

Wie cremig ist Ihr Smoothie? Die Pulver- und Löslichkeitseigenschaften von Proteinen unterschiedlicher Herkunft verstehen

Dr. Mitchell Ross, Anthony Maletta und Brad Hammond, NIB Applications Laboratory



Einleitung

Proteinpulver sind aus der Welt der Ernährung nicht mehr wegzudenken. Sie helfen Menschen dabei, Muskeln aufzubauen, Gewicht zu verlieren oder Lücken in ihrer Ernährung zu schließen. Die in der Branche am häufigsten verwendete Proteinquelle ist Molke, ein Nebenprodukt der Milchverarbeitung. Aufgrund von Ernährungseinschränkungen (z. B. Laktoseintoleranz), ethischen Bedenken und der Forschung zur Maximierung des Nährwerts wurden jedoch auch weitere andere Proteinquellen untersucht.

Es gibt zahlreiche handelsübliche Proteinpulver, die vollständig aus pflanzlichen Quellen oder sogar aus Insekten gewonnen werden. NETZSCH Grinding & Dispersing bietet maßgeschneiderte Anlagen mit hohem Durchsatz und geringem Energieverbrauch für die Verarbeitung von ganzen Insekten, getrockneten Larven oder Zwischenprodukten an. Allerdings weisen sowohl pflanzliche als auch aus Insekten gewonnene Proteinpulver im Vergleich zu herkömmlichem Molkenprotein das Problem einer schlechten Löslichkeit auf. Pflanzliche Proteinpulver bestehen tendenziell aus mehr hydrophoben Aminosäuren und enthalten im Gegensatz zu Molkenprotein keine natürlichen chemischen Emulgatoren. Proteinpulver auf Insektenbasis enthalten dagegen häufig natürliche Fasern aus dem Chitin-Exoskelett, die von Natur aus schwer wasserlöslich sind. Um diese Löslichkeitsprobleme zu überwinden, wird häufig eine Mischung verschiedener Quellen mit unterschiedlichen Aminosäure- und Emulgatorprofilen verwendet.

Das Ziel dieser Studie war, die Eigenschaften von Proteinpulvern unterschiedlicher Herkunft im Trockenzustand zu vergleichen, ihre Auflösungsprofile zu messen und sogar ihr Mundgefühl zu untersuchen. Zu diesem Zweck setzten wir Rheometer der NETZSCH-Kinexus Prime-Serie ein. Aufgrund ihrer Empfindlichkeit, des geringen Probenvolumens, der modularen Geometrien und der fortschrittlichen Softwarefunktionen können diese ein breites Spektrum komplexer Flüssigkeiten und halbfester Stoffe charakterisieren. Insbesondere ermöglicht der

modulare Aufbau des Geräts eine schnelle und einfache Anpassung, um die Proben als Pulver, während der Auflösung sowie tribologisch zu untersuchen.

Es wurden vier verschiedene Proben charakterisiert: ein mit zusätzlichen Aminosäuren angereichertes Molkenprotein, ein Molkenproteinisolat (Molke, aus der Laktose und Fett herausgefiltert wurden), eine Mischung aus pflanzlichen Proteinen (Erbsen-, Kürbis- und Chia-Protein) sowie eine Mischung mit Insektenprotein (Grillen- und Erbsenprotein).

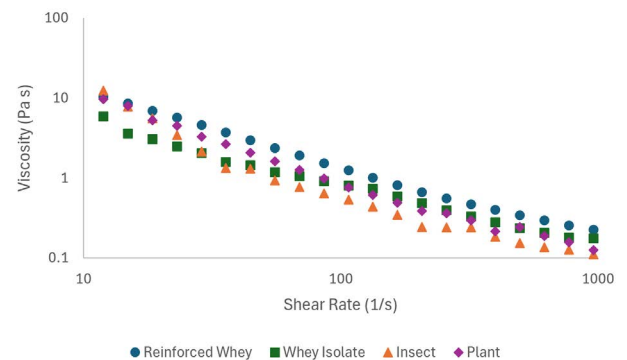
Eigenschaften des Trockenpulvers

Für die Messung der Trockenpulver wurde ein ähnliches Verfahren verwendet wie zuvor für die Messung von trockener Laktose [1]; siehe Messbedingungen in Tabelle 1.

Tabelle 1 Messbedingungen

Gerät	Kinexus prime ultra+
Proben	Trockenes Proteinpulver (je 15 g)
Zylinder	Zylindrischer Becher (Φ 34 mm)
Paddel	2-blättriges Stärkepaddel
Temperaturbereich	RT
Scherviskosität	10 bis 1000 1/s

Die Viskosität in Abhängigkeit von der Scherrate für jedes Pulver ist in Abbildung 1 dargestellt.



1 Scheinbare Viskosität in Abhängigkeit von der Scherrate für jedes trockene Proteinpulver.

APPLICATIONNOTE Wie cremig ist Ihr Smoothie? Die Pulver- und Löslichkeitseigenschaften von Proteinen unterschiedlicher Herkunft verstehen

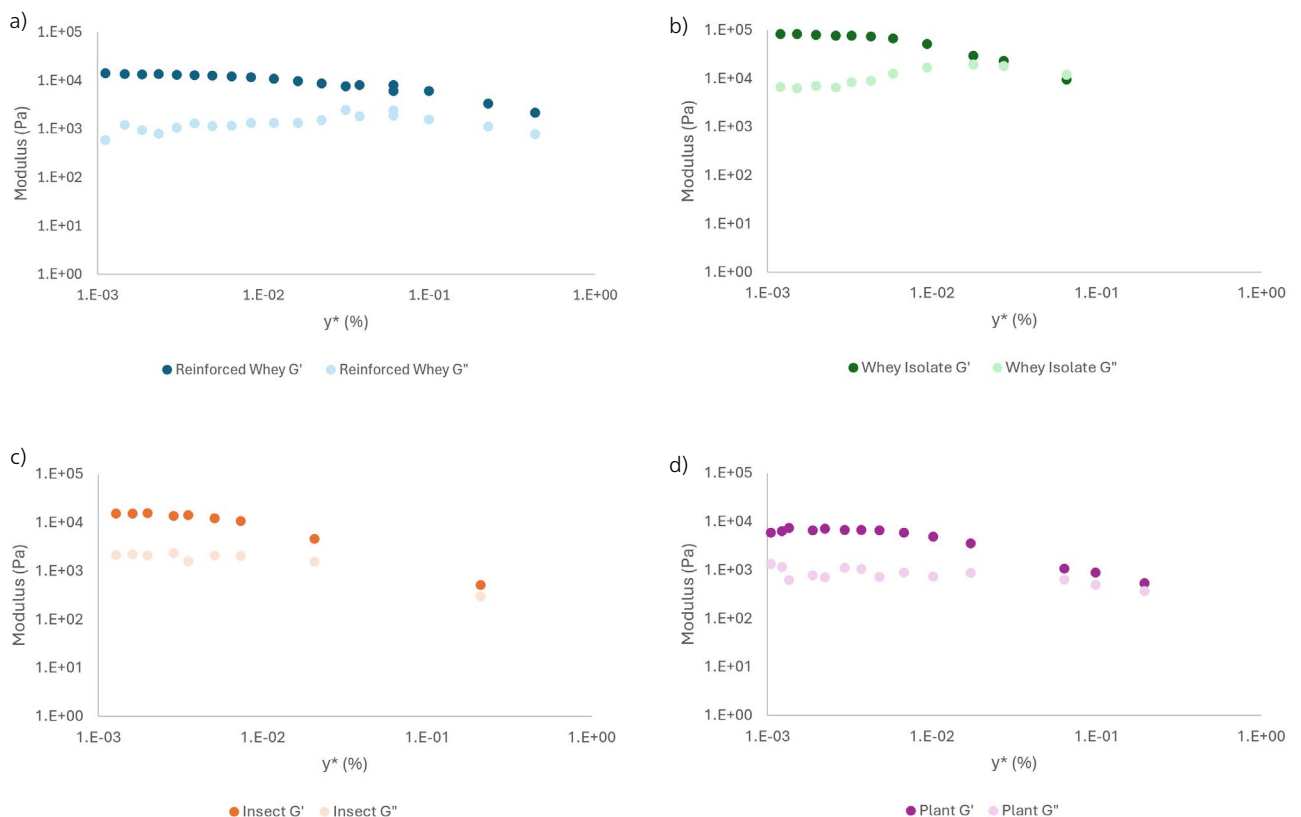
Jede Probe wurde zunächst durch Scherung vorkonditioniert. Dazu wurde eine Scherviskositätsrampe von 10 bis 1000 1/s durchgeführt, gefolgt von einer fünfminütigen Ruhephase. Während dieses Schritts verringern sich die Wechselwirkungen zwischen den Partikeln [2] und der Einfluss der Probenhistorie (z. B. Kompression durch Handhabung) wird beseitigt.

Selbst während des Vorkonditionierungsschritts, mit dem die Probenhistorie eliminiert werden soll, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Viskosität der Proben. Das angereicherte Molkenpulver weist die höchste und die Insektenmischung die niedrigste Viskosität auf. Bestimmt wird die Viskosität der Trockenpulver unter Scherbeanspruchung durch zahlreiche Parameter wie Partikelgröße und Ladung.

Nachdem die Verarbeitungsgeschichte der Proben durch Vorkonditionierung gelöscht worden war, wurde an den Proben ein Amplitudensweep durchgeführt, um ihre viskoelastischen Eigenschaften zu bestimmen. G' beschreibt dabei das elastische und G'' das viskose Verhalten der Pulver. Die Messung erfolgte unter Verwendung des Stärkepaddels bei Raumtemperatur und einer

Frequenz von 1 Hz im Bereich einer Schubspannung von 0,01 Pa bis 50 Pa. Die Ergebnisse der Amplitudensweeps sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die gemessenen viskoelastischen Eigenschaften der Trockenpulver geben Aufschluss über die durch Partikel-Partikel-Wechselwirkungen (Elektrostatik, Reibung usw.) gebildeten Netzwerke. Das Verständnis dieser Eigenschaften ist nicht nur für die Verarbeitung und die Fließfähigkeit relevant, sondern auch für die Bewertung der Stabilität dieser Netzwerke sowie ihres Auflösungsverhaltens. Das Molkenproteinisolat weist die höchsten Anfangsmodulwerte auf. Dies deutet darauf hin, dass es das steifste Pulvernetzwerk bildet. Es zeigt jedoch auch den kleinsten Bereich linearer Viskoelastizität (in diesem Bereich zeigen G' und G'' bei zunehmender Dehnung ein lineares Verhalten). Dies belegt, dass das Netzwerk zwar steif ist, aber nur eine geringe Scherdeformation erforderlich ist, um die Partikel voneinander zu trennen. Im Gegensatz dazu weist das angereicherte Molkenprotein den größten Bereich linearer Viskoelastizität auf. Dies deutet darauf hin, dass das von den Partikeln gebildete Netzwerk gegenüber Scherung und Prozessvibrationen robust ist.



2 Viskoelastische Eigenschaften der Proteinpulver aus a) verstärkter Molke, b) Molkenproteinisolat, c) Insektenmischung und d) Pflanzenmischung, gemessen mittels Amplitudensweep bei 1 Hz im Bereich einer Scherkraft von 0,001 bis 1 %.

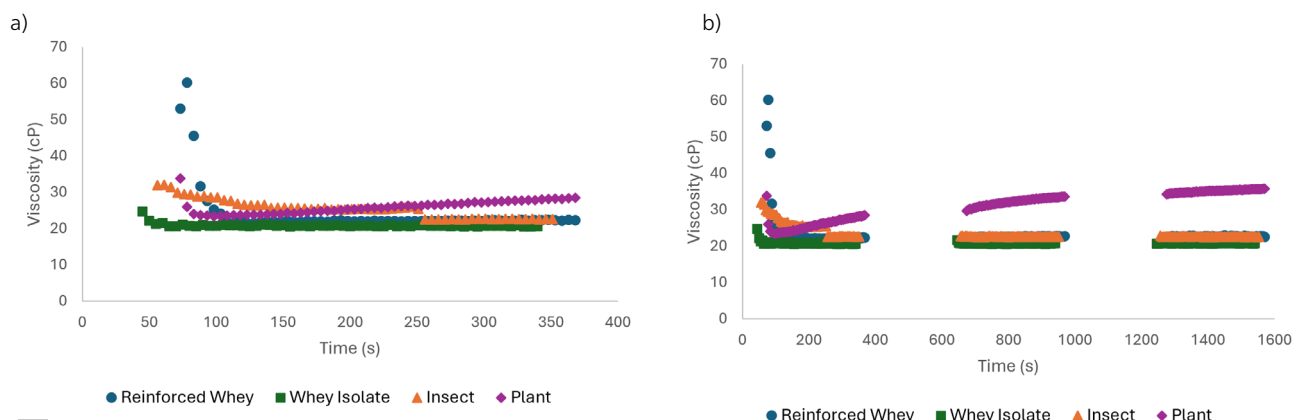
APPLICATIONNOTE Wie cremig ist Ihr Smoothie? Die Pulver- und Löslichkeitseigenschaften von Proteinen unterschiedlicher Herkunft verstehen

Neben den festgestellten physikalischen/mechanischen Unterschieden zwischen Proteinpulvern unterschiedlicher Herkunft ist auch mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften zu rechnen [2].

Auflösung

Ein Standardrezept für Proteinpulver-Smoothies sieht vor, einen Messlöffel (25 - 35 g) in ein bis eineinhalb Tassen Wasser zu geben. In dieser Studie wurde untersucht, wie lange die verschiedenen Proteinpulver zum Auflösen benötigen und inwieweit sie gelöst bleiben, ohne sich abzusetzen. Außerdem wurden Auflösungsverhalten und Viskosität bestimmt, da solche Proben industriell oder zu Hause mit einem Mixer vermischt werden. In einem Modellmischer wurden dafür die Scherraten ermittelt, die im Bereich von 0 - 400 1/s lagen (abhängig von Größe, Rührwerk usw.) [3]. Zur Messung wurden 35 g Wasser in einen Becher mit 34 mm Durchmesser gegeben. Anschließend wurden jeweils 4,4 g Proteinpulver auf das Wasser gestreut, bevor das Rührblatt auf einen festgelegten Abstand von 5 mm abgesenkt wurde. Jede Probe wurde anschließend fünf Minuten lang bei 300 1/s gemischt. Nach dem ersten Mischschritt ließ man die Probe fünf Minuten lang absetzen, bevor sie erneut fünf Minuten lang bei 300 1/s gemischt wurde. Dieser Zyklus aus Absetzen und Mischen wurde für jede Probe ein weiteres Mal wiederholt (Gesamtmeszeit: 25 Minuten).

Die Ergebnisse der Auflösungsstudie sind in Abbildung 3 dargestellt. Aus Abbildung 3a, die die Viskosität in Abhängigkeit von der Zeit während der ersten 5-minütigen Durchmischung bei 300 1/s zeigt, geht hervor, dass sich das Molkenproteinisolat am schnellsten auflöst und die geringste Viskosität aller Mischungen aufweist. Das angereicherte Molkenprodukt benötigt knapp zwei Minuten, um einen stabilen Messwert zu erreichen, während die Insektenmischung dafür über vier Minuten benötigt. Nennenswert ist, dass die pflanzliche Mischung niemals eine stabile Viskosität erreicht, sondern dass diese weiter ansteigt. Dies deutet darauf hin, dass immer mehr Protein hydratisiert wird und in Lösung geht. Aus Abbildung 3b) geht hervor, dass die Viskosität der pflanzlichen Mischung auch über den gesamten 25-minütigen Testzeitraum hinweg und trotz dreier separater Mischschritte weiter zunimmt und keinen konstanten Wert erreicht. Im Vergleich dazu erreichen die anderen drei Proteinpulver bereits nach dem ersten Mischen einen stabilen Messwert. Die pflanzliche Mischung hydratisiert nicht nur auch nach 25 Minuten in der Lösung weiter, sondern ihre Endviskosität ist fast doppelt so hoch wie die des Molkenproteinisolats bei gleicher Konzentration.



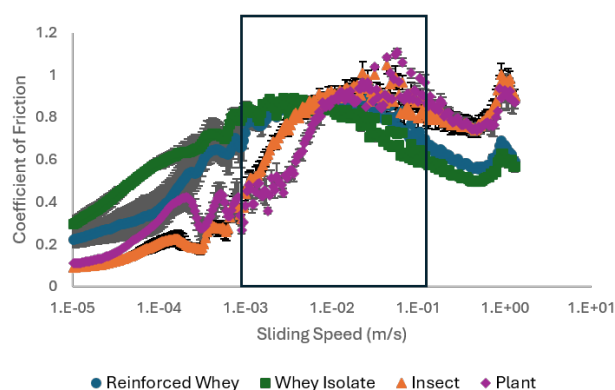
3 Auflösungseigenschaften der Proteinpulver aus verstärkter Molke, Molkenproteinisolat, einer Insektenmischung und einer Pflanzenmischung während a) lediglich des anfänglichen 5-minütigen Mischvorgangs bei 300 1/s und b) eines zyklischen Mischvorgangs bei 300 1/s für 5 Minuten, gefolgt von einer 5-minütigen Pause (insgesamt 24 Minuten).

APPLICATIONNOTE Wie cremig ist Ihr Smoothie? Die Pulver- und Löslichkeitseigenschaften von Proteinen unterschiedlicher Herkunft verstehen

Tribologische Messungen

Wir haben bereits zuvor gezeigt, wie tribologische Untersuchungen mit dem Kinexus Prime ultra+ in der Lebensmittelindustrie genutzt werden können (Tribologie = Lehre von Reibung und Schmierung), um die Struktur von Lebensmitteln mit sensorischen Wahrnehmungen wie dem Mundgefühl in Zusammenhang zu bringen [4]. Dazu haben wir die im Rahmen der Auflösungsstudien hergestellten Proteinshakes mithilfe einer „Ball-on-Three-Pins“-Tribologiezelle getestet. Dabei bestand die obere Geometrie aus einer Kugel aus Borosilikatglas (12,7 mm Durchmesser) und die untere aus drei Elastomer-Stiften (Sylgard 184), um das weiche Tribopaar aus Zunge und Gaumen im Mundraum bestmöglich zu simulieren. Laut Literatur beträgt die durchschnittliche Geschwindigkeit der Zungenbewegung über den Gaumen während der fünf Phasen des Schluckens von Flüssigkeiten 10,3 mm/s [5]. Die Proben wurden bei Raumtemperatur dreifach über einen Gleitgeschwindigkeitsbereich von 5e-7 bis 1,3 m/s gemessen.

Die erweiterten Stribeck-Kurven der vier Protein-shakes sind in Abbildung 4 dargestellt. Traditionell wird ein niedriger Reibungskoeffizient als kleiner 0,3 definiert, während ein hoher Reibungskoeffizient größer als 0,6 ist. In Abbildung 4 ist der Bereich von 1 mm/s bis 100 mm/s hervorgehoben, um den Geschwindigkeitsbereich abzudecken, in dem sich die Zunge beim Trinken über den Gaumen bewegt. Sowohl die angereicherte Molke als auch das Molkeisolat weisen ähnliche Profile auf.



4 Tribologische Messung: Reibungskoeffizient (CoF) in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit für Shakes basierend auf verschiedenen Proteinquellen

Die Mischung mit Insektenprotein und die Mischung verschiedener Pflanzenproteine weisen dagegen anfänglich Reibungskoeffizienten auf, die in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit ansteigen. Dies deutet darauf hin, dass beide Proteinmischungen während des Schluckvorgangs eine zunehmend körnige Textur aufgrund von Partikelagglomeration aufweisen, was zu einem höheren Reibungskoeffizienten führt. Diese Daten sind entscheidend für das Verständnis der uralten Frage: „Wie cremig ist Ihr Smoothie?“

Zusammenfassung

In dieser Studie haben wir die Eigenschaften von Proteinpulvern unterschiedlicher Herkunft untersucht – von unterschiedlich verarbeiteten Molken über rein pflanzliche Mischungen bis hin zu Mischungen mit Insektenprotein. Mithilfe des Kinexus Prime ultra+ konnten wir die Eigenschaften des Trockenpulvers bis hin zu den Auflösungsmerkmalen untersuchen. Sogar das Mundgefühl der fertigen Lösungen beim Trinken konnten wir nachvollziehen. Die Entwicklung pflanzlicher und auf Insekten basierender Proteinprodukte ist ein wichtiger Forschungsbereich in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie. Das Verständnis von Faktoren wie Fließfähigkeit und Auflösung ist dabei sowohl für die Herstellung als auch für den Genuss des Endverbrauchers von entscheidender Bedeutung.

Literaturverzeichnis

- [1] Strasser, C., and de Souza, L. Interaction of a Lactose Powder with the Powder Cell. [Link to Application Note 306](#).
- [2] de Souza, L. Alternative Proteins – Thermal Characterization. [Link to Application Note 352](#).
- [3] Prakash, S., and Kokini, J. (2000). Estimation and prediction of shear rate distribution as a model mixer. Journal of Food Engineering. Volume 44, Issue 3. Pages 135-148, ISSN 0260-8774, [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00166-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00166-1).
- [4] Rummel, F., and Marsh, S. How the Particle Size of Cocoa Masses Influences their Mouthfeel: Tribological Measurements. [Link to Application Note 351](#).
- [5] Hiiemae, K., and Palmer, J. (2003). Tongue movements in feeding and speech. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 14(6), 413-429.