

Optimierung der Strukturbildung in gemischten Pflanzenproteinen



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtungen:	Technische Universität Berlin Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie FG Lebensmitteltechnologie und -materialwissenschaften Prof. Dr. Stephan Drusch/Dr. Martina Klost Technische Universität Dresden Institut für Naturstofftechnik Professur für Lebensmitteltechnik Prof. Dr. Anja Maria Wagemans
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e.V. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Berthold Knoche Landliebe GmbH, Heilbronn
Laufzeit:	2022 – 2026
Zuwendungssumme:	€ 398.787,--

Ausgangssituation

Lebensmittel stellen häufig komplexe, ein- oder mehrphasige Systeme dar. Hierzu zählen neben Emulsionen und Schäumen auch Gele. Bei Letzteren spielen Protein-Protein-Wechselwirkungen für die Strukturbildung, Stabilität und Verbraucherwahrnehmung eine wichtige Rolle. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Ausbildung von Pflanzenproteingelen sowohl bei einer Säuregelierung (wie z.B. in Joghurtalternativen) als auch bei einer thermischen Gelbildung (wie z.B. in Wurstalternativen) durch Wechselwirkungen zwischen (löslichen) Proteinaggregaten induziert wird. Um entsprechende Aggregate zu bilden, müssen Pflanzenproteine zunächst durch thermische Behandlung dissoziieren, auffalten und anschließend miteinander interagieren. Die Aggregatgröße und -struktur hängt dabei u.a. von Faktoren wie der Denaturierungstemperatur des Proteins, dessen isoelektrischen Punkts, der Art der beteiligten Wechselwirkungen, der Struktur der Proteine und dem Denaturierungszustand des eingesetzten Rohstoffs ab.

Für einige industriell relevante Rohstoffe, wie z.B. Soja- oder Erbsenprotein sind grundlegende Mechanismen der thermisch- und pH-induzierten Gelbildung in unterschiedlichem Umfang in der Literatur beschrieben. Dies beinhaltet z.T. auch die Betrachtung von Unterschieden und dem Zusammenspiel der verschiedenen Fraktionen in diesen Rohstoffen. Entsprechend ist bekannt, dass sich diese Fraktionen unterscheiden, und z.T. auch wie sie miteinander interagieren.

In Lebensmittelformulierungen kommen allerdings neben Rohstoffen aus einzelnen pflanzlichen Quellen auch Mischungen aus Proteinen unterschiedlicher Herkunft zum Einsatz. In diesen Formulierungen liegen weitaus mehr Proteinfractionen vor, die sich durch Ausbildung verschiedener Wechselwirkungen gegenseitig in ihrem

Aggregations- und Gelbildungsverhalten beeinflussen können. Bisher fehlte ein mechanistisches Verständnis darüber, wie die Anwesenheit von Proteinfractionen aus unterschiedlichen Proteinquellen die Protein-Protein-Wechselwirkungen beeinflusst und welche dieser Fraktionen tatsächlich an den entsprechenden Wechselwirkungen beteiligt sind. Zudem war unklar, wie sich diese Wechselwirkungen auf die Eigenschaften der entstehenden Aggregate und die Geleigenschaften in thermisch und pH-induzierten Systemen auswirken.

Neben dem Beitrag einzelner Proteinfractionen spielt insbesondere der Denaturierungszustand der Proteine im Rohstoff eine entscheidende Rolle, da er die Fähigkeit pflanzlicher Proteine, sich beim Erhitzen zu entfalten und Aggregate zu bilden, maßgeblich beeinflussen bzw. einschränken kann. In der Praxis führt dies dazu, dass mitunter Zusatzstoffe zur Unterstützung der erwünschten Textur notwendig sind. Dies wiederum führt aufgrund von längeren Zutatenlisten und der Anwesenheit von Zusatzstoffen zu einer geringeren Verbraucherakzeptanz der Produkte.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Zusammenhänge zwischen Protein-Protein-Wechselwirkungen, der Voraggregation von Pflanzenproteinen und ihren Fraktionen unterschiedlicher botanischer Herkunft sowie der anschließenden Gelbildung systematisch zu untersuchen und mechanistisch aufzuklären. Dabei wurden im Labormaßstab extrahierte, möglichst native Proteine eingesetzt. Das Augenmerk lag hierbei insbesondere darauf zu identifizieren, inwiefern und unter welchen Prozessbedingungen die Kombination unterschiedlicher Proteine durch Bildung gemischter Proteinaggregate die rheologischen Eigenschaften und die Textur von Pflanzenproteingelen positiv beeinflussen kann. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden Handlungsempfehlungen abgeleitet, anhand deren die grundsätzliche Eignung einzelner Rohstoffe sowie deren Kompatibilität mit anderen Rohstoffen für eine Verbesserung der Geleigenschaften (und somit für eine Reduktion der benötigten Proteinmenge) abgeschätzt werden können.

Forschungsergebnisse

Die Forschungsergebnisse erweitern das bestehende Wissen zur thermischen Aggregation sowie zur thermisch- und pH-induzierten Gelbildung von Pflanzenproteinen aus Erbse, Soja und Raps unter Berücksichtigung des Denaturierungszustandes der einzelnen Rohstoffe. Neben dem vertieften Verständnis des Verhaltens einzelner Proteine liefern sie insbesondere neue, anwendungsrelevante Erkenntnisse darüber, wie Protein-Protein-Wechselwirkungen zwischen Fraktionen aus unterschiedlichen Rohstoffen die Eigenschaften von Aggregaten beeinflussen und sich daraus gezielt die Geleigenschaften von Mischungen aus Pflanzenproteinisolaten steuern lassen.

Konkret zeigen die Ergebnisse des Projekts Unterschiede in der Bedeutung der Löslichkeit der Aggregate für die Bildung thermisch und pH-induzierter Gele. Grundsätzlich beruht die Gelbildung von Pflanzenproteinen auf der thermisch induzierten Denaturierung (Entfaltung) der Proteine, der anschließenden Aggregation und der Ausbildung von dreidimensionalen Netzwerken. In thermisch induzierten Gelen (höhere Proteinkonzentrationen) erfolgt ein kontinuierlicher Übergang von löslichen zu unlöslichen, volumenfüllenden Strukturen; die Geleigenschaften werden primär durch die Kontrolle der Aggregation sowie Stärke und Homogenität der Wechselwirkungen bestimmt. Die Löslichkeit einzelner Aggregate ist bei thermisch induzierten Gelen nachrangig, solange das Protein im Rohstoff ausreichend löslich war. pH-induzierte Gele entstehen in einem zweistufigen Prozess aus thermischer Voraggregation und anschließender pH-Absenkung. Letztere führt durch die Förderung attraktiver Wechselwirkungen zur Gelbildung. Entscheidend ist hier die anfängliche Löslichkeit der Aggregate, da sie bestimmt, wie gut sich beim pH-Abfall ein stabiles Netzwerk ausbilden kann.

Sowohl die Fähigkeit lösliche Aggregate zu bilden als auch die Fähigkeit die Aggregation zu kontrollieren war stark von der Proteinquelle abhängig: Sojaprotein bildete überwiegend lösliche Aggregate (Einfluss der 7S-Fraktion) mit begrenztem Aggregatwachstum was zu geringerer Gelstärke und hoher Wasserhaltekapazität in thermischen, aber höherer Gelstärke in pH-induzierten Gelen führte. Erbsenprotein neigte zu einer weniger kontrollierten Aggregation, was zu einer geringeren Löslichkeit der Aggregate und höheren Gelstärken, jedoch geringerer Wasserhaltekapazität in thermisch induzierten Gelen und zu schwachen pH-induzierten Gelen mit inhomogener Struktur führte. Rapsprotein bildete überwiegend unlösliche Aggregate, ist daher für pH-

induzierte Gele ungeeignet, konnte jedoch stabile thermische Gele, allerdings mit geringerer Wasserhaltekapazität als das Erbsenprotein, bilden. In Mischungen unterschiedlicher Proteinquellen traten vielfältige Wechselwirkungen zwischen den enthaltenen Proteinfractionen auf. Diese können in Abhängigkeit von den beteiligten Proteinfractionen zu gezielten Synergien führen: Kombinationen aus Soja und Raps lieferten in thermisch induzierten Gelen durch reduzierte elektrostatische Abstoßung (Napin) und kontrollierte Aggregation (Soja 7S) höhere Gelstärken. In Mischungen aus Erbse und Raps konnten die 11S Fraktionen ko-aggregieren. Dies führte zu erhöhter Proteininkorporation und Vernetzungsdichte in thermisch induzierten Gelen sowie zu höherer Löslichkeit der gemischten Aggregate. In pH-induzierten Gelen resultierte daraus zwar eine erhöhte Gelstärke, die Strukturen bleiben jedoch instabil und inhomogen. Mischungen aus Soja und Erbse verhielten sich weitgehend additiv.

Für die gezielte Einstellung von Geleigenschaften in Mischungen aus Proteinisolaten sind somit vor allem deren Zusammensetzung bzw. die enthaltenen Fraktionen entscheidend: Isolate, die Napin enthalten, reduzieren die elektrostatische Abstoßung, während Isolate mit β -Conglycinin eine kontrollierte Aggregation fördern. Zudem beeinflussen der Denaturierungsgrad und die native Struktur der eingesetzten Rohstoffe die Funktionalität maßgeblich. Während pH-induzierte Gele empfindlich auf den Einsatz (teilweise) denaturierter Rohstoffe reagieren, sind diese für den Einsatz in thermisch induzierten Gelen unter bestimmten Bedingungen tolerierbar.

Wirtschaftliche Bedeutung

Ein wesentliches Element auf dem Weg zu einem nachhaltigen Lebensmittelkonsum ist eine Reduktion des Verzehrs tierischer Lebensmittel. Pflanzenproteine spielen hierfür eine entscheidende Rolle, da sie im Gegensatz zu anderen Proteinen (wie z.B. aus Insekten) eine hohe Verbraucherakzeptanz besitzen. Vor dem Hintergrund der Marktentwicklung wird ein massiver Wandel in der Nutzung von Pflanzenproteinen prognostiziert. 94 % der proteinreichen Pflanzen werden gegenwärtig als Futtermittel verwendet, lediglich 5 % gehen in Form von Direktkonsum, direkten Verarbeitungsprodukten und funktionellen Proteinzutaten in die Lebensmittelproduktion (EU). Insbesondere in den letztgenannten Gruppen ist aber ein außergewöhnlich hohes Innovations- und Wachstumspotential zu sehen.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind gleichermaßen für die milch- wie für die fleischverarbeitende Industrie, die zunehmend auch den Markt milch- und fleischanaloger bzw. -alternativer Produkte bedienen, von Interesse. Beide Teilbranchen sind durch eine Vielzahl kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) geprägt. Eine weitere Zielgruppe, die von den Projektergebnissen profitiert, sind Produzenten vegetarischer und veganer Lebensmittel. Über 10 % der Start-ups in Deutschland sind in der Lebensmittelindustrie verortet, der überwiegende Teil dieser innovativen Unternehmen bedient den Markt veganer und vegetarischer Lebensmittel. Deutschland ist mit einem Anteil von 15 % der Marktneueinführungen weltweiter Spitzenreiter in diesem Bereich.

Konkret ergibt sich aus den Projektergebnissen für diese Unternehmen die Möglichkeit, durch gezieltes Rohstoffscreening und die Nutzung von Synergien wirtschaftlichere Herstellungsprozesse für Gele zu entwickeln, bei denen die Reduktion der Gesamtproteinmenge bei gleichbleibender Gelstärke ökonomische Vorteile bieten kann. Zum anderen lassen sich durch die Bildung stärkerer Gele gegebenenfalls strukturgebende Zusatzstoffe reduzieren, was zu kürzeren Zutatenlisten führt und die Verbraucherakzeptanz positiv beeinflusst.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2026.
2. Seibt, J. H., Schulz, M. A., Hundschell, C. S., & Wagemans, A. M.: Effect of heat treatment on the molecular interactions and co-aggregation of pea protein fractions. Food Hydrocolloids. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2026.112759> (2026)

3. Lyu, F., Drusch, S., & Klost, M.: Interplay of protein fractions governs gelation behavior of binary mixtures from soy, pea and rapeseed proteins. Food Hydrocolloids.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2026.113117> (2027).

Weiteres Informationsmaterial

Technische Universität Berlin
Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie
FG Lebensmitteltechnologie und -materialwissenschaften
Königin-Luise-Straße 22, 14195 Berlin
Tel.: +49 30 314-71819
Fax: +49 30 314-71492
E-Mail: stephan.drusch@tu-berlin.de

Technische Universität Dresden
Institut für Naturstofftechnik
Professur für Lebensmitteltechnik
Bergstraße 120, 01069 Dresden
Tel.: +49 351 463-332420
Fax: +49 351 463-37761
E-Mail: anja.wagemans@tu-dresden.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

... ein Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bildnachweis - Seite 1: © Martina Klost, TU Berlin 2021

Stand: 27.08.2026