

Das Verhalten von Käse verstehen! Von den besten Lagerbedingungen bis zum perfekten Schmelzen.

Dr. Mitchell Ross und Michael Ward; NIB Applications Laboratory



Einleitung

In der Lebensmittel- und Getränkeindustrie spielt die thermische Analyse eine wichtige Rolle, wie beispielsweise bei der Rezepturentwicklung, bei der Optimierung von Herstellungsprozessen, in der Qualitätskontrolle, bei der Untersuchung von Lagerbedingungen und der Bestimmung der Haltbarkeit von Produkten. Bei dem grundlegenden industriellen Herstellungsprozess von Käse wird pasteurisierte Milch mit dem Enzym Lab beimpft, um eine Gerinnung zu bewirken. Anschließend wird der Käsebruch von der Molke getrennt, zerkleinert und in Form gebracht, bevor er zur Reifung gelagert wird (sofern dies erforderlich ist). Käse weist eine besondere Struktur auf: Fettkügelchen sind von Mizellen umgeben, die aus dem Protein Kasein (dem Hauptprotein in der Milch) gebildet werden. Aus Sicht der Rezepturentwicklung führt die Zugabe verschiedener Polymere zu unterschiedlichen sensorischen Eigenschaften und Merkmalen. Ein Beispiel hierfür ist die Zugabe eines langkettigen Polysaccharids (z.B. Hyaluronsäure) zu Pizzakäse [1].

Ziel dieser Untersuchung war es, die Auswirkungen verschiedener Lagerbedingungen, wie beispielsweise das Einfrieren, auf die Eigenschaften verschiedener Käsesorten zu ermitteln. Die Kühl- und Gefrierlagerung ist ein entscheidender Prozess – sowohl bei der Herstellung und dem Vertrieb von Käse als auch bei der Lagerung zu Hause. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob sich die Dehnungseigenschaften von geschmolzenem Käse bestimmen lassen, um dessen Eignung für Gerichte wie Pizza und Grillkäse einschätzen zu können.

Die dynamisch-mechanische Analyse (DMA) wird vorwiegend zur Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Polymermaterialien eingesetzt, eignet sich aber auch für die Messung von Metallen und Keramiken sowie für die Simulation spezifischer mechanischer

Bedingungen. Der NETZSCH DMA 303 *Eplexor*® ist ein vielseitiges Tischgerät, das in einem Temperaturbereich von -170 °C bis 800 °C (-274 °F bis 1472 °F) mit Kräften von 1 mN bis 50 N und bei Frequenzen von 0,001 bis 150 Hz arbeitet. In diesem Beispiel wurden die mechanischen Eigenschaften von weißem Cheddar und Parmesan vor und nach dem Freeze/Thaw-Zyklus zu ermitteln.

Die Untersuchung der Auswirkungen von Lagerbedingungen und Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften des festen Käses ist jedoch nur die halbe Wahrheit, wenn es darum geht, wie wir das Produkt genießen. Um sein Verhalten bei der Zubereitung von Gerichten wie gegrilltem Käse oder Fondue zu bestimmen, wurden auch die Dehnungseigenschaften von geschmolzenem weißem Cheddar gemessen.

NETZSCH nimmt in der Welt der Rheologie eine einzigartige Position ein, da das Unternehmen sowohl konventionelle Rotations-/Oszillationsrheometer als auch Hochkraft-Kapillarrheometer herstellt. Zusammen decken diese Geräte einen Bereich von mehr als sechs Größenordnungen an Scherraten ab. Insbesondere die Kapillarrheometer Rosand eignen sich zur Modellierung von Eigenschaften wie der Dehnbarkeit in der Schmelze. Dank ihres Doppelbohrdesigns erreicht das Hochkraft Tischgerät RH2000 eine Kraft von bis zu 20 kN bei einer oberen Geschwindigkeitsgrenze von 1.200 mm/min zur Messung hoher Scherraten. Verschiedene Düsen mit unterschiedlicher Länge und unterschiedlichem Lochdurchmesser sowie Druckwandler mit einem Bereich von 500 bis 30000 PSI ermöglichen es dem Anwender, jeden beliebigen Prozess optimal zu simulieren. Durch die Verwendung der Option mit doppeltem Zylinder und einer Düsenkonfiguration mit Null-Länge können die Scherviskosität und die Dehnungviskosität in Abhängigkeit von der Scherrate gleichzeitig bestimmt werden. Die korrigierten Dehnungseigenschaften von geschmolzenem weißem Cheddar wurden in Abhängigkeit von der Scherrate gemessen.

APPLICATIONNOTE Das Verhalten von Käse verstehen! Von den besten Lagerbedingungen bis zum perfekten Schmelzen.

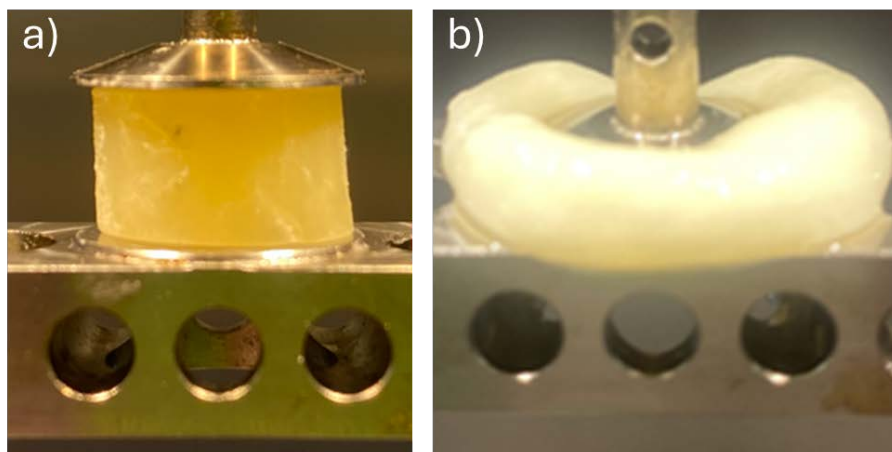
DMA-Untersuchung zur Bestimmung der Auswirkungen des Einfrierens auf die Käse-Eigenschaften

Dazu wurden zylindrische Käsestücke aus weißem Cheddar und Parmesan in Abhängigkeit von der Temperatur im Kompressionsmodus getestet (siehe Abbildung 1).

Es wurden der Speichermodul (E'), der die Fähigkeit eines Materials beschreibt, Energie zu speichern, der Verlustmodul (E''), der die Fähigkeit eines Materials beschreibt, Energie abzuleiten (typischerweise durch Wärme, die durch innere Reibung entsteht), sowie der Dämpfungsfaktor ($\tan \delta$), der das Verhältnis von Verlustmodul zu Speichermodul darstellt und die Fähigkeit eines Materials beschreibt, sich unter Einwirkung einer Kraft elastisch oder viskos zu verformen, bestimmt. Schließlich bietet das Komplexmodul (bezeichnet mit $|E|$, mathematisch ausgedrückt als Quadratwurzel der Summe der Quadrate von E' und E'') eine einfache Möglichkeit, die Gesamtsteifigkeit der Proben in Abhängigkeit von der Temperatur zu vergleichen.

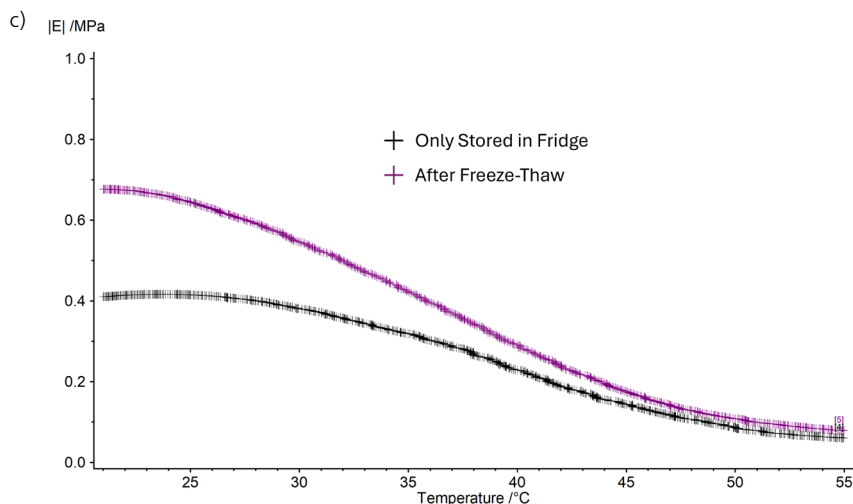
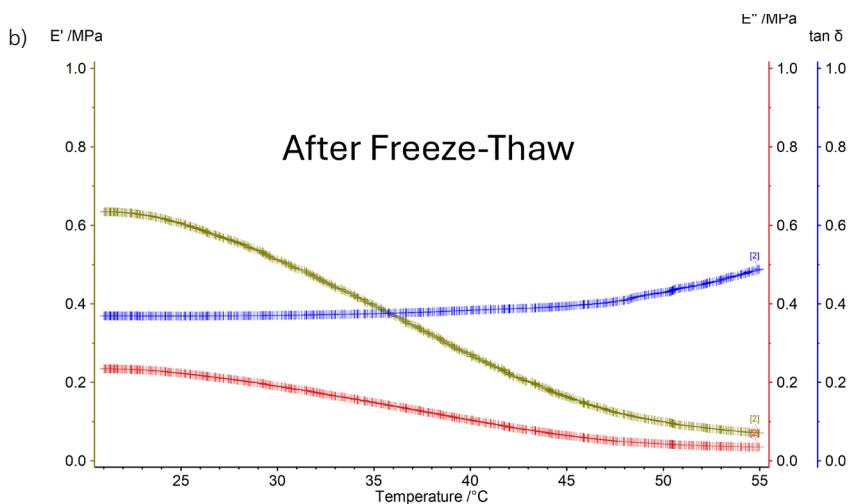
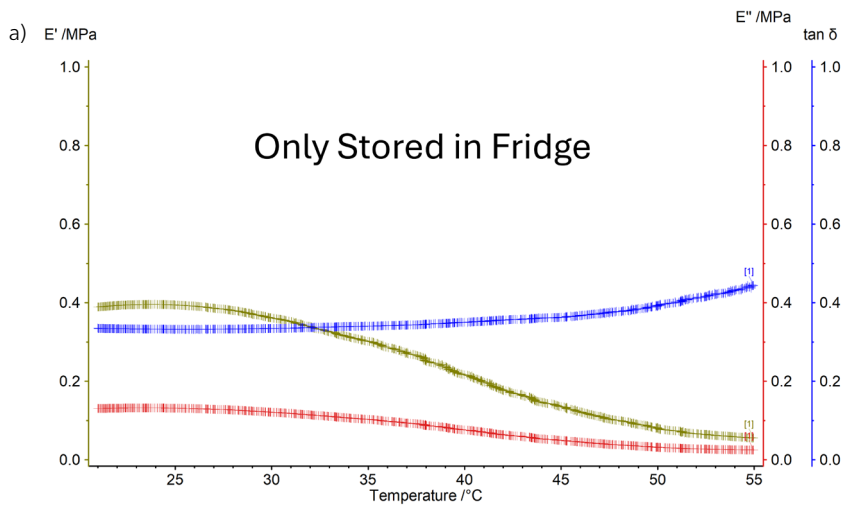
Beide Käsesorten wurden bei Temperaturen von 20 bis 55 bzw. 65 °C (je nach Schmelzpunkt) gemessen, nachdem sie zuvor bei 4 °C gekühlt worden waren bzw. – in einer zweiten Versuchsreihe – über Nacht bei -20 °C gelagert und wieder aufgetaut wurden, um die Auswirkungen eines Freeze/Thaw-Zyklus zu untersuchen. Die Auswirkungen eines Freeze/Thaw-Zyklus auf die Eigenschaften von weißem Cheddar sind in Abbildung 2 dargestellt, die Auswirkungen auf Parmesan in Abbildung 3.

Aus den Abbildungen 2 und 3 geht ein deutlicher Unterschied zwischen den Käsesorten Parmesan und weißer Cheddar (E' von 3,02 vs 0,39 MPa bei 25 °C) nach bloßer Kühlung hervor. Parmesan weist im Vergleich zu weißem Cheddar deutlich höhere Elastizitätsmodulwerte auf, was zu erwarten war, da Parmesan als Hartkäse eingestuft wird. Nach einem Freeze-Thaw-Zyklus (E' des Parmesan stieg von 3,02 auf 3,9 und des weißen Cheddars von 0,39 auf 0,60 MPa bei 25 °C) wiesen beide Käsesorten zudem höhere Elastizitätsmodulwerte (und Dämpfungsfaktoren) auf. Dies deutet darauf hin, dass die Lagerbedingungen das Material beeinflussen und es deutlich steifer machen.



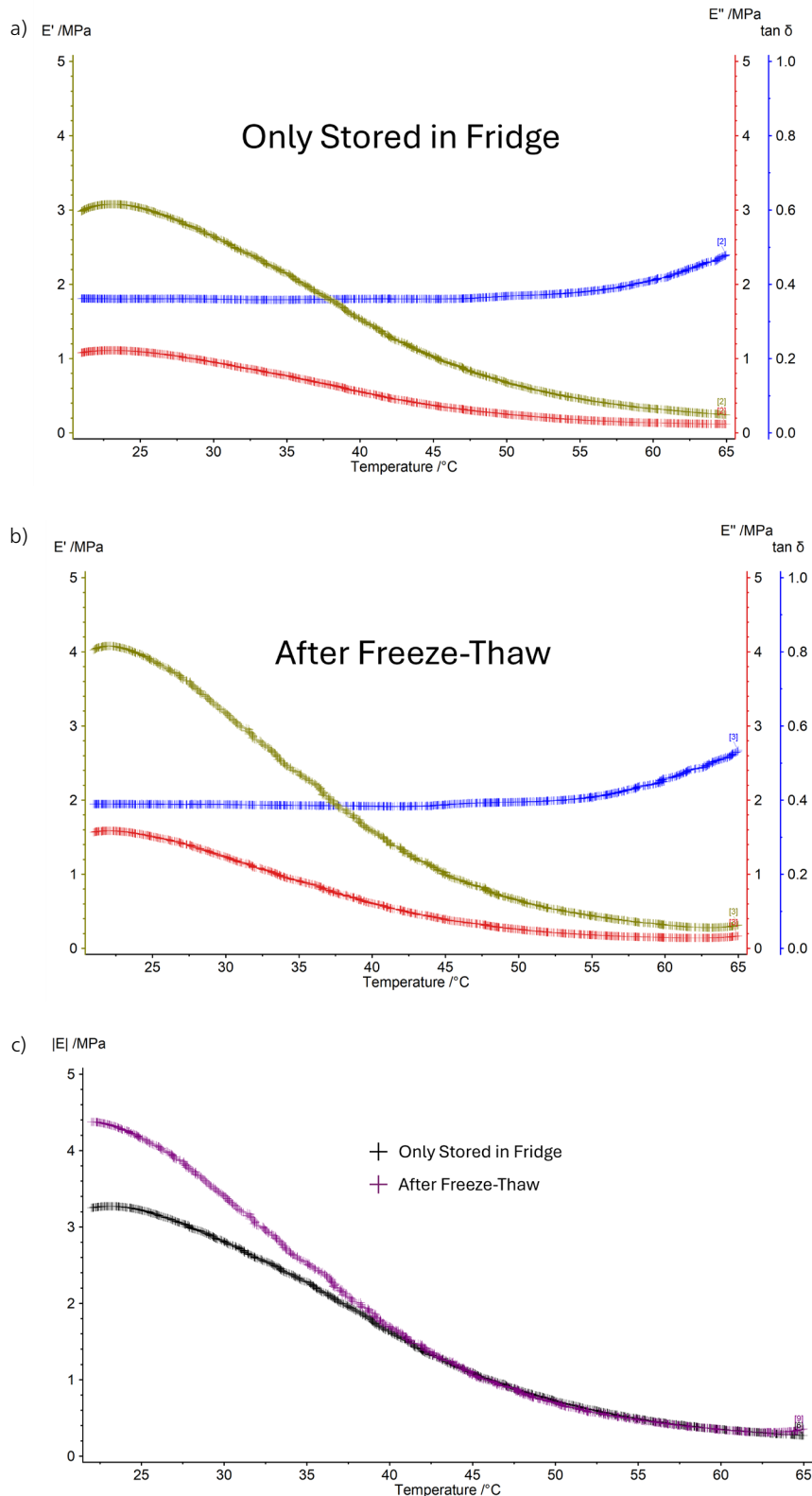
1 a) Stück Parmesan im Probenhalter für Messungen im Kompressionsmodus und b) weißer Cheddar nach dem Schmelzen im Probenhalter für Kompressionsmessung. Die Proben wurden mit dem NETZSCH DMA 303 Eplexor® untersucht.

APPLICATIONNOTE Das Verhalten von Käse verstehen! Von den besten Lagerbedingungen bis zum perfekten Schmelzen.



- 2** Viskoelastischen Eigenschaften (E' , E'' und $\tan \delta$) des weißen Cheddars, gemessen von 20 °C bis 55 °C für a) nur nach Lagerung im Kühlschrank und b) nach dem Freeze/Thaw-Zyklus. c) Vergleich der $|E|$ Profile für jede Kühlbedingung, gemessen von 20 bis 55 °C. Die Proben wurden unter einer dynamischen Deformation von 80 μm , oszillierend bei einem 1 Hz, einem Proportionalfaktor von 1,3 und einer Heizrate von 2 °C/min untersucht.

APPLICATIONNOTE Das Verhalten von Käse verstehen! Von den besten Lagerbedingungen bis zum perfekten Schmelzen.



- 3 Viskoelastische Eigenschaften (E' , E'' und $\tan \delta$) von Parmesan, gemessen von 20 bis 65 °C für a) nur nach Lagerung im Kühlschrank und b) nach einem Freeze/Thaw-Zyklus. c) zeigt den Vergleich von $|E|$ Profil für beide Lagerbedingungen, gemessen von 20 bis 55 °C. Die Proben wurden mit einer dynamischen Deformation von 80 μm , Oszillation bei 1 Hz, einem Proportionalfaktor von 1,3 und einer Heizrate von 2 K/min gemessen.

APPLICATIONNOTE Das Verhalten von Käse verstehen! Von den besten Lagerbedingungen bis zum perfekten Schmelzen.

Tabelle 1 Zusammenfassung von E', E'' und tan δ für weißen Cheddar und Parmesan bei 25 °C

Variable	Ungefroren	Gefroren und aufgetaut	Anstieg nach dem Einfrieren $\left(\frac{X_{\text{Froren and Thawed}}}{X_{\text{Unfrozen}}}\right)$
Weißer Cheddar			
E' (MPa)	0,39	0,60	1,54
E'' (MPa)	0,13	0,22	1,69
tan δ	0,36	0,37	1,12
Parmesan			
E' (MPa)	3,03	3,87	1,28
E'' (MPa)	1,10	1,50	1,36
tan δ	0,36	0,39	1,08

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse jeder Probe bei 25 °C zusammengefasst. Um zu verstehen, wie Käse beim Kauen wahrgenommen wird, d.h., ob er der von den Zähnen ausgeübten Kraft widersteht oder leicht nachgibt, ist das Zusammenspiel von E' und E'' entscheidend [2].

Interessanterweise ist der Effekt der erhöhten Steifigkeit nach dem Einfrieren bei Raumtemperatur stärker ausgeprägt, nimmt jedoch mit zunehmender Aufheizung der Proben deutlich ab (Abbildungen 2c und 3c).

Abschließend ist anzumerken, dass der DMA 303 *Eplexor*® kryogene Temperaturen erreichen kann und der Freeze-Thaw-Zyklus daher im Gerät selbst durchgeführt werden könnte. Es zeigte sich jedoch, dass die Käsestücke dabei so steif wurden, dass für die dynamische Verformung mehr Kraft erforderlich war, als das Gerät aufbringen konnte. Um diese Materialien während des Gefrierprozesses zu untersuchen, ist ein Gerät mit höherer Kraft wie der DMA 503 *Eplexor*® erforderlich.

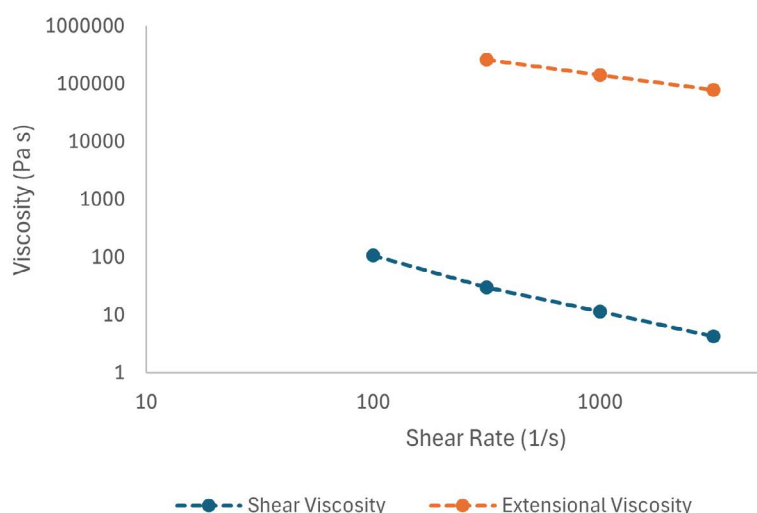
Kapillarrheometrie: Extrusions- und Haul-off-Tests

In der Regel kommen die NETZSCH-Kapillarrheometer der Serien Rosand RH2000 und RH7/10 zum Einsatz, um die Viskosität von Polymeren in der Schmelze zu untersuchen. In diesem Fall soll die Viskosität von schmelzendem Käse, beispielsweise weißem Cheddar (Parmesan schmilzt nicht gut), in Abhängigkeit von der Scherrate gemessen werden. Die Probe wurde bei 65 °C gemessen, da dies eine übliche Temperatur für Fondue ist, bei dem die Dehnbarkeit des Käses eine entscheidende Rolle spielt. Die grundlegende Viskositätsmessung der weißen Cheddarprobe ist in Abbildung 4 dargestellt. Der weiße Cheddar zeigt eine für Polymere typische Eigenschaft, nämlich Scherverdünnung: Die Viskosität der Probe nimmt mit steigender Scherrate ab.

Neben grundlegenden Viskositätsmessungen können die Rosand-Geräte mithilfe verschiedener Zubehörteile und mathematischer Modelle auch zusätzliche Eigenschaften wie Abzugskraft, Strangaufweitung und Dehnungviskosität bestimmen. Dank des Doppelbohrdesigns der Rosand-Geräte können eine lange Düse und eine Düse mit vernachlässigbarer Länge verwendet werden, um gleichzeitig eine Probe zu messen und die Scher- und Dehnungviskosität unter Verwendung des Cogswell-Modells zu berechnen. Aus praktischer

Sicht zeigt dies, wie stark sich die Schmelze bei einer bestimmten Scherrate dehnen lässt, d. h., wie stark sich der geschmolzene Käse dehnt, wenn ein Stück Pizza mit einer bestimmten Geschwindigkeit weggezogen wird. Die Dehnungseigenschaften des weißen Cheddars sind in Abbildung 4 dargestellt. Der weiße Cheddar wies eine für Polymere typische Eigenschaft auf: Scherverdünnung. Das heißt, die Viskosität der Probe nahm mit steigender Scherrate ab.

Bei newtonschen Materialien ist allgemein bekannt, dass die Dehnungviskosität dreimal höher ist als die Scherviskosität. Bei Polymerschmelzen ist dieses Verhältnis deutlich höher und kann mehrere Größenordnungen erreichen. In der vorliegenden Studie wurde festgestellt, dass der weiße Cheddar eine sehr hohe Dehnungviskosität aufweist, die mehrere tausend Mal höher liegt als seine Scherviskosität. Aus praktischer Sicht deutet dies darauf hin, dass der weiße Cheddar während der Scherung hochviskos bleibt (vergleichbar mit Honig statt Wasser) und daher nicht so leicht bricht. Wird der Cheddar schneller geschert, sinkt die Dehnviskosität. Daher lässt sich das Ziehens eines Käses optimieren, indem eine ausreichend hohe Temperatur aufrechterhalten und langsam gezogen wird, um die Dehnungslänge des Cheddar zu maximieren.



4 Gemessene Scherviskosität und berechnete Dehnviskosität (nach der Cogswell-Methode) des weißen Cheddars, gemessen mit dem Rosand RH2000 in Abhängigkeit von der Scherrate. Die Proben wurden bei 65 °C mit der Einzelbohrung mit einem Durchmesser des Düsenlochs von 1 mm, einer Länge der Düse von 16 mm und einem Eingangswinkel von 180 °C bei Scherraten von 100 bis 10000 1/s untersucht.

APPLICATIONNOTE Das Verhalten von Käse verstehen! Von den besten Lagerbedingungen bis zum perfekten Schmelzen.

Zusammenfassung

Untersuchungen mit thermischer Analyse spielen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie eine zentrale Rolle, um alles von der Rezeptur bis zur Bestimmung der Haltbarkeit zu unterstützen. In diesem Beitrag zeigen wir, wie verschiedene NETZSCH-Geräte eingesetzt werden können, um Kenntnisse darüber zu erlangen, wie sich die verschiedenen Lagertemperaturen auf die Eigenschaften von Käse, wie beispielsweise weißem Cheddar und Parmesan, auswirken. Mithilfe des DMA 303 *Eplexor*® wurden die mechanischen Eigenschaften von weißem Cheddar und Parmesan über einen Temperaturbereich hinweg verglichen. Zudem zeigte sich, dass ein Freeze-Thaw-Zyklus den Modul beider Käsesorten signifikant erhöht – ein wichtiger Aspekt für den Transport und die Handhabung des Produkts. Mit dem Rosand RH2000 wurden die Schmelzeigenschaften von weißem Cheddar, insbesondere die Dehnungseigenschaften, modelliert. Aus Verbrauchersicht handelt es sich hierbei in erster Linie um ein Modell für das Erhitzen und das anschließende „Ziehen“ des Käses – eine entscheidende Variable für Marketing und Produktentwicklung.

Referenzen

- [1] Jiao, Yufu, et al. "Utilization of hyaluronic acid to improve Mozzarella cheese: Composition, texture, microstructure, and pizza baking properties." *Food Hydrocolloids* 163 (2025): 111118.
- [2] Ross, Mitchell, et al. "Dynamic-Mechanical Characterization of Food – Understanding Steak Tenderness by DMA for the Design of Alternative Meats.
[Link to Application Note 405.](#)