

Pflanzliche Proteine als Fleischersatz: eine Betrachtung für die Schweiz

Daniel Heine¹, Michael Rauch¹, Hans Ramseier¹, Susanne Müller², Alexandra Schmid³,
Katrin Kopf-Bolanz¹ und Elisabeth Eugster¹

¹Berner Fachhochschule BFH, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL,
3052 Zollikofen, Schweiz

²Berner Fachhochschule BFH, Departement Gesundheit, Fachbereich Ernährung und Diätetik, 3008 Bern, Schweiz

³Agroscope, 3003 Bern, Schweiz

Auskünfte: Daniel Heine, E-Mail: daniel.heine@bfh.ch



Stangenbohne «Blaue Mathilde» in Maismischkultur. (Foto: HAFL)

Einleitung

Seitens Lebensmittelindustrie zeichnet sich ein klarer Trend zur Produktion pflanzlich basierter, proteinreicher Produkte für die menschliche Ernährung ab. Laut Grand View Research (GVR 2016) machte der weltweite Fleischersatzmarkt 2013 einen Umsatz von rund 3,19 Mrd.

USD. Es wird angenommen, dass dieser Markt bis 2022 auf 5,96 Mrd. USD anwächst (MAM 2016). Im Jahr 2016 waren knapp 68 % der weltweit produzierten Fleischersatzprodukte aus Sojaprotein (Technavio 2017). Es gibt aber auch neuere Produktentwicklungen auf der Basis von Erbsen, Lupine und weiteren Eiweisspflanzen. Um Importen von Soja oder anderen proteinreichen Pflanzen aus nicht-nachhaltigem Anbau in Südamerika oder Asien vorzubeugen, wäre eine Evaluierung der lokalen Erzeugung und direkten Weiterverarbeitung zu Lebensmitteln prüfenswert. Pioniercharakter hat hier sicherlich das Projekt «Bio Speisesoja Schweiz», bei dem es sich um einen breiten Zusammenschluss von Erzeugern, Verarbeitern, Verteilern sowie Forschungspartnern handelt, der es sich zur Aufgabe gemacht hat, den Anbau und die Verfügbarkeit von in der Schweiz hergestelltem Bio-Soja für Lebensmittelzwecke zu fördern (FiBL 2016). Es gibt aber auch andere proteinreiche Pflanzen, die Potenzial haben, in der Schweiz für Nahrungsmittelzwecke angebaut zu werden. Im Folgenden sollen solche Alternativen diskutiert werden.

Anbaupotenzial ausgewählter Proteinpflanzen

Wie Erfahrungen aus dem oben genannten Projekt und Gespräche mit Akteuren der Wertschöpfungskette um proteinreiche Pflanzen zur menschlichen Ernährung in der Schweiz zeigten (HAFL 2016), wird der hohe Preis des in der Schweiz produzierten Proteins nur gerechtfertigt, wenn die Kulturen a) unter biologischen Bedingungen und b) möglichst ressourcenschonend und nachhaltig angebaut werden.

Aus diesem Grund empfehlen sich vor allem Sorten, welche gut in Mischkultur angebaut werden können, um die unterirdischen Ressourcen (Nährstoffe und Wasser) und

die oberirdischen Ressourcen (Licht) möglichst effizient auszunutzen. Auf der Grundlage dieser Abklärungen werden folgende drei Kulturen für den Anbau in der Schweiz vorgeschlagen: die Lupine (weisse und blaue), die Ackerbohne (Abb. 1) und die Stangen-, respektive Feuerbohne. In Tabelle 1 sind die agronomischen Eigenschaften der genannten Sorten zusammengefasst und werden im Folgenden für die betrachteten Pflanzen kurz erläutert.

Lupinen (*Lupinus* spp.) durchwurzeln den Boden gut und können Nährstoffe (P und K) optimal aufschliessen. Während der Blüte sind sie auf genügend Wasser angewiesen, überstehen aber sonst dank ihrem tiefreichenden Wurzelwerk Perioden der Trockenheit sehr gut. Der pH-Wert des Bodens sollte im leicht sauren bis sauren Bereich liegen. Auf Böden mit pH-Werten über 7 können Lupinen nicht mehr erfolgreich angebaut werden. Lupinen haben insgesamt einen hohen Wärmebedarf, laufen aber bei kühlen Temperaturen gut auf. Die Weisse Lupine (*Lupinus albus*) bringt den höchsten Rohproteinertrag, ist aber anfällig auf die gefürchtete Brennfleckenkrankheit (*Colletotrichum gloeosporioides*). Neue Züchtungen sollen hier Besserung bringen. Die Blaue Lupine (*Lupinus angustifolia*) ist deutlich weniger anfällig auf die Brennfleckenkrankheit. Sie unterdrückt das Unkraut nur schwach und sollte auch aus dieser Perspektive in Mischkultur mit einem Getreide angebaut werden.

Bei den **Ackerbohnen** (*Vicia faba*) gibt es sowohl Winter- als auch Sommerformen. Winterackerbohnen gedeihen aber nur in milden tiefen Lagen. Gute Erträge liefern



Abb. 1 | Hülsenfrüchte: Ackerbohne (1 und 4), Weisse Lupine (2), Blaue Lupine (3). (Foto: HAFL)

Zusammenfassung ■ Soll die Eigenversorgung an pflanzlichem Protein für die menschliche Ernährung ausgebaut werden, bedarf es einer möglichst gesamthaften Betrachtung. In dieser Studie wird die Situation in der Schweiz systemisch analysiert. Es wird aufgezeigt, welche proteinreichen Pflanzen sich besonders für einen nachhaltigen und ökologischen Anbau eignen, welches ernährungsphysiologische Potenzial sie mitbringen und welche Prozessschritte notwendig sind, um sie zu Proteinkonzentraten und -isolaten aufzuarbeiten, die sich wiederum zur Herstellung von Fleischersatzprodukten eignen.

Ackerbohnen auf tiefgründigen, kalkreichen und schweren Böden, ungeeignet sind flachgründige zu Trockenheit neigende Böden (Dierauer und Böhler 2009). Sie liefern mit ca. 15 dt/ha ebenfalls hohe Proteinerträge. Als Mischungspartner eignen sich vor allem Hafer und Triticale.

HAFL Anbauversuche mit Mais und **Stangenbohnen** (*Phaseolus vulgaris*) oder **Feuerbohnen** (*Phaseolus coccineus*) haben gezeigt, dass diese Mischungen unter Schweizer Verhältnissen sehr gut angebaut werden können und gedeihen. Obwohl sich diese Pflanzen in Mischkultur sehr gut ergänzen, liegt der Rohproteinertrag der Bohnen deutlich tiefer als bei Lupinen oder Ackerbohnen. Im Moment werden noch Forschungsfragen im Bereich der Saat (zusammen säen oder Bohnen separat später) sowie die Saatmengen-Verhältnisse bearbeitet.

Ernährungsphysiologische Eigenschaften

Um das Potenzial einer pflanzlichen Proteinquelle zu prüfen, ist natürlich deren ernährungsphysiologischer Wert zu berücksichtigen. Das heisst die Fähigkeit, den Menschen mit essentiellen Aminosäuren (EAS) zu versorgen, die für das Wachstum und den Erhalt des Körpers unerlässlich sind. Diese Fähigkeit hängt einerseits von der Bioverfügbarkeit der Proteine ab, andererseits davon, wie effizient die Aminosäuren (AS) vom Körper aufgenommen und eingesetzt werden können. Tierische Proteinquellen sind in dieser Hinsicht den pflanzlichen meist überlegen, da sie eine für den Menschen ausgewogenere Mischung an essentiellen Aminosäuren aufweisen und keine antinutritiven Faktoren enthalten, welche die Verfügbarkeit beeinträchtigen. Durch eine gezielte Kom-

Tab. 1 | Agronomische Eigenschaften im Bio-Anbau von Lupinen, Acker- und Stangenbohnen/Feuerbohnen im Mischanbau mit Mais

| Name Deutsch | Name Lat. | Standort | Klima | Auflaufverhalten / Unkrautunterdrückung* | Dreschbarkeit* | Ertrag bei Rein- oder Mischkultur im Bio-Anbau | Ertrag Protein / ha |
|--|--|---|---|--|--|--|--|
| Weisse Lupine | <i>Lupinus albus</i> | Boden mittelschwer bis sandig ohne Staunässe pH < 6,8 (Dierauer <i>et al.</i> 2004) | Lange Vegetationsdauer von 140 bis 170 Tagen, hoher Wärmebedarf. Spätfrostverträglichkeit bis -8°C (Dierauer <i>et al.</i> 2004) | 0 | 0 bis + Dank hohem Hülsenansatz einfacher als Soja | Bis 45 dt/ha in Reinkultur (wenn Bestand gesund, bei Anthraknose Totalausfall möglich) Bis 30 dt in Mischkultur (Arncken <i>et al.</i> 2016) | Bis 18 dt Rohprotein / ha in Reinkultur. Bis 12 dt Rohprotein/ha in Mischkultur. (Bis 40 %) (Arncken <i>et al.</i> 2016) |
| Schmalblättrige (Blaue) Lupine | <i>Lupinus angustifolius</i> | Boden mittelschwer bis sandig ohne Staunässe pH < 6,5 (Dierauer <i>et al.</i> 2004) | Lange Vegetationsdauer von 120 bis 140 Tagen, hoher Wärmebedarf. Spätfrostverträglichkeit -4°C (Dierauer <i>et al.</i> 2004) | - bis 0 In Mischkultur deutlich besser als in Reinkultur | 0 bis + Dank hohem Hülsenansatz einfacher als Soja | Ca. 38 dt/ha in Reinkultur Ca. 26 dt/ha in Mischkultur mit Sommerhafer (Dierauer <i>et al.</i> 2017) | Bis 13 dt Rohprotein/ha in Reinkultur Ca. 9 dt Rohprotein/ha in Mischkultur (30 bis 35 %) (Arncken <i>et al.</i> 2016) |
| Ackerbohne | <i>Vicia faba</i> | Tiefgründige, kalkreiche, schwere Böden (Dierauer und Böhler 2009) | In Gebieten > 1000 mm Niederschlag/Jahr besser als Eiweisserbsen (Sommer-Ackerbohnen ertragen Fröste bis -4°C) (Dierauer und Böhler 2009) | 0 bis + | 0 | 30 bis 50 dt/ha in Reinkultur. Ca. 24 dt/ha in Mischkultur mit Sommerhafer (Dierauer <i>et al.</i> 2017) | Bis 15 dt Rohprotein / ha Ca. 7 dt Rohprotein/ha in Mischkultur (30 %) (Dierauer <i>et al.</i> 2017) |
| Stangenbohne oder Feuerbohne in Mischkultur mit Mais | <i>Phaseolus vulgaris</i> ; <i>Phaseolus coccineus</i> | Humusreiche, warme Böden mit pH 6–7 an windstillen Lagen (George und Beck 2009) | Frostempfindliche Kultur. Temperaturen über 12 °C nötig. Hoher Wasserbedarf ab Blühbeginn (George und Beck 2009) | - bis 0 | 0 | In Österreich 20–25 dt/ha in Reinkultur. 8–15 dt/a in Mischkultur mit Körnermais (Sommer und Höbaus 2017) | Bis 5 dt Rohprotein / ha in Reinkultur Bis 3 dt Rohprotein/ha in Mischkultur (20 %) |

*+ Gut/Schnell 0 Mittel – Schlecht/Langsam

bination verschiedener pflanzlicher Proteinquellen kann das Aminosäureprofil optimiert werden und verschiedene Transformationsprozesse (z.B. Kochen, Extrusion, Fermentation) können die Verfügbarkeit stark verbessern (Day 2013; Guéguen *et al.* 2016).

Proteingehalt und -qualität

Die Nährstoffzusammensetzung der oben beschriebenen Bohnen ist in Tabelle 2 dargestellt. Das Aminosäureprofil ist in Tabelle 3 im Vergleich zu Rindfleisch und den WHO-Empfehlungen von 2007 für Erwachsene (WHO/FAO/UNU 2007) aufgeführt. Zusätzlich wird der Proteinwirksamkeitskoeffizient (PER = *protein efficiency ratio*), der als gutes Mass gilt, um die Proteinqualität zu charakterisieren (Boye *et al.* 2012), herangezogen.

Der Proteingehalt von Ackerbohnen liegt etwas unter dem Gehalt von weissen Lupinen. Der PER (roh: 2,4, gekocht: 2,7) weist auf eine hohe Proteinqualität hin. Sojaprotein liegt im Vergleich dazu je nach Konsumform zwischen 1,8 und 2,3. Die schwefelhaltigen AS (Methionin und Cystein) sowie Tryptophan und Valin sind limitierend. Ackerbohnen enthalten eine beachtliche Menge an Lysin (Khalil 1995; Crépon *et al.* 2010).

Auch Stangenbohnen haben generell eine gute Proteinqualität, weisen allerdings einen niedrigeren Proteingehalt auf als die anderen hier betrachteten pflanzlichen Proteinquellen. Wie auch die Ackerbohnen weisen sie ein Defizit in den schwefelhaltigen Aminosäuren auf (Marzo *et al.* 2002).

Lupinensamen haben einen höheren Proteingehalt als viele andere Hülsenfrüchte, es finden sich jedoch grosse Unterschiede je nach Sorte. Weisse Lupinen haben verglichen mit den blauen und gelben Varianten einen höheren Gehalt an EAS sowie einen besseren PER (2,87 vs.

Tab. 2 | Nährstoffzusammensetzung (g / 100 g) der ausgewählten pflanzlichen Proteinquellen im Vergleich zu Rindfleisch

| Proteinquelle | Protein | Fett | Kohlenhydrate | Nahrungsfasern | Quelle |
|---------------|---------|------|---------------|----------------|-----------------------------|
| Weisse Lupine | 36,3 | 11,5 | 40,4* | 14,4 | Sujak <i>et al.</i> 2006 |
| Ackerbohne | 29,2 | 1,1 | 44,1 | 2* | Khalil 1995 |
| Stangenbohne | 19,5 | 0,5* | 55,8 | 6,4 | Marzo <i>et al.</i> 2002 |
| Rindfleisch | 21,4 | 5,4 | 0 | 0 | Schweizer Nährwertdatenbank |

* = USDA Food composition Database (USDA 2017)

Tab. 3 | Aminosäureprofil der ausgewählten pflanzlichen Proteinquellen (Rohmaterial) (in g/100 g Protein) im Vergleich zu Rindfleisch und den WHO-Empfehlungen von 2007

| AS | Arginin* | Histidin* | Isoleucin | Leucin | Lysin | Methionin + Cystein | Phenylalanin + Tyrosin | Threonin | Tryptophan | Valin | Quelle |
|--|----------|-----------|-----------|--------|-------|---------------------|------------------------|----------|------------|-------|--------------------------|
| Weisse Lupine (<i>Lupinus albus</i>) | 11,4 | 3,3 | 4,3 | 7,8 | 4,9 | 2,5 | 5,6 | 3,5 | 0,6 | 4,1 | Sujak <i>et al.</i> 2006 |
| Ackerbohne (<i>Vicia faba</i>) | 10,7 | 3,2 | 3,3 | 7,2 | 7,3 | 2,4 | 7,8 | 4,1 | 1,1 | 3,7 | Khalil 1995 |
| Stangenbohne (<i>Phaseolus vulgaris</i>) | 6,3 | 1 | 4,8 | 9,5 | 7,6 | 2,6 | 10,5 | 4,6 | n.a. | 5,7 | Marzo <i>et al.</i> 2002 |
| Rindfleisch | n.a. | 3,2 | 4,2 | 7,7 | 7,9 | 3,3 | 7 | 4,2 | 1 | 4,5 | Friedman 1996 |
| WHO-Empfehlungen 2007 | n.a. | 1,5 | 3 | 5,9 | 4,5 | 2,2 | 3,8 | 2,3 | 0,6 | 3,9 | WHO/FAO/UNU 2007 |

n.a.: nicht angegeben * semi-essentiell

2,40 bzw. 2,36). Der Anteil an Lysin, Methionin, Tryptophan und Valin ist bei allen Lupinensorten niedrig (Sujak *et al.* 2006).

Antinutritive Verbindungen

In den Pflanzen enthaltene antinutritive Verbindungen können die Proteinqualität, Proteinverdaulichkeit und Aminosäurenverfügbarkeit ungünstig beeinflussen. Einige können mit Proteinen Verbindungen eingehen und dadurch deren Verdaulichkeit reduzieren (z.B. Polyphenole, Phytinsäure), andere hemmen die Aktivität proteinspaltender Enzyme (z.B. Trypsin) im Darm (Proteinaseinhibitoren) (Sarwar Gilani *et al.* 2012). In Acker- und Stangenbohnen befinden sich neben diesen Trypsininhibitoren (Marzo *et al.* 2002; Sarwar Gilani *et al.* 2012; Multari *et al.* 2015) auch Lektine mit agglutinierender Aktivität, welche zu Verdauungsproblemen führen können (Guéguen 1983; He *et al.* 2015). Tabelle 4 zeigt die Aktivität von Trypsininhibitoren sowie hämagglutinierenden Stoffen (Lektinen) in den betrachteten Hülsenfruchtmehlen im Vergleich zu unterschiedlich behandelten Sojamehlen. Es wird ersichtlich, dass die Lupine von Natur aus kaum Aktivitäten vorweist, während Acker- und Stangenbohne im mittleren Bereich liegen. Am höchsten sind die betrachteten Aktivitäten im entfetteten Sojamehl. Das Beispiel des erhitzten Sojamehls zeigt jedoch, dass beide Aktivitäten durch eine Hitzebehandlung deutlich reduziert werden können.

Zusätzlich können noch weitere antinutritive Faktoren vorhanden sein, welche die Proteinverfügbarkeit nicht einschränken, jedoch negative Auswirkungen auf die Verfügbarkeit anderer Nährstoffe (z.B. Mineralstoffe) oder auf die Gesundheit haben können. So können z.B. Lupinensamen toxisch relevante Alkaloide enthalten (Bundesinstitut für Risikobewertung 2017). Weit verbreitet sind auch Saponine (in allen hier besprochenen

Proteinquellen), die eine hämolytische Aktivität aufweisen und die Membranpermeabilität beeinflussen (Francis *et al.* 2001; Multari *et al.* 2015). Aufgrund der enthaltenen antinutritiven Verbindungen ist eine Verarbeitung der Rohstoffe mit dem Ziel, diese Faktoren unschädlich zu machen, unumgänglich.

Gewinnung von Proteinpulvern

Anhand geeigneter Aufarbeitungsschritte können aus stärkehaltigen Hülsenfrüchten proteinreiche Produkte in Form von Mehlen, Konzentraten und Isolaten gewonnen werden (Abb. 2).

Die einfachste Art der Verarbeitung ist die trockene Vermahlung zu einem Integral- beziehungsweise Vollbohnenmehl, welches alle Komponenten der Hülsenfrucht enthält und somit in etwa den Proteingehalt der unverarbeiteten Hülsenfrucht aufweist. Für eine weitere Aufkonzentration des Proteingehalts über den Ausgangsgehalt der jeweiligen Hülsenfrucht hinaus, gibt es die Möglichkeit des Einsatzes eines kombinierten trockenen Mahl- und Sichtungsverfahrens zur Gewinnung von

Tab. 4 | Trypsininhibitor und hämagglutinierende Aktivitäten einiger Leguminosenmehle aus Guéguen (1983)

| Leguminose | Trypsininhibitor Aktivität (TI Einheiten / mg TS) | Hämagglutinierende Aktivität (Einheiten / mg TS) |
|----------------------|---|--|
| Ackerbohne | 5,6–11,8 | 25–100 |
| Stangenbohne | 13,2 | n.a. |
| Weisse Lupine | <1 | 0,1 |
| Sojamehl unbehandelt | 70 | n.a. |
| Sojamehl entfettet | 85 | 1600–3200 |
| Sojamehl erhitzt | 0,63–5,5 | 25–200 |

n.a.: nicht angegeben

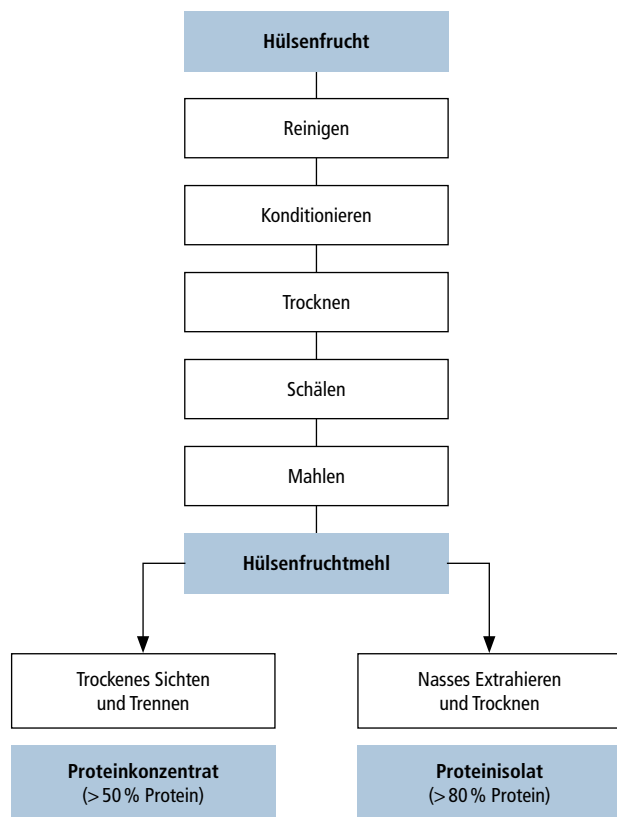


Abb. 2 | Verfahrenstechnische Schritte zur Gewinnung von Mehl, Konzentrat und Isolat aus Hülsenfrüchten (Darstellung nach Voisin *et al.* 2014).

Proteinkonzentraten. Das Hülsenfruchtmehl kann so in leichtere, proteinreiche und schwerere, stärkereiche Fraktionen getrennt werden. Guéguen (1983) konnte für die Ackerbohne so ein proteinreiches Konzentrat mit 68 % Protein sowie ein stärkereiches Konzentrat gewinnen. Der erzielbare Proteingehalt für die Stangenbohne fiel in einem ähnlichen Aufbau mit 40 bis 53,5 % Protein allerdings deutlich tiefer aus (van der Poel *et al.* 1990). In dieser Studie wird ebenfalls darauf aufmerksam gemacht, dass die Konzentration der Trypsininhibitoren und aktiven Lektine in den Konzentraten doppelt bis vierfach so hoch war wie im Ausgangsmehl.

Um Proteinisolate (Proteinkonzentration > 80 %) zu gewinnen, muss das Hülsenfruchtmehl nass fraktioniert und aufgereinigt werden, damit möglichst viel Stärke, Fasern und allenfalls auch Fett von der Proteinfraction getrennt werden können. Abbildung 3 zeigt den Prozessablauf für die Gewinnung eines Proteinisolats auf der Basis von Leguminosen.

Nach einer Aufschwemmung mit Wasser kommt es zu einer alkalischen Extraktion, bei welcher die Fasern von Protein und Stärke getrennt werden. Die Stärke wird

durch Filtration und Zentrifugation vom alkalischen Proteinextrakt getrennt. Dieses kann nun entweder über isoelektrische Fällung bei einem pH-Wert von 4,5 oder Ultrafiltration weiter aufkonzentriert werden, bevor die Sprühtrocknung zum Pulver erfolgt. So können, je nach Prozess und Leguminosensorte, Proteinisolate mit Konzentrationen zwischen 80 und 95 % gewonnen werden. Je nach Ausgangsfettgehalt der verarbeiteten Hülsenfrucht kann es sinnvoll sein, diese vorher zu entfetten. Derzeit werden eine ganze Reihe pflanzlicher Proteinkonzentrate und -isolate auf dem Markt angeboten.

Texturierung von Pflanzenproteinen

Zur Texturierung von Pflanzenproteinen wird vor allem die Kochextrusion eingesetzt (Abb. 4). Ein Kochextruder kombiniert mehrere Prozessschritte wie Mischen, Kneten, Kochen unter Eintrag von mechanischer Energie sowie einer Formgebung durch das Pressen durch eine Düse (Weinberger 2016). Gewünschte Texturen können vor allem durch die Parameter Wassergehalt, spezifisch mechanischem und thermischem Energieeintrag sowie Verweilzeit beeinflusst werden. Ziel ist es, eine möglichst faserige Struktur zu erzeugen, die der Textur von Fleisch ähnelt.

Mittels Kochextrusion können sowohl Trocken- als auch Nasstexturate hergestellt werden. Eigenheiten der Verfahren und Produkte sind in Tab. 5 aufgeführt.

Als Ausgangsmaterial ideal sind Proteinkonzentrate und -isolate mit einer Proteinkonzentration von > 60 %. Die gängigsten Proteinsorten, die derzeit als Rohmaterial für die Texturierung eingesetzt werden, sind Soja- und Weizenproteine. Aber auch Erbsen- und Lupinenproteine gewinnen zunehmend an Bedeutung (Weinberger 2016).

Tab. 5 | Eigenheiten von Verfahren und Produkten bei der Herstellung von Trocken- und Nasstexturaten aus Weinberger (2016) und Phillips (2011)

| | Trockentexturat | Nasstexturat |
|-----------------------------|---|--|
| Wassermenge in Rezeptur | 30 % | 60–70 % |
| Extruder Temperatur | 160 °C | 140–170 °C |
| Relative Verweilzeit | Kurz | Mittel/Hoch |
| Kühlung an Austrittsdüse | NEIN | JA |
| Weiterverarbeitung | Wird auf unter 10 % Feuchte getrocknet | Muss verpackt und bis zum Konsum gekühlt oder pasteurisiert werden |
| Eigenschaften | Schwammartig | Fleischähnlich |
| Anwendung durch Verbraucher | Muss vor Zubereitung eingeweicht werden | Kann direkt zubereitet werden |

In Phillips (2011) wird eine einfache Rezeptur mit 45 % Sojaisolat, 45 % Sojakonzentrat sowie 5 % Weizenstärke und 5 % pflanzliches Öl angegeben.

Herausforderungen und alternative Lösungsansätze

Um für den Verbraucher attraktive, pflanzliche Proteinalternativen als Fleischersatz anzubieten, eignet sich von den vorgestellten Verfahren wohl am ehesten die Kochextrusion zur Herstellung von Nasstexturaten. Die so erhaltenen Produkte sind Fleisch am ähnlichsten und können durch die Verbraucher direkt weiterverarbeitet werden. Für eine möglichst hohe Akzeptanz dieser Produkte, ist eine Rezeptur mit möglichst wenig Zutaten erstrebenswert. Bei den eingesetzten Proteinkonzentraten und -isolaten, beziehungsweise deren Kombinationen, ist darauf zu achten, dass diese eine möglichst hohe Proteinkonzentration, einen neutralen sensorischen Charakter sowie eine helle Farbe aufweisen. In erster Linie müssen angenehme, faserige Strukturen erzeugt werden. Eine besondere Herausforderung liegt wohl in der Maskierung des mitgebrachten Eigenaromas (grüne, bohnenartige Noten) dieser Proteinquellen. Es ist allerdings zu prüfen, ob es in jedem Fall der beschriebenen ressourcenintensiven Prozesse zur Gewinnung von Proteinisolaten bedarf, um Lebensmittel auf Basis pflanzlicher Proteine herzustellen. Es fallen hierbei grosse Mengen an Fasern und Stärke als Nebenprodukte an, die auch einer kommerziell und ökologisch sinnhaften Nutzung zugeführt werden müssen. Es wird viel Energie zur Entfernung von Wasser eingesetzt, welches dann in der finalen Rezeptur zur Herstellung des Fleischersatzprodukts wieder hinzugegeben wird. Als alternatives, natürliches sowie ressourcenschonendes Verfahren zur Veredelung von Hülsenfrüchten sollte die

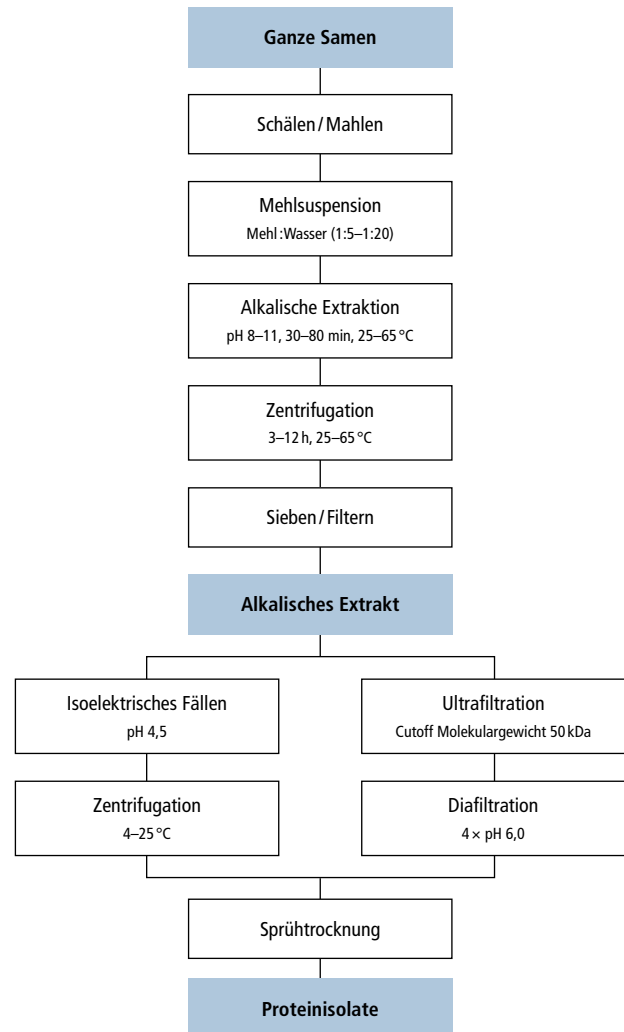


Abb. 3 | Prozessschema zur Gewinnung von Proteinisolaten aus Leguminosen, angepasst nach Boye *et al.* (2010) und Klupsaite und Juodeikiene (2015).



Abb. 4 | Doppelwellenextruder zur Proteintexturierung (links) sowie Produktbeispiele von pflanzlichbasierten Trocken- und Nasstexturaten (rechts). (Fotos: HAFL)

Fermentation näher betrachtet werden. Beispielsweise ist die direkte Fermentation von Sojabohnen mit *Rhizopus oligosporus* zu Tempeh ein traditioneller Prozess, der zu einem proteinreichen Nahrungsmittel mit verbesserter Proteinverdaubarkeit führt (Steinkraus 1996). Tempeh konnte auch erfolgreich auf der Basis von Ackerbohnen hergestellt werden (Berghofer und Werzer 1986). Die Fermentation hat ausserdem das Potenzial, das Aroma der benutzten Proteinquellen positiv zu beeinflussen. So konnten für Lupinenproteinextrakt, welches mit Milchsäurebakterien (*Pediococcus pentosaceus*, *Lactobacillus plantarum*) fermentiert wurde, die Fehlgerüche «grün» und «bohnenartig» signifikant reduziert beziehungsweise durch angenehme Aromastoffe aus der Fermentation maskiert werden (Schindler *et al.* 2011). Aber auch der Abbau unerwünschter Verbindungen lässt sich durch die Fermentation bewerkstelligen. Mit *Bacillus natto* fermentierte extrudierte Sojaprodukte wiesen eine erhöhte Kon-

zentration an freien Aminosäuren sowie eine reduzierte Aktivität von Trypsininhibitoren und einen geringeren Gehalt an Phytinsäure auf (Ojokoh und Yimin 2011). Des Weiteren können durch die Fermentation ernährungsphysiologisch wertvolle Verbindungen wie Vitamine gebildet werden (Walther und Schmid 2017). Nicht zuletzt stellen fermentierte, pflanzliche Rohstoffe auch eine mögliche Quelle für die Versorgung des menschlichen Gastrointestinaltraktes mit Lebendkeimen dar (Ouwehand und Röytiö 2015).

Schlussfolgerung

Die Fermentation mit verschiedensten Mikroorganismen bietet folglich eine interessante Möglichkeit, pflanzliche Rohstoffe zu schmackhaften und ernährungsphysiologisch hochwertigen proteinreichen Lebensmitteln zu veredeln. ■

■ Riassunto

Proteine vegetali come sostituto della carne: un'analisi per la Svizzera

Se si vuole aumentare l'autonomia d'approvvigionamento di proteine vegetali per l'alimentazione umana, occorre adottare un approccio globale. Il presente studio analizza la situazione in Svizzera in modo sistemico, illustrando quali piante ricche in proteine sono particolarmente indicate per la coltura sostenibile ed ecologica. Descrive quindi quale sia il loro potere nutrizionale e quali processi siano necessari per trasformarle in concentrati e isolati proteici che si prestano alla fabbricazione di sostituti della carne.

■ Summary

Vegetable protein as an alternative to meat: an assessment for Switzerland

If self-sufficiency in vegetable protein for the human diet is to be increased, the issue should be considered as comprehensively as possible. This study presents a systemic analysis of the situation in Switzerland, showing which protein-rich crops are most suited to sustainable and organic farming, highlighting their nutritional potential, and indicating the necessary steps for processing them into protein concentrates and isolates suitable for the production of meat alternatives.

Key words: vegetable protein, nutritional value, protein extraction, meat alternatives, fermentation.

Literatur

- Arncken C., Clerc M., Böhler D., Hohmann P. & Messmer M., 2016. Entwicklung eines praxistauglichen Mischkulturanbausystems für Lupinen im Biologischen Landbau der Schweiz. Zwischenbericht. FiBL.
- Berghofer E. & Werzer A., 1986. Herstellung von Tempeh mit einheimischen Bohnen. *Chemie, Mikrobiologie, Technologie der Lebensmittel* **10** (1/2), 54–62.
- Boye J., Wijesinha-Bettoni R. & Burlingame B., 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *The British journal of nutrition* **108** Suppl 2, 183–211.
- Boye J.L., Aksay S., Roufik S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E. & Rajamohamed S.H., 2010. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International* **43** (2), 537–546.
- Bundesinstitut für Risikobewertung, 2017. Risikobewertung des Alkaloidvorkommens in Lupinensamen, unveröffentlicht. OpenAgrar – Bundesinstitut für Risikobewertung.
- Crépon K., Marget P., Peyronnet C., Carroué B., Aresé P. & Duc G., 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* **115** (3), 329–339.
- Day L., 2013. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology* **32** (1), 25–42.
- Dierauer H., Böhler D., 2009. Merkblatt Bioackerbohnen. FiBL.
- Dierauer H., Böhler D., Kranzler A. & Zollitsch W., 2004. Merkblatt Lupinen. FiBL.
- Dierauer H., Clerc M., Böhler D., Klais M. & Hegglin D., 2017. Erfolgreicher Anbau von Körnerleguminosen in Mischkultur mit Getreide. Anbau der Schweiz, Zwischenbericht. FiBL.
- FiBL, 2016. Vom Saatgut bis zum Teller – Biosoja aus der Schweiz.
- Francis G., Makkar H.P. & Becker K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* **199** (3-4), 197–227.
- Friedman M., 1996. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **44** (1), 6–29.
- George E. & Beck M., 2009. Ökologischer Gemüseanbau. Handbuch für Beratung und Praxis (2. Aufl.). Bioland Verlag, Mainz.
- Guéguen J., 1983. Legume seed protein extraction, processing, and end product characteristics. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition* **32** (3-4), 267–303.
- Guéguen J., Walrand S. & Bourgeois O., 2016. Les protéines végétales. Contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* **51** (4), 177–185.
- GVR, 2016. Meat Substitutes Market Analysis By Product (Tofu, Tofu-Based Products, Tempeh, Textured Vegetable Protein (TVP), Other Soy Products, Seitan, Quorn), By Raw Material (Soy-Based, Wheat-Based, Mycoprotein) And Segment Forecasts To 2022. Grand View Research.
- HAFL, 2016. Pflanzliche Proteinalternativen für die Anwendung im Lebensmittel. Interne Studie, unveröffentlicht.
- He S., Simpson B.K., Sun H., Ngadi M.O., Ma Y. & Huang T., 2015. Phaseolus vulgaris Lectins: A Systematic Review of Characteristics and Health Implications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 0.
- Khalil A., 1995. The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. *Food chemistry* **54** (2), 177–182.
- Klupsaite D. & Juodeikiene G., 2015. Legume. Composition, protein extraction and functional properties. A review. *Chemical Technology* **66** (1).
- MAM, 2016. Meat Substitutes Market by Type (Tofu & Tofu Ingredients, Tempeh, Textured Vegetable Protein, Seitan, Quorn), Source (Soy-based, Wheat-based, Mycoprotein), Category (Frozen, Refrigerated), and Region - Global Forecast to 2022. Markets and Markets MAM.
- Marzo F., Alonso R., Urdaneta E., Arricibita F.J. & Ibáñez F., 2002. Nutritional quality of extruded kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Pinto) and its effects on growth and skeletal muscle nitrogen fractions in rats. *Journal of Animal Science* **80** (4), 875.
- Multari S., Stewart D., Russell W.R., 2015. Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **14** (5), 511–522.
- Ojokoh A.O. & Yimin W., 2011. Effect of Fermentation on Chemical Composition and Nutritional Quality of Extruded and Fermented Soya Products. *International Journal of Food Engineering* **7** (4).
- Ouwehand A.C. & Röytiö H., 2015. Probiotic fermented foods and health promotion. In: Holzapfel WH (Hrsg.). *Advances in fermented foods and beverages. Improving quality, technologies and health benefits*. Elsevier, Amsterdam, S. 3–22.
- Phillips G.O., 2011. Handbook of food proteins. Woodhead Publishing, Oxford, 432 S.
- Sarwar Gilani G., Wu Xiao C. & Cockell K.A., 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *The British journal of nutrition* **108** Suppl 2, 315–332.
- Schindler S., Wittig M., Zelena K., Krings U., Bez J., Eisner P. & Berger R.G., 2011. Lactic fermentation to improve the aroma of protein extracts of sweet lupin (*Lupinus angustifolius*). *Food chemistry* **128** (2), 330–337.
- Schweizer Nährwertdatenbank, 2017.: Zugang: www.naehrwertdaten.ch
- Sommer E. & Höbaus E., 2017. Steirische Käferbohne. Ministerium für ein Lebenswertes Österreich. Zugang: https://www.bmlfuw.gv.at/land/lebensmittel/trad-lebensmittel/spezialkulturen/steir_kaeferbohne.html [11.09.2017].
- Steinkraus K.H., cop. 1996. Handbook of indigenous fermented foods (Second ed., rev. and expanded.). Dekker, New York, Basel etc.
- Sujak A., Kotlarz A. & Strobel W., 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food chemistry* **98** (4), 711–719.
- Technavio, 2017. Global Meat Substitutes Market 2017-2021. Technavio.
- USDA, 2017. Branded Food Products Database.
- van der Poel T.F.B., Aarts H.L.M. & Kik M.J.L., 1990. Air classification of bean flour-effects on protein, antinutritional factors and the effect of a fines fraction on cultured explants of small intestinal mucosa. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **53** (2), 143–157.
- Voisin A.-S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.-H., Magrini M.-B., Meynard J.-M., Mougél C., Pellerin S. & Pelzer E., 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **34** (2), 361–380.
- Walther B. & Schmid A., 2017. Effect of Fermentation on Vitamin Content in Food. In: Frias J, Martinez-Villaluenga C, Peñas E (Hrsg.). *Fermented foods in health and disease prevention*. Academic Press, an imprint of Elsevier, Amsterdam, 131–157.
- Weinberger M., 2016. Vegetable-proteins serve as meat substitute. Trend to vegetarianism leads to wet texturates becoming established as mainstream product. *LebensmittelWirtschaft International*, 4.
- WHO/FAO/UNU, 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Technical Report Series No. 935. Zugang: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/434111/1/WHO_TRS_935_eng.pdf