P.A., Sharif M.K., Abbas S., Majeed H., Masamba K.G., Safdar W., Zhong F. (2018). Current progress in the utilization of native and modified legume proteins as emulsifiers and encapsulants - A review. *Food Hydrocolloids* 76, 2-16.
- Shevkani K., Singh N., Kaur A., Ran J.C. (2015). Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study. *Food Hydrocolloids* 43, 679-689.
- Stephany M., Eckert P., Bader-Mittermaier S., Schweiggert-Weisz U., Carle R. (2016). Lipoxygenase inactivation kinetics and quality-related enzyme activities of narrow-leafed lupin seeds and flakes LWT - *Food Sci. and Technol.* 68, 36-43.
- Tabatabaei S., Jafari M., Rajabzadeh A.R., Legge R.L. (2016). Solvent-free production of protein-enriched fractions from navy bean flour using a triboelectrification-based approach. *J. Food Eng.* 174, 21-28.
- Tamnak S., Mirhosseini H., Tan, Ch.P., Ghazali H.M., Muhammad K. (2016). Physicochemical properties, rheological behavior and morphology of pectin-pea protein isolate mixtures and conjugates in aqueous system and oil in water emulsion. *Food Hydrocolloids* 56, 405-416.
- Tang C.-H., Sun X., Foegeding E.A. (2011). 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. and Food Chem.* 59, 10114–10123.
- Villarino C.B.J., Jayasena V., Coorey R., Chakrabarti-Bell S., Johnson St. (2015a). The effects of Australian sweet lupin (ASL) variety on physical properties of flours and breads. *LWT - Food Sci. and Technol.* 60, 435-443.
- Vioque J., Alaiz M., Girón-Calle J. (2012). Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food Chem.* 132, 67–72.
- Yerramilli M., Longmore N, Ghosh S. (2017). Improved stabilization of nanoemulsions by partial replacement of sodium caseinate with pea protein isolate. *Food Hydrocolloids* 64, 99-111.
- Žilić S., Akililoğlu G., Serpen A., Barać M., Gökmen V. (2012). 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.



Herausgeber:

UNION ZUR FÖRDERUNG VON
OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (UFOP)

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de