



Alternative Proteine – Eine Studie zur wärmeinduzierten Gelierung mit dem Rotationsrheometer Kinexus

Dr. -Ing. Xiaoi Guo, Head Centre of Food Physics & Head Structure+Functionality, German Institute of Food Technologies, Quakenbrück

Einleitung

Angesichts der wachsenden Weltbevölkerung und der stetig steigenden Nachfrage nach Proteinen haben einige alternative Proteinquellen in letzter Zeit zunehmendes Interesse geweckt. Dazu zählen pflanzliche Proteine, kultivierte oder gezüchtete Fleischproteine, fermentierte Proteine, Proteine aus essbaren Insekten und Algen [1]. Die Gelierungseigenschaft zählt zu den wichtigsten Funktionen von Proteinen und damit auch alternativer Proteine und beeinflusst die Textur und den Geschmack von Lebensmitteln. Die Gelierung findet während der Verarbeitung und Herstellung von Lebensmitteln statt. Aufheizen ist eine der am häufigsten verwendeten Methoden zur Bildung von Gelen. Nach der Denaturierung und Entfaltung der Proteinmoleküle durch Aufheizung und Umhüllung mit Wasser aggregieren sie zu einer dreidimensionalen Netzwerkstruktur, d. h. der Gelstruktur.

In der Praxis eignet sich ein Rotationsrheometer zur Untersuchung der durch Wärme induzierten Gelierungseigenschaften alternativer Proteine, z. B. der Gelierungstemperatur, der Gelstabilität und der Gelstärke.

Materialien und Messbedingungen

Für eine vergleichende Untersuchung der durch Wärme induzierten Gelierung wurden zwei alternative Proteinquellen und eine tierische Proteinquelle verwendet.

Die Proteinpulver wurden in entmineralisiertem Wasser bei definierten Proteinkonzentrationen dispergiert (Erbsenproteinkonzentrat: 10 Gew.-% und 7 Gew.-%, Insektenproteine: 10 Gew.-%). Die Proteinsuspensionen wurden zwei Stunden lang bei Raumtemperatur mit einem Magnetrührer gerührt. Neben der Volleiprobe wurde eine Eiweißprobe hergestellt, indem das Eigelb entfernt und die Probe einige Minuten lang bei Raumtemperatur kräftig verquirlt wurde, um eine homogene Lösung zu erhalten.

Zur Durchführung der Messungen an den Erbsenproteinkonzentratproben, den Vollei- und den Eiweißproben wurde ein NETZSCH Kinexus Prime pro+ verwendet. Das Rheometer war mit einem Platten-Plattensystem (Durchmesser: 40 mm; Spalt: 0,5 mm) ausgestattet. Es wurde ein Temperatursweep durchgeführt, bei dem die Temperatur mit einer Rate von 5 °C/min von 25 °C auf 95 °C erhöht wurde. Nach Erreichen der höchsten Temperatur wurden die durch Wärme induzierten Gele zehn Minuten lang isotherm gehalten, um die Gelstabilität zu untersuchen. Während des Experiments wurden der Speichermodul (G') und der Verlustmodul (G'') aufgezeichnet. Die erhaltenen Ergebnisse für pflanzliche Proteine und Eiweiße wurden mit denen für Insektenproteine verglichen [2].

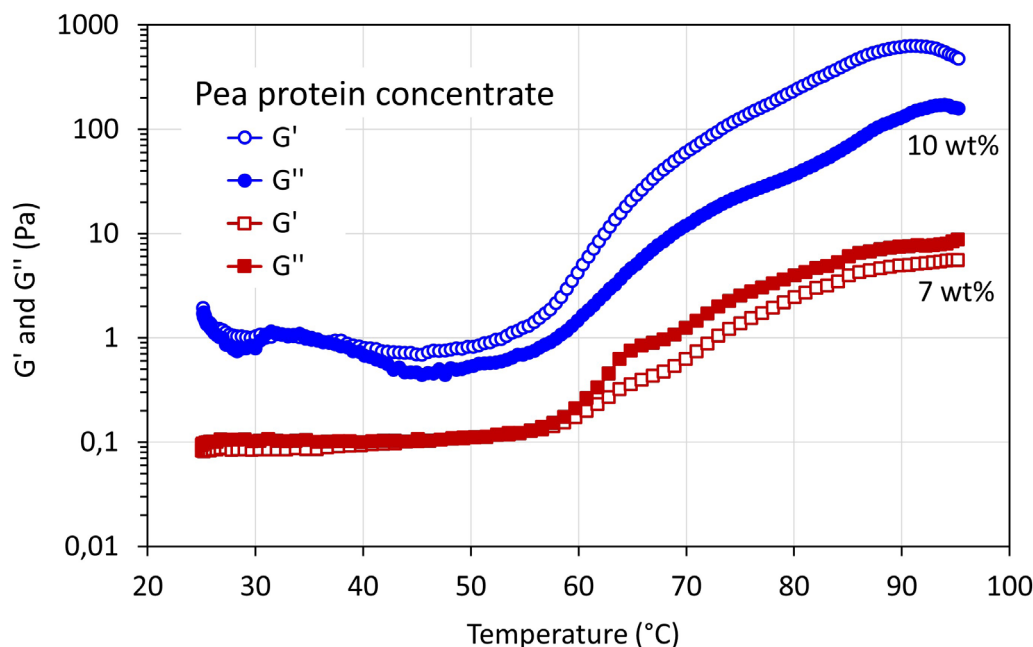


- 1** Links: Pflanzliche alternative Proteine: Erbsenproteinkonzentratpulver (Rohproteingehalt 51,1 g/100 g)
Mitte: Frische Eier (als Tierprotein für Vergleichszwecke): Es wurden sowohl das ganze Ei als auch das Eiweiß analysiert.
Rechts: Nicht pflanzliche, alternative Proteine: Insektenproteine (Rohproteingehalt: 68,7 g/100g), die in einer früheren Studie aus Puppen der Schwarzen Soldatenfliege (BSF) extrahiert wurde [2].

Messergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt den Speichermodul G' und den Verlustmodul G'' des mit Erbsenproteinkonzentrat während der Wärmebehandlung gebildeten Gels. Bei einer Temperatur von ca. 55 °C kommt es zu einem Anstieg beider Module (G' und G''). Dies ist auf die Denaturierung des Proteins zurückzuführen. Nach der thermischen Behandlung durch weitere Temperaturerhöhung liegt, bei einer Proteinkonzentration von 10 Gew.-%, G' höher als G'' , was einem feststoffähnlichen Gelverhalten entspricht. Daneben zeigt ein Experiment mit Erbsenprotein bei einer niedrigeren Proteinkonzentration von 7 Gew.-%, dass mit steigender Erhitzungstemperatur G'' höher als G' ist, was auf ein schwach flüssigkeitsähnliches Gelverhalten hindeutet. Ein Crossover $G' = G''$ wurde in dieser Studie zu Erbsenproteinkonzentrat nicht beobachtet.

In einer früheren Literaturstudie zur wärmeinduzierten Gelierung von Insektenproteinen aus BSF-Puppen [2] wurde festgestellt, dass mit steigender Temperatur über 50 °C sowohl G' als auch G'' aufgrund der Proteindenaturierung anstiegen. Die untersuchte Probe begann, ein Gel zu bilden, was durch den Crossover $G' = G''$ bei 60 °C, der Temperatur des Gelierungspunkts, angezeigt wurde. Der Kurvenverlauf über die Temperatur für Insektenproteine unterscheidet sich daher von dem für Erbsenproteinkonzentrat. Dieses unterschiedliche Gelierverhalten kann auf unterschiedliche Materialzusammensetzungen und individuelle Proteineigenschaften zurückgeführt werden. Dazu zählen beispielsweise verschiedene hydrophile und hydrophobe Aminosäuren und deren Anteile in den verschiedenen alternativen Proteinen.

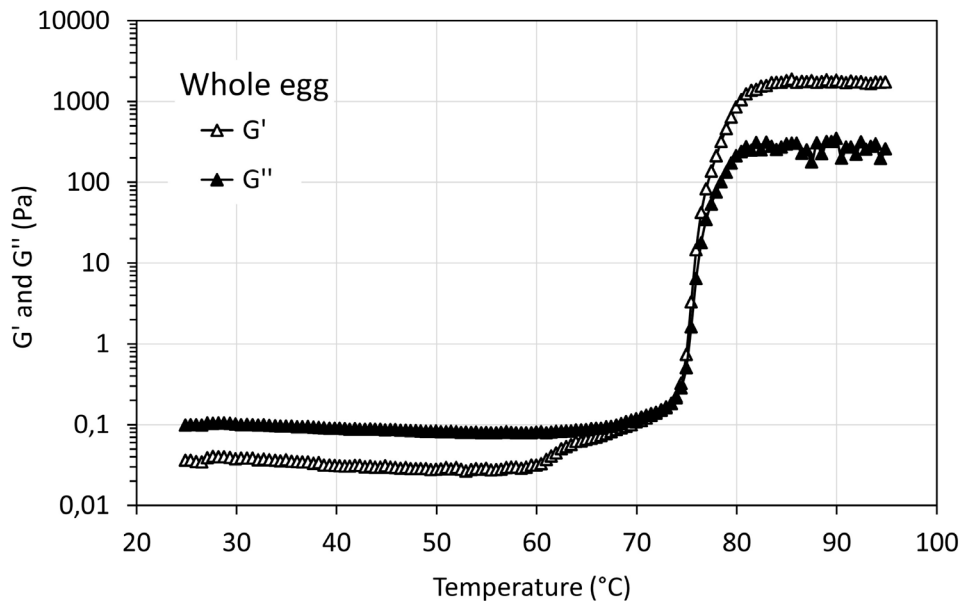


2 Speichermodul (G') und Verlustmodul (G'') des mit Erbsenproteinkonzentrat während der thermischen Behandlung gebildeten Gels

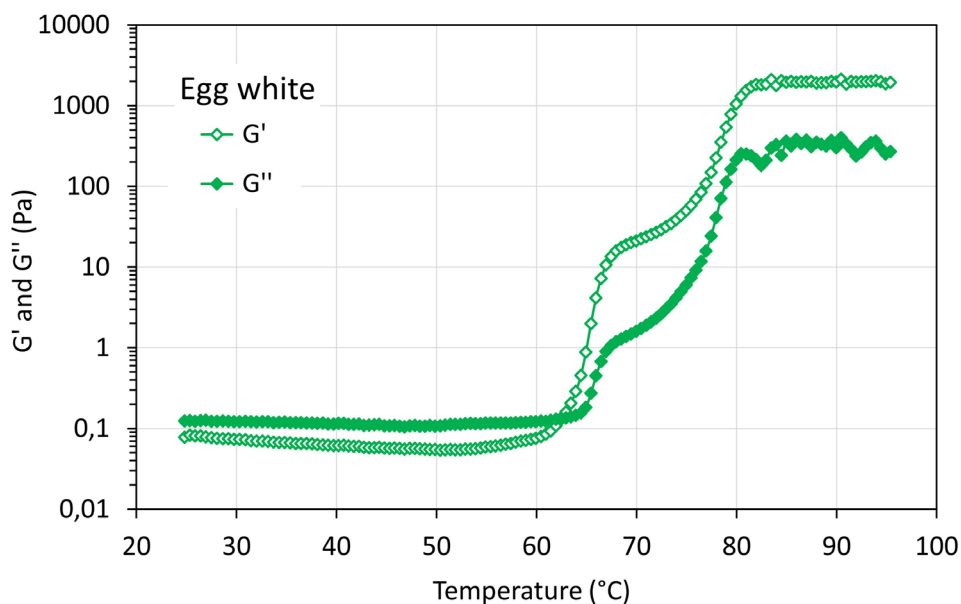
APPLICATIONNOTE Alternative Proteine – Eine Studie zur wärmeinduzierten Gelierung mit dem Rotationsrheometer Kinexus

Die Gelierungskurven der Vollei- und der Eiweißproben (Abbildungen 3 und 4 zeigen den typischen Sol-Gel-Übergang während des Temperatursweeps. Ab ca. 60 °C ist ein deutlicher Anstieg in G' und G'' zu beobachten, der zum Beispiel durch strukturelle Änderungen oder Denaturierung der Proteine erklärt werden kann. Abbildung 3 stellt G' und G'' des Gels dar, das während der Wärmebehandlung mit der Volleilösung gebildet wurde. G' zeigt einen deutlichen Anstieg bei

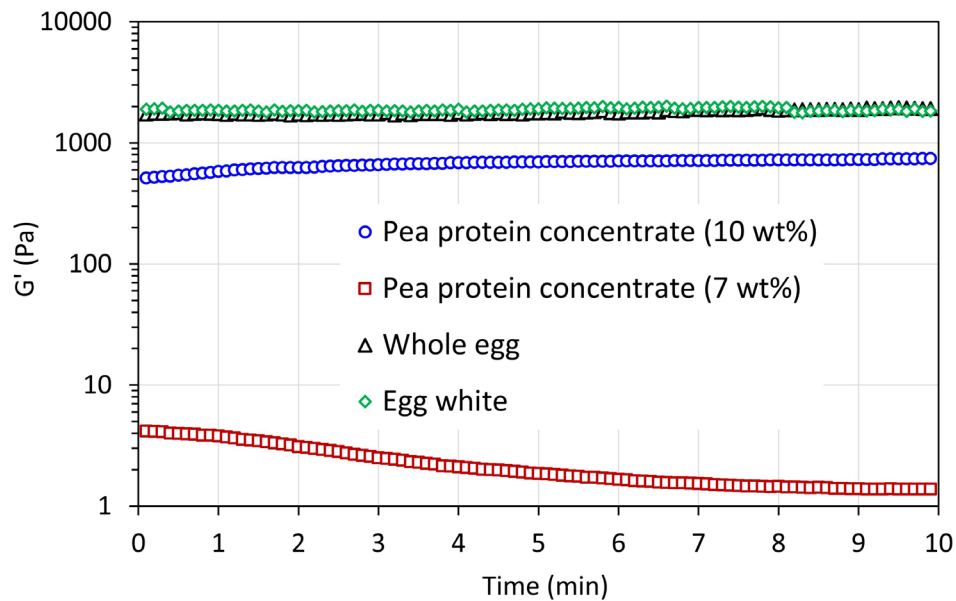
etwa 62 °C und einen starken Anstieg bei etwa 75 °C, während G'' einen noch stärkeren Anstieg bei etwa 75 °C aufweist. Der Crossover-Punkt liegt bei etwa 74 °C. Bei der Eiweißprobe (siehe Abbildung 4) weisen sowohl G' als auch G'' jeweils zwei deutliche Anstiege bei etwa 64 °C bzw. 75 °C auf. Der Crossover-Punkt liegt bei etwa 62,5 °C. Die beobachteten Denaturierungsphänomene können mit der chemischen Zusammensetzung der Vollei- bzw. der Eiweißprobe in Zusammenhang stehen.



3 Speichermodul (G') und Verlustmodul (G'') des mit Volleilösung während der thermischen Behandlung gebildeten Gels



4 Speichermodul (G') und Verlustmodul (G'') des mit Eiweißlösung während der thermischen Behandlung gebildeten Gels



5 Der zeitabhängige Speichermodul (G') zeigt die Stabilität und Festigkeit verschiedener durch Aufheizung induzierter Gele

Abbildung 5 zeigt die Gelstärke G' und die Stabilität innerhalb einer Haltezeit von zehn Minuten nach Erreichen der höchsten Temperatur (von 95 °C). Die durch Aufheizung induzierten Gele aus Eiweißen weisen die höchste Festigkeit auf und sind sehr stabil. Eine solche stabile Geleigenschaft wurde auch bei einer Temperatur von über 85 °C in Abbildung 3 und Abbildung 4 beobachtet. Bei der Erbsenproteinkonzentratprobe mit 10 Gew.-% wird die höchste Gelstärke nach etwa 4 Minuten erreicht. Das gebildete Gel ist dann stabil, während die Gelstärke bei der Erbsenproteinkonzentratprobe mit 7 Gew.-% leicht abnimmt. Dies könnte auf die Verformung (Zerstörung) der schwachen Gelstruktur während der Messung zurückzuführen sein. Im Vergleich zur Festigkeit des mit Insektenproteinen gebildeten Gels [2] ergibt sich folgende Reihenfolge:

$$G'_{\text{Egg white}} \approx G'_{\text{Whole egg}} > G'_{\text{Pea protein at 10\%}} > G'_{\text{Insect protein at 10\%}} > G'_{\text{Pea protein at 7\%}}$$

Dies könnte darauf hindeuten, dass verschiedene alternative Proteine unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten haben. Beispielsweise könnten die durch Aufheizung induzierten Gele mit einem niedrigeren G' -Wert oder einem schwachen Gelnetzwerk für flüssige Lebensmittelformulierungen, wie pflanzliche Getränke oder alternative Milchsorten, interessant und geeignet sein. Gele mit einem höheren G' -Wert oder einem starken Gelnetzwerk sind dagegen u.a. für Milch- und Fleischersatzprodukte von Interesse.

Es ist erwähnenswert, dass die Gelierungseigenschaften alternativer Proteine von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, z. B. vom Proteintyp, Proteingehalt, von der Temperatur, dem pH-Wert, der Ionenstärke und anderen Komponenten.

Zusammenfassung

Die durch Aufheizung induzierten Gelierungseigenschaften von zwei alternativen Proteinquellen (pflanzliche Proteine und neuartige, nicht-pflanzliche Proteine) wurden mittels Rotationsrheometrie untersucht. Die Gelierungskurven des Speichermoduls G' und des Verlustmoduls G'' wurden während eines Temperatursweeps aufgezeichnet und interpretiert. Die Gelierungstemperatur, die Gelstabilität und die Gelstärke der alternativen Proteine wurden analysiert und mit denen tierischen Ursprungs (Ei) verglichen. Solche Messungen sind schnell und erfordern nur eine relativ geringe Menge an repräsentativen Proben.

Referenzen

- [1] <https://www.eufic.org/en/food-production/article/5-trending-alternative-protein-sources-to-meat-in-europe>
- [2] J.A. Khan, X. Guo, R. Pichner, K. Aganovic, V. Heinz, C. Hollah, S.V. Miert, G.R. Verheyen, A. Juadpur, K.U. Rehman: Evaluation of nutritional and techno-functional aspects of black soldier fly high-protein extracts in different developmental stages. *Animal* 19 (2025) 101463. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101463>.