

Dynamisch-mechanische Charakterisierung von Lebensmitteln – Die Zartheit von Steaks mittels DMA verstehen

Mitchell Ross, NIB Applications Laboratory, Martin Rosenschon, Customer Training, und Brad Hammond, NIB Applications Laboratory



Einleitung

Die dynamisch-mechanische Analyse (DMA) wird vor allem zur Untersuchung von Polymerwerkstoffen eingesetzt, kann jedoch auch in vielen anderen Bereichen angewendet werden. Dazu zählen Anwendungen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, wie beispielsweise die Rezepturanalyse von Gummibärchen (Mucha et al. [1]) aber auch in der Zubereitung von Fleisch. Industriell wird häufig die mechanische Charakterisierung zur Bewertung der Produktqualität und -konsistenz im Lebensmittelbereich eingesetzt. Dazu eignet sich hervorragend der DMA 303 *Eplexor*®, ein vielseitiges Tischgerät, das in einem Temperaturbereich von -170 °C bis 800 °C (von -274 °F bis 1472 °F) mit einer Gesamtkraft von 50 N (statisch plus dynamisch) messen kann.

Für jede Person, die ein Steak bestellt, gibt es eine richtige und eine falsche Art, wie es zubereitet werden sollte. Das Problem jedoch ist, dass die Antworten unterschiedlich ausfallen werden. Wenn es um ein gutes Steak geht, gibt es in der Regel zwei Hauptvariablen: Zartheit und Saftigkeit. Die Zartheit ist im Wesentlichen eine mechanische Eigenschaft, die angibt, wie weich und zart das Fleisch ist. Wie saftig das Steak ist, hängt vom Fettgehalt und der Fettverteilung, dem Reifungsprozess sowie der Zubereitungsart ab. Was den Gargrad betrifft, so beträgt die Innentemperatur für Steaks 52 °C (125 °F) für „rare“, 54 - 57 °C (130 - 135 °F) für „medium rare“, 57 - 60 °C (135 - 140 °F) für „medium“, 60 - 66 °C für „medium well“ und 68 °C oder höher für „well done“ [2]. Allgemein

bekannt ist, dass ein Steak umso zäher wird, je länger es gegart wird. Doch wie lässt sich das eigentlich messen? Ist es möglich, die Zartheit eines Steaks während des Garvorgangs quantitativ zu bewerten?

Neben der Garzeit gibt es noch weitere Faktoren, die die Qualität des fertigen Gerichts beeinflussen. Teure Fleischstücke stammen in der Regel aus weniger beanspruchten Muskelbereichen, was sie zarter macht. Darüber hinaus spielt der Fettgehalt des Fleisches eine wichtige Rolle. Eine stärkere Marmorierung macht das Fleisch saftiger und zarter, während magerere Stücke eine höhere Muskelfaserdichte mit mehr Eiweiß aufweisen und insgesamt zäher sind.

Zur Bestimmung der thermomechanischen Eigenschaften von Steakproben haben wir uns für die Untersuchung eines vergleichsweise günstigen Stücks, einem sogenannten „Flankensteaks“ entschieden, das für seinen hohen Muskelfasergehalt bekannt ist.

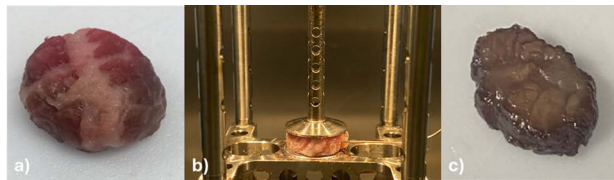
Unsere Hauptziele waren:

- a) zu untersuchen, inwiefern die Innentemperatur die mechanischen Eigenschaften beeinflusst, und
- b) zu analysieren, welchen Einfluss die Faserausrichtung auf die Wahrnehmung der Zartheit hat. Über die wissenschaftliche Neugier hinaus sind derartige Daten wichtig für die Qualitätskontrolle sowie für neue Branchen, die Fleischalternativen bzw. -ersatzprodukte entwickeln.

APPLICATIONNOTE Dynamisch-mechanische Charakterisierung von Lebensmitteln – Die Zartheit von Steaks mittels DMA verstehen

DMA-Untersuchung des Gargrades

Für die Messung wurden Proben eines rohen Flankenstücks mit einem Durchmesser von 13 mm und einer Höhe von 6 mm zugeschnitten (siehe Abbildung 1a). Die Proben wurden im Kompressionsmodus gemessen, um die Wahrnehmung beim Kauen bestmöglich zu simulieren. Das Thermoelement der DMA wurde direkt in die Mitte der Probe eingeführt (Abbildung 1b), was eine direkte Messung der Kerntemperatur ermöglicht. Zur Bestimmung der Anfangsmesslänge wird die Probe vor der Messung mit einer Kontaktkraft von 1,0 N belastet. Anschließend wurde eine dynamische Amplitude von 20 µm mit einem Proportionalitätsfaktor von 1,1 über den Temperaturbereich von 30 bis 80 °C bei einer Heizrate von 1 K/min (Gesamtlaufzeit: 55 Minuten) angewandt. Die vollständig gegarte Probe nach der Prüfung ist in Abbildung 1c dargestellt.



1 a) Rohe Steakprobe in Scheiben geschnitten, b) Probe während der Kompression mit in die Mitte des Fleisches eingeführter Temperatursonde, und c) gegarte Probe nach der Druckprüfung.

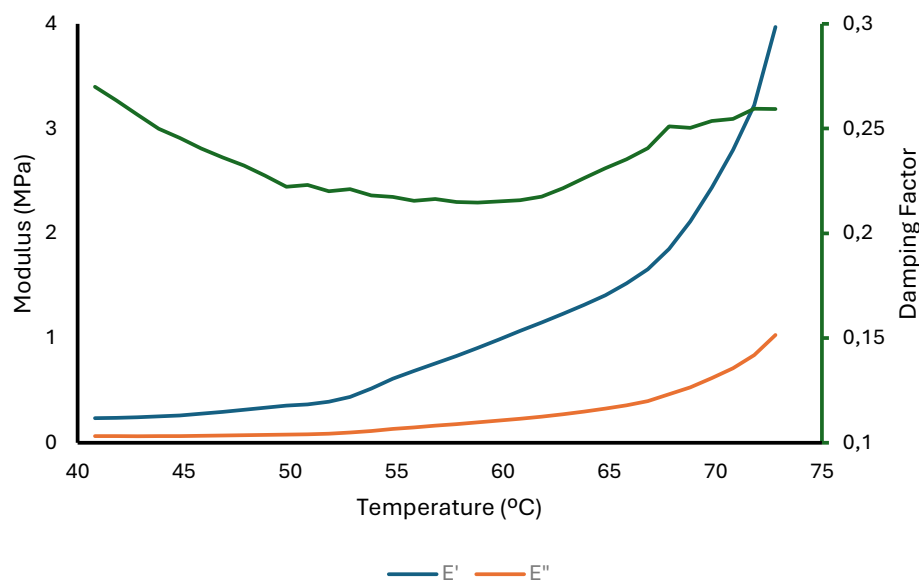
Tabelle 1 Absoluter Modul und Zunahme der mechanischen Eigenschaften der Flankensteakscheiben in Abhängigkeit von Innentemperatur und Gargrad

Gargrad	Innen-temperatur (°C)	E (MPa)	Modulanstieg im Vergleich zu roh $\left(\frac{ E _x}{ E _{Raw}}\right)$
Blue-rare*	45	0,27	1,0
Rare	52	0,41	1,5
Medium-rare	56	0,72	2,6
Medium	58	0,86	3,2
Medium-well	62	1,20	4,4
Well-done	72	3,74	12,7

* Blue rare ist die unterste Garstufe, noch unter rare. Blue rare ist außen nur leicht angebraten und innen noch komplett roh und kalt.

Messergebnisse

Die Ergebnisse der dynamisch-mechanischen Messung im Kompressionsmodus sind in Abbildung 2 dargestellt und in Tabelle 1 hinsichtlich des Gargrades zusammengefasst. Der Speichermodul (E') korreliert mit der Fähigkeit des Materials, Energie elastisch zu speichern. Während des Garvorgangs steigt E' in der Regel an, da das Steak fester und zäher wird. Der Verlustmodul (E'') beschreibt den Energieverlust des Materials, der typischerweise durch innere Reibung und viskoses Verhalten verursacht wird. Ein hoher E'' -Wert zeigt an, dass das Steak beim Kauen mehr Energie abgibt.



2 Modulwerte und Dämpfungsfaktor während des Aufheizens einer Flankensteakscheibe (dynamische Amplitude von 20 µm, Frequenz von 1 Hz und Proportionalitätsfaktor von 1,1).

APPLICATIONNOTE Dynamisch-mechanische Charakterisierung von Lebensmitteln – Die Zartheit von Steaks mittels DMA verstehen

Die Werte von E' und E'' stehen in Zusammenhang mit strukturellen Änderungen, die während des Garvorgangs auftreten: Die Muskelfasern kontrahieren und verlieren Wasser, was zu einer festeren Textur und einer erhöhten inneren Reibung führt.

Ziel des Garvorgangs ist es daher, moderate Werte für E' und E'' zu erhalten, bei denen das Steak eine angenehme Struktur aufweist, zart ist und saftig bleibt. Würde der Garvorgang über den Punkt hinaus fortgesetzt, an dem das Fleisch durchgebraten ist (hier nicht dargestellt), würde sich das Kollagen in Gelatine umwandeln, die Muskelfasern würden sich entspannen und die Reibung würde verringert, wodurch E' abfallen würde.

Der Dämpfungsfaktor $\tan \delta$ ist das Verhältnis von E'' zu E' und beschreibt, wie elastisch oder viskos sich das Material verhält. Da E' viel größer ist als E'' , verhält sich das Material überwiegend elastisch und wird mit steigender Temperatur steifer. Interessanterweise nimmt der Dämpfungsfaktor zunächst ab und steigt dann wieder an. Dies deutet darauf hin, dass während des Garvorgangs unterschiedliche Temperaturen zu leichten Änderungen der Dämpfungseigenschaften führen. Da während des Garens gleichzeitig Feuchtigkeitsverlust und Fettabbau stattfinden, ist dieser Effekt nicht unerwartet.

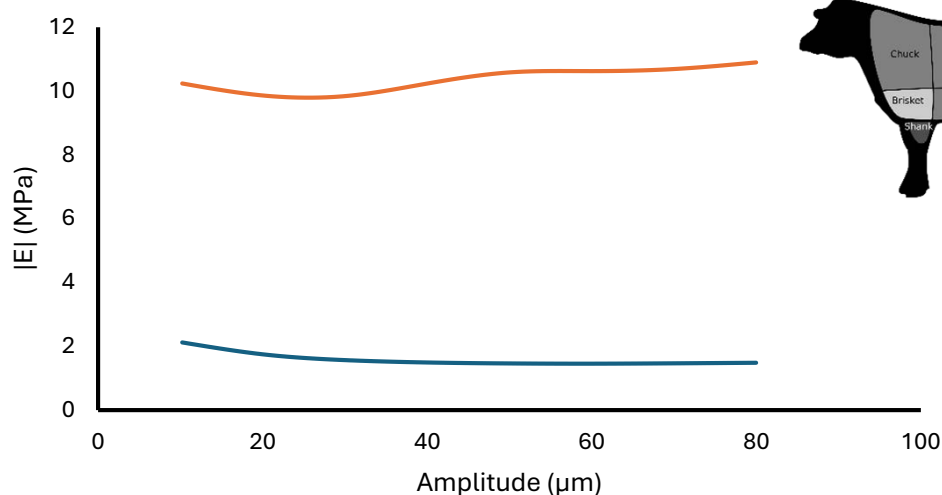
Der Absolutwert des komplexen Moduls $|E|$ beschreibt den Gesamtwiderstand eines Materials gegen Verformung unter oszillierender Belastung und vereint seine viskosen und seine elastischen Komponenten. Tabelle

1 fasst zusammen, wie sich diese Eigenschaft mit der Innentemperatur verändert. Ein rare-gebratenes Steak besitzt im Vergleich zu einem rohen Steak einen um den Faktor 1,5 höheren Kompressionsmodul, während ein Well-Done-Steak ein um den Faktor 12,7 höheren Modul aufweist. Dieses Ergebnis zeigt einen nicht-linearen Anstieg der Zartheit in Abhängigkeit von der Innentemperatur.

Einfluss der Fasern auf die Zartheit

Der Gargrad allein bestimmt jedoch nicht, wie zart das fertige Steak ist. Das Flankensteak ist ein vergleichsweise preiswertes Stück Fleisch aus dem Bauchlappen und dem Zwerchfell des Rindes. Es ist für seinen geringen Fettanteil und seine hohe Muskelfaserdichte bekannt. Daher spielt die Art und Weise, wie das Steak herausgeschnitten und serviert wird, eine große Rolle für seine Zartheit. Wir haben deshalb gegarte Stücke vom Flankensteak im Zugmodus getestet, die entweder entlang oder quer zur Faser geschnitten wurden.

Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Probe, die entlang der Muskelfaser geschnitten wurde (orangefarbene Linie), einen 6,7-mal höheren absoluten Zugmodul aufweist als die Probe, die quer zur Faserausrichtung geschnitten wurde (blaue Linie). Dieser Anstieg des absoluten Zugmoduls korreliert mit einer geringeren Zartheit des Fleisches. Daher führt die einfache Technik, das gegarte Steak quer zur Faser in dünne Scheiben zu schneiden, zu deutlich zarterem Fleisch.



3 Zugamplitudensweep eines gegarten Flankensteaks, das entweder entlang (orange Linie) oder quer zur Muskelfaser (blaue Linie) geschnitten wurde, gemessen bei 1 Hz mit einer dynamischen Amplitude von 10 - 80 µm.

APPLICATIONNOTE Dynamisch-mechanische Charakterisierung von Lebensmitteln – Die Zartheit von Steaks mittels DMA verstehen

Zusammenfassung

Der DMA 303 *Eplexor*® bietet einen breiten Frequenz-, Kraft- und Temperaturbereich und ist somit ideal für dynamisch-mechanische Messungen in einem weiten Anwendungsbereich. Es konnte aufgezeigt werden, dass man mit diesem Gerät die Zartheit eines Steaks sowohl unter Druck – um das Kauen zu simulieren – als auch unter Zug – um den Einfluss der Muskelfaserausrichtung zu untersuchen – genau messen kann.

Der DMA 303 *Eplexor*® eignet sich jedoch nicht nur zur Charakterisierung von Fleisch, sondern auch vieler anderer Probenarten in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie. Ergebnisse wie diese können bei der Entwicklung pflanzlicher Fleischersatzprodukte verwendet werden, um das herkömmliche Produkt bestmöglich nachzuahmen.

Referenzen

- [1] Dr. Herbert Mucha and Dr. Horst Deckmann: Gummy Bears – Colorful, Temperamental and Demanding in Their Dynamic-Mechanical Properties. Application Note 238 → [LINK](#)
- [2] <https://www.foodnetwork.com/how-to/packages/food-network-essentials/how-to-check-steak-doneness> [Online], 2025