

Technische Verarbeitung von Leguminosen: Möglichkeiten und Beispiele aus der Praxis

Michael Schott^{1*}

Zusammenfassung

Kurze Ausschnitte aus angewandten Forschungsaufgaben sollen einen aktuellen Einblick geben sowie Fragestellungen bei der Entwicklung von Lebensmitteln und Lebensmittelzutaten mit und aus Leguminosen aufzeigen. Die Eignung von unterschiedlichen Erbsensorten für die Proteinisolaterstellung wird beschrieben. Anschließend wird aufgezeigt, wie der Nebenstrom der Faser aus dem Lupinenisolatprozess weiter funktionalisiert wird, um den Anwendungsbereich zu vergrößern. Die Produktrezepturenentwicklungen pflanzlicher Milch (Linse), Käse (Lupine, Mandel), sowie Frühstücksflocken und Fleischersatz bilden den Abschluss.

Schlagwörter: pflanzlicher Milchersatz, pflanzlicher Fleischersatz, Entwicklung pflanzlicher Lebensmittel, Lebensmitteltechnologie

Summary

Short examples from applied research tasks will give an up-to-date insight the challenges involved in the development of foods and food ingredients with and from Legumes. The suitability of different pea varieties for protein isolate production will be described. Subsequently, how the side stream of fiber from the lupin isolate process further functionalized to increase the range of applications is shown. Product formulation developments of plant-based milk (lentil), cheese (lupin, almond), as well as breakfast cereals and meat substitutes conclude the article.

Keywords: plant-based milk substitute, plant-based meat substitute, plant-based food development, food technology

Einleitung und Gliederung

Leguminosen in der Humanernährung kehren wieder in den Focus der Ernährung zurück. Geschichtlich waren die Hülsenfrüchte Bestandteil der Ernährung in Mitteleuropa. Aus unterschiedlichen Gründen, dem Trend zu veganer oder vegetarischer Ernährung, umweltschonender Erzeugung und gesundheitlichen Gründen wird sich der Trend weiter in der Gesellschaft etablieren.

Soja, Erbse und Lupine gelten nach der Einteilung der Makronährstoffe allgemein proteinbasiert, Nüsse als fettbasiert und Cerealien als stärkebasiert. Im Rahmen der ganzheitlichen Verwendung der Prozessströme in der technischen Verarbeitung werden allerdings auch zunehmend die Nebenströme zu hochwertigen Produkten verarbeitet werden müssen.

Bei der Entwicklung von Lebensmitteln und Lebensmittelzutaten aus Leguminosen spielen die sensorische und analytische Bewertung eine bedeutende Rolle, um beim Verbraucher eine hohe Akzeptanz zu erhalten.

¹ Fraunhofer IVV, Standort Freising, Giggenhauser Str. 35, D-85354 Freising

* Ansprechpartner: Michael Schott, email: michael.schott@ivv.fraunhofer.de

Teil 1: Von der Saat zum Proteinisolat (siehe Literaturangabe 1)

Teil 2: Gewinnung hochwertiger Lupinenfasern aus dem Proteinisierungsprozess (Lit. 2)

Teil 3: Aktuelle Lebensmittelrezeptentwicklungen mit Leguminosen und deren Zwischenprodukte:

- Milchsubstitute aus Linsen (Lit. 3)
- Fermentation: Von der Milch zum Käse (Lit. 4; 5)
- Knabberprodukte und Frühstücksflocken – Trockenextrudate aus dem Extruder (Lit. 6)
- Fleischiger Biss – Nassextrudate aus dem Extruder (Lit. 7)

Es wird versucht, die wissenschaftlichen Ergebnisse aus wissenschaftlichen Fachartikeln in einfacher Form darzustellen, die Lebensmittelprozesse zu erklären und die Möglichkeiten der Verwendung von Leguminosen in Lebensmittelprozessen und Lebensmitteln aufzuzeigen. Weiterführende Hinweise, die detaillierte und genaue methodische Beschreibung sowie die Diskussion im wissenschaftlichen Kontext können aus dem Literaturverzeichnis 1-7 entnommen werden.

Teil 1: Von der Saat zur Proteinisolat

Es wurden 12 unterschiedliche Sorten von Erbsen (*pisum sativum*, Tabelle 1) auf die Prozesseignung zur Herstellung von Proteinisolaten bewertet. Eingeschlossen waren die sensorische Bewertung, die Pulvereigenschaften und die Funktionalität des Isolates.

Die Herstellung von Proteinisolat unterteilte sich in die Saatenaufbereitung, trocken-technische Vorbereitung, in die wässrige Extraktion und Trocknung des Proteinisolates. Der Laborgewinnungsprozess wurde so weit möglich an bestehende technische Möglichkeiten des späteren Produktionsprozesses angepasst.

Die Vorbereitung der Saaten durch Mühlentechnologie umfasste das Schälen, Separieren der Schalen von den Kotyledonen und das Vermahlen der Kotyledonen zu einem Mehl mit einer Partikelgröße kleiner 500 µm.

Im nächsten Schritt wird aus dem Erbsenmehl das Protein gelöst und in der wässrigen Phase von den unlöslichen Bestandteilen (unlösliche Faserbestandteile, Stärke) abgetrennt. Hierbei wird die unterschiedliche Löslichkeit der Proteine bei unterschiedlichen pH Werten ausgenutzt. Die im alkalischen Medium gelösten Proteine (pH 8,0) wurden über Zentrifugation (relative Zentrifugalbeschleunigung 8000x g) abgetrennt. Der Proteinextrakt wird unter Ausnutzung des Isoelektrischen Punktes, der darin enthalten Proteinfractionen aufkonzentriert, beziehungsweise ausgefällt. Dazu wird der pH Wert auf 4,5 eingestellt und wiederum über Zentrifugalkräfte getrennt (relative Zentrifugalbeschleunigung 8000x g). Erhalten wird der Fällungsüberstand und das proteinreiche, aufkonzentrierte Sediment.

Am Isoelektrischen Punkt sind die Proteine unterschiedlich geladen und somit lagern sie sich zusammen und eine Abtrennung und Aufkonzentration des Proteinextraktes ist möglich. Beim Lösen der Proteine in der Extraktion sind die Hauptproteinfractionen gleich geladen, sie stoßen sich ab und sind dispergiert.

Die spätere Verwendung als Lebensmittelzutat im neutralen Bereich und die Eigenschaften der Hauptproteinfractionen sind für das spätere Produkt in Bezug auf den pH Wert ausschlaggebend. Es wurde neutralisiert und der pH Wert auf 7,0 vor der Trocknung eingestellt.

Als letzten Prozessschritt der Erbsenproteinisolatherstellung wurde die neutralisierte Proteindispersion sprühgetrocknet (180°C/80°C).

Der Proteinanteil der schalenfreien Mehle kann somit von etwa 22 % auf über 90 % in den Isolaten gesteigert werden.

Sorten und ihre Unterschiede in Bezug auf den Proteinisolierungsprozess

Die Proteingehalte des schalenfreien Mehles schwanken je nach Sorte zwischen 22-27 % und je höher der Proteinanteil liegt, desto mehr Produktausbeute ist zu erwarten. Besonders günstig wirkt sich eine gute Löslichkeit bei pH 7 und eine geringe Löslichkeit bei pH 4,5 auf die Gesamtausbeute des Isolierungsprozesses aus. Hier sind die Unterschiede in Tabelle 1 zu entnehmen. Es ergaben sich Proteinausbeuten von 33- 62 g/kg (g Protein bezogen auf kg Saat). Alleine die Sorte entscheidet über eine Ausbeute im Isolierungsprozess um den Faktor 2.

Tabelle 1: Funktionelle Eigenschaften der Proteinisolate und Ausbeute des Isolierungsprozesses der 12 verschiedenen Erbsensorten.

Sorte	Proteinlöslichkeit / %		Ausbeute g Protein / kg Saat	Emulsionskapazität ml/g		Schaumkapazität / % pH 4,5
	pH 4,5	pH 7,0		pH 4,5	pH 7,0	
Navarro	10,3	51,5	33,8	405	600	805
Dolores	7,4	60,8	54,4	340	706	808
Greenwich	8,8	55,4	34,8	396	734	839
Bluetime	7,7	53,8	42,2	365	710	915
Ostinato	8,3	60,4	38,6	385	787	959
Kalifa	7,3	40	46,2	354	747	911
Salamanca	5,9	48,6	42,2	378	744	835
Florida	0,9	41,3	59,2	340	781	884
RLPY 141091	2,3	52,6	53,6	359	835	874
Orchestra	1,5	61,8	62,2	366	790	835
Astronaut	6,3	52,4	42,1	381	681	858
Croft	0	43,6	47,3	355	790	861

Die Proteinlöslichkeit spielt nicht nur für die Extrahierbarkeit eine wichtige Rolle, auch für die Anwendung des Proteinisolates in Lebensmitteln ist die Proteinlöslichkeit ein wichtiger Parameter. Die Funktionalität des Proteins kann nur bei einer guten Löslichkeit in Wasser erfolgen. Im Lebensmittel überwiegen die wässrigen Anwendungen und es werden oft die Grenzflächeneigenschaften von Proteinen ausgenutzt. Zur weiteren Beurteilung der unterschiedlichen Sorten als Proteinisolat wurden die Emulgiereigenschaft und Schaumkapazität herangezogen, die die Grenzflächeneigenschaften zwischen unpolaren und polaren Medien beschreiben, bzw. die Grenzfläche eines wässrigen – gasförmigen Systems.

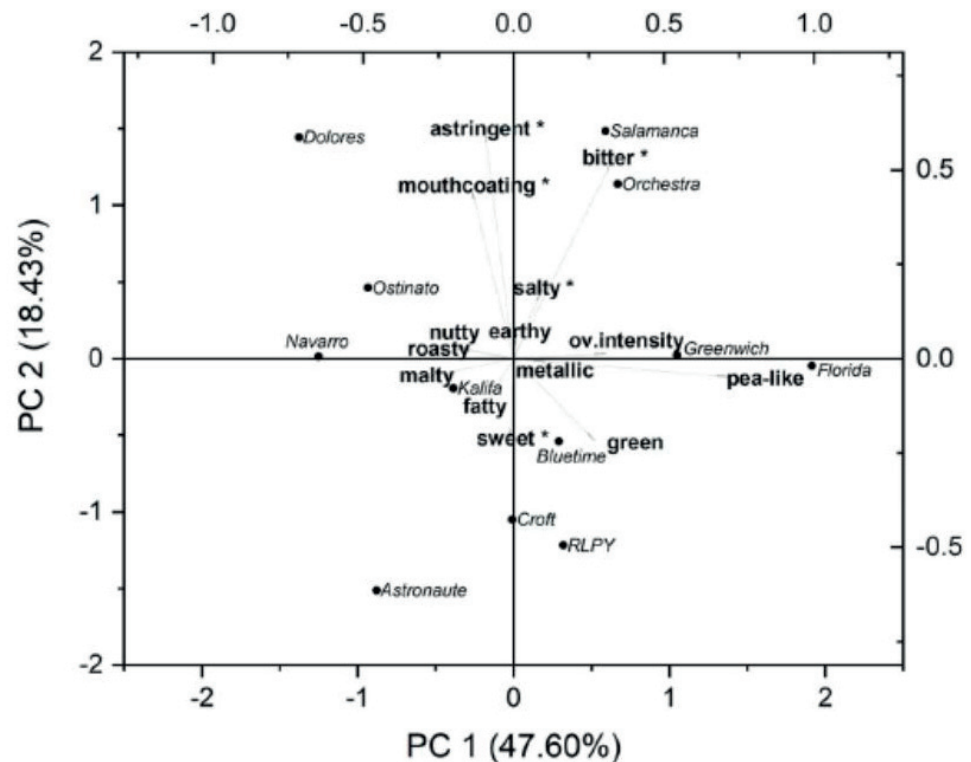
Die Emulgiereigenschaften (1 g Pulver / ml Öl) unterscheiden sich deutlich zwischen dem pH Wert 4,5 und 7,0. Im sauren Bereich liegt die Emulgierkapazität zwischen 340 und 405 g/ml, im neutralen Bereich zwischen 600 -835 g/ml. Innerhalb des pH Wertes 4,5 und 7,0 sind keine signifikanten Unterschiede festgestellt worden.

Die Schaumkapazität (5 % w/v, pH 4,5, Volumenzunahme bei U =538 U/min und 8 min) liegt zwischen etwa 800 und 900 % und unterscheidet sich nicht signifikant unter den Sorten.

Die sensorische Bewertung durch Verkostung der Pulver wurde als Suspension (2% w/w; nach DIN 10967-1-1999) durchgeführt und in einer Hauptkomponentenanalyse ausgewertet.

In einer Hauptkomponentenanalyse werden die Beziehungen zwischen den Proben und sensorischen Attributen analysiert (Abbildung 1). PC 1 und PC 2 stellen 66,03% der Gesamtvarianz dar, die weiteren Werte (Score) stellen die Koeffizientenwerte (Einfluss) der Attribute dar.

Abbildung 1: Biplot des Sensorischen Profils der Erbsenisolate von unterschiedlichen Erbsensorten



Quelle: García Arteaga, V.; Kraus, S.; Schott, M.; Muranyi, I.; Schweiggert-Weisz, U.; Eisner, P.: Screening of Twelve Pea (*Pisum Sativum* L.) Cultivars and Their Isolates Focusing on the Protein Characterization, Functionality, and Sensory Profiles. *Foods* 2021, 10, 758. <https://doi.org/10.3390/foods10040758>

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

In der Hauptkomponentenanalyse PC 1 zeigen die Sorten Dolores (-1,38) und Navarro (-1,25) den geringsten Einfluss auf den Geschmack nach Erbse; Florida den stärksten Einfluss. Bitter zeigt einen starken Einfluss zu PC 2 und ist bei Salamanca und Orchestra am stärksten ausgeprägt. Im Gegensatz dazu wird die Sorte Astronoute am wenigsten bitter wahrgenommen. Signifikante Unterschiede wurden nur bei den erbsenartigen Aromen und beim bitteren Geschmack der Salamanca- und Astronouteisolaten gefunden.

Zusammenfassung

Die in Deutschland und Frankreich angebauten Sorten unterscheiden sich bei der Ausbeute des Isolierungsprozesses, der im technischen Maßstab weitere Optimierungen bedarf. Die Emulgierfähigkeit bei pH 7 und pH 4,5 ist über alle Sorten hinweg gut und die Schäumungskapazität bei einem pH Wert von pH 4,5 liegt bei allen Sorten im ähnlichen Bereich. Trends in der retronasalen und geschmacklichen Wahrnehmung können für die Verwendung der Sorte im Lebensmittel getroffen werden. Beim Bittergeschmack ist in der Produktentwicklung aus den Isolaten zu beachten, dass die Sorte Astronoute im Vergleich zu Salamanca einen signifikanten Unterschied aufweist, der zu berücksichtigen ist.

Teil 2: Gewinnung hochwertiger Lupinenfasern aus dem Proteinisolierungsprozess

In der folgenden Beschreibung wird aus einem erweiterten Extraktionsprozess zur

Lupinenisolatherstellung aus Lupine anfgustifolius Boregine die Faserfraktion in einem Extrudierprozess behandelt. Hintergrund des Aufschlusses der Fasern ist, dass durch das Extrudieren der Anteil an wasserlöslichen Fasern erhöht werden kann, die zu einem Viskositätsanstieg führen. Dieser Viskositätsanstieg wirkt sich auch bei der Aufnahme als Lebensmittel im Verdauungstrakt aus. Löslichen Ballaststoffen wird aus diesem Grund auch eine positive Wirkung auf den Fettstoffwechsel und der Glucoseaufnahme zugeschrieben. Das kann einer der Mechanismen zur Beeinflussung des Cholesterinstoffwechsels durch ausgewählte Nahrungsaufnahme sein und für den Menschen positiv wirken.


Im Unterschied zum ersten Isolierungsprozess werden in der trockentechnischen Saatenvorbereitung nach dem Schälen aus den Kotyledonen Flocken hergestellt und entölt. Im wässrigen Extraktionsprozess werden zuvor im sauren Bereich (pH 4-5) die sauerlöslichen Proteine und die in diesem Bereich löslichen sekundären Pflanzenstoffe abgetrennt. Anschließend wird die Proteinextraktion zum Trennen der Faser vom Proteinextrakt im alkalischen Bereich durchgeführt. Die Trennungen wurden bereits im technischen Maßstab mit Dekantierzentrifugen und Separatoren durchgeführt. Die in diesem Prozess erhaltene Faserfraktion (Trockenmasse ~ 93 %) dient getrocknet (gefriergetrocknet Temperatur Start -50°C, 103 Pa 5-45 °C, 45 h, gemahlen, kleiner 500 µm) als Ausgangsmaterial, für die Extrusion.

Der Extruder (gleichlaufender Doppelschneckenextruder, Haake Rheocord, Durchmesser 16 mm mit glattem Zylinder, 1:25 Verhältnis Durchmesser zu Länge) war ausgestattet mit einem gravimetrischen Doppelschneckendosierer Typ KCM (Coperion K-tron). Ein Zudosieren von Wasser stellte die Zielgesamtfeuchte bei 130 mm stromabwärts sicher, um die angestrebte Gesamtfeuchte des Produktes an der 3,5 mm Düse zu erhalten.

Im Versuchsplan wurden unterschiedliche Temperaturen, 25, 100, und 150°C, Feuchtegehalte von 50 und 20 %, sowie die Förderleistung mit 200 und 400 Umdrehungen pro Minute variiert. Als Referenz diente die unbehandelte Faser (Tabelle 2).

Tabelle 2: Versuchsparameter mit Farbintensität der Extrudate

	T	MC	n	Colour
	[°C]	[%]	[rpm]	
Ref.	-	-	-	
1	25	50	200	
2			400	
3		20	200	
4			400	
5	100	50	200	
6			400	
7		20	200	
8			400	
9	150	50	200	
10			400	
11		20	200	
12			400	



Quelle: Dr. Susanne Naumann, Fraunhofer IVV

Zur Beurteilung des Faserabbaus wurde in den Extrudaten der lösliche Faseranteil (SDF) und unlösliche Faseranteil (IDF) enzymatisch bestimmt (Association of Official Analytical Chemists, 2016). Berechnet wurden der Gesamtfaseranteil (TDF) als Addition beider Anteile und der lösliche als Quotient aus SDF und TDF.

Um einen zunehmendem Faserabbau funktional bewerten zu können, wurde die Wasserbindekapazität (20°C, relative Zentrifugalkraft = 1000x g; 15min) bestimmt und am Rotationsviskosimeter (Platte, Durchmesser 25 mm, Abstand 1 mm, Scherraten von 0,1-100 1/s) die Fließkurven aufgenommen.

Die spezifische mechanische Energie (SME) wurde berechnet und lag zwischen 1300-10000 kJ/kg.

Effekte der thermischen Behandlung und Ergebnisse

Durch den Energieeintrag kommt es zur farblichen Veränderung und besonders stark sind Veränderungen bei hohen Temperaturen und niedriger Feuchte (Tabelle 2).

Bei der Extrusionsverarbeitung ist bekannt, dass sich Zellwandbestandteile auflösen können, und der Anstieg der Wasserbindung von der unbehandelten Referenz (8ml/g) konnte zur Probe 11 (150°C, 20% Feuchte, 400 U/min) bis zu 15 ml/g gesteigert werden. In den Untersuchungen ist die Umverteilung zu den löslichen und von den nichtlöslichen Faseranteilen in allen Proben eingetreten und kann über die Parameter bis zu 54 % eingestellt werden (Tabelle 3).

Die direkt proportionale Korrelation ist mit dem Anstieg des löslichen Anteils ($r=0,94$, $R^2 = 0,88$, $p<0,001$) gegeben. Ausnahme war die Probe 12, bei der der Abbau der Gesamtfaser durch die thermische Belastung bereits zu weit fortgeschritten war (Ref.: 82 % - 12: 47,2 %).

Es ist bekannt, dass ein Abbau der unlöslichen Fasern in lösliche Fasern zur Viskositätssteigerung führen kann. Für die Proben konnte gezeigt werden: Je höher der Anteil der löslichen Fasern im Extrudat ist, desto höher ist die Viskosität. Ausnahme ist die Probe 12: Mit dem am weitesten vorangeschrittenen Abbau der Faser fällt die Viskosität wieder ab. In allen Fließkurven ab einer Scherrate von 0,1 1/ s liegt die korrespondierende Viskosi-

Tabelle 3: löslich und unlösliche Faserbestandteile der Extrudate und das Wasserbindevermögen

Ref	Messwerte					Parameter		
	TDF	SDF/ TDF %	Wasserbindung ml/g	Sign.	Viskosität Pa s bei 15 /s	Temperatur °C	Feuchte %	Umdrehungen min
	82,4	2,3	8	g	0,23	-	-	-
1	85,6	7,5	9	e f	0,55	25	50	200
2	80,4	20	9	e	0,62	25	50	400
3	72,9	26,2	12	b c	0,93	25	20	200
4	86,6	36,1	11	c d	1,04	25	20	400
5	81,8	8,8	8	g	0,24	100	50	200
6	79,8	8,9	8	f g	0,28	100	50	400
7	75,2	33,5	12	b c	1,05	100	20	200
8	83,4	37	12	b	0,84	100	20	400
9	79,9	15,4	7	g	0,34	150	50	200
10	79,3	14,6	8	g	0,29	150	50	400
11	70	53,6	15	a	1,3	150	20	200
12	47,6	61,2	11	d	0,45	150	20	400

tät höher. Unter einer Scherrate von 0,1 1/ s zeigen die Fließkurven ein Newtonsches Plateau. Dies kann mit einem Entwirren und Wiederverschlingen der einzelnen Fasern begründet werden.

Zusammenfassung

Lupinenfasern können durch gezielte Parameterwahl funktionalisiert werden, um die unlöslichen Faserbestandteile in lösliche zu überführen. Die Viskositäten des Extrudates können zielgerichtet für die Anwendung im Lebensmittel eingestellt werden, sowie die Wasserbindung stark gesteigert werden. Ein Anreichern mit physiologisch günstigen Faserbestandteilen ist für Lebensmittel möglich.

Teil 3: Aktuelle Lebensmittelrezepturenentwicklungen mit Leguminosen und deren Zwischenprodukte

Milchsubstitute aus Linsen

Für den Einsatz von pflanzlichen Proteinen als Drink wird die Milch als Emulsion nachgebildet. In diesem Projekt ist es gelungen, Linsenprotein als Emulgator erfolgreich einzusetzen. Diese Emulsion wird durch Lösen der Proteine in Wasser, das Erzeugen einer Voremulsion mit Fett oder Öl (Sonnenblumenöl) erreicht und anschließend durch Hochdruckhomogenisation fertig stabilisiert. Um die Lagerstabilität und die mikrobielle Haltbarkeit zu erhöhen, wird die Emulsion erhitzt (85°C). Die sensorischen Bewertungen dieser Linsenemulsion ergaben bei der Bewertung über alle Merkmaleigenschaften mit 4 weiteren Produkten keine signifikanten Unterschiede. Ein 5. Produkt wurde signifikant geringer bewertet.

Linsenproteine könnten als Emulgator für einen Milchersatz angewendet werden.

Milchsubstitute aus Linsen

Käse aus Lupinenprotein herzustellen ist schon mehreren Jahren in der Entwicklung und in Anlehnung an die klassische Käseherstellung wird versucht, mittels Fermentation entsprechende Produkte zu erhalten. Aus den ersten Versuchsreihen konnte eine einem Fetakäse ähnliche Struktur erreicht werden. Weitere Versuchsreihen mit Lupinenisolat als Proteinquelle ergaben in der Optimierung der Parameter der pflanzlichen Milch, der Fermentation und Auswahl der Mikroorganismen einen Schnittkäse (Abbildung 2).

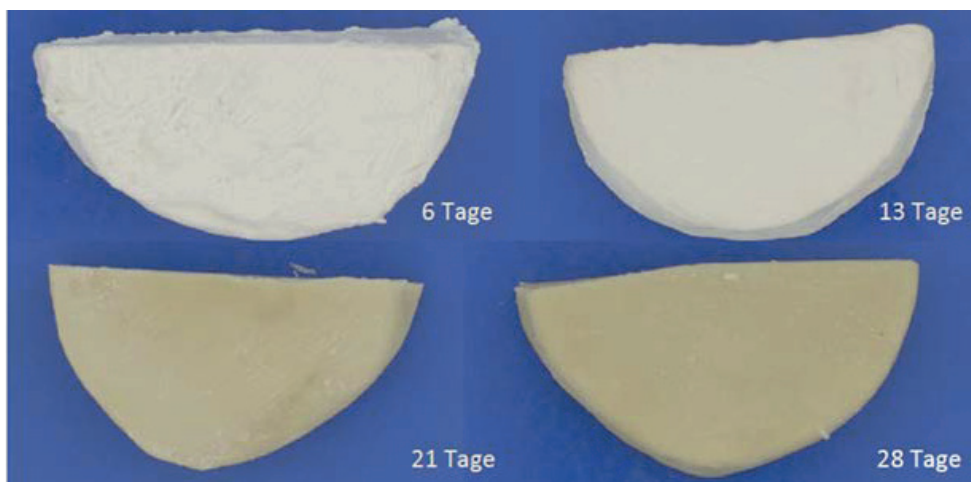


Abbildung 2: "Lupinenschnittkäse" nach unterschiedlichen Reifezeiten von 6-28 Tagen.

Quelle: Fraunhofer IVV, Dr. Andrea Hickisch

Als schimmelpilzgereifter Käse ist die Entwicklung weiter vorangeschritten und die pflanzlich basierten Produkte (Mandel) weisen eine hohe Ähnlichkeit mit einem Camembert auf. In der folgenden Abbildung 3 ist der Wassergehalt des Käses von links nach rechts absteigend variiert und nach der Reifung dargestellt.

Abbildung 3: "Lupinenschnittkäse" nach unterschiedlichen Reifezeiten von 6-28 Tagen.



Unter der Verwendung der klassischen Methoden der Käseherstellung, kann auch auf pflanzlicher Basis ein dem Original Käse entsprechendes Aussehen gegeben werden. Es ist somit die klassische Käsereifung umsetzbar. Die verwendeten Techniken sind denen, die in der Molkerei und Käseherstellung etabliert sind, gleich.

Knabberprodukte und Frühstücksflocken– Trockenextrudate aus dem Extruder

Mischungen mit Leguminosen und Pseudocerealien zeigten für die Herstellung von proteinreichen Cerealien, in der Ergänzung der Aminosäureprofile gute humanphysiologische Anforderungen, um ein ausgewogenes Aminosäureprofil zu erhalten. Es wurden Mischungen aus Amaranth (*Amaranthus*), Buchweizen (*Fagopyrum*), Quinoa (*Chenopodium quinoa*) und Lupine *angustifolius*, sowie Lupine *albus* eingesetzt. Bei der sensorischen Verkostung der Extrudate zeigte sich vor allem die Mischung aus blauer Lupine und Buchweizen als besonders gute Kombination in der Merkmalseigenschaft Beliebtheit. Ein Vergleich zu den Benchmarkprodukten zeigte sich in einem niedrigeren Energiegehalt und höherem Proteinanteil im Konsumentenprodukt.

Fleischiger Biss – Nassextrudate aus dem Extruder

Die Nachfrage nach Fleischersatzprodukten (Abbildung 4) steigt und sie werden häufiger verzehrt. Die Auswahl im Supermarkt wird vielfältiger und zum Einsatz für diese Produkte kommt wiederum die Extrusionstechnologie. Um eine faserartige Struktur zu erhalten, sind neben den nicht-kovalenten Molekülwechselwirkungen und den Peptidbindungen

Abbildung 4: "Lupinenschnittkäse" nach unterschiedlichen Reifezeiten von 6-28 Tagen.



für die Faserstrukturgebung auch die Ausbildung von Disulfidbrücken verantwortlich. Voraussetzung für die Ausbildung dieser Struktur sind die schwefelhaltigen Aminosäure Methionin und Cystein. Die hohen Anteile von Methionin und Cystein in Leguminosen begünstigen diese bei der Rohstoffauswahl für Nassextrudate.

Zusammenfassung

Die Rezepturenentwicklungen mit Leguminosenprodukten erfahren weitere Verbesserungen und das bei hoher sensorischer Qualität. Nicht nur der Ersatz an tierischem Protein ist aus Leguminosen möglich, sondern auch die Weiterentwicklung von am Markt befindlichen Produkten zu gesünderer Zusammensetzung (Brennwert, Aminosäurespektrum) oder besserer Funktionalität des Ingrediens.

Literaturverzeichnis

Screening of Twelve Pea (*Pisum sativum* L.) Cultivars and Their Isolates Focusing on the Protein Characterization, Functionality, and Sensory Profiles; Citation: García Arteaga, V.; Kraus, S.; Schott, M.; Muranyi, I.; Schweiggert-Weisz, U.; Eisner, P.; Sensory Profiles. *Foods* 2021, 10, 758. <https://doi.org/10.3390/foods10040758>

Effects of extrusion processing on the physiochemical and functional properties of lupin kernel fibre; Susanne Naumann a,b,*; Ute Schweiggert-Weisz b, Anna Martin b, Melanie Schuster b, Peter Eisner a,b; a ZIEL-Institute for Food & Health, TUM School of Life Sciences Weihenstephan, Technical University of Munich, Weihenstephaner Berg 1, 85354, Freising, Germany; b Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging (IVV), Giggenhauser Str. 35, 85354, Freising, Germany, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106222>

Jeske, S., Bez, J., Arendt, E.K. et al. Formation, stability, and sensory characteristics of a lentil-based milk substitute as affected by homogenisation and pasteurisation. *Eur Food Res Technol* 245, 1519–1531 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03286-0>

Dr. Andrea Hickisch, Fraunhofer IVV intern

Filmbeitrag über die Thematik pflanzliche Käseherstellung im Bayerischen Rundfunk, alpha; <https://www.br.de/fernsehen/ard-alpha/sendungen/campus/food-forschung-fraunhofer-lupinen-kaese-joghurt-hickisch-100.html>

Texture, sensory properties and functionality of extruded snacks from pulses and pseudocereal proteins; Anna Martin, Verena Schmidt, Raffael Osen, Jürgen Bez, Eva Ortner and Stephanie Mittermaier; *Journal of The Science of Food and Agriculture*; wileyonlinelibrary.com; DOI 10.1002/jsfa.11041

Texturization of pea protein isolates using high moisture extrusion cooking; Osen, Raffael; Jahr:2017 Dissertaion; TUM München; <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20171009-1356359-1-4>