

# Soy Protein Modification Enzyme für die funktionelle Modifikation von Sojaprotein in Lebensmitteln

Enzymes.bio Research-Team · Wellington, Neuseeland · June 18, 2026

**Soy Protein Modification Enzyme** ist ein Prozesswerkzeug zur gezielten Veränderung von Sojaprotein in wässrigen Proteinmatrices, etwa bei Sojaproteinisolat, Sojaproteinkonzentrat, Sojamilchsystemen, pflanzlichen Getränkepulvern, Emulsionen, Gelen und texturierten Produkten. Technologisch geht es vor allem darum, Proteinstruktur, Löslichkeit, Grenzflächenverhalten, Viskosität, Gelbildung, Schaumeigenschaften und Peptidprofil kontrolliert zu beeinflussen; die Forschung beschreibt enzymatische Hydrolyse, enzymatische Vernetzung und kombinierte Modifikationsverfahren als zentrale Ansätze für die Verarbeitung von Sojaprotein <sup>[1]</sup>.

Enzymes.bio stellt das Produkt als **1-kg-Einheit zur direkten Online-Bestellung** bereit. Ein **Analysezertifikat (CoA)** und ein **Sicherheitsdatenblatt (SDS)** werden bei der Bestellung mitgeliefert; Enzymes.bio ist Lieferant, nicht Hersteller und nicht Labor.

## Was mit „Soy Protein Modification Enzyme“ gemeint ist

Ein Soy Protein Modification Enzyme ist keine einzelne fertige Produktlösung, sondern eine Enzymzubereitung für die Bearbeitung von Sojaprotein innerhalb eines definierten Herstellprozesses. Je nach Enzymtyp und Prozessführung kann die Wirkung über **kontrollierte Proteinhydrolyse**, **enzymatische Vernetzung** oder andere proteinchemische Veränderungen laufen; in der wissenschaftlichen Literatur werden diese Strategien genutzt, um die funktionellen Eigenschaften von Sojaprotein für Lebensmittel- und Ingredients-Anwendungen zu steuern <sup>[1]</sup>.

Bei der hydrolytischen Modifikation werden Peptidbindungen in den Sojaproteinen gespalten. Aus großen globulären Proteinstrukturen entstehen kleinere Proteinefragmente und Peptide, wodurch sich Zugänglichkeit, Ladungsverteilung, Oberflächenhydrophobizität und Wasserinteraktion verändern können. Schon ältere Arbeiten zur enzymatischen Modifikation von Sojaproteinkonzentraten mit pilzlichen und bakteriellen Proteasen zeigen, dass Proteasen gezielt eingesetzt wurden, um die funktionellen Eigenschaften solcher Sojaproteinfraktionen zu verändern <sup>[2]</sup>.

Nicht jede Modifikation ist jedoch automatisch vorteilhaft. Dent und Mitarbeitende zeigten bei der enzymatischen Hydrolyse von Soja- und Kichererbsenprotein mit Alcalase und Flavourzyme, dass sich auch **wasserstoffbrückenvermittelte unlösliche Aggregate** bilden können. Das ist für die Praxis wichtig: Eine enzymatische Behandlung kann Löslichkeit und Funktion verbessern, sie kann aber bei ungünstiger Prozessführung auch Aggregation, Sedimentation oder Texturfehler begünstigen <sup>[3]</sup>.

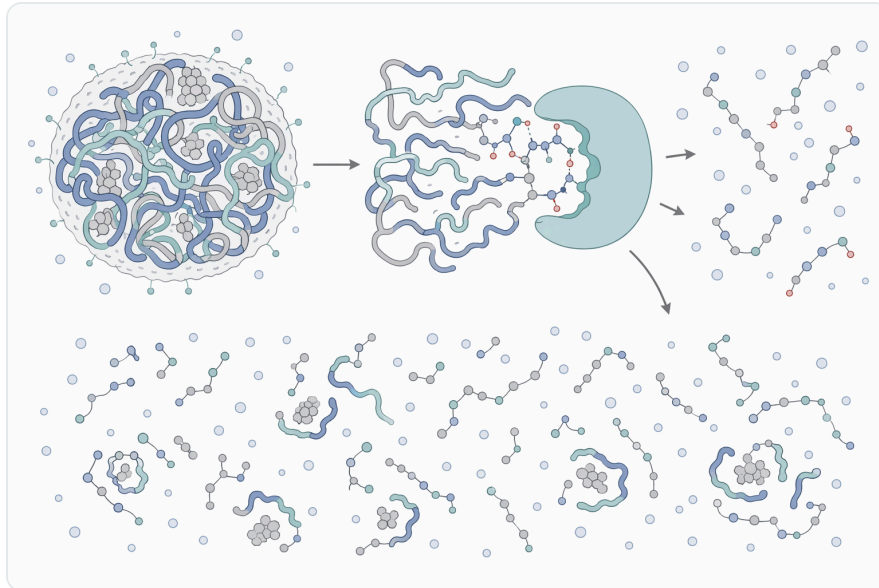
## Warum Sojaprotein funktionell modifiziert wird

---

Sojaprotein ist ein leistungsfähiger pflanzlicher Rohstoff, aber seine Funktionalität hängt stark von Rohstoffqualität, Vorbehandlung, Extraktion, Trocknung, pH-Historie, Hitzebelastung und Matrix ab. Übersichtsarbeiten zu Sojaproteinen beschreiben, dass unterschiedliche Verarbeitungsanwendungen jeweils andere Anforderungen an Löslichkeit, Gelierung, Emulgierfähigkeit, Wasserbindung, Textur und sensorische Stabilität stellen <sup>[1]</sup>.

In Getränken und Pulvern steht häufig die Dispergierbarkeit im Vordergrund: Das Protein soll sich schnell hydratisieren, nicht sandig wirken und möglichst wenig sedimentieren. In Emulsionen muss es an Öl-Wasser-Grenzflächen adsorbieren und einen stabilen Film bilden. In gelierten Produkten und Fleischalternativen sind dagegen Protein-Protein-Wechselwirkungen, Wasserbindung und Netzwerkbildung entscheidend. Pflanzliche Milchpulver zeigen besonders deutlich, wie eng Verarbeitungstechnik, funktionelle Eigenschaften und spätere Lebensmittelanwendung miteinander verknüpft sind <sup>[4]</sup>.

Die enzymatische Modifikation bietet hier einen molekularen Hebel. Sie verändert nicht nur die Partikelgröße oder die äußere Form des Rohstoffs, sondern greift direkt in Proteinelänge, Faltung, Ladung, Reaktivität und Wechselwirkungen ein. Dadurch kann dasselbe Ausgangsprotein je nach Prozessziel eher als lösliches Protein, Grenzflächenstabilisator, Gelbildner, Schaumstabilisator oder Peptid-Ingredient genutzt werden <sup>[1]</sup>.



**Figure 1.** 대두 단백질 개질 효소는 펩타이드 결합을 절단해 더 작은 펩타이드로 만들거나, 단백질 사슬 사이에 공유 결합을 형성하는 방식으로 작용한다.

## Mechanismus: Was das Enzym am Sojaprotein verändert

### Kontrollierte Proteinhydrolyse: aus globulären Proteinen werden funktionelle Fragmente

Sojaproteine liegen in vielen Zutaten als komplex gefaltete und teilweise aggregierte Strukturen vor. Eine Protease spaltet ausgewählte Peptidbindungen und verkürzt dadurch die Proteinmoleküle. Diese Verkürzung kann interne Bereiche freilegen, die zuvor im Proteininneren verborgen waren: hydrophobe Seitenketten werden für Grenzflächen zugänglich, polare und geladene Gruppen können stärker mit Wasser interagieren, und sterische Hindernisse zwischen Proteinmolekülen nehmen ab <sup>[2]</sup>.

Für Emulsionen kann eine begrenzte Hydrolyse vorteilhaft sein, weil kleinere, beweglichere Proteinfragmente schneller an die Öl-Wasser-Grenzfläche gelangen. Dort müssen sie sich ausrichten: hydrophobe Bereiche zeigen zur Ölphase, hydrophile Bereiche bleiben in der Wasserphase. Wird die Hydrolyse zu weit getrieben, können die Fragmente jedoch zu kurz sein, um einen zusammenhängenden, elastischen Grenzflächenfilm zu bilden. Die Forschung zu enzymatisch prozessierten Mischungen aus Maisgluten- und Sojaproteinhydrolysaten zeigt, dass enzymatische Verarbeitung und Fraktionierung Emulsionsstabilität und Schaumeigenschaften gezielt verändern können <sup>[5]</sup>.

Für Schäume gilt ein ähnliches Prinzip. Proteine oder Peptide müssen schnell an die Luft-Wasser-Grenzfläche wandern und dort einen Film ausbilden, der Gasblasen gegen Zusammenfließen schützt. Eine moderate Hydrolyse kann die Mobilität erhöhen; eine zu starke Hydrolyse kann den Film

mechanisch schwächen. Deshalb ist die gewünschte Peptidgrößenverteilung für ein Schaumprodukt nicht unbedingt dieselbe wie für ein Getränk oder eine Sauce <sup>[5]</sup>.

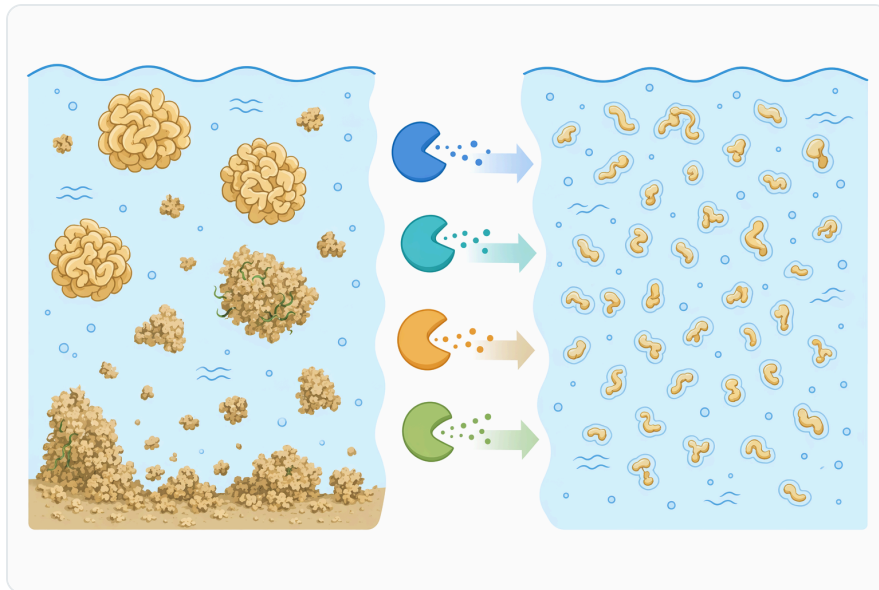
### **Aggregation: warum Hydrolyse auch Unlöslichkeit erzeugen kann**

In der Praxis wird enzymatische Hydrolyse oft mit „besserer Löslichkeit“ gleichgesetzt. Das ist als Tendenz häufig plausibel, aber mechanistisch unvollständig. Wenn Hydrolyse Proteine entfaltet und neue Bindungsstellen freilegt, können diese Stellen auch neue Protein-Protein-Kontakte ausbilden. Dent et al. beschreiben bei Soja- und Kichererbsenprotein nach Behandlung mit Alcalase und Flavourzyme unlösliche Aggregate, deren Bildung mit Wasserstoffbrücken zusammenhing <sup>[3]</sup>.

Für die Verarbeitung bedeutet das: pH-Wert, Temperatur, Ionenmilieu, Feststoffgehalt, Scherung und Reaktionsdauer beeinflussen, ob freigelegte Proteinsegmente überwiegend mit Wasser interagieren oder miteinander aggregieren. Besonders in konzentrierten Proteinmatrices können viele freigelegte Kontaktflächen in kurzer Distanz zueinander vorliegen. Dann kann eine eigentlich gewünschte Strukturöffnung in Sedimentation, Trübung, Gelpartikel oder ungleichmäßige Textur umschlagen <sup>[3]</sup>.

### **Enzymatische Vernetzung: gezielte Protein-Netzwerke statt Peptidabbau**

Nicht jede Sojaproteinmodifikation beruht auf Spaltung. Enzymatische Vernetzung verfolgt das gegenteilige Ziel: Proteinmoleküle werden über neue Bindungen miteinander verknüpft, sodass größere Polymere oder Netzwerke entstehen. Besonders Transglutaminase-gestützte Systeme werden in der Forschung genutzt, um Protein-Protein-Interaktionen und Verarbeitungseigenschaften von Sojaprotein zu verändern <sup>[6]</sup>.



**Figure 2.** 천연 대두 단백질은 치밀한 구상 구조와 응집체가 수화와 분산을 방해할 때 기능이 저하될 수 있다.

Bei Transglutaminase-ähnlichen Vernetzungsreaktionen können kovalente Querverbindungen zwischen geeigneten Aminosäureresten entstehen. Dadurch werden Proteinmoleküle mechanisch stärker gekoppelt. In Sojaproteinisolat-Whey-Protein-Systemen wurde etwa untersucht, wie transglutaminasevernetzte Proteinpolymere die Verarbeitungseigenschaften beeinflussen; solche Arbeiten zeigen, dass enzymatische Vernetzung nicht nur ein analytisches Konzept, sondern ein praktischer Strukturierungsansatz ist [6].

Auch neuere Untersuchungen zur enzymatischen Vernetzung von Lupinenmehl und Sojaproteinisolat betrachten die Auswirkung auf physikochemische und funktionelle Eigenschaften. Für industrielle Produktentwicklung ist der Unterschied zur Hydrolyse zentral: Hydrolyse verringert Molekülgröße und kann Löslichkeit oder Grenzflächenmobilität erhöhen, während Vernetzung Kohäsion, Netzwerkbildung und Gelstärke fördern kann [7].

### **Deamidierung und kombinierte Modifikation: Ladung, Hydratation und Bindungsverhalten**

Neben Spaltung und Vernetzung gibt es enzymatische Modifikationen, die Seitenkettenchemie und Ladungsverteilung verändern. Ein Beispiel ist die Deamidierung durch Protein-Glutaminase, bei der bestimmte Amidgruppen in stärker geladene Carboxylgruppen überführt werden. Das kann die elektrostatische Abstoßung zwischen Proteinmolekülen erhöhen, Hydratation fördern und die Faltung auflockern; in Kombination mit pH-Shifting wurde dies zur Verbesserung der Curcumin-Einkapselung durch modifiziertes Sojaproteinisolat untersucht [8].

Solche Kombinationsverfahren sind für moderne Plant-Protein-Anwendungen besonders relevant, weil ein einzelner Mechanismus selten alle Zielgrößen gleichzeitig verbessert. Enzymatische Hydrolyse kann zum Beispiel Grenzflächenmobilität erhöhen, pH-Shifting kann Proteine entfalten und neu anordnen, und eine nachfolgende Wärme- oder Homogenisierungsstufe kann die endgültige Partikel- und Netzwerkstruktur bestimmen. Untersuchungen zur synergistischen Modifikation von Sojaprotein als pflanzlichem molekularem Emulgator durch enzymatische Hydrolyse und wärmeunterstütztes pH-Shifting zeigen genau diesen mehrstufigen Denkansatz [9].

## Vergleich der wichtigsten Modifikationswege

Modifikationsweg	Molekularer Haupthebel	Typische funktionelle Zielrichtung	Technischer Nutzen	Wichtige Grenze
Kontrollierte Proteinhydrolyse	Spaltung ausgewählter Peptidbindungen; Bildung kleinerer Fragmente	bessere Dispergierbarkeit, veränderte Viskosität, Grenzflächenaktivität, Peptidbildung	nützlich für Getränke, Emulsionen, Schäume und Hydrolysate	zu starke Hydrolyse kann Bitterkeit, schwache Filme oder Gelverlust begünstigen; Aggregation ist möglich [3]
Enzymatische Vernetzung	Aufbau neuer Protein-Protein-Verbindungen	stärkere Netzwerke, Textur, Gelstruktur, Kohäsion	relevant für Gele, Fleischalternativen, hybride Proteinsysteme	zu starke Vernetzung kann Löslichkeit und Fließfähigkeit verringern [7]
Deamidierung	Änderung der Seitenkettenladung und Hydratation	verbesserte Wasserinteraktion, geänderte Faltung, verbessertes Bindungsvermögen	interessant für Verkapselung und funktionelle Proteinträger	Wirkung hängt stark von pH-Führung und Matrix ab [8]
Kombinierte Modifikation	Kopplung von Enzymwirkung mit pH, Wärme, Ultraschall oder Polyphenolen	maßgeschneiderte Emulsion, Stabilität, Verdauungs- oder Bindungseigenschaften	geeignet, wenn mehrere Zielgrößen gleichzeitig adressiert werden sollen	Prozessfenster wird komplexer; Effekte sind nicht linear [10]

# Anwendungen in Lebensmitteln und Ingredients

## Pflanzliche Getränke, Sojamilch und Proteinpulver

In pflanzlichen Getränken und rekonstituierbaren Pulvern ist Sojaprotein nur dann technologisch überzeugend, wenn es sich fein verteilt, wenig sedimentiert und ein gleichmäßiges Mundgefühl ergibt. Plant-based milk powders werden in der Forschung als Systeme beschrieben, bei denen Verarbeitungstechnik, Partikelstruktur, Löslichkeit, Stabilität und Anwendungseigenschaften eng ineinandergreifen [4].

Ein Soy Protein Modification Enzyme kann hier eingesetzt werden, um die Proteinmatrix vor Trocknung, Homogenisierung oder Endformulierung gezielt einzustellen. Eine begrenzte Hydrolyse kann größere Proteinaggregate aufbrechen und die Hydratation erleichtern. Gleichzeitig muss der Prozess so geführt werden, dass keine wasserstoffbrückenvermittelten unlöslichen Aggregate entstehen, wie sie bei bestimmten hydrolysierten Leguminosenproteinen beobachtet wurden [3].

## Emulsionen, Saucen, Cremes und Fettstabilisierung

Sojaprotein wirkt in Emulsionen als amphiphiler Grenzflächenbaustein. Damit eine Öl-in-Wasser-Emulsion stabil bleibt, müssen Proteinmoleküle oder Peptide die Öltröpfchenoberfläche schnell besetzen und dort eine Schutzschicht bilden. Enzymatische Hydrolyse kann die Beweglichkeit und Oberflächenzugänglichkeit erhöhen; eine zu starke Fragmentierung kann jedoch die Filmbelastbarkeit reduzieren [9].

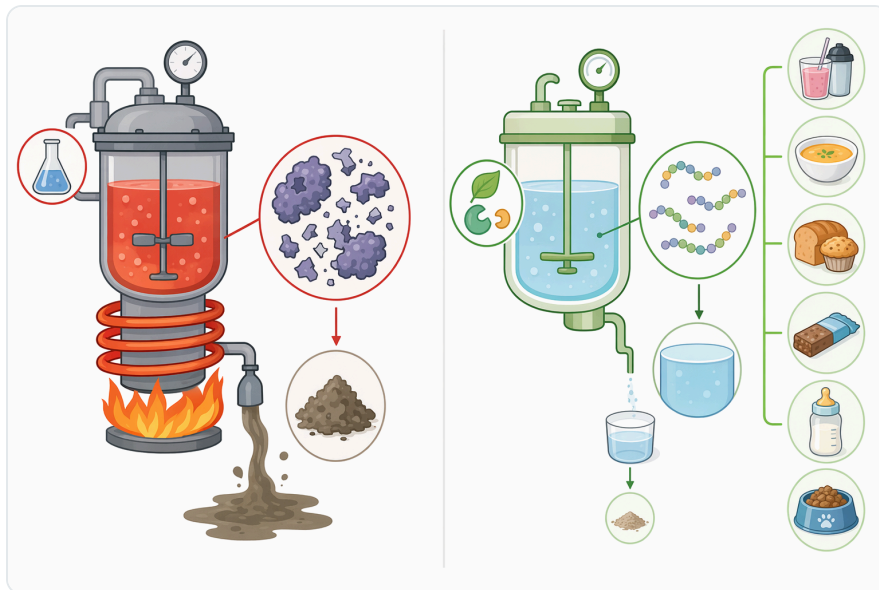


Figure 3. 가수분해는 일반적으로 용해도와 계면 특성을 향상시키는 데 도움이 되며, 가교 결합은 일반적으로 네트워크 강도와 식감 형성에 기여한다.

Aktuelle Arbeiten zur Herstellung pflanzlicher molekularer Emulgatoren aus Sojaprotein kombinieren enzymatische Hydrolyse mit wärmeunterstütztem pH-Shifting. Der technische Gedanke dahinter ist, die Proteinstruktur erst kontrolliert zu öffnen und dann in eine Grenzflächenform zu überführen, die Emulsionen besser stabilisieren kann. Für B2B-Anwendungen ist das besonders relevant bei Dressings, pflanzlichen Cremes, fettreduzierten Systemen, Füllungen und aromatisierten Proteinprodukten <sup>[9]</sup>.

Auch Pickering-Emulsionen rücken in den Fokus. Dabei stabilisieren nicht nur gelöste Proteine, sondern proteinbasierte Partikel die Öl-Wasser-Grenzfläche. Arbeiten zu quervernetztem, modifiziertem Sojaprotein für stabilisierte Pickering-Emulsionen zeigen, dass Proteinstrukturierung auch als Strategie für Fettersatz und Texturdesign genutzt wird <sup>[11]</sup>.

### **Schäume und aufgeschlagene pflanzliche Produkte**

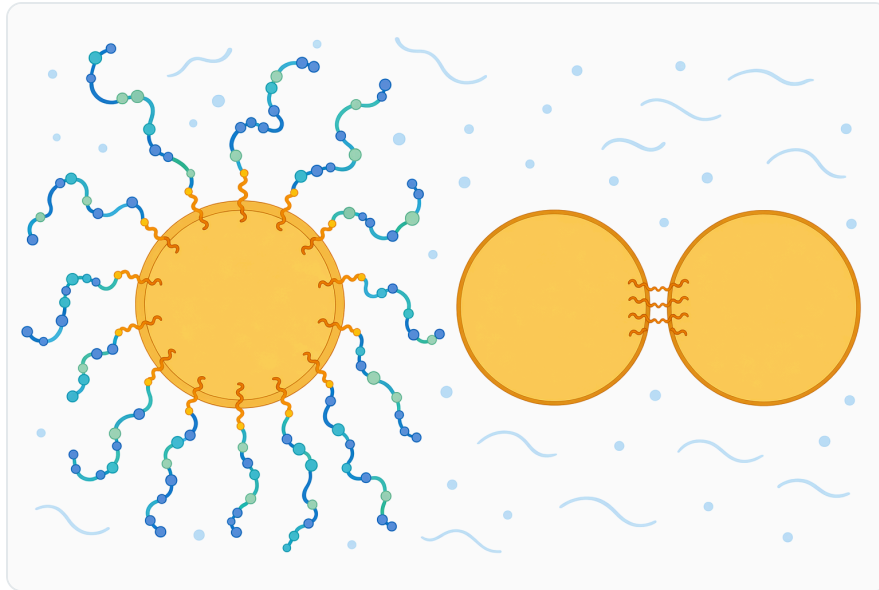
Schaumanwendungen verlangen eine andere Balance als Getränke. Das Protein muss nicht nur löslich sein, sondern schnell an Luft-Wasser-Grenzflächen adsorbieren und dort einen elastischen Film bilden. Enzymatisch erzeugte Sojaproteinhydrolysate können Schaumeigenschaften verändern, weil sich Peptidgröße, Ladung und Grenzflächenmobilität verschieben <sup>[5]</sup>.

Für aufgeschlagene Desserts, Cremes, Backfüllungen oder proteinreiche Schäume ist deshalb nicht „maximale Hydrolyse“ das Ziel. Entscheidend ist ein Fragmentprofil, das mobil genug für schnelle Adsorption ist, aber noch ausreichend zusammenhängende Filme bildet. In Mischhydrolysaten aus Maisgluten und Sojaprotein wurden durch enzymatische Verarbeitung und Fraktionierung neben Bioaktivitätsparametern auch Emulsionsstabilität und Schaumeigenschaften gezielt beeinflusst <sup>[5]</sup>.

### **Gele, Tofu-ähnliche Produkte, Sojajoghurt und Fleischalternativen**

Bei Gelen und texturierten Produkten ist Proteininteraktion erwünscht. Sojaproteine müssen Wasser binden, ein belastbares Netzwerk bilden und unter Schneiden, Erhitzen, Kühlen oder Extrusion eine definierte Textur behalten. Die Verarbeitung von Sojaproteinen wird in aktuellen Übersichten als zentrales Thema für traditionelle und neue Anwendungen beschrieben <sup>[1]</sup>.

Hydrolyse kann in solchen Produkten zweiseitig sein. Eine leichte Modifikation kann dichte Aggregate lockern und eine gleichmäßigere Netzwerkbildung ermöglichen. Eine zu starke Hydrolyse kann dagegen die langen Proteinsegmente reduzieren, die für elastische oder feste Gelnetzwerke benötigt werden. Enzymatische Vernetzung bietet hier einen anderen Hebel, weil sie Proteinmoleküle miteinander koppeln und so Textur, Kohäsion und Gelstabilität fördern kann <sup>[7]</sup>.



**Figure 4.** 제어된 가수분해는 대두 펩타이드가 유수 계면으로 이동해 에멀션을 안정화하는 막을 형성하도록 도울 수 있다.

Für Fleischalternativen ist diese Unterscheidung besonders wichtig. Vor der Extrusion oder Strukturierung kann eine begrenzte Modifikation die Hydratation und Fließfähigkeit verbessern; während oder nach der Strukturierung kann zu viel Abbau aber die Faserbildung schwächen. Sojaprotein muss deshalb nicht abstrakt „verbessert“, sondern an das konkrete Texturziel angepasst werden <sup>[1]</sup>.

### **Verkapselung, Farbstoffe, Aromen und Off-Flavor-Kontrolle**

Sojaprotein kann kleine Moleküle binden, darunter Aromastoffe, Polyphenole, Farbstoffe und lipophile Wirkstoffe. Diese Bindung hängt von hydrophoben Taschen, Ladungsverteilung und Proteinflexibilität ab. Kontrollierte enzymatische Hydrolyse verändert genau diese Strukturmerkmale und kann dadurch das Bindungsverhalten gegenüber Off-Flavor-Verbindungen beeinflussen <sup>[12]</sup>.

Das ist besonders relevant, weil Sojaprotein in pflanzlichen Produkten sensorische Herausforderungen mitbringen kann. Eine enzymatische Modifikation kann Bindungsstellen freilegen oder verändern; je nach Molekül kann das die Retention, Freisetzung oder Wahrnehmung beeinflussen. Die Studie zu kontrollierter enzymatischer Hydrolyse und Bindungsverhalten zwischen Sojaproteinisolat und Off-Flavor-Verbindungen zeigt, dass hier nicht nur Textur, sondern auch Aromachemie betroffen ist <sup>[12]</sup>.

Auch die Bindung wertgebender Komponenten ist relevant. So wurde die Einkapselung von Curcumin durch Sojaproteinisolat untersucht, das über Deamidierung und pH-Shifting modifiziert wurde. Der Mechanismus beruht darauf, Proteinstruktur und Ladung so zu verändern, dass Wechselwirkungen mit dem lipophilen Curcumin günstiger werden <sup>[8]</sup>.

## **Peptid-Ingredients und ernährungsbezogene Funktionalität**

Bei stärkerer Hydrolyse entstehen Sojaproteinhydrolysate mit breiter Peptidverteilung. Solche Ingredients können in proteinreichen Getränken, Spezialernährung, Riegeln, Fermentationssubstraten oder funktionellen Mischungen eingesetzt werden. Forschung zu Mischungen aus Maisgluten- und Sojaproteinhydrolysaten beschreibt Verbesserungen bei antioxidativen, antihypertensiven und antidiabetischen Aktivitäten sowie maßgeschneiderte Emulsions- und Schaumeigenschaften nach enzymatischer Verarbeitung und Fraktionierung <sup>[5]</sup>.

Für die Kommunikation ist hier Vorsicht nötig. Labor- oder Modellbefunde zu Peptiden sind nicht automatisch gesundheitsbezogene Endproduktversprechen. Verdauung, Absorption, Matrix, Dosierung, regulatorische Einordnung und Zielgruppe entscheiden darüber, ob ein beobachteter Effekt technologisch oder ernährungsphysiologisch relevant ist. Duale Modifikationen von Sojaproteinisolat durch Phlorotannine und enzymatische Hydrolyse zeigen zudem, dass Stabilität und Verdauungseigenschaften gemeinsam betrachtet werden müssen <sup>[10]</sup>.

## **Industrielle Nicht-Lebensmittel-Anwendungen: Klebstoffe und biobasierte Materialien**

Sojaprotein wird auch außerhalb klassischer Lebensmittelanwendungen genutzt, etwa in biobasierten Klebstoffen. Eine aktuelle Studie beschreibt die Herstellung eines Sojaproteinklebstoffs mit hohem Feststoffgehalt durch enzymatische Hydrolyse kombiniert mit Vernetzungsmodifikation. Das verdeutlicht, dass enzymatische Sojaproteinmodifikation ein breiteres Materialprinzip ist: Zuerst wird die Proteinstruktur prozessierbarer gemacht, anschließend werden Netzwerkbildung und Festigkeit eingestellt <sup>[13]</sup>.



**Figure 5.** 대두 단백질 개질은 음료, 즉석 분말, 대체육, 소스, 제빵 시스템, 압출 식품, 그리고 특수한 알레르겐 저감 연구 등 다양한 분야와 관련이 있다.

Für Lebensmittelkunden ist diese Anwendung nicht direkt übertragbar, aber mechanistisch lehrreich. Sie zeigt, dass Hydrolyse und Vernetzung keine Gegensätze im Produktentwicklungsdenken sein müssen. Eine kontrollierte Spaltung kann Viskosität, Fließfähigkeit oder Benetzung verbessern; eine nachfolgende Vernetzung kann Festigkeit und Kohäsion zurückbringen <sup>[13]</sup>.

## Prozessfaktoren, die die Wirkung bestimmen

Die Wirkung eines Soy Protein Modification Enzyme hängt zuerst vom Substrat ab. Sojaproteinisolat, Sojaproteinkonzentrat, Sojamilch, entfettetes Mehl, texturierte Proteinfractionen und komplexe Rezepturen unterscheiden sich in Reinheit, Denaturierungsgrad, Faseranteil, Begleitstoffen, Mineralstoffen und Vorverarbeitung. Dass verschiedene Prozessanwendungen unterschiedliche Chancen und Herausforderungen für Sojaprotein erzeugen, wird in aktuellen Übersichten ausdrücklich hervorgehoben <sup>[1]</sup>.

Zweitens ist die Hydratation entscheidend. Enzyme wirken in der Regel nur dort effizient, wo Proteinoberflächen zugänglich sind. Unvollständig dispergierte Proteincluster können lokal überhydrolysiert werden, während trockene oder schlecht benetzte Partikel kaum reagieren. In konzentrierten Systemen kann außerdem die Diffusion begrenzt sein, was zu heterogener Modifikation und später zu sandiger Textur oder instabiler Emulsion führen kann <sup>[3]</sup>.

Drittens steuern pH-Wert und Temperatur sowohl das Enzym als auch das Protein. Ein pH-Schritt kann Proteine entfalten, Ladungen verändern und Aggregation fördern oder verhindern. Wärme kann Denaturierung auslösen, hydrophobe Bereiche freilegen und nach der Enzymreaktion zur

Inaktivierung oder Strukturfixierung beitragen. Kombinierte Ansätze wie enzymatische Hydrolyse plus wärmeunterstütztes pH-Shifting zeigen, dass Prozessreihenfolge und Strukturzustand des Proteins zentrale Variablen sind <sup>[9]</sup>.

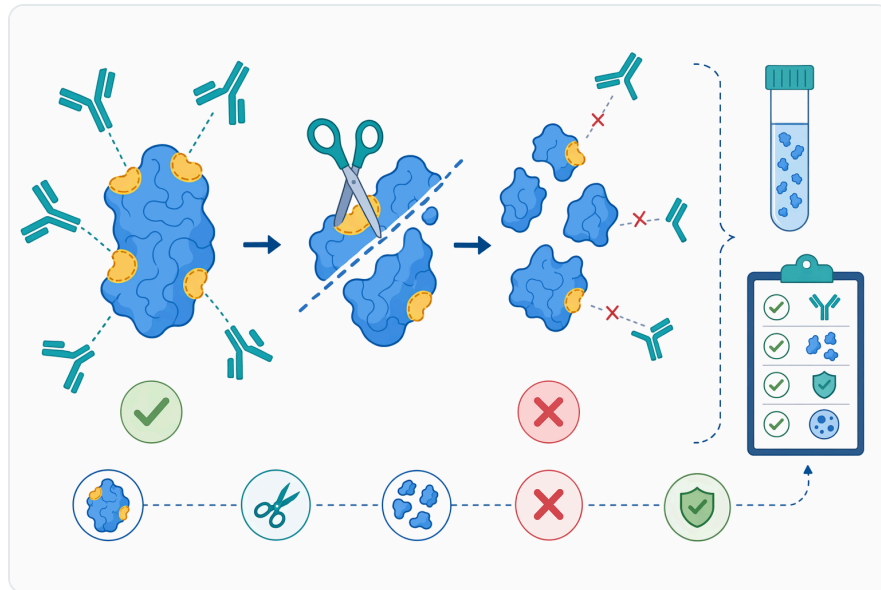
Viertens bestimmt die Einwirkzeit den Modifikationsgrad. Längere Reaktion bedeutet nicht automatisch bessere Funktion. Für Getränke kann eine weitergehende Reduktion großer Aggregate hilfreich sein; für Gele kann dieselbe Behandlung die Netzwerkfähigkeit verringern. Bei Aroma- und Off-Flavor-Themen kann ein verändertes Bindungsverhalten erwünscht oder unerwünscht sein, je nachdem, ob ein Stoff maskiert, gebunden oder freigesetzt werden soll <sup>[12]</sup>.

## Realistische Vorteile für B2B-Anwender

---

Der wichtigste Vorteil liegt in der **funktionellen Feinsteuerung**. Ein Enzym kann die Sojaproteinmatrix so verändern, dass sie besser zu einem bestimmten Prozess passt: fließfähiger vor der Trocknung, grenzflächenaktiver in einer Emulsion, weniger sedimentationsanfällig in einem Getränk oder kohäsiver in einem Gel. Diese Breite erklärt, warum enzymatische und kombinierte Modifikationen in der Sojaproteinforschung weiterhin intensiv untersucht werden <sup>[1]</sup>.

Ein zweiter Vorteil ist die Möglichkeit, mechanistisch zu arbeiten statt nur Rezepturkomponenten auszutauschen. Wenn eine Emulsion instabil ist, kann die Ursache in zu langsamer Grenzflächenadsorption, zu großen Aggregaten oder zu schwachen Grenzflächenfilmen liegen. Wenn ein Gel brüchig ist, kann die Ursache in ungleichmäßiger Aggregation oder falscher Vernetzungsdichte liegen. Enzymatische Modifikation adressiert diese Strukturursachen direkter als rein mechanisches Mischen <sup>[7]</sup>.



**Figure 6.** 효소적 분해는 알레르기를 유발할 수 있는 대두 단백질 에피토프를 교란할 수 있지만, 알레르겐 관련 표기는 제품별 검증이 필요하다.

Ein dritter Vorteil ist die Kombinierbarkeit mit bestehenden Lebensmittelprozessen. Hydrolyse, pH-Führung, Wärmebehandlung, Homogenisierung, Fermentation, Trocknung und Extrusion können so angeordnet werden, dass die Proteinstruktur schrittweise aufgebaut wird. Untersuchungen zu pH-Shifting, Deamidierung, Hydrolyse, Polyphenolbindung und Vernetzung zeigen, dass moderne Sojaproteinmodifikation häufig aus solchen Prozessketten besteht <sup>[10]</sup>.

## Grenzen: Was das Enzym nicht leisten sollte

Ein Soy Protein Modification Enzyme sollte nicht als universelle Korrektur für jede Sojaproteinrezeptur verstanden werden. Matrixabhängigkeit ist die Regel: Ergebnisse aus Sojaproteinisolat lassen sich nicht automatisch auf Konzentrate, Sojamilch, Pulvermischungen oder extrudierte Systeme übertragen. Unterschiede in Begleitstoffen und Vorverarbeitung können die Reaktion deutlich verändern <sup>[1]</sup>.

Auch „mehr Modifikation“ ist kein verlässliches Ziel. Zu starke Hydrolyse kann die Viskosität zu stark senken, Grenzflächenfilme schwächen, Gelnetzwerke zerstören oder sensorische Nebenwirkungen verstärken. Umgekehrt kann zu starke Vernetzung Löslichkeit und Dispergierbarkeit verschlechtern. Die Beobachtung unlöslicher Aggregate bei enzymatisch hydrolysierten Leguminosenproteinen unterstreicht, dass funktionelle Verbesserung immer prozessabhängig ist <sup>[3]</sup>.

Gesundheitsbezogene Aussagen sollten besonders vorsichtig behandelt werden.

Sojaproteinhydrolysate können Peptide enthalten, die in bestimmten Modellen interessante Eigenschaften zeigen, doch daraus folgt keine pauschale Wirkung im fertigen Lebensmittel. Studien zu

enzymatisch verarbeiteten Protein-Hydrolysaten liefern wertvolle Hinweise, ersetzen aber keine produktspezifische ernährungsphysiologische und regulatorische Bewertung [5].

Dasselbe gilt für Allergene. Soja ist ein kennzeichnungspflichtig relevantes Allergen in vielen Märkten. Enzymatische Modifikation kann Proteinstrukturen verändern, aber daraus folgt nicht automatisch eine Aufhebung allergener Relevanz. Sojaprotein wird in Ernährungszusammenhängen weiterhin differenziert betrachtet, auch weil Verarbeitung und Verdauung die Proteinwirkung beeinflussen können [14].

## Einordnung für Produktentwicklung und Scale-up

Für die Produktentwicklung ist es sinnvoll, das Enzym als Strukturwerkzeug entlang eines Zielpfads zu betrachten. Der Zielpfad beginnt nicht mit der Frage „Wie viel Enzym?“, sondern mit der Funktion: Soll das Sojaprotein löslicher werden, eine Emulsion stabilisieren, Schaum aufbauen, ein Gel bilden, Off-Flavor binden oder als Träger für lipophile Stoffe dienen? Erst daraus ergibt sich, ob Hydrolyse, Vernetzung, Deamidierung oder eine Kombination technisch plausibel ist [9].

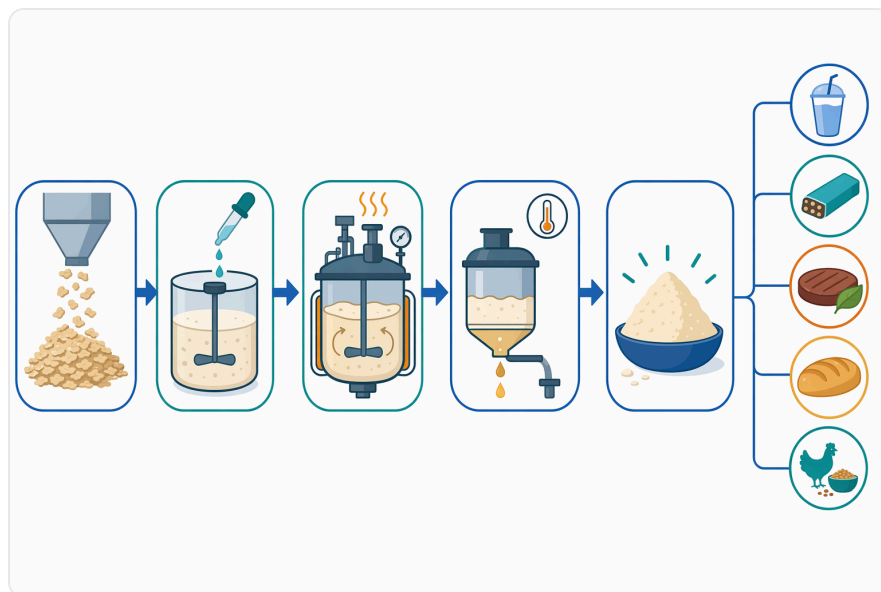


Figure 7. 일반적인 대두 단백질 개질 공정은 수화, 제어된 효소 반응, 처리 정도 모니터링, 그리고 후속 안정화 또는 제형화 단계로 이루어진다.

In frühen Entwicklungsphasen sind sensorische Beobachtungen ebenso wichtig wie physikalische Stabilität. Eine Rezeptur kann analytisch stabil erscheinen, aber im Mund sandig, bitter oder dünn wirken. Umgekehrt kann eine leichte Trübung akzeptabel sein, wenn Mundgefühl, Proteinbeladung und Prozessstabilität stimmen. Arbeiten zu Off-Flavor-Bindung und zu modifizierten Sojaproteinträgern zeigen, dass Struktur, Sensorik und Funktion eng zusammenhängen [12].

Bei der Übertragung in die Produktion muss außerdem berücksichtigt werden, dass Mischenergie, Haltezeit, Wärmeübertragung und Feststoffgehalt im größeren Maßstab anders wirken als im Technikumsmaßstab. Eine enzymatische Reaktion läuft nicht isoliert ab, sondern während Hydratation, Pumpen, Erhitzen, Kühlen oder Lagern. Daher ist Prozessvalidierung im eigenen System unverzichtbar, auch wenn die wissenschaftliche Grundlage für Sojaproteinmodifikation gut etabliert ist <sup>[1]</sup>.

## Bestellung über Enzymes.bio

---

Enzymes.bio bietet Soy Protein Modification Enzyme als **1-kg-Einheit** zur direkten Online-Bestellung an. Nach der Online-Bestellung werden die produktbegleitenden Dokumente — **CoA** und **SDS** — mitgeliefert. Enzymes.bio ist dabei Lieferant des Produkts und tritt nicht als Hersteller oder Labor auf.

Für Anwender bedeutet das: Das Produkt ist als kommerzielles Prozesswerkzeug verfügbar, die konkrete Leistung entsteht jedoch erst in der jeweiligen Matrix und Prozessführung. Die wissenschaftliche Literatur liefert robuste Mechanismen und Anwendungsbeispiele, aber die technische Auslegung bleibt Teil der internen Produktentwicklung, Qualitätssicherung und regulatorischen Bewertung des Endprodukts <sup>[1]</sup>.

## Fazit

---

Soy Protein Modification Enzyme ist ein nützliches Werkzeug, um Sojaprotein funktionell an moderne Lebensmittel- und Ingredients-Prozesse anzupassen. Die wichtigsten Wirkachsen sind kontrollierte Hydrolyse, mögliche Vernetzung, Deamidierung und kombinierte Prozessführung; dadurch lassen sich Löslichkeit, Emulgierverhalten, Schaumbildung, Gelstruktur, Viskosität, Aromabindung und Peptidprofil beeinflussen <sup>[9]</sup>.

Die beste Anwendung entsteht nicht durch maximale Enzymwirkung, sondern durch passende Struktursteuerung. Sojaprotein kann durch enzymatische Behandlung funktioneller werden, aber auch aggregieren, sensorisch schwieriger werden oder Gelkraft verlieren, wenn Prozessfenster und Produktziel nicht zusammenpassen. Als B2B-Prozesszutat sollte Soy Protein Modification Enzyme daher als präzises, validierungspflichtiges Werkzeug verstanden werden — nicht als pauschaler Ersatz für Rezeptur- und Prozessentwicklung <sup>[3]</sup>.

## Soy Protein Modification Enzyme online bestellen

Verkauf in 1 kg-Einheiten, ab Lager und versandbereit. Bestellen Sie direkt in unserem Shop — bezahlen Sie online, wir bearbeiten Ihre Bestellung. Ein Analysenzertifikat und ein Sicherheitsdatenblatt liegen jeder Bestellung bei.

[Soy Protein Modification Enzyme kaufen →](#)

## Referenzen

Nummeriert nach Reihenfolge der Erstzitation. Open-Access-Quellen, jeweils zum Veröffentlichungszeitpunkt auf Erreichbarkeit geprüft; die Zitationsnummern im Text verlinken hierher.

1. Deng, Z., & Kim, S. W. (2024). [Opportunities and Challenges of Soy Proteins with Different Processing Applications. \*Antioxidants\*, 13.](#)
2. Don, L. S. B., Pilosof, A., & Bartholomai, G. (1991). [Enzymatic modification of soy protein concentrates by fungal and bacterial proteases. \*Journal of the American Oil Chemists Society\*, 68, 102-105.](#)
3. Dent, T., Campanella, O., & Maleky, F. (2023). [Enzymatic hydrolysis of soy and chickpea protein with Alcalase and Flavourzyme and formation of hydrogen bond mediated insoluble aggregates. \*Current Research in Food Science\*, 6.](#)
4. Dudarev, I., Shemet, V., & Karakulko, O. (2026). [Plant-based milk powders: A critical review of processing techniques, functional properties, and food applications. \*Товарознавчий вісник\*.](#)
5. Mirzaee, H., Gavlighi, H. A., Nikoo, M., Udenigwe, C. C., Rezvankhah, A., & Khodaiyan, F. (2024). [Improved Antioxidant, Antihypertensive, and Antidiabetic Activities and Tailored Emulsion Stability and Foaming Properties of Mixture of Corn Gluten and Soy Protein Hydrolysates Via Enzymatic Processing and Fractionation. \*Food Science & Nutrition\*, 12, 9749 - 9763.](#)
6. Liu, S., Han, X., Li, Y., Gong, J., Xiao, G., Aziz, T., Liu, S., ... et al. (2023). [Preparation and investigation of the processing characteristics of transglutaminase cross-linked soy protein isolate–whey protein polymer. \*Biomass Conversion and Biorefinery\*, 15, 3165 - 3175.](#)
7. Santoso, T., Al-Shaikhli, Y., Ho, T. M., Rajapakse, M., & Le, T. T. (2025). [Optimising Enzymatic Cross-Linking: Impact on Physicochemical and Functional Properties of Lupin Flour and Soy Protein Isolate. \*Foods\*, 14.](#)
8. Xu, Y., Zhang, Y., Ma, J., Wang, T., & Zhang, C. (2025). [Curcumin encapsulation enhanced by soy protein isolate modified through deamidation and pH-shifting: Mechanistic insights using a novel protein-glutaminase. \*Food Chemistry\*, 500, 147498 .](#)
9. Ding, Y., Ettelaie, R., Zhang, K., & Wang, L. (2026). [Synergistic modification of soy protein as plant-based molecular emulsifiers by enzymatic hydrolysis and heat-assisted pH shifting. \*Food chemistry: X\*, 34.](#)
10. Lian, Z., Su, R., Zhang, Q., Tang, Y., Yang, S., Liu, X., Cheng, L., ... et al. (2025). [Dual modification of soy protein isolate by phlorotannins and enzymatic hydrolysis: Stability and digestive properties. \*Food Hydrocolloids\*.](#)

11. Sun, Y., Guo, W., Li, X., Guo, L., Jiang, Y., & Zhang, Y. (2026). Fabrication of stabilized pickering emulsions via crosslinking modified soy protein: focused on fat substitution strategies. *npj Science of Food*, 10.
12. Li, X., Zhang, W., Yu, M., Tan, H., Zeng, X., Xi, Y., Li, H., ... et al. (2024). Mechanistic insights into the effects of controlled enzymatic hydrolysis on the binding behaviors between soy protein isolate and off-flavor compounds. *Food Chemistry*, 467, 142271 .
13. Zheng, G., Pan, A., Xu, Y., & Zhang, X. (2024). Preparation of a superior soy protein adhesive with high solid content by enzymatic hydrolysis combined with cross-linking modification. *Industrial crops and products (Print)*.
14. Ansia, I., & Drackley, J. (2020). Graduate student literature review: The past and future of soy protein in calf nutrition. *Journal of Dairy Science*.

## Enzymes.bio kontaktieren


Fragen zu einer Bestellung? Unser Team hilft Ihnen gerne weiter.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFON (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Kontakt aufnehmen →](#)

 **400+** B2B-Kunden

 **60+** universitäre Forschungspartner

 **54** weltweit beliefert

© 2026 Enzymes.bio · Enzymlieferant für Industrie & Lebensmittelverarbeitung · Nicht zum menschlichen Verzehr oder für den Einzelverkauf.