

Aus dem Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der  
Veterinärmedizin

der Veterinärmedizinischen Universität Wien

(Departmentsprecher: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Michael HESS)

Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln

(Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Karin Schwaiger)

# **Vergleich verschiedener Verfahren zur Festigkeits- und Texturprüfung bei Lebensmitteln**

**Diplomarbeit**

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von

Patrick Biber

Wien, im September 2021

**Betreuer**

Ao Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen Dipl.ECVPH

Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln, Institut für Lebensmittelsicherheit,  
Lebensmitteltechnologie und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin,  
Veterinärmedizinische Universität Wien

**Gutachter**

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Peham

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Ao Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und an den ich mich jederzeit wenden konnte. Ich könnte mir keinen besseren Diplomarbeitsbetreuer vorstellen. Außerdem möchte ich ao. Univ.-Prof. Dr. C. Peham und Dr. J. Schramel für ihre Unterstützung danken.

| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                                                                                | <b>Seite</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>1. Einleitung und Fragestellung</b>                                                                                   | <b>1</b>     |
| 1.1 Bedeutung der Textur und Festigkeit von Lebensmitteln                                                                | 1            |
| 1.2 Definition von Textur und Möglichkeiten, die Textur zu charakterisieren und zu messen                                | 1            |
| 1.3 Texturprüfung bei der Produktentwicklung und als Element der Qualitätssicherung                                      | 3            |
| 1.4 Fragestellung                                                                                                        | 4            |
| <b>2. Material und Methoden</b>                                                                                          | <b>5</b>     |
| 2.1 Beschreibung der Geräte, der Geräteeinstellungen und der gemessenen Größen                                           | 5            |
| 2.1.1 Beschreibung des Kugelresilienztesters                                                                             | 5            |
| 2.1.2 Beschreibung des Kompressionsverfahrens und der Texturprofilanalyse mit Hilfe des Brookfield CT3 Texture Analyzers | 8            |
| 2.1.3 Beschreibung der Scherkraft- und Bruchkraftmessung durch das Instron-Materialprüfgerät                             | 17           |
| 2.2 Beschreibung der Proben                                                                                              | 19           |
| 2.3 Durchgeführte Versuche                                                                                               | 26           |
| 2.3.1 Vergleich des Kugelresilienztesters mit dem Kompressionsverfahren und der Scherkraftmessung                        | 26           |
| 2.3.2 Vergleich des Kugelresilienztesters mit der Texturprofilanalyse, der Scherkraft- und Bruchkraftmessung             | 28           |
| 2.3.3 Statistik                                                                                                          | 29           |
| <b>3. Ergebnisse</b>                                                                                                     | <b>30</b>    |
| 3.1 Charakterisierung der verwendeten Proben                                                                             | 30           |
| 3.1.1 Ergebnisbereiche für die in 2.3.1 verwendeten Proben                                                               | 30           |
| 3.1.2 Ergebnisbereiche für die in 2.3.2 verwendeten Proben                                                               | 31           |
| 3.2 Werte des Kugelresilienztesters und der Kompression und Korrelation                                                  | 34           |
| 3.2.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters und der Kompression                                                           | 34           |
| 3.2.1.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und des Kugelkompressionstests bei 50 % Kompression       | 34           |
| 3.2.1.2 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe und des Kugelkompressionstests bei 50 % Kompression      | 35           |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1.3 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und des Stempel-AACC36-Kompressionstests bei 50 % Kompression       | 36 |
| 3.2.1.4 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe und des Stempel-AACC36-Kompressionstests bei 50 % Kompression      | 37 |
| 3.2.2 Korrelationen des Kugelresilienztesters und der Kompression                                                                  | 39 |
| 3.2.2.1 Korrelationen des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe mit dem Kugelkompressionstest bei 50 % Kompression               | 39 |
| 3.2.2.2 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe mit dem Kugelkompressionstest bei 50 % Kompression                | 40 |
| 3.2.2.3 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe mit dem Stempel AACC36 Kompressionstest bei 50 % Kompression       | 41 |
| 3.2.2.4 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe mit dem Stempel AACC36 Kompressionstest bei 50 % Kompression      | 42 |
| 3.3 Korrelationen der Werte des Kugelresilienztesters mit der Scherkraft                                                           | 43 |
| 3.3.1 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe mit der Scherkraft                                                   | 43 |
| 3.3.2 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe mit der Scherkraft                                                  | 45 |
| 3.4 Werte des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse und Korrelationen                                                  | 48 |
| 3.4.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse                                                             | 48 |
| 3.4.1.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Kühltemperatur  | 48 |
| 3.4.1.2 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Kühltemperatur | 50 |
| 3.4.1.3 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Raumtemperatur  | 51 |
| 3.4.1.4 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Raumtemperatur | 52 |
| 3.4.2 Korrelationen des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse                                                          | 53 |
| 3.4.2.1 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Kühltemperatur                         | 53 |
| 3.4.2.2 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Kühltemperatur                        | 54 |
| 3.4.2.3 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Raumtemperatur                         | 55 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2.4 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 10 %<br>Kompression und Raumtemperatur | 56 |
| 3.5 Ergebnisse des Kugelresilienztester und der Scherkraft- und<br>Bruchkraftmessung und Korrelationen         | 57 |
| 3.5.1 Kugelresilienztester und Scherkraft bei Kühltemperatur                                                   | 57 |
| 3.5.2 Kugelresilienztester und Scherkraft bei Raumtemperatur                                                   | 58 |
| 3.5.3 Kugelresilienztester und Bruchkraft bei Kühltemperatur                                                   | 59 |
| 3.5.4 Kugelresilienztester und Bruchkraft bei Raumtemperatur                                                   | 60 |
| <b>4. Diskussion</b>                                                                                           | 61 |
| 4.1 Übereinstimmung der Kugelresilienztesterwerte mit jenen der Kompression                                    | 61 |
| 4.2 Übereinstimmung der Kugelresilienztesterwerte mit jenen der<br>Texturprofilanalyse                         | 62 |
| 4.3 Übereinstimmung der Kugelresilienztesterwerte mit jenen der Scherkraft und<br>Bruchkraft                   | 63 |
| 4.4 Mögliche Anwendungsbereiche des Kugelresilienztesters                                                      | 64 |
| <b>5. Zusammenfassung</b>                                                                                      | 65 |
| <b>6 Summary</b>                                                                                               | 66 |
| <b>7. Abkürzungen</b>                                                                                          | 67 |
| <b>8. Literaturverzeichnis</b>                                                                                 | 68 |
| <b>9. Abbildungs-/Tabellenverzeichnis</b>                                                                      | 72 |

Wörtlich übernommene Textstellen (z. B. Zitierungen aus Rechtstexten, Definitionen) sind zur besseren Erkennbarkeit *kursiv* gesetzt.

## **1. Einleitung und Fragestellung**

### **1.1 Bedeutung der Textur und Festigkeit von Lebensmitteln**

Eigenschaften, wie Aussehen, Farbe und Geruch spielen beim Erstkauf eines Lebensmittels eine große Rolle. So haben beispielsweise Barton-Gade et al. (1988) festgestellt, dass Aussehen, Saftigkeit, Aroma und Textur zu den wichtigsten sensorischen Eigenschaften von Fleisch zählen. Ist das Produkt einmal ausgewählt und wird verköstigt, so entscheiden vor allem Textur, Saftigkeit, Aroma und Geschmack über den erneuten Kauf und die Zufriedenheit bei der Produktwahl. Die Textur stellt somit eine der wichtigsten sensorischen Eigenschaften dar. Darüber hinaus ist sie auch in der Herstellung eines Lebensmittels von großer Bedeutung. Bei Produktionsschritten, wie z. B. Kochen, Braten oder bei der Reifung ändert sich die Textur des Lebensmittels und kann somit unter anderem bei einer Prüfung den Erfolg oder Misserfolg des durchgeführten Produktionsschrittes anzeigen. Auch beim Zerkleinern und Abpacken der fertigen Produkte kann die Textur darüber entscheiden, wie ein Lebensmittel gehandhabt werden muss. Stimmen die Textureigenschaften nicht, so kann das fertige Produkt in einem Fall zerbrechen oder reißen, im anderen Fall nicht richtig portioniert werden. Anlässlich dieser wichtigen Einflüsse der Textur auf Kaufentscheidung und Produktion, wurden verschiedenste Techniken und Geräte entwickelt, die es möglich machen sollen, die Textur objektiv zu testen und darzustellen. In diesem Zusammenhang haben vor allem Messmethoden, die mit Kraft-Wegmessungen arbeiten, bei Zartheits-Zähigkeits-Bestimmungen zur Kontrolle von Produktionsverfahren, Reifungsvorgängen oder bei der Produktentwicklung und Standardisierung, an Bedeutung zugenommen (Prändl et al. 1988).

### **1.2 Definition von Textur und Möglichkeiten, die Textur zu charakterisieren und zu messen**

Tscheuschner (1996) definiert die Textur von Lebensmitteln als sensorisch (kinetisch und haptisch) wahrnehmbare (beim Drücken, Abbeißen, Kauen, Schlucken) und instrumentell messbare, meist anisotrope Deformations- und Brucheigenschaften, sowie die optisch erkennbare Überstruktur, deren Ursprung in den physikalisch-strukturellen Elementen des Lebensmittels liegt. *Dabei ist die Textur der Lebensmittel durch Art, Menge und Zustand der konstituierenden Komponenten und ihrer physikalisch-chemischen Wechselwirkungen bedingt* (Tscheuschner 1996). Hyldig und Nielsen (2001) weisen bei ihrer Definition von Textur darauf

hin, dass es sich um einen komplexen, multifaktoriellen Parameter handelt, den nur der Mensch in seiner Gänze wahrnehmen, beschreiben und quantifizieren kann. Sicher zu stehen scheint, dass die Textur sich aus einer Vielzahl von Parametern ergibt, die alle ein komplexes System bilden, das in seiner Gänze nur schwer darzustellen ist. Dies zeigt sich auch an der umfangreichen Terminologie, die im Zusammenhang mit Textur verwendet wird. Beispielsweise führte Rohm (1990) auf Grundlage vorangegangener Studien eine Untersuchung zur Beschreibung von Texturen durch, bei der 105 verschiedene Begriffe für 50 Lebensmittel bei einer Wortzuordnung verwendet wurden.

Um die Textur in ihrer Komplexität zu erfassen, wurde in den 1960ern von Szczesniak und Brandt ein Klassifikationssystem erstellt, das die rheologischen Eigenschaften der Lebensmittel mit der Terminologie der Konsumenten verbinden soll. Die Rheologie bedient sich hierbei einer vereinfachten Darstellung der Textur durch rheologische Modelle, bei der man das Lebensmittel als System dreier idealisierter Grundeigenschaften (Elastizität, Viskosität, Plastizität) ansieht, die unterschiedlich miteinander verbunden werden können, um sich das Fließ- und Deformationsverhalten eines Körpers zu erklären. Aus dieser Verbindung von Rheologie und Terminologie bei der Sinnesprüfung entstand die Texturprofil-Methode. Bis heute wird die Texturprofil-Methode modifiziert und erweitert (Lawless und Heymann 1998). Civile und Liska (1975) haben sich mit den verschiedenen Modifikationen auseinandergesetzt und bieten eine Zusammenfassung dieser. Alle Modifikationen haben gemeinsam, dass man bei der Profilmethode der Textur verschiedene Eigenschaften in bestimmtem Umfang zuordnet. Hierfür werden Skalen für beispielsweise Adhäsion, Kohäsion, Gummiartigkeit und Kaubarkeit bestimmt. Um die Texturprofilmethode noch objektiver zu gestalten wird versucht, die Textur und ihre Eigenschaften mit Hilfe von maschinellen Tests zu ermitteln, die eine subjektive Sinnesprüfung ersetzen sollen. Die instrumentelle Texturprofilmethode wird als Texturprofilanalyse bezeichnet. Die Texturprofilanalyse ist heutzutage die am häufigsten benutzte Methode, die den Kauprozess imitieren soll (Bourne, 1978). Da es jedoch so viele verschiedene Lebensmittel mit den unterschiedlichsten Verhalten gibt, wurden weitere Methoden und Geräte für die Texturbestimmung entwickelt, um die Messmethoden auf die Lebensmittel abstimmen zu können (Prändl et al. 1988, Bourne 2002, Lu 2013). Beispielsweise wird bei Fleisch üblicherweise der Warner-Bratzler-Schertest (Bratzler 1932, Warner 1928) benutzt, um als Indikator für die Zartheit zu dienen, wie Culioli (1995) bei der Beurteilung mehrerer wissenschaftlicher Arbeiten feststellte. Bei diesem Schertest wird das Produkt durchtrennt, ohne es zu schneiden. Somit imitiert es am ehesten das Abbeißen mit



den Schneidezähnen. Obwohl die Scherzelle häufig bei der Untersuchung von Fleisch eingesetzt wird (Guerrero und Guàrdia, 1999), würde sich die Texturprofilanalyse besser eignen, um das Zerkauen des Fleisches mit den Backenzähnen zu messen. Herrero et al. (2008) zieht bereits in seinen Untersuchungen die Texturprofilanalyse als Standard heran um sie mit seiner Zugfestigkeitsmessmethoden zu vergleichen.

### **1.3 Texturprüfung bei der Produktentwicklung und als Element der Qualitätssicherung**

Um Qualität gewährleisten zu können ist es wichtig, dass ein Produkt die erforderlichen Standards erfüllt und Eigenschaften aufweist, die damit in Verbindung gebracht werden. Die Textur eines Produktes stellt eine wichtige Eigenschaft dar und wird in diesem Zusammenhang als Qualitätsmerkmal herangezogen. Die Textur von Lebensmitteln kann für Konsumenten sehr wichtig sein. Jedoch wird die Textur, im Gegensatz zu Farbe und Geruch, nicht als Indikator für Lebensmittelsicherheit benutzt, aber als ein Indikator für die Lebensmittelqualität (Lawless und Heymann 1998). So erwartet der Konsument/ die Konsumentin beispielsweise von einem Kartoffelchip, dass dieser fest und knackig ist. Sollte der Chip biegsam, formlos, weich, schlaff sein, so kommt die Vermutung auf, dass dieser entweder nicht ausreichend erhitzt wurde oder bereits älter ist und sich mit Luftfeuchtigkeit vollgezogen hat. Auch bei Alterungs- und Reifeprozessen ist die Textur ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Denkt man hier z. B. an einen gereiften Parmesan Käse, so erwartet man sich einen festen gealterten leicht brüchigen Käse. Sollte der Parmesan hingegen weich und biegsam sein, so liegt die Vermutung nahe, dass dieser nicht ausreichend gereift ist. Dadurch wird die Textur unweigerlich mit der Qualität des Lebensmittels in Verbindung gebracht. Auch bei der Herstellung eines Produktes in der Prozesskontrolle kann die Textur herangezogen werden, um den Erfolg der einzelnen Schritte zu überprüfen und so Qualität zu gewährleisten. So weisen beispielsweise Frankfurter nach dem Kochen durch die Eiweißgerinnung eine festere Struktur auf als zuvor. Wurden die Würste nicht ausreichend erhitzt, so fehlt die erforderliche Festigkeit. Die Bestimmung der Textur kommt auch bei vielen Autoren zum Einsatz, um die Qualität der Produkte oder Texturänderungen bei neuen Rezepten oder Produktionsverfahren festzustellen (García et al. 2006, Kerr et al. 2005, Mor-Mur und Yuste 2003, Yilmaz et al. 2002). So werden auch die Auswirkungen von Rezepturänderungen auf die Textur immer wichtiger. Die Konsumenten wünschen sich mehr Variation bei den Fleischprodukten mit gleichzeitig gesünderer Zusammensetzung durch reduzierten Phosphat, Salz und Fettgehalt (Desmond

2006, Jiménez-Colmenero 2000, Kemi et al. 2006). Um den Konsumentenwunsch zu erfüllen sind teilweise auch Produktionsmodifikationen nötig, die die Produktqualität, insbesondere die Textureigenschaften (z. B. Härte, Kohäsion, Elastizität, Adhäsion), beeinflussen (Herrero et al. 2008, Ruusunen und Puolanne 2005).

#### **1.4 Fragestellung**

Vor einigen Jahren wurde ein Texturprüfer von Herrn Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peham und Herrn Dipl.-Ing. Dr. Schramel entwickelt, mit dem ein Material mittels einer Kugel getestet werden kann (Kugel-Resilienztester nach Peham und Schramel 2016; Europ. Patent EP 3045890 A1). Bei einer Texturprüfung mit dem Kugelresilienztester fällt eine mit Sensoren ausgestattete Kugel auf das zu beprobende Objekt und misst dabei die Fallhöhe, die Beschleunigung, die Abbremsung und den Rückstoß. Durch die Betrachtung als ideale Feder ist es wichtig, im elastischen Bereich der Materialverformung zu bleiben und das Objekt nicht plastisch zu verformen. Durch diesen Umstand ist es auch gewährleistet, dass es zu keiner dauerhaften Beschädigung des Produktes kommt, wie dies z. B. bei der Beprobung mit einer Warner-Bratzler-Scherzelle wäre. Der Kugelresilienztester weist zudem eine sehr leichte, handliche Bauweise auf, die eine portable Benutzung ermöglicht. Aufgrund dieser Eigenschaften und der preisgünstigen Herstellungsmöglichkeit, wurde der Kugelresilienztester bereits als günstiger Ersatz zur Texturprofilanalyse diskutiert. Bis dato fanden jedoch nur Vergleiche mit Scherkraftmessungen statt (Thaler 2018, Virag 2018).

In dieser Arbeit soll nun der Kugelresilienztester mit der Scherkraftmessung und der Texturprofilanalyse verglichen werden und Kausal erklärbare Korrelationen zwischen von den Geräten bestimmten Kennwerten gefunden werden. Es wird die Überlegung angestellt, dass durch eine entsprechend adaptierte Geometrie der Prüfstempel und eine angepasste Vorschubgeschwindigkeit der Texturprofilanalyse ein besseres Verständnis der Arbeitsweise des Kugelresilienztesters erreicht werden kann und dass Unterschiede durch die Vorschub- bzw. Fallgeschwindigkeit erklärt werden können.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Beschreibung der Geräte, der Geräteeinstellungen und der gemessenen Größen**

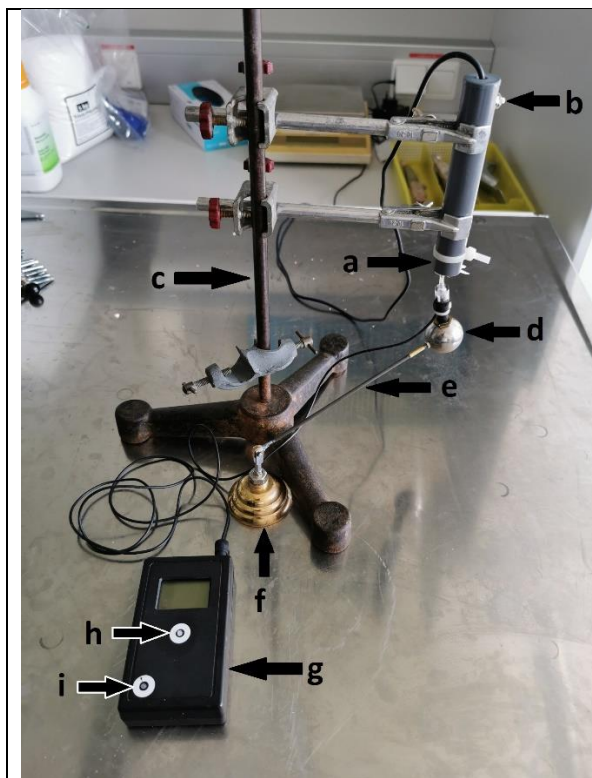
#### **2.1.1 Beschreibung des Kugelresilienztesters**

Der Kugelresilienztester ist eine Erfindung von ao. Univ.-Prof. Dr. C. Peham und Dr. J. Schramel (Patent EP 3045890 A1). Er arbeitet mit zwei Messsensoren, die sich im Inneren einer 104 g schweren Stahlkugel befinden. Diese beiden Sensoren messen Beschleunigung, Verzögerung und Fallzeiten und berechnen daraus Fallhöhe, Aufprallgeschwindigkeit, Maximalkraft bei Aufprall, Elastizitätsmodul, Federkonstante, Energierückgewinnung, Eindringtiefe und Resonanzfrequenz. Für eine korrekte Messung ist es wichtig, dass die Kugel nahezu senkrecht auf die zu beprobende Oberfläche fällt. Um dies zu gewährleisten, wird sie von einem 17 cm langen Führungsarm geführt, der an einem Standfuß gelenkig befestigt ist. Damit die Kugel bei jedem Test wiederholbar identisch fallen gelassen werden kann, wird sie von einem Elektromagneten gehalten, der auf Knopfdruck den Fall der Kugel auslöst. Wird der Elektromagnet an einer Halterung fixiert kann zudem auf diese Art die Fallhöhe eingestellt und festgestellt werden. Die bei der Beprobung entstehenden Messungen werden in einem Auslesegerät aufgearbeitet und auf einem kleinen digitalen Bildschirm dargestellt. Das Auslesegerät zeigt neben den genannten berechneten Werten auch Datum, Uhrzeit und das Gewicht der Kugel an und speichert alle Werte auf einer SD-Karte, die im Anschluss zur Beprobung am Computer ausgelesen werden kann.

Ablauf einer Beprobung:

Nachdem die gewünschte Höhe über den an der Halterung fixierten Elektromagnet eingestellt ist und die Probe unter die Kugel gelegt wurde, sodass sie bei der Messung in einem senkrechten Winkel auf die Probenoberfläche trifft, wird der Kugelresilienztester eingeschaltet. Nach einer kurzen Systemüberprüfung zeigt das Gerät die eingestellten Daten für die nächste Messung an (Testnummer, Uhrzeit, Datum, Gewicht der Kugel). Mit Drücken des Messknopfes geht das Gerät in den Messmodus über und ist bereit für die Messung. Dies wird am Bildschirm durch die Anzeige „armed“ angezeigt. Nun wird der Auslöser des Elektromagneten betätigt und die Kugel fällt auf die Probe und misst Beschleunigung und Verzögerung. Bei erneutem Betätigen des Messknopfes werden alle Messwerte auf dem Bildschirm angezeigt. Das Gerät ist in Abb. 1 gezeigt.

Abb 1: Beschreibung und Messaufbau des Kugelresilienztesters



## Kugelresilienztester-Messaufbau

- a: Elektromagnet mit Auslöser
- b: Auslöseknopf
- c: Halterung für fixierte Höheneinstellung
- d: Kugel mit Messsensoren
- e: Führungsarm
- f: Standfuß
- g: Auslesegerät mit Speicherkarte
- h: Messknopf
- i: Ein-/Ausschalteknopf

Definition der Messparameter:

**Elastizitätsmodul  $E^*$ :** Das Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der bei linear-elastischen Verhalten den proportionalen Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers beschreibt (<https://de.wikipedia.org/wiki/Elastizitätsmodul>, 03.08.2021).

Formel:  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ ; Einheit: N/m<sup>2</sup>

E= Elastizitätsmodul  
 $\sigma$ = mechanische Spannung  
 $\epsilon$ = Dehnung

Je höher das Elastizitätsmodul, desto „steifer“ das Material.

**Federkonstante k:** Die Federkonstante gibt das Verhältnis der auf eine Feder wirkenden Kraft zur dadurch bewirkten Auslenkung der Feder an. Die Federkonstante hängt sowohl von Material und Form der Feder als auch von der Belastungsrichtung ab (<https://de.wikipedia.org/wiki/Federkonstante>, 03.08.2021).

Formel:  $k = \frac{F}{\Delta L}$  ; Einheit: N/m

k= Federkonstante  
F= Kraft  
 $\Delta L$ = Längenänderung

**Energierückgewinnung ER:** Die Energierückgewinnung gibt an, wie viel Energie nach einem Aufprall zur Verfügung steht, mit welcher das auftreffende Objekt zurück in Ausgangsrichtung befördert wird. Sie wird in Prozent (%) angegeben (Thaler 2018).

**Eindringtiefe D:** Die Eindringtiefe wird verwendet als Maßbezeichnung für das Vermögen eines Gegenstandes, von Substanzen oder von Wellen, in einen Gegenstand oder eine Materie einzudringen, oder als Eigenschaft des Gegenstandes, einem Eindringen Widerstand entgegenzusetzen (<https://de.wikipedia.org/wiki/Eindringtiefe>, 03.08.2021).

Einheit: Millimeter (mm)

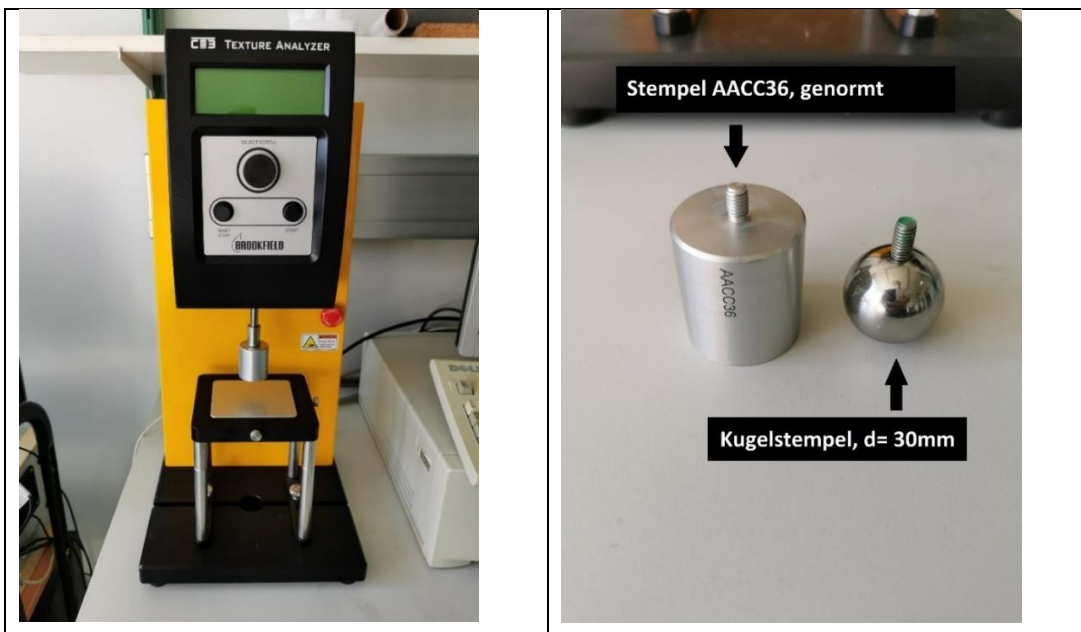
**Resonanzfrequenz fn:** Stellt die Frequenz dar bei der die Amplitude einer erzwungenen Schwingung maximal wird. Je näher die Frequenz einer anregenden Kraft an der Resonanzfrequenz liegt, desto weniger Kraft wird benötigt, um eine Schwingung mit maximaler Amplitude auszulösen (<https://de.wikipedia.org/wiki/Resonanzfrequenz>, 11.08.2021). Die Frequenz der Eigenschwingung wird durch die Masse und die Federkonstante bestimmt.

Einheit: Hertz (Hz)

### 2.1.2 Beschreibung des Kompressionsverfahrens und der Texturprofilanalyse mit Hilfe des Brookfield CT3 Texture Analyzers

Der Brookfield CT3 Texture Analyzer (Brookfield Engineering, Middleboro, USA) ist ein Produktprüfgerät (Abb. 2), das mit einer Vielzahl an verschiedenen Testaufsätzen ausgestattet werden kann. Über einen beweglichen Probenstab, der mit einer Kraftmesszelle verbunden ist, können Zug- und Kompressionskräfte bis zu 500 N (die Firma gibt hier 50 kg an, was physikalisch inkorrekt, aber bei der Festigkeitsprüfung von Lebensmitteln verbreitet ist) im Zeitverlauf gemessen werden. Am Probenstab selbst lassen sich unterschiedlichste Aufsätze für die Beprobung befestigen. Durch die Vielfalt an einsetzbaren Messmöglichkeiten und zahlreichen berechneten Messparametern ist eine Steuerung über ein Computerprogramm nötig. Über das Programm lässt sich eine Vielzahl an Einstellungen für die Messmethoden wählen. Ebenso hat man bei der Auswertung der berechneten Ergebnisse eine Fülle an möglichen Parametern zur Auswahl. Die bei den Versuchen gewählten Geräte-Einstellungen sind in Tab. 1 und 2 zusammengefasst. Abb. 3 zeigt die Maske zur Auswahl der errechneten Kennwerte und in Tab. 3 sind die in dieser Arbeit verwendeten Kennwerte angegeben. Der CT3 Texture Analyzer arbeitet in der Werkeinstellung mit der Masseneinheit Gramm (g), anstatt mit der üblicherweise verwendeten korrekten Einheit der Kraft (Newton, N), deshalb beziehen sich alle verwendeten Kennwerte auf Gramm (was aber eine bei der Texturprüfung übliche Gepflogenheit darstellt).

Abb 2: CT3 Brookfield Texture Analyzer und verwendete Stempel



Tab. 1: Einstellungen für das Kompressionsverfahren

|                           |                                                                                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Probenidentifikation      | Jeweilige Probenbezeichnung (siehe Tab. 5,6,7)                                      |
| Probendimension           | Jeweilige Probenaufarbeitung (siehe Tab. 5,6,7)                                     |
| Messmethode               | Kompression                                                                         |
| Messeinheit mit Zielwert  | Deformation mit 50 % Deformation                                                    |
| Messstart bei Triggerwert | 10 g (ca. 0,1 N)                                                                    |
| Messgeschwindigkeit       | 2,00 mm/s                                                                           |
| Messkörper                | TA 43 für Kompression mit Kugelstempel<br>AACC36 für Kompression mit AACC36 Stempel |

## Erläuterungen zu ausgewählten Einstellungen:

- 50 % Deformation: Für die verwendeten Produkte, war dies die maximal verwendbare Deformation, bei der bei einer einmaligen Kompression, die Produkte makroskopisch nicht zerstört wurden. Wurden mehrere Kompressionen durchgeführt so kam es zum Bruch einiger Produkte, ebenso wie bei stärkeren Deformationseinstellungen über 50 %.
- Messstart bei Triggerwert 10 g (ca. 0,1 N): Der verwendete CT3 Texture Analyzer von Brookfield weist eine ungefähre Messgenauigkeit von +/- 5 g auf. Aufgrund dessen und der Empfehlung durch den Hersteller wurde der Triggerwert auf 10 g eingestellt.
- Geschwindigkeit 2,00 mm/s: Diese Geschwindigkeit wurde gewählt, um der Kaugeschwindigkeit möglichst nahe zu kommen.
- Messkörper TA 43: Für die Durchführung einer Messung muss am Gerät ein Probenstempel eingestellt werden. Dieser TA-43-Messkörper stellt eine von der Firma Brookfield erwerbbar Nylonkugel mit einem Durchmesser von 25 mm dar. Von allen für die Testung auswählbaren Stempeln kam sie dem selbstgebaute Kugelstempel (30 mm Durchmesser) am nächsten.

Tab. 2: Einstellungen für die Texturprofilanalyse

|                                   |                                                      |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Probenidentifikation              | Jeweilige Probenbezeichnung<br>(siehe Tab. 5,6,7)    |
| Probendimension                   | Jeweilige Probenaufarbeitung<br>(siehe Tab. 5,6,7)   |
| Messmethode                       | TPA ( <u>T</u> extur <u>p</u> rofil <u>a</u> nalyse) |
| Messeinheit mit Zielwert          | Deformation mit 5 % oder 10 % Deformation            |
| Messstart bei Triggerwert         | 10 g (ca. 0,1 N)                                     |
| Messgeschwindigkeit               | 0,50 mm/s                                            |
| Messkörper                        | genormter AACC36 Stempel                             |
| Zyklen-Anzahl                     | 2 Zyklen                                             |
| Erholungszeit zwischen den Zyklen | 5 s                                                  |

Erläuterungen zu ausgewählten Einstellungen:

- 5 % oder 10 % Deformation: Um die Produkte durch die zweimalige Kompression der Texturprofilanalyse nicht zu beschädigen, musste eine Deformation niedriger als 50% gewählt werden. Die Wahl fiel auf 5% bzw. 10%, da dies einer ungefähren Deformation aus den Tests mit dem Kugelresilienztester entspricht.
- Messstart bei Triggerwert 10 g: Der verwendete CT3 Texture Analyzer von Brookfield weist eine ungefähre Messgenauigkeit von +/- 5 g auf. Aufgrund dessen und der Empfehlung durch den Hersteller wurde der Triggerwert auf 10 g eingestellt.
- Messgeschwindigkeit 0,50 mm/s: Diese Geschwindigkeit wurde automatisch vom System gewählt, um alle verfügbaren Ergebnisparameter ausrechnen zu können.
- 2 Zyklen: Dies entspricht der Anzahl der im Institut üblicherweise verwendeten Texturprofilanalyse-Zyklen
- 5 Sekunden (s) Erholungszeit: Dies entspricht der üblicher Weise verwendeten Erholungszeit am Institut für Texturprofilanalysen.

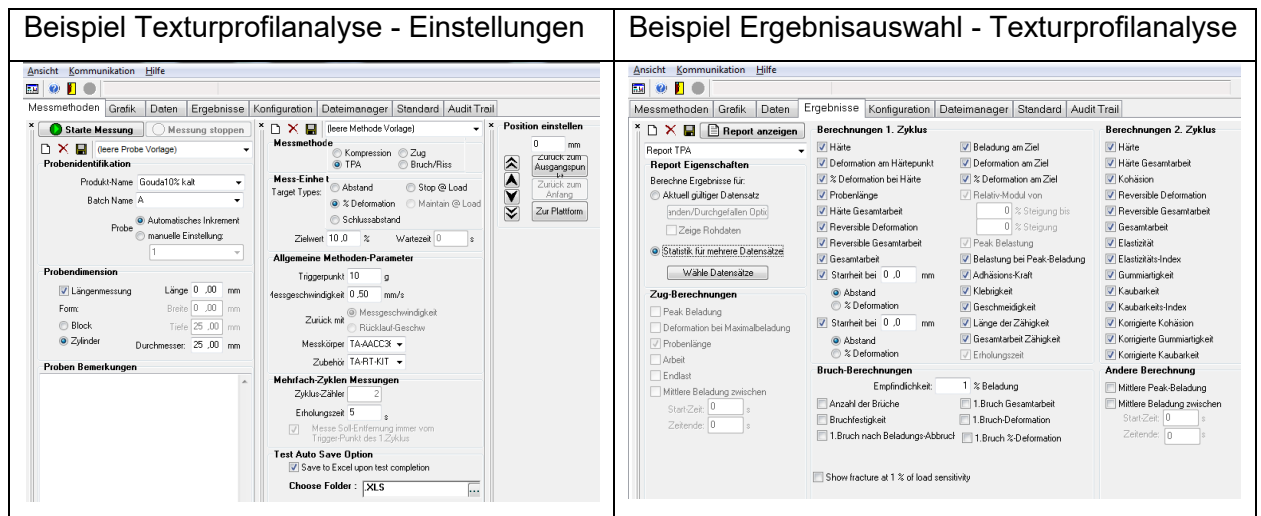


Tab. 3: Ausgewählte Ergebnisparameter

| Ergebnis Berechnung für         | Kompressionstest | Texturprofilanalyse |
|---------------------------------|------------------|---------------------|
| Härte 1.Zyklus                  |                  | x                   |
| Deformation am Härtepunkt       |                  | x                   |
| % Deformation bei Härte         |                  | x                   |
| Probenlänge                     |                  | x                   |
| Härte Gesamtarbeit 1.Zyklus     | x                | x                   |
| Reversible Deformation 1.Zyklus | x                | x                   |
| Reversible Arbeit Zyklus 1      | x                | x                   |
| Gesamtarbeit 1.Zyklus           | x                | x                   |
| Rigidität 1                     | x                | x                   |
| Rigidität 2                     | x                | x                   |
| Beladung am Ziel                | x                | x                   |
| Deformation am Ziel             | x                | x                   |
| % Deformation am Ziel           |                  | x                   |
| Relativ Modul                   |                  | x                   |
| Peak Beladung                   |                  | x                   |
| Belastung bei Peak Beladung     |                  | x                   |
| Adhäsions-Kraft                 | x                | x                   |
| Klebrigkeit                     | x                | x                   |
| Geschmeidigkeit                 | x                | x                   |
| Länge der Zähigkeit             | x                | x                   |
| Gesamtarbeit Zähigkeit          | x                | x                   |
| Härte 2.Zyklus                  |                  | x                   |
| Härte Gesamtarbeit 2.Zyklus     |                  | x                   |
| Kohäsion                        | x                | x                   |
| Reversible Deformation 2.Zyklus |                  | x                   |
| Reversible Arbeit 2             |                  | x                   |
| Gesamtarbeit 2.Zyklus           |                  | x                   |
| Elastizität                     | x                | x                   |
| Elastizitäts-Index              | x                | x                   |
| Gummiartigkeit                  |                  | x                   |
| Kaubarkeit                      |                  | x                   |
| Kaubarkeits-Index               |                  | x                   |
| Korrigierte Kohäsion            | x                | x                   |
| Korrigierte Gummiartigkeit      |                  | x                   |
| Korrigierte Kaubarkeit          |                  | x                   |

Es wurden für die jeweilige Messmethode alle möglichen Ergebnisparameter ausgewählt.

Abb 3: Beispiele für das Programminterface der Einstellungen und Ergebnisauswahl



Die in der Software der Fa. Brookfield verwendeten Begriffe sind nachfolgend angeführt (laut Brookfield Engineering, Middleboro, USA). In Tab. 4 sind Kurzfassungen dieser Definitionen zusammengefasst; in Abb. 4 werden ausgewählte Kennwerte in den bei Kompression oder Texturprofilanalyse erhaltenen Kraft-Weg-Diagrammen visualisiert.

### Härte:

- *Sensorische Definition: Maximale Kraft, die für das Zerkleinern von Nahrungsmitteln mit den Backenzähnen benötigt wird.*
- *Mathematische Definition: Maximaler Belastungswert des Kompressionszyklus (bei Texturprofilanalyse oder Kompressionstest).*

### Härte Gesamtarbeit:

- *Sensorische Definition: Arbeit, die zum Überwinden der internen Bindungskräfte in einem Nahrungsmittel benötigt wird.*
- *Mathematische Definition: Bereich unter der Kurve „Belastung vs. Entfernung“ ab dem Zyklusbeginn bis zum Zielwert (bei nichtzerstörenden Tests).*

**Reversible Deformation:**

- *Sensorische Definition: Höhe, die das Nahrungsmittel wieder erreicht, nachdem die komprimierende Kraft entfernt wurde.*
- *Mathematische Definition: Distanz vom Ziel (Belastung oder Entfernung) bis zur Belastung null.*

**Reversible Arbeit:**

- *Sensorische Definition: Arbeit, die vom Nahrungsmittel gegen die komprimierende Kraft geleistet wird, wenn diese entfernt wird.*
- *Mathematische Definition: Bereich unter der Kurve „Belastung vs. Distanz“, ab dem Ziel (Belastung oder Entfernung) bis zur Belastung null.*

**Gesamtarbeit:**

- *Mathematische Definition: Härte Gesamtarbeit + Reversible Gesamtarbeit*

**Länge der Zähigkeit:**

- *Sensorische Definition: Die Distanz, um die sich ein Nahrungsmittel ausweitet, wenn es von der Kontaktfläche (z.B. Zähne, Gaumen) weggezogen wird.*
- *Mathematische Definition: Distanz ab der Belastung null von Zyklus 1 bis zu Adhäsions-Kraft.*

**Elastizität:**

- *Sensorische Definition: Höhe, die das Nahrungsmittel zwischen dem ersten und dem zweiten Bissen wiederherstellt.*
- *Mathematische Definition: Distanz von der Zielverformung von Zyklus 1 zum Auslösepunkt von Zyklus 2.*

**Gummiartigkeit:**

- *Sensorische Definition: Gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um halbfeste Nahrungsmittel so zu zerkleinern, dass sie geschluckt werden können. Bezieht sich auf Nahrungsmittel mit geringeren Härtegraden.*
- *Mathematische Definition: Härte\*Kohäsion*

**Kaubarkeit:**

- *Sensorische Definition: Gibt die Energie an, die benötigt wird, um ein festes Nahrungsmittelerzeugnis so zu zerkauen, dass es geschluckt werden kann.*
- *Mathematische Definition: Härte\*Kohäsion\*Elastizität*

**Kohäsion:**

- *Sensorische Definition: Gibt die Stärke der internen Bindungen an, die die Masse des Nahrungsmittels bilden.*
- *Mathematische Definition:  $\frac{\text{Härte Gesamtarbeit Zyklus 2}}{\text{Erledigte Arbeit bzgl. Härte Zyklus 1}}$*

Abb 4: Schematischer Kraft-Abstand-Beispielgraph für den 1. Zyklus einer Texturprofilanalyse

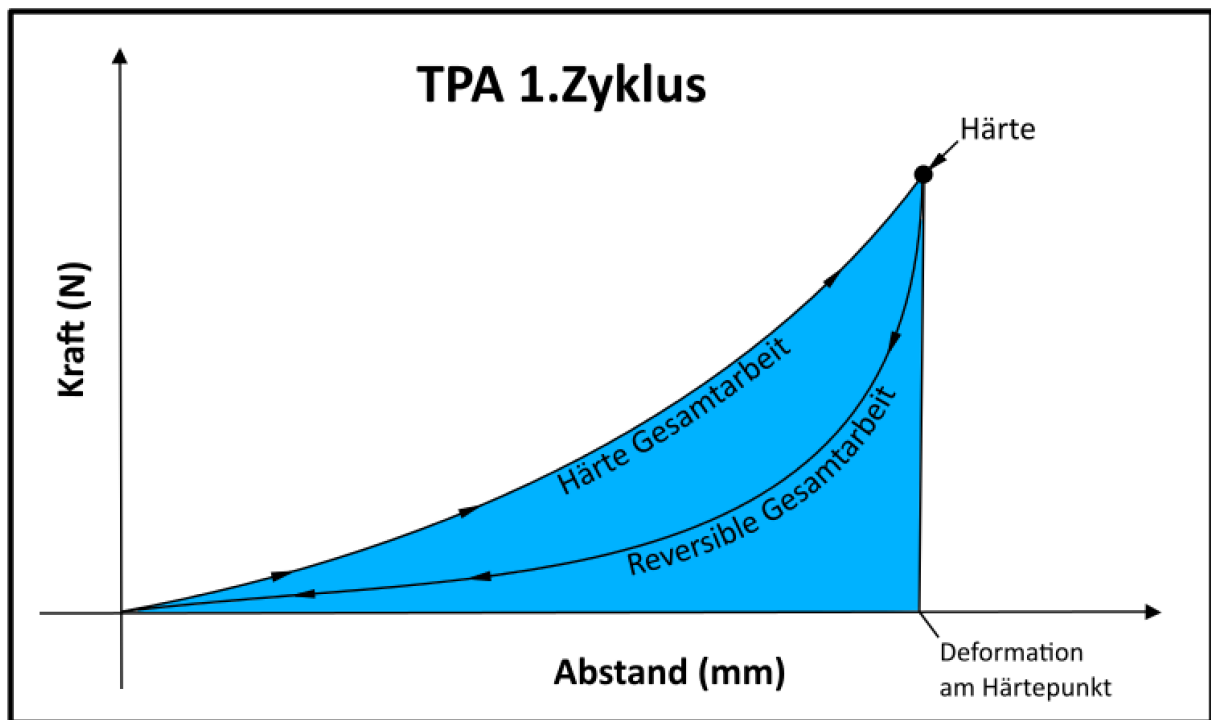
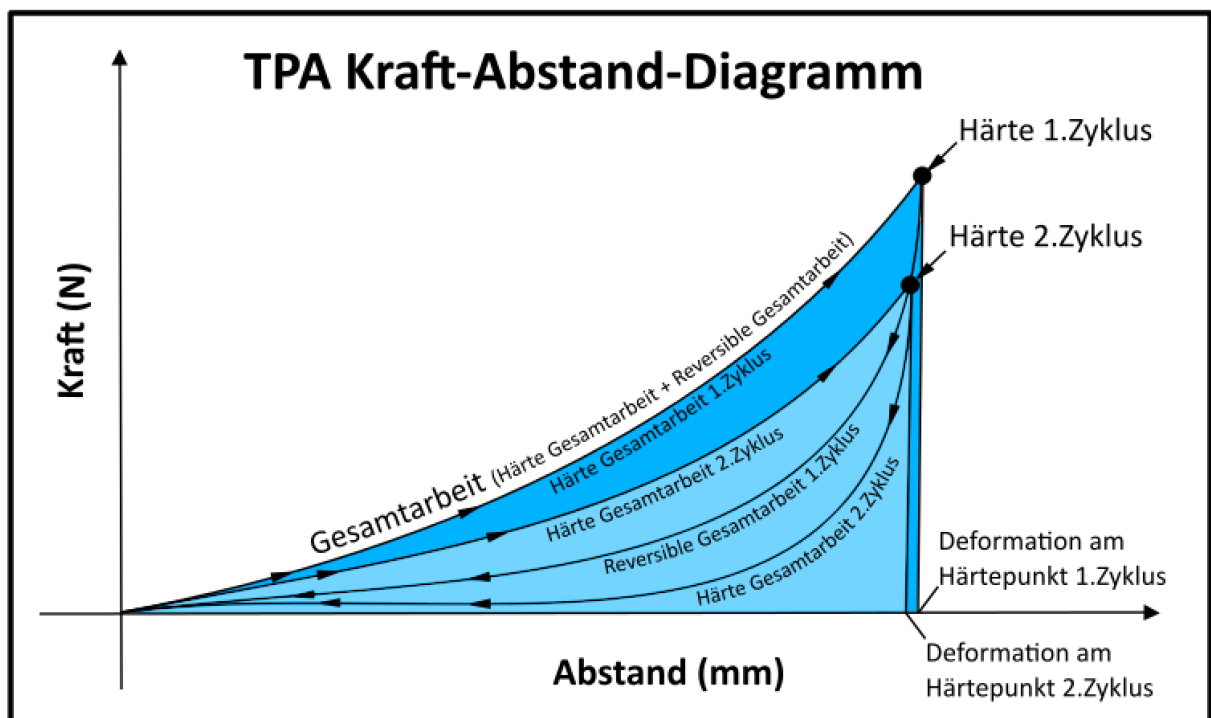


Abb 5: Schematischer Beispielgraph für die Darstellung zweier Texturprofilanalysezyklen



Tab. 4: Definition der Ergebnisparameter in Kurzform

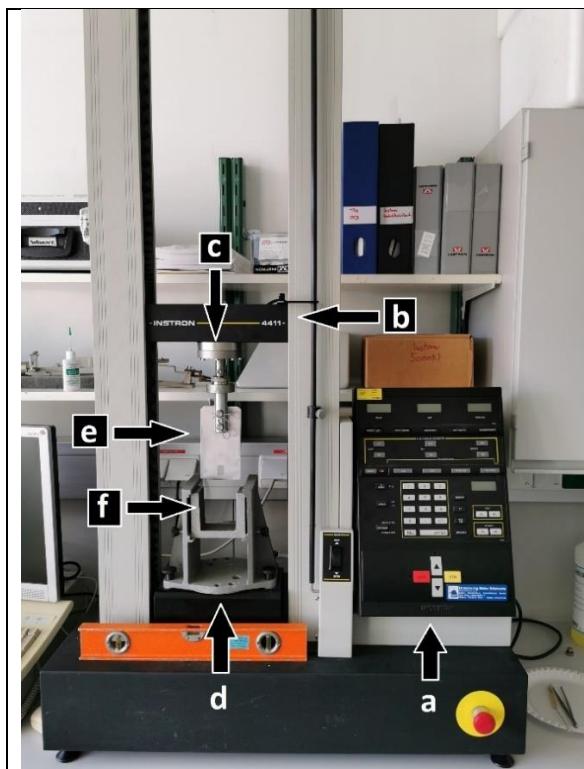
| Parameter                        | Mathematische Kurzdefinition                                                                                                                                |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Härte                            | max. Belastungswert                                                                                                                                         |
| Deformation am Härtepunkt        | Distanzwert bei Härtepunkt                                                                                                                                  |
| % Deformation bei Härte          | Verformung bei Härte/Probenlänge x 100%                                                                                                                     |
| Härte Gesamtarbeit               | Bereich unter der Kurve von Zyklusbeginn bis Zielwert                                                                                                       |
| Reversible Deformation           | Distanz vom Zielwert bis zur Belastung null                                                                                                                 |
| Reversible Arbeit                | Bereich unter der Kurve vom Ziel bis zur Belastung null                                                                                                     |
| Gesamtarbeit                     | Härte Gesamtarbeit + Reversible Arbeit                                                                                                                      |
| Rigidität (Starrheit, Steifheit) | Kraft bei einer bestimmten Distanz (bzw. % Kompression) im Kraft-Weg Diagramm                                                                               |
| Beladung am Ziel                 | Belastungswert bei Ziel<br>(entspricht je nach Einstellung der Härte)                                                                                       |
| Deformation am Ziel              | Distanzwert bei Ziel (entspricht je nach Einstellung der Deformation am Härtepunkt)                                                                         |
| % Deformation am Ziel            | Verformung bei Ziel/Probenlänge x 100% (entspricht je nach Einstellung der %Deformation bei Härte)                                                          |
| Relativ Modul                    | Die Neigung eines linearen Teils der Kurve während der 1.Kompression (innerhalb gegebener Beschränkungen)                                                   |
| Peak Beladung                    | Druck beim Härtepunkt der 1.Kompression                                                                                                                     |
| Belastung bei Peak Beladung      | Spannung des Härtepunktes bei 1.Kompression                                                                                                                 |
| Adhäsions-Kraft                  | max. negative Kraft des 1.Kompressionszyklus                                                                                                                |
| Klebrigkeit                      | Bereich unter der Kurve vom Nullpunkt am Ende des 1.Zyklus bis zum Endpunkt der Messung                                                                     |
| Geschmeidigkeit                  | Reversible Gesamtarbeit/Härte Gesamtarbeit<br>(Wertevergabe zwischen 0-1)                                                                                   |
| Länge der Zähigkeit              | Distanz ab Nullbelastung 1.Zyklus bis zu Adhäsions-Kraft                                                                                                    |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | Bereich unter der Kurve von Nullbelastung 1.Zyklus bis Adhäsions-Kraft                                                                                      |
| Kohäsion                         | Härte Gesamtarbeit 2.Zyklus/Härte Gesamtarbeit 1.Zyklus                                                                                                     |
| Elastizität                      | Distanz von Zielverformung 1.Zyklus bis Auslösepunkt 2.Zyklus                                                                                               |
| Elastizitäts-Index               | Elastizität/Distanz bei Ziel (Wertevergabe zwischen 0-1)                                                                                                    |
| Gummiartigkeit                   | Härte x Kohäsion                                                                                                                                            |
| Kaubarkeit                       | Härte x Kohäsion x Elastizität                                                                                                                              |
| Kaubarkeits-Index                | Härte x Festigkeit x Elastizitätsindex                                                                                                                      |
| Korrigierte Kohäsion             | $\frac{\text{Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus} - \text{Reversible Arbeit 2. Zyklus}}{\text{Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus} - \text{Reversible Arbeit 1. Zyklus}}$ |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | Härte x korrigierte Kohäsion                                                                                                                                |
| Korrigierte Kaubarkeit           | Härte x Korrigierte Kohäsion x Elastizität                                                                                                                  |

### **2.1.3 Beschreibung der Scherkraft- und Bruchkraftmessung durch das Instron-Materialprüfgerät**

Das für die Scher- und Bruchkraftmessung verwendete Gerät ist ein Instron Modell 4411 (Instron, Norwood, USA). Es bietet einen universalen Testrahmenaufbau an, mit dem sich verschiedene Zug- und Druckkraftversuche durchführen lassen (Abb. 6). Durch den universalen Aufbau ist es möglich die verschiedensten Testaufsätze am Gerät zu befestigen. Hierbei befindet sich eine Befestigungsmöglichkeit an einer beweglichen waagrechten Traverse, die gleichzeitig eine austauschbare Kraftmesszelle beinhaltet. Eine weitere Befestigungsmöglichkeit befindet sich am Probentisch, der das starre Gegenstück zur beweglichen Traverse darstellt. Über ein Bedienmodul am Gerät lassen sich multiple Testversuche, Einheiten, Testlaufgeschwindigkeiten und Grenzwerte für Kraft, Weg, Dehnung einstellen, sowie das Gerät kalibrieren. Ebenso lassen sich auch die von der Kraftmessdose ermittelten Werte (maximale Kraft und Bruchkraft) vom Bedienmodul ablesen.

Für die durchgeführten Scher- und Bruchkraftmessungen wurde eine Warner-Bratzler-Scherzelle (rechteckige Öffnung zur Aufnahme von Proben mit quadratischem Querschnitt 1 cm x 1 cm; Abb. 7) in das Gerät eingebaut und die Versuchseinstellungen nach Honikel (1998) vorgenommen. Beim Versuchsablauf wurden die Proben (Prismen mit 1 cm x 1 cm Querschnitt) durch das rechteckige Fenster des Scherblattes geschoben und die Messung gestartet. Woraufhin sich das Scherblatt langsam gegen die Probe bewegt und diese durchtrennt, während die eingebaute Messzelle die entstehenden Kräfte misst und am Bedienmodul anzeigt. Das Scherblatt wurde mit 1 mm/s gefahren. Als eingebaute Kraftmesszelle wurde eine 500 N Messzelle verwendet (Instron 2530; Linearität und Wiederholbarkeit jeweils  $\pm 0,25$  N im Bereich 1–500 N).

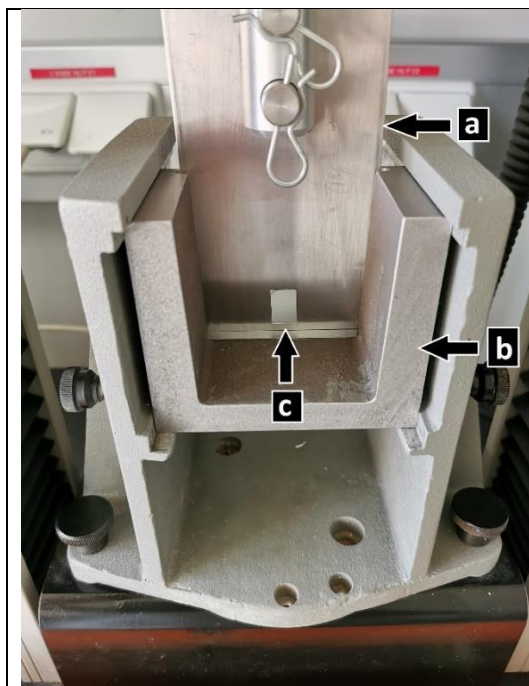
Abb 6: Versuchsaufbau Instron - für die Scher- und Bruchkraftmessung



## Instron – Materialprüfanlage

- a: Bedienmodul
- b: waagrechte bewegliche Transverse
- c: Messzelle (500 N)
- d: Probentisch
- e: Warner-Bratzler-Scherblatt
- f: Aufnahmetisch für Scherblatt

Abb 7: Warner-Bratzler-Scherzelle



## Warner-Bratzler-Scherzelle

- a: Scherblatt
- b: Aufnahmetisch für Scherblatt
- c: rechteckiges Probenfenster



## **2.2 Beschreibung der Proben**

Die Produkte für die Beprobung wurden anhand verschiedener Merkmale ausgewählt. Sie sollten in ihrer Konsistenz möglichst homogen sein und dabei groß genug, um sie ohne Probleme mit den verschiedenen Geräten beproben zu können. Darüber hinaus sollten die Proben sofort verzehrfertig sein und sich nicht auf eine einzige Produktgruppe beschränken. Um zudem die Möglichkeit zu haben, verschiedene Stufen der Festigkeit zu testen, wurden weichere und härtere Produkte ausgewählt. Soweit möglich, wurde versucht, je Produkt nur Packungen aus derselben Charge zu benutzen. Die Proben sind in Tab. 5–7 näher beschrieben.

Für die Aufarbeitung zur Beprobung wurden die Produkte in festgelegte Größen zerkleinert. Scheiben bzw. Blöcke mit 20 mm oder 25 mm Dicke und Stangen mit rechteckigem Querschnitt (1 cm x 1 cm), sowie Zylinder von 25 mm Durchmesser und 25 mm Höhe.

#### Erläuterung zur Probengeometrie:

- Proben für Schertest: Hier wurden ausschließlich Stangen (Prismen) mit einem Querschnitt von 1 cm x 1 cm benutzt. Dies ist die vorgegebene Größe für das verwendete Warner-Bratzler-Scherblatt.
- Proben für Kugelresilienztester: Hierfür wurden Blöcke oder Scheiben mit einer Schichtdicke von 20 mm (im ersten Probendurchgang mit verschiedenen Produktgruppen) oder 25 mm (im zweiten Probendurchgang mit verschiedenen Käsen) verwendet. Bei diesen Proben wurde darauf geachtet, dass sie mindestens eine Dicke von 20 mm besitzen, um zu vermeiden, dass der Untergrund, auf dem die Probe liegt, einen Einfluss auf das Messergebnis hat. Im zweiten Durchgang wurde die Schichtdicke auf 25 mm erhöht, um einen größeren Puffer zum Untergrund zu haben.
- Proben für die Kompression: Beim Kompressionstest wurden, ähnlich dem Kugelresilienztester, Blöcke oder Scheiben mit einer Schichtdicke von 20 mm verwendet, um eine vergleichbare Probengeometrie zu verwenden.
- Proben für Texturprofilanalyse: Hierfür wurden Zylinder mit einer Schichtdicke von 25 mm verwendet. Dies ist die gleiche Schichtdicke, mit der die zu vergleichenden Proben des Kugelresilienztesters beprobt wurden. Die Zylinder hatten einen Durchmesser von 25 mm, da es für die Texturprofilanalyse nötig ist, dass die Proben eine geringere Größe als der verwendete Probenstempel (Stempel-AACC36 mit 36 mm Durchmesser) aufweisen.

Tab. 5: Beprobte Fleischprodukte

|                                                                                     |                                                                                                                                         |                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Bergwurst<br><br>Wiesentaler<br>350 g<br>1<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>8140760010                            |
|   | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Dauerwurst<br>Würtherseer Dauerwurst<br>Tann<br>500 g<br>1<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>L211214487            |
|  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Dürre<br>Dürre Klassik<br>Wiesentaler<br>400 g<br>1<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>CH12056                      |
|  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Extrawurst<br><br>Holzbauer<br>Je Packung 1000 g<br>2<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>L2112518622<br>L2112518622 |

|                                                                                     |                                                                                                                                         |                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Kantwurst<br>Kantwurst scharf<br>Wiesentaler<br>450 g<br>1<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>4056489054825 |
|    | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Leberkäse<br><br>S-budget<br>500 g<br>1<br>20 mm Blöcke &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>6112431141                         |
|   | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Salami<br>Salame Milano<br>Salumeria Giovanni<br>500 g<br>1<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>120          |
|  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Speck<br>Karreespeck<br>Wiesentaler<br>400 g<br>1<br>20 mm Blöcke &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>8140670010               |
|  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Wiener<br>Wiener aus Österreich<br>S-budget<br>500 g<br>1<br>20 mm Scheiben &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>L2112012952    |

Tab. 6: Beprobte Milchprodukte

|                                                                                     |  |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Bergkäse<br>Österreichischer Bergkäse<br>S-budget<br>350 g<br>1<br>20 mm Blöcke &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>12847                                                                            |
|   |  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Butterkäse<br>Bio-Butterkäse<br>Spar Natur<br>Je Packung 350 g<br>3<br>25 mm Scheiben, Zylinder &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>81161<br>81161<br>82174                                          |
|  |  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Edamer<br><br>Schärdinger<br>1000 g<br>1<br>25 mm Scheiben, Zylinder &<br>1 cm x 1 cm Prismen<br>S114560                                                                                     |
|  |  | Proben-Bezeichnung:<br>Produktname:<br>Hersteller:<br>Masse:<br>Anzahl-Produktpackungen:<br>Probenaufarbeitung:<br><br>Los/Chargen-Nr.: | Gouda<br>Österreichischer Gouda<br>S-budget<br>Je Packung 450 g<br>5<br>20 mm Blöcke,<br>25 mm Scheiben & Zylinder<br>& 1 cm x 1 cm Prismen<br>113161 / 113860 / 113860 /<br>115560 / 115560 |

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Proben-Bezeichnung:<br/>         Produktname:<br/>         Hersteller:<br/>         Masse:<br/>         Anzahl-Produktpackungen:<br/>         Probenaufarbeitung:<br/>         Los/Chargen-Nr.:</p> | <p>Hirtenkäse<br/>         S-budget<br/>         1000 g<br/>         1<br/>         20 mm Scheiben &amp;<br/>         1 cm x 1 cm Prismen<br/>         B10416</p>                                                                                                                  |
|    | <p>Proben-Bezeichnung:<br/>         Produktname:<br/>         Hersteller:<br/>         Masse:<br/>         Anzahl-Produktpackungen:<br/>         Probenaufarbeitung:<br/>         Los/Chargen-Nr.:</p> | <p>Kashkaval<br/>         Milbona<br/>         750 g<br/>         1<br/>         25 mm Scheiben, Zylinder &amp;<br/>         1 cm x 1 cm Prismen<br/>         2115305</p>                                                                                                          |
|   | <p>Proben-Bezeichnung:<br/>         Produktname:<br/>         Hersteller:<br/>         Masse:<br/>         Anzahl-Produktpackungen:<br/>         Probenaufarbeitung:<br/>         Los/Chargen-Nr.:</p> | <p>Mondseer<br/>         Alpenguat<br/>         500 g<br/>         1<br/>         25 mm Scheiben, Zylinder &amp;<br/>         1 cm x 1 cm Prismen<br/>         115900130</p>                                                                                                       |
|  | <p>Proben-Bezeichnung:<br/>         Produktname:<br/>         Hersteller:<br/>         Masse:<br/>         Anzahl-Produktpackungen:<br/>         Probenaufarbeitung:<br/>         Los/Chargen-Nr.:</p> | <p>Mozzarella<br/>         Mozzarella Maxi<br/>         Galbani<br/>         Je Packung 200 g<br/>         5<br/>         20 mm Scheiben &amp;<br/>         1 cm x 1 cm Prismen<br/>         L211173ME / L211173MB/<br/>         L211173MB / L211173MB/<br/>         L211170MB</p> |



Tab. 7: Beprobte Obstsorten

|                                                                                    |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>Proben-Bezeichnung:</p> <p>Produktname:</p> <p>Hersteller:</p> <p>Masse:</p> <p>Anzahl-Produktpackungen:</p> <p>Probenaufarbeitung:</p> <p>Los/Chargen-Nr.:</p> | <p>Äpfel</p> <p>S-budget</p> <p>2000 g</p> <p>1</p> <p>20 mm Scheiben &amp;<br/>1 cm x 1 cm Prismen</p> <p>L-2706</p>                        |
|  | <p>Proben-Bezeichnung:</p> <p>Produktname:</p> <p>Hersteller:</p> <p>Masse:</p> <p>Anzahl-Produktpackungen:</p> <p>Probenaufarbeitung:</p> <p>Los/Chargen-Nr.:</p> | <p>Melone</p> <p>Cantaloupe Melone</p> <p>Spar Premium</p> <p>-</p> <p>1</p> <p>20 mm Blöcke &amp;<br/>1 cm x 1 cm Prismen</p> <p>L-2704</p> |

## 2.3 Durchgeführte Versuche

### 2.3.1 Vergleich des Kugelresilienztesters mit dem Kompressionsverfahren und der Scherkraftmessung

Die folgende Tabelle 8 soll einen Überblick verschaffen, welche der Tests an welchen Produkten durchgeführt wurden.

Tab. 8: Übersicht für die an den verschiedenen Produkten durchgeführten Tests (1.Probendurchlauf)

| Produkt           | KRT-10cm | KRT-5cm | K-KS | K-AACC36 | Scherkraftmessung |
|-------------------|----------|---------|------|----------|-------------------|
| Bergwurst         | x        | x       | x    | x        | x                 |
| Dauerwurst        | x        |         | x    | x        | x                 |
| Dürre             | x        | x       | x    | x        | x                 |
| Extrawurst 1      | x        |         | x    | x        | x                 |
| Extrawurst 2      | x        | x       | x    | x        |                   |
| Kantwurst         | x        | x       | x    | x        | x                 |
| Leberkäse         | x        | x       | x    | x        | x                 |
| Salami            | x        |         | x    | x        | x                 |
| Speck             | x        | x       | x    | x        | x                 |
| Wiener            | x        |         | x    | x        | x                 |
| Bergkäse          | x        |         | x    | x        | x                 |
| Gouda 1           | x        |         | x    | x        | x                 |
| Gouda 2 & 3       | x        | x       | x    | x        |                   |
| Hirtenkäse        | x        |         | x    | x        | x                 |
| Mozzarella 1,2 &3 | x        |         | x    | x        | x                 |
| Mozzarella 4 & 5  | x        | x       | x    | x        |                   |
| Äpfel             | x        | x       | x    | x        | x                 |
| Melone            | x        | x       | x    | x        | x                 |

KRT: Kugelresilienztester

K-KS: Kompressionstest mit Kugelstempel

K-AACC36: Kompression mit AACC36 Stempel



Modalitäten für die unterschiedlichen Tests:

KRT-10 cm: Hierbei handelt es sich um die Beprobung durch den Kugelresilienztester bei einer fest eingestellten Fallhöhe von 10 cm. Hierfür wurden 20 mm dicke Probenscheiben/-blöcke benutzt.

KRT-5 cm: Hierbei handelt es sich um die Beprobung durch den Kugelresilienztester bei einer fest eingestellten Fallhöhe von 5 cm. Hierfür wurden 20 mm dicke Probenscheiben/-blöcke benutzt.

K-KS: Hierbei handelt es sich um den Kompressionstest. Dieser wurde mit einem kugelförmigen Stempel durchgeführt, der die gleichen Maße aufweist, wie die Kugel des Kugelresilienztesters. Hierfür wurden 20 mm dicke Probenscheiben/-blöcke benutzt. Bei den Einstellungen wurde eine Deformation von 50 % als Ziel festgelegt, sowie eine Messgeschwindigkeit von 2 mm/s.

K-AACC36: Hierbei handelt es sich um den Kompressionstest, Dieser wurde mit einem genormten Stempel nach AACC36 durchgeführt. Hierfür wurden 20 mm dicke Probenscheiben/-blöcke benutzt. Bei den Einstellungen wurde eine Deformation von 50 % als Ziel festgelegt, sowie eine Messgeschwindigkeit von 2 mm/s.

Scherkraftmessung: für die Scherkraftmessung wurde eine Warner-Bratzler-Scherzelle benutzt. Hierfür wurden Probenstangen (Prismen) mit einem 1 cm x 1 cm Querschnitt benutzt. Als Einstellung wurde eine Messgeschwindigkeit von 1 mm/s. verwendet und als Messziel die vollständige Durchtrennung.

### **2.3.2 Vergleich des Kugelresilienztesters mit der Texturprofilanalyse, der Scherkraft- und Bruchkraftmessung**

Alle Tests wurden bei gekühlten Temperaturen und bei Raumtemperatur beprobt, um einen möglichen Temperatureinfluss zu erkennen. Die Tabelle 9 soll einen Überblick verschaffen, welche der Tests an welchen Produkten durchgeführt wurden.

Modalitäten für die unterschiedlichen Tests:

KRT-5 cm: Hierbei handelt es sich um die Beprobung durch den Kugelresilienztester bei einer fixiert eingestellten Fallhöhe von 5 cm. Hierfür wurden 25 mm dicke Probenscheiben/-blöcke benutzt, die in gekühltem Zustand (5-10 °C) oder warmen Zustand (23-27 °C) beprobt wurden.

TPA-5 %: Hierbei handelt es sich um die Texturprofilanalyse. Diese wurde mit einem genormten Stempel nach AACC36 durchgeführt. Hierfür wurden 25 mm hohe Produktzylinder mit einem Durchmesser von 25 mm verwendet. Diese wurden in gekühltem Zustand (5-10 °C) oder warmen Zustand (23-27 °C) beprobt. Bei den Einstellungen wurde eine Deformation von 5 % als Ziel festgelegt, sowie eine Messgeschwindigkeit von 0,5 mm/s.

TPA-10 %: Hierbei handelt es sich um die Texturprofilanalyse. Diese wurde mit einem genormten Stempel nach AACC36 durchgeführt. Hierfür wurden 25 mm hohe Produktzylinder mit einem Durchmesser von 25 mm verwendet. Diese wurden in gekühltem Zustand (5-10 °C) oder warmen Zustand (23-27 °C) beprobt. Bei den Einstellungen wurde eine Deformation von 10% als Ziel festgelegt, sowie eine Messgeschwindigkeit von 0,5 mm/s.

SK: Hierbei handelt es sich um die Scherkraftmessung mit einer Warner-Bratzler-Scherzelle. Es wurden gekühlte (5-10 °C) oder warme (23-27 °C) Probenstangen (Prismen) mit einem 1 cm x 1 cm Querschnitt benutzt. Als Einstellung wurde eine Messgeschwindigkeit von 1 mm/s verwendet. Das Messziel war die maximale Kraft bei vollständiger Durchtrennung.

BK: Hierbei handelt es sich um die Bruchkraftmessung mit einer Warner-Bratzler-Scherzelle. Es wurden gekühlte (5-10 °C) oder warme (23-27 °C) Probenstangen (Prismen) mit einem 1 cm x 1 cm Querschnitt benutzt. Als Einstellung wurde eine Messgeschwindigkeit von 1 mm/s verwendet. Das Messziel war die Kraft, bei der das Produkt beginnt zu brechen und somit das Ende der elastischen Verformung darstellt.

Tab. 9: Übersicht für die an den verschiedenen Käsen durchgeführten Tests (2.Probendurchlauf)

| Produkt     | KRT-5cm | TPA-5% | TPA-10% | SK | BK |
|-------------|---------|--------|---------|----|----|
| Butterkäse  | x       | x      | x       | x  | x  |
| Edamer      | x       | x      | x       | x  | x  |
| Gouda 4 & 5 | x       | x      | x       | x  | x  |
| Kashkaval   | x       | x      | x       | x  | x  |
| Mondseer    | x       | x      | x       | x  | x  |

KRT-5cm: Kugelresilienztest mit 5cm Fallhöhe bei gekühlten und warmen Produkten

TPA-5%: Texturprofilanalyse mit 5% Deformation bei gekühlten und warmen Produkten

TPA-10%: Texturprofilanalyse mit 10% Deformation bei gekühlten und warmen Produkten

SK: Scherkraftmessung bei gekühlten und warmen Produkten

BK: Bruchkraftmessung bei gekühlten und warmen Produkten

### 2.3.3 Statistik

Für jedes Produkt und jedes Verfahren wurden Mehrfachmessungen vorgenommen. Die im Ergebnisteil dargestellten Werte sind Mittelwerte, ggf. um die Standardabweichung ergänzt. Beim Vergleich der Kennwerte des Kugelresilienztesters mit Scherkraft und Kompression wurde zuerst der Korrelationskoeffizient errechnet. Bei hohen und kausal erklärbaren Korrelationskoeffizienten wurde auch die Regressionsgerade errechnet und auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang mittels t-Test geprüft.

Beim Vergleich der Ergebnisse des Kugelresilienztesters mit jenen der Texturprofilanalyse und der Scherkraft- bzw. Bruchkraftbestimmung wurde die Ergebnisse zuerst in Ränge umcodiert und auf Übereinstimmung der Reihung geprüft. Kennwerte wurden auch als Mittelwert mit Vertrauensbereich grafisch dargestellt und visuell verglichen, ob sich die Vertrauensbereiche der Ergebnisse der Proben überlappen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Charakterisierung der verwendeten Proben

##### 3.1.1 Ergebnisbereiche für die in 2.3.1 verwendeten Proben

Die Ergebnisbereiche der verschiedenen Tests für die in Kapitel 2.3.1 verwendeten Proben sind in der Tab. 10 zusammengefasst. Es sind für jeden Test die minimal und maximal errechneten Mittelwerte aus der Gruppe aller beprobten Produkte aufgeführt. Die Mittelwerte der einzelnen Produkte wurden aus 5-15 Messungen berechnet.

Tab. 10: Wertebereiche für die mit den verschiedenen Verfahren aus 2.3.1 erhaltenen Kennzahlen

| Parameter                        | KRT-10cm |         | KRT-5cm |         | K-KS  |         | K-AACC36 |         | Scherkraft |       |
|----------------------------------|----------|---------|---------|---------|-------|---------|----------|---------|------------|-------|
|                                  | Min.     | Max.    | Min.    | Max.    | Min.  | Max.    | Min.     | Max.    | Min.       | Max.  |
| H, mm                            | 112,06   | 119,74  | 51,14   | 55,06   | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| v0, m/s                          | 1,48     | 1,53    | 1,00    | 1,04    | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| Gmax                             | 17,90    | 74,61   | 13,40   | 55,33   | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| E*, kPa                          | 83,99    | 2769,10 | 99,83   | 3514,80 | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| k, N/mm                          | 1,52     | 25,20   | 1,66    | 31,28   | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| ER, %                            | 2,29     | 27,28   | 5,72    | 35,87   | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| D, mm                            | 3,11     | 12,52   | 2,19    | 9,00    | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| fn, Hz                           | 21,95    | 93,36   | 21,35   | 87,18   | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| max. Kraft, N                    | -        | -       | -       | -       | -     | -       | -        | -       | 1,58       | 61,48 |
| Härte                            | -        | -       | -       | -       | 27,27 | 985,08  | 110,47   | 3284,90 | -          | -     |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | -        | -       | -       | -       | -     | -       | -        | -       | -          | -     |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -        | -       | -       | -       | 1,75  | 7,89    | 0,97     | 7,19    | -          | -     |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | -        | -       | -       | -       | 5,88  | 184,02  | 10,33    | 412,80  | -          | -     |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | -        | -       | -       | -       | 35,28 | 1043,58 | 124,77   | 3519,70 | -          | -     |
| Rigidität 1                      | -        | -       | -       | -       | 0     | 12573   | 0        | 26625   | -          | -     |
| Rigidität 2                      | -        | -       | -       | -       | 0,00  | 17,50   | 0,00     | 8,75    | -          | -     |
| Beladung am Ziel                 | -        | -       | -       | -       | 688   | 15390   | 2228     | 49963   | -          | -     |
| Deformation am Ziel              | -        | -       | -       | -       | 9,84  | 10,00   | 9,78     | 10,00   | -          | -     |
| Adhäsions-Kraft                  | -        | -       | -       | -       | 13,75 | 139,17  | 51,67    | 2148,33 | -          | -     |
| Klebrigkeit                      | -        | -       | -       | -       | 0,00  | 2,83    | 0,63     | 37,23   | -          | -     |
| Geschmeidigkeit                  | -        | -       | -       | -       | 0,06  | 0,51    | 0,03     | 0,39    | -          | -     |
| Länge der Zähigkeit              | -        | -       | -       | -       | 0,68  | 6,97    | 0,51     | 4,53    | -          | -     |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | -        | -       | -       | -       | -0,07 | 0,70    | 0,50     | 29,15   | -          | -     |
| Kohäsion                         | -        | -       | -       | -       | 0,11  | 0,78    | 0,08     | 0,78    | -          | -     |
| Elastizität                      | -        | -       | -       | -       | 5,09  | 9,89    | 6,38     | 10,93   | -          | -     |
| Elastizitäts-Index               | -        | -       | -       | -       | 0,51  | 0,94    | 0,64     | 0,97    | -          | -     |
| Korrigierte Kohäsion             | -        | -       | -       | -       | 0,09  | 0,73    | 0,07     | 0,76    | -          | -     |

### **3.1.2 Ergebnisbereiche für die in 2.3.2 verwendeten Proben**

Die Ergebnisbereiche der verschiedenen Tests für die in Kapitel 2.3.2. verwendeten Proben sind in der Tab. 11 bei gekühlten Temperaturen und in Tab. 12 bei Raumtemperatur zusammengefasst. Die zwei Temperaturbereiche werden getrennt voneinander behandelt, um einen Einfluss auf den Ergebnisbereich auszuschließen. Es sind für jeden Test die minimal und maximal errechneten Mittelwerte aus der Gruppe aller beprobten Produkte aufgeführt. Die Mittelwerte der einzelnen Produkte wurden aus 5-15 Messungen berechnet.

Tab. 11: Wertebereiche für die mit den verschiedenen Verfahren erhaltenen Kennzahlen aus 2.3.2 bei 5-10°C

| Parameter kalt                   | KRT-5cm |       | TPA-5% |        | TPA-10% |         | SK, N |      | BK, N |      |
|----------------------------------|---------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|------|-------|------|
|                                  | Min.    | Max.  | Min.   | Max.   | Min.    | Max.    | Min.  | Max. | Min.  | Max. |
| H, mm                            | 52,5    | 54,33 | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| v0, m/s                          | 1,02    | 1,03  | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| Gmax                             | 22,5    | 35,35 | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| E*, kPa                          | 424,    | 1396  | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| k, N/mm                          | 4,91    | 12,22 | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| ER, %                            | 16,0    | 20,33 | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| D, mm                            | 2,70    | 4,90  | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| fn, Hz                           | 39,3    | 62,07 | -      | -      | -       | -       | -     | -    | -     | -    |
| max. Kraft, N                    | -       | -     | -      | -      | -       | -       | 2,40  | 3,51 | 0,9   | 1,6  |
| Härte 1. Zyklus                  |         |       | 162,50 | 518,33 | 300,00  | 1050,83 |       |      |       |      |
| Deformation am Härtepunkt        |         |       | 1,20   | 1,33   | 2,40    | 2,81    |       |      |       |      |
| % Deformation bei Härte          |         |       | 4,80   | 5,00   | 9,93    | 9,98    |       |      |       |      |
| Probenlänge                      |         |       | 24,09  | 27,56  | 24,03   | 28,28   |       |      |       |      |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     |         |       | 0,85   | 3,53   | 3,47    | 14,33   |       |      |       |      |
| Reversible Deformation 1. Zyklus |         |       | 0,58   | 0,78   | 1,17    | 1,54    |       |      |       |      |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       |         |       | 0,48   | 1,48   | 1,70    | 5,23    |       |      |       |      |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           |         |       | 1,33   | 5,02   | 5,17    | 19,60   |       |      |       |      |
| Rigidität 1                      |         |       | 8,33   | 17,50  | 8,33    | 14,17   |       |      |       |      |
| Rigidität 2                      |         |       | 8,33   | 17,50  | 8,33    | 14,17   |       |      |       |      |
| Beladung am Ziel                 |         |       | 162,50 | 518,33 | 300,00  | 1050,83 |       |      |       |      |
| Deformation am Ziel              |         |       | 1,20   | 1,35   | 2,40    | 2,81    |       |      |       |      |
| % Deformation am Ziel            |         |       | 4,90   | 5,00   | 9,93    | 9,98    |       |      |       |      |
| Relativ-Modul                    |         |       | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    |       |      |       |      |
| Peak Belastung                   |         |       | 32464  | 103553 | 59934   | 209937  |       |      |       |      |
| Belastung bei Peak-Beladung      |         |       | 0,05   | 0,05   | 0,10    | 0,10    |       |      |       |      |
| Adhäsions-Kraft                  |         |       | 18,75  | 196,67 | 25,00   | 148,33  |       |      |       |      |
| Klebrigkeit                      |         |       | 0,13   | 1,12   | 0,17    | 0,82    |       |      |       |      |
| Geschmeidigkeit                  |         |       | 0,41   | 0,58   | 0,37    | 0,49    |       |      |       |      |
| Länge der Zähigkeit              |         |       | 0,31   | 1,99   | 0,44    | 2,59    |       |      |       |      |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           |         |       | 0,08   | 0,78   | 0,13    | 0,55    |       |      |       |      |
| Härte 2. Zyklus                  |         |       | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 165,00  |       |      |       |      |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     |         |       | 0,73   | 2,75   | 2,87    | 10,05   |       |      |       |      |
| Kohäsion                         |         |       | 0,66   | 0,84   | 0,71    | 0,83    |       |      |       |      |
| Reversible Deformation 2. Zyklus |         |       | 0,55   | 0,75   | 1,08    | 1,48    |       |      |       |      |
| Reversible Arbeit 2              |         |       | 0,45   | 1,30   | 1,43    | 4,35    |       |      |       |      |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           |         |       | 1,15   | 4,05   | 4,30    | 14,43   |       |      |       |      |
| Elastizität                      |         |       | 1,02   | 1,29   | 2,10    | 2,55    |       |      |       |      |
| Elastizitäts-Index               |         |       | 0,82   | 0,95   | 0,82    | 0,91    |       |      |       |      |
| Gummiartigkeit                   |         |       | 136,00 | 400,33 | 247,67  | 738,50  |       |      |       |      |
| Kaubarkeit                       |         |       | 1,75   | 4,82   | 5,60    | 18,25   |       |      |       |      |
| Kaubarkeits-Index                |         |       | 123,75 | 376,50 | 202,67  | 648,17  |       |      |       |      |
| Korrigierte Kohäsion             |         |       | 0,46   | 0,73   | 0,64    | 0,80    |       |      |       |      |
| Korrigierte Gummiartigkeit       |         |       | 117,75 | 364,50 | 238,00  | 663,33  |       |      |       |      |
| Korrigierte Kaubarkeit           |         |       | 1,50   | 4,38   | 5,40    | 16,33   |       |      |       |      |

Tab. 12: Wertebereiche für die mit den verschiedenen Verfahren erhaltenen Kennzahlen aus 2.3.2 bei 23-27°C

| Parameter warm                   | KRT-5cm |        | TPA-5% |        | TPA-10% |        | SK   |      | BK   |      |
|----------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|------|------|------|------|
|                                  | Min.    | Max.   | Min.   | Max.   | Min.    | Max.   | Min. | Max. | Min. | Max. |
| H, mm                            | 53,75   | 56,52  | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| v0, m/s                          | 1,03    | 1,05   | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| Gmax                             | 20,31   | 27,27  | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| E*, kPa                          | 321,07  | 710,23 | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| k, N/mm                          | 3,90    | 6,98   | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| ER, %                            | 17,00   | 21,52  | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| D, mm                            | 4,00    | 5,43   | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| fn, Hz                           | 32,80   | 46,71  | -      | -      | -       | -      | -    | -    | -    | -    |
| max. Kraft, N                    | -       | -      | -      | -      | -       | -      | 1,37 | 2,91 | 0,9  | 1,7  |
| Härte 1. Zyklus                  |         |        | 106,67 | 167,50 | 196,67  | 301,67 |      |      |      |      |
| Deformation am Härtepunkt        |         |        | 1,16   | 1,28   | 2,32    | 2,62   |      |      |      |      |
| % Deformation bei Härte          |         |        | 4,83   | 4,93   | 9,60    | 9,90   |      |      |      |      |
| Probenlänge                      |         |        | 23,96  | 26,15  | 23,52   | 26,63  |      |      |      |      |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     |         |        | 0,63   | 1,18   | 2,59    | 4,23   |      |      |      |      |
| Reversible Deformation 1. Zyklus |         |        | 0,58   | 0,66   | 1,09    | 1,42   |      |      |      |      |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       |         |        | 0,30   | 0,52   | 1,01    | 1,68   |      |      |      |      |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           |         |        | 0,87   | 1,68   | 3,60    | 5,92   |      |      |      |      |
| Rigidität 1                      |         |        | 6,67   | 14,17  | 8,33    | 14,17  |      |      |      |      |
| Rigidität 2                      |         |        | 6,67   | 14,17  | 8,33    | 14,17  |      |      |      |      |
| Beladung am Ziel                 |         |        | 106,67 | 167,50 | 196,67  | 301,67 |      |      |      |      |
| Deformation am Ziel              |         |        | 1,17   | 1,28   | 2,32    | 2,64   |      |      |      |      |
| % Deformation am Ziel            |         |        | 4,83   | 4,93   | 9,82    | 9,92   |      |      |      |      |
| Relativ-Modul                    |         |        | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00   |      |      |      |      |
| Peak Belastung                   |         |        | 21310  | 33463  | 39290   | 60267  |      |      |      |      |
| Belastung bei Peak-              |         |        | 0,05   | 0,05   | 0,10    | 0,10   |      |      |      |      |
| Adhäsions-Kraft                  |         |        | 30,00  | 76,25  | 42,50   | 75,00  |      |      |      |      |
| Klebrigkeit                      |         |        | 0,10   | 0,48   | 0,22    | 0,48   |      |      |      |      |
| Geschmeidigkeit                  |         |        | 0,41   | 0,44   | 0,38    | 0,44   |      |      |      |      |
| Länge der Zähigkeit              |         |        | 0,84   | 1,51   | 0,65    | 1,01   |      |      |      |      |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           |         |        | 0,03   | 0,38   | 0,13    | 0,38   |      |      |      |      |
| Härte 2. Zyklus                  |         |        | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00   |      |      |      |      |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     |         |        | 0,50   | 1,03   | 2,00    | 3,18   |      |      |      |      |
| Kohäsion                         |         |        | 0,81   | 0,89   | 0,75    | 0,78   |      |      |      |      |
| Reversible Deformation 2. Zyklus |         |        | 0,51   | 0,66   | 0,97    | 1,29   |      |      |      |      |
| Reversible Arbeit 2              |         |        | 0,27   | 0,43   | 0,84    | 1,42   |      |      |      |      |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           |         |        | 0,77   | 1,43   | 2,86    | 4,62   |      |      |      |      |
| Elastizität                      |         |        | 1,05   | 1,11   | 1,92    | 2,18   |      |      |      |      |
| Elastizitäts-Index               |         |        | 0,87   | 0,90   | 0,80    | 0,84   |      |      |      |      |
| Gummiartigkeit                   |         |        | 85,67  | 145,00 | 152,67  | 226,50 |      |      |      |      |
| Kaubarkeit                       |         |        | 0,93   | 1,60   | 3,10    | 4,72   |      |      |      |      |
| Kaubarkeits-Index                |         |        | 73,33  | 128,67 | 125,00  | 189,50 |      |      |      |      |
| Korrigierte Kohäsion             |         |        | 0,71   | 0,94   | 0,68    | 0,75   |      |      |      |      |
| Korrigierte Gummiartigkeit       |         |        | 74,00  | 152,50 | 134,67  | 214,67 |      |      |      |      |
| Korrigierte Kaubarkeit           |         |        | 0,77   | 1,67   | 2,80    | 4,35   |      |      |      |      |

### 3.2 Werte des Kugelresilienztesters und der Kompression und Korrelation

#### 3.2.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters und der Kompression

##### 3.2.1.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und des Kugelkompressionstests bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (Kugelstempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 13 zusammengefasst.

Tab. 13: Ergebnisse des Kugelresilienztesters (5 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel

|                                     | Bergwurst | Dürre | Extrawurst2 | Kantwurst | Leberkäse | Speck | Gouda2 | Mozzarella2 | Apfel  | Melone |
|-------------------------------------|-----------|-------|-------------|-----------|-----------|-------|--------|-------------|--------|--------|
| H<mm>                               | 53,16     | 53,71 | 51,56       | 53,20     | 52,65     | 54,27 | 51,87  | 55,06       | 51,14  | 51,99  |
| v0<m/s>                             | 1,02      | 1,03  | 1,01        | 1,02      | 1,02      | 1,03  | 1,01   | 1,04        | 1,00   | 1,00   |
| Gmax                                | 33,64     | 34,36 | 21,59       | 43,69     | 20,84     | 32,35 | 20,62  | 13,40       | 55,33  | 38,50  |
| E*<kPa>                             | 1028      | 1116  | 308         | 2161      | 277       | 1230  | 364    | 100         | 3515   | 1653   |
| k<N/mm>                             | 10,87     | 11,21 | 4,60        | 18,31     | 4,20      | 10,04 | 4,17   | 1,66        | 31,28  | 14,78  |
| ER<%>                               | 26,08     | 22,81 | 35,87       | 20,35     | 25,98     | 11,92 | 18,41  | 5,72        | 32,74  | 17,07  |
| D<mm>                               | 3,53      | 3,39  | 5,82        | 2,57      | 6,11      | 3,12  | 5,08   | 9,00        | 2,19   | 2,80   |
| fn<Hz>                              | 52,42     | 54,32 | 29,75       | 74,37     | 29,47     | 58,51 | 34,77  | 21,35       | 87,18  | 66,79  |
| Härte Gesamtarbeit<br>1. Zyklus     | 375,1     | 417,3 | 175,3       | 445,5     | 102,3     | 254,0 | 143,1  | 27,3        | 985,1  | 311,0  |
| Reversible<br>Deformation 1. Zyklus | 7,44      | 6,84  | 7,89        | 4,66      | 6,74      | 3,45  | 5,69   | 5,03        | 2,15   | 1,75   |
| Reversible Arbeit<br>Zyklus 1       | 156,7     | 143,7 | 88,5        | 83,2      | 46,8      | 31,7  | 40,5   | 8,0         | 58,5   | 22,6   |
| Gesamtarbeit 1.<br>Zyklus           | 531,8     | 561,0 | 263,7       | 528,7     | 149,2     | 285,6 | 183,6  | 35,3        | 1043,6 | 333,6  |
| Rigidität 1                         | 0,00      | 17,50 | 5,83        | 7,50      | 1,25      | 3,75  | 2,50   | 5,83        | 5,00   | 3,33   |
| Rigidität 2                         | 0,00      | 17,50 | 5,83        | 7,50      | 1,25      | 3,75  | 2,50   | 5,83        | 5,00   | 3,33   |
| Beladung am Ziel                    | 10996     | 12071 | 5638        | 10372     | 3170      | 5789  | 3396   | 688         | 14283  | 4421   |
| Deformation am Ziel                 | 10,00     | 10,00 | 10,00       | 10,00     | 9,94      | 10,00 | 10,00  | 9,96        | 9,96   | 9,84   |
| Adhäsions-Kraft                     | 20,0      | 51,3  | 22,5        | 47,5      | 13,8      | 105,0 | 29,4   | 21,7        | 139,2  | 55,8   |
| Klebrigkeit                         | 0,05      | 0,05  | 0,02        | 0,33      | 0,15      | 1,13  | 0,20   | 0,12        | 2,83   | 0,67   |
| Geschmeidigkeit                     | 0,42      | 0,35  | 0,51        | 0,19      | 0,46      | 0,13  | 0,29   | 0,30        | 0,06   | 0,07   |
| Länge der Zähigkeit                 | 1,74      | 3,61  | 3,23        | 0,68      | 3,46      | 2,94  | 2,28   | 6,97        | 1,07   | 1,21   |
| Gesamtarbeit<br>Zähigkeit           | 0,03      | 0,03  | 0,00        | 0,15      | 0,10      | 0,70  | 0,10   | 0,10        | 0,55   | 0,15   |
| Kohäsion                            | 0,78      | 0,75  | 0,76        | 0,68      | 0,72      | 0,54  | 0,74   | 0,72        | 0,15   | 0,11   |
| Elastizität                         | 9,36      | 8,88  | 9,04        | 8,41      | 8,17      | 6,31  | 8,87   | 8,75        | 5,09   | 5,18   |
| Elastizitäts-Index                  | 0,94      | 0,89  | 0,90        | 0,82      | 0,82      | 0,63  | 0,87   | 0,85        | 0,51   | 0,53   |
| Korrigierte Kohäsion                | 0,68      | 0,65  | 0,57        | 0,63      | 0,60      | 0,50  | 0,70   | 0,69        | 0,11   | 0,09   |



### 3.2.1.2 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe und des Kugelkompressionstests bei 50 % Kompression

Tab. 14: Ergebnisse des Kugelresilienztesters (10 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel

|                                     | Berg-<br>wurst | Dauer-<br>wurst | Dürre | Extra-<br>wurst | Extra-<br>wurst2 | Kant-<br>wurst | Leber-<br>käse | Salami | Speck | Wiener | Berg-<br>käse | Gouda | Gouda2 | Hirten-<br>käse | Mozza-<br>rella | Mozza-<br>rellaz | Apfel | Melone |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|-------|-----------------|------------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|---------------|-------|--------|-----------------|-----------------|------------------|-------|--------|
| H<mm>                               | 117            | 116             | 117   | 120             | 112              | 116            | 115            | 116    | 120   | 119    | 115           | 115   | 112    | 115             | 117             | 114              | 115   | 116    |
| v0<m/s>                             | 1.51           | 1.51            | 1.51  | 1.53            | 1.48             | 1.51           | 1.50           | 1.51   | 1.53  | 1.53   | 1.50          | 1.50  | 1.48   | 1.49            | 1.52            | 1.48             | 1.50  | 1.51   |
| Gmax                                | 51.8           | 53.7            | 53.4  | 37.3            | 33.5             | 65.2           | 29.7           | 65.3   | 45.4  | 46.9   | 74.6          | 40.0  | 36.2   | 22.9            | 27.0            | 17.9             | 74.2  | 45.1   |
| E*<kPa>                             | 1040           | 1088            | 1152  | 355             | 308              | 1995           | 213            | 1921   | 971   | 710    | 2769          | 611   | 504    | 204             | 242             | 84               | 2525  | 901    |
| k<N/mm>                             | 11.73          | 12.65           | 12.47 | 5.92            | 5.11             | 18.73          | 3.89           | 18.83  | 9.11  | 9.40   | 24.74         | 7.11  | 6.01   | 2.36            | 3.38            | 1.52             | 25.20 | 9.19   |
| ER<%>                               | 20.31          | 23.33           | 17.58 | 27.28           | 27.12            | 16.04          | 21.81          | 16.18  | 9.04  | 24.15  | 18.42         | 17.35 | 15.20  | 15.67           | 16.53           | 2.29             | 19.86 | 3.63   |
| D<mm>                               | 4.65           | 4.60            | 4.44  | 7.60            | 7.79             | 3.53           | 9.19           | 3.64   | 4.81  | 5.60   | 3.11          | 5.60  | 6.02   | 9.84            | 9.27            | 12.52            | 3.43  | 4.80   |
| fn<Hz>                              | 59.8           | 60.4            | 62.5  | 34.9            | 33.7             | 81.2           | 29.3           | 80.2   | 60.3  | 49.2   | 93.4          | 48.9  | 43.8   | 32.0            | 31.7            | 21.9             | 88.2  | 53.5   |
| Härte Gesamtarbeit<br>1. Zyklus     | 375            | 526             | 417   | 197             | 175              | 446            | 102            | 658    | 254   | 358    | 739           | 143   | 143    | 59              | 61              | 27               | 985   | 311    |
| Reversible Deformation<br>1. Zyklus | 7,44           | 6,87            | 6,84  | 7,68            | 7,89             | 4,66           | 6,74           | 4,25   | 3,45  | 6,75   | 5,95          | 6,01  | 5,69   | 1,96            | 6,28            | 5,03             | 2,15  | 1,75   |
| Reversible Arbeit<br>1.Zyklus       | 156,7          | 180,6           | 143,7 | 96,9            | 88,5             | 83,2           | 46,8           | 124,9  | 31,7  | 136,3  | 184,0         | 47,2  | 40,5   | 5,9             | 23,2            | 8,0              | 58,5  | 22,6   |
| Gesamtarbeit<br>1. Zyklus           | 532            | 707             | 561   | 293             | 264              | 529            | 149            | 783    | 286   | 494    | 923           | 190   | 184    | 65              | 84              | 35               | 1044  | 334    |
| Rigidität 1                         | 0.0            | 6966            | 17.5  | 4226            | 5.8              | 7.5            | 1.3            | 12573  | 3.8   | 2983   | 0.0           | 0.0   | 2.5    | 83.3            | 0.0             | 5.8              | 5.0   | 3.3    |
| Rigidität 2                         | 0.00           | 0.00            | 17.50 | 0.00            | 5.83             | 7.50           | 1.25           | 0.00   | 3.75  | 0.00   | 0.00          | 0.00  | 2.50   | 0.00            | 0.00            | 5.83             | 5.00  | 3.33   |
| Beladung am Ziel                    | 10996          | 13675           | 12071 | 6451            | 5638             | 10372          | 3170           | 14727  | 5789  | 9574   | 15390         | 3268  | 3396   | 885             | 1549            | 688              | 14283 | 4421   |
| Deformation<br>am Ziel              | 10,00          | 10,00           | 10,00 | 9,95            | 10,00            | 10,00          | 9,94           | 10,00  | 10,00 | 9,97   | 10,00         | 10,00 | 10,00  | 9,84            | 9,98            | 9,96             | 9,96  | 9,84   |
| Adhäsions-Kraft                     | 20.0           | 25.0            | 51.3  | 30.8            | 22.5             | 47.5           | 13.8           | 115.8  | 105.0 | 42.5   | 55.0          | 28.8  | 29.4   | 35.8            | 60.8            | 21.7             | 139.2 | 55.8   |
| Klebrigkeit                         | 0.05           | 0.05            | 0.05  | 0.05            | 0.02             | 0.33           | 0.15           | 0.87   | 1.13  | 0.23   | 0.23          | 0.18  | 0.20   | 0.85            | 0.00            | 0.12             | 2.83  | 0.67   |
| Geschmeidigkeit                     | 0.42           | 0.34            | 0.35  | 0.50            | 0.51             | 0.19           | 0.46           | 0.20   | 0.13  | 0.38   | 0.25          | 0.33  | 0.29   | 0.10            | 0.37            | 0.30             | 0.06  | 0.07   |
| Länge der Zähigkeit                 | 1.74           | 1.59            | 3.61  | 4.32            | 3.23             | 0.68           | 3.46           | 0.68   | 2.94  | 1.75   | 2.02          | 2.20  | 2.28   | 6.01            | 5.24            | 6.97             | 1.07  | 1.21   |
| Gesamtarbeit Zähigkeit              | 0.03           | 0.03            | 0.03  | -0.02           | 0.00             | 0.15           | 0.10           | 0.48   | 0.70  | 0.12   | 0.10          | 0.08  | 0.10   | 0.62            | -0.07           | 0.10             | 0.55  | 0.15   |
| Kohäsion                            | 0.78           | 0.71            | 0.75  | 0.70            | 0.76             | 0.68           | 0.72           | 0.64   | 0.54  | 0.65   | 0.64          | 0.76  | 0.74   | 0.23            | 0.77            | 0.72             | 0.15  | 0.11   |
| Elastizität                         | 9.36           | 8.70            | 8.88  | 9.89            | 9.04             | 8.41           | 8.17           | 7.08   | 6.31  | 9.17   | 8.18          | 8.52  | 8.87   | 6.31            | 9.06            | 8.75             | 5.09  | 5.18   |
| Elastizitäts-Index                  | 0.94           | 0.87            | 0.89  | 0.93            | 0.90             | 0.82           | 0.82           | 0.71   | 0.63  | 0.89   | 0.82          | 0.85  | 0.87   | 0.64            | 0.88            | 0.85             | 0.51  | 0.53   |
| Korrigierte Kohäsion                | 0.68           | 0.60            | 0.65  | 0.53            | 0.57             | 0.63           | 0.60           | 0.58   | 0.50  | 0.52   | 0.58          | 0.72  | 0.70   | 0.21            | 0.73            | 0.69             | 0.11  | 0.09   |

### 3.2.1.3 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und des Stempel-AACC36-Kompressionstests bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (planer Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 15 zusammengefasst.

Tab. 15: Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Kompression mit dem AACC36-Stempel

|                                  | Bergwurst | Dürre  | Extrawurst2 | Kantwurst | Leberkäse | Speck | Gouda2 | Mozzarella2 | Apfel | Melone |
|----------------------------------|-----------|--------|-------------|-----------|-----------|-------|--------|-------------|-------|--------|
| H<mm>                            | 53,16     | 53,71  | 51,56       | 53,20     | 52,65     | 54,27 | 51,87  | 55,06       | 51,14 | 51,99  |
| v0<m/s>                          | 1,02      | 1,03   | 1,01        | 1,02      | 1,02      | 1,03  | 1,01   | 1,04        | 1,00  | 1,00   |
| Gmax                             | 33,64     | 34,36  | 21,59       | 43,69     | 20,84     | 32,35 | 20,62  | 13,40       | 55,33 | 38,50  |
| E*<kPa>                          | 1028      | 1116   | 308         | 2161      | 277       | 1230  | 364    | 100         | 3515  | 1653   |
| k<N/mm>                          | 10,87     | 11,21  | 4,60        | 18,31     | 4,20      | 10,04 | 4,17   | 1,66        | 31,28 | 14,78  |
| ER<%>                            | 26,08     | 22,81  | 35,87       | 20,35     | 25,98     | 11,92 | 18,41  | 5,72        | 32,74 | 17,07  |
| D<mm>                            | 3,53      | 3,39   | 5,82        | 2,57      | 6,11      | 3,12  | 5,08   | 9,00        | 2,19  | 2,80   |
| fn<Hz>                           | 52,42     | 54,32  | 29,75       | 74,37     | 29,47     | 58,51 | 34,77  | 21,35       | 87,18 | 66,79  |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 1377      | 1497   | 568         | 1490      | 383       | 742   | 324    | 110         | 2876  | 1017   |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 5,64      | 5,15   | 7,19        | 3,03      | 4,03      | 4,62  | 4,03   | 2,72        | 3,04  | 0,97   |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 347,3     | 348,2  | 220,8       | 145,8     | 59,5      | 61,4  | 60,0   | 14,3        | 105,3 | 30,3   |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 1724      | 1845   | 788         | 1636      | 443       | 803   | 384    | 125         | 2981  | 1047   |
| Rigidität 1                      | 7,5       | 6,3    | 5,8         | 2,5       | 3,8       | 0,0   | 0,0    | 0,0         | 8,8   | 0,8    |
| Rigidität 2                      | 7,50      | 6,25   | 5,83        | 2,50      | 3,75      | 0,00  | 0,00   | 0,00        | 8,75  | 0,83   |
| Beladung am Ziel                 | 35570     | 39748  | 16949       | 31413     | 6190      | 17018 | 7425   | 2700        | 26614 | 9170   |
| Deformation am Ziel              | 10,00     | 9,96   | 10,00       | 10,00     | 9,79      | 10,00 | 10,00  | 10,00       | 9,92  | 9,89   |
| Adhäsions-Kraft                  | 1375,0    | 1415,0 | 229,2       | 999,2     | 173,8     | 293,8 | 197,5  | 63,3        | 82,5  | 336,7  |
| Klebrigkeit                      | 23,85     | 37,23  | 2,58        | 15,87     | 4,38      | 2,75  | 3,43   | 1,93        | 2,23  | 5,05   |
| Geschmeidigkeit                  | 0,26      | 0,23   | 0,39        | 0,10      | 0,16      | 0,08  | 0,18   | 0,13        | 0,04  | 0,03   |
| Länge der Zähigkeit              | 3,74      | 3,46   | 1,40        | 2,25      | 2,79      | 4,53  | 0,96   | 4,16        | 2,92  | 0,51   |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 21,33     | 29,15  | 1,65        | 12,40     | 3,25      | 2,48  | 1,08   | 0,57        | 1,40  | 1,25   |
| Kohäsion                         | 0,74      | 0,68   | 0,72        | 0,64      | 0,34      | 0,57  | 0,71   | 0,68        | 0,08  | 0,08   |
| Elastizität                      | 9,67      | 9,66   | 9,44        | 9,46      | 9,80      | 8,78  | 9,06   | 9,08        | 8,94  | 7,78   |
| Elastizitäts-Index               | 0,97      | 0,97   | 0,95        | 0,93      | 0,95      | 0,88  | 0,91   | 0,91        | 0,89  | 0,78   |
| Korrigierte Kohäsion             | 0,67      | 0,63   | 0,59        | 0,60      | 0,32      | 0,55  | 0,69   | 0,66        | 0,07  | 0,07   |

### 3.2.1.4 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe und des Stempel-AACC36-Kompressionstests bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (planer Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 16.1 und 16.2 zusammengefasst.

Tab. 16.1: Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe

|         | Bergwurst | Dauerwurst | Dürre | Extrawurst | Extrawurst2 | Kantwurst | Leberkäse | Salami | Speck | Wiener | Bergkäse | Gouda | Gouda2 | Hirtenkäse | Mozzarella | Mozzarella2 | Apfel | Melone |
|---------|-----------|------------|-------|------------|-------------|-----------|-----------|--------|-------|--------|----------|-------|--------|------------|------------|-------------|-------|--------|
| H<mm>   | 117       | 116        | 117   | 120        | 112         | 116       | 115       | 116    | 120   | 119    | 115      | 115   | 112    | 115        | 117        | 114         | 115   | 116    |
| v0<m/s> | 1,51      | 1,51       | 1,51  | 1,53       | 1,48        | 1,51      | 1,50      | 1,51   | 1,53  | 1,53   | 1,50     | 1,50  | 1,48   | 1,49       | 1,52       | 1,48        | 1,50  | 1,51   |
| Gmax    | 51,8      | 53,7       | 53,4  | 37,3       | 33,5        | 65,2      | 29,7      | 65,3   | 45,4  | 46,9   | 74,6     | 40,0  | 36,2   | 22,9       | 27,0       | 17,9        | 74,2  | 45,1   |
| E*<kPa> | 1040      | 1088       | 1152  | 355        | 308         | 1995      | 213       | 1921   | 971   | 710    | 2769     | 611   | 504    | 204        | 242        | 84          | 2525  | 901    |
| k<N/mm> | 11,73     | 12,65      | 12,47 | 5,92       | 5,11        | 18,73     | 3,89      | 18,83  | 9,11  | 9,40   | 24,74    | 7,11  | 6,01   | 2,36       | 3,38       | 1,52        | 25,20 | 9,19   |
| ER<%>   | 20,31     | 23,33      | 17,58 | 27,28      | 27,12       | 16,04     | 21,81     | 16,18  | 9,04  | 24,15  | 18,42    | 17,35 | 15,20  | 15,67      | 16,53      | 2,29        | 19,86 | 3,63   |
| D<mm>   | 4,65      | 4,60       | 4,44  | 7,60       | 7,79        | 3,53      | 9,19      | 3,64   | 4,81  | 5,60   | 3,11     | 5,60  | 6,02   | 9,84       | 9,27       | 12,52       | 3,43  | 4,80   |
| fn<Hz>  | 59,8      | 60,4       | 62,5  | 34,9       | 33,7        | 81,2      | 29,3      | 80,2   | 60,3  | 49,2   | 93,4     | 48,9  | 43,8   | 32,0       | 31,7       | 21,9        | 88,2  | 53,5   |

Tab. 16.2: Ergebnisse der Kompression mit dem AAC36-Stempel bei 50 % Kompression

|                                        | Berg-<br>wurst | Dauer-<br>wurst | Dürre | Extra-<br>wurst | Extra-<br>wurst2 | Kant-<br>wurst | Leber-<br>käse | Salami | Speck | Wiener | Berg-<br>käse | Gouda | Gouda2 | Hirten-<br>käse | Mozzar-<br>ella | Mozzar-<br>ella2 | Apfel | Melone |
|----------------------------------------|----------------|-----------------|-------|-----------------|------------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|---------------|-------|--------|-----------------|-----------------|------------------|-------|--------|
| Härte Gesamtarbeit<br>1. Zyklus        | 1377           | 1777            | 1497  | 662             | 568              | 1490           | 383            | 3285   | 742   | 1295   | 1967          | 439   | 324    | 163             | 191             | 110              | 2876  | 1017   |
| Reversible<br>Deformation 1.<br>Zyklus | 5,64           | 6,75            | 5,15  | 6,14            | 7,19             | 3,03           | 4,03           | 2,39   | 4,62  | 6,11   | 3,95          | 4,33  | 4,03   | 1,73            | 4,82            | 2,72             | 3,04  | 0,97   |
| Reversible Arbeit<br>Zyklus 1          | 347,3          | 412,8           | 348,2 | 167,5           | 220,8            | 145,8          | 59,5           | 234,8  | 61,4  | 138,3  | 229,5         | 94,1  | 60,0   | 10,3            | 49,0            | 14,3             | 105,3 | 30,3   |
| Gesamtarbeit 1.<br>Zyklus              | 1724           | 2189            | 1845  | 830             | 788              | 1636           | 443            | 3520   | 803   | 1433   | 2196          | 533   | 384    | 174             | 240             | 125              | 2981  | 1047   |
| Rigidität 1                            | 7,50           | 26625           | 6,25  | 0,00            | 5,83             | 2,50           | 3,75           | 15983  | 0,00  | 0,00   | 0,00          | 9501  | 0,00   | 0,00            | 3443            | 0,00             | 8,75  | 0,83   |
| Rigidität 2                            | 7,50           | 0,00            | 6,25  | 0,00            | 5,83             | 2,50           | 3,75           | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00          | 0,00  | 0,00   | 0,00            | 0,00            | 0,00             | 8,75  | 0,83   |
| Beladung am Ziel                       | 35570          | 39576           | 39748 | 17310           | 16949            | 31413          | 6190           | 49963  | 17018 | 17375  | 30178         | 9503  | 7425   | 2228            | 4402            | 2700             | 26614 | 9170   |
| Deformation am<br>Ziel                 | 10,00          | 10,00           | 9,96  | 9,91            | 10,00            | 10,00          | 9,79           | 9,99   | 10,00 | 9,78   | 9,81          | 10,00 | 10,00  | 9,87            | 10,00           | 10,00            | 9,92  | 9,89   |
| Adhäsions-Kraft                        | 1375           | 267             | 1415  | 273             | 229              | 999            | 174            | 2148   | 294   | 52     | 105           | 985   | 198    | 78              | 222             | 63               | 83    | 337    |
| Klebrigkeit                            | 23,85          | 4,50            | 37,23 | 4,77            | 2,58             | 15,87          | 4,38           | 23,87  | 2,75  | 0,63   | 3,37          | 19,48 | 3,43   | 3,42            | 4,20            | 1,93             | 2,23  | 5,05   |
| Geschmeidigkeit                        | 0,26           | 0,23            | 0,23  | 0,25            | 0,39             | 0,10           | 0,16           | 0,07   | 0,08  | 0,11   | 0,12          | 0,22  | 0,18   | 0,06            | 0,25            | 0,13             | 0,04  | 0,03   |
| Länge der Zähigkeit                    | 3,74           | 1,49            | 3,46  | 3,43            | 1,40             | 2,25           | 2,79           | 1,13   | 4,53  | 2,64   | 3,17          | 2,55  | 0,96   | 3,76            | 2,13            | 4,16             | 2,92  | 0,51   |
| Gesamtarbeit<br>Zähigkeit              | 21,33          | 2,57            | 29,15 | 3,75            | 1,65             | 12,40          | 3,25           | 15,00  | 2,48  | 0,50   | 1,27          | 14,30 | 1,08   | 1,32            | 2,35            | 0,57             | 1,40  | 1,25   |
| Kohäsion                               | 0,74           | 0,67            | 0,68  | 0,56            | 0,72             | 0,64           | 0,34           | 0,42   | 0,57  | 0,26   | 0,39          | 0,74  | 0,71   | 0,20            | 0,78            | 0,68             | 0,08  | 0,08   |
| Elastizität                            | 9,67           | 9,49            | 9,66  | 10,93           | 9,44             | 9,46           | 9,80           | 6,38   | 8,78  | 9,06   | 8,77          | 8,88  | 9,06   | 7,52            | 9,10            | 9,08             | 8,94  | 7,78   |
| Elastizitäts-Index                     | 0,97           | 0,95            | 0,97  | 0,96            | 0,95             | 0,93           | 0,95           | 0,64   | 0,88  | 0,93   | 0,90          | 0,89  | 0,91   | 0,75            | 0,91            | 0,91             | 0,89  | 0,78   |
| Korrigierte<br>Kohäsion                | 0,67           | 0,61            | 0,63  | 0,50            | 0,59             | 0,60           | 0,32           | 0,39   | 0,55  | 0,23   | 0,38          | 0,70  | 0,69   | 0,18            | 0,76            | 0,66             | 0,07  | 0,07   |

### 3.2.2 Korrelationen des Kugelresilienztesters und der Kompression

#### 3.2.2.1 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe mit dem Kugelkompressionstest bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (Kugelstempel) erhaltenen Korrelationen sind in Tab. 17 zusammengefasst.

Tab. 17: Korrelation der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (5 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel

| Korrelation mit                  | G <sub>max</sub> | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | f <sub>n</sub> , Hz |
|----------------------------------|------------------|---------|---------|-------|-------|---------------------|
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,93             | 0,94    | 0,97    | 0,47  | -0,73 | 0,87                |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -0,57            | -0,67   | -0,62   | 0,33  | 0,43  | -0,65               |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,25             | 0,08    | 0,14    | 0,53  | -0,36 | 0,17                |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,91             | 0,90    | 0,93    | 0,53  | -0,75 | 0,85                |
| Rigidität 1                      | 0,16             | 0,12    | 0,12    | 0,00  | -0,12 | 0,14                |
| Rigidität 2                      | 0,16             | 0,12    | 0,12    | 0,00  | -0,12 | 0,14                |
| Beladung am Ziel                 | 0,83             | 0,76    | 0,79    | 0,54  | -0,75 | 0,76                |
| Deformation am Ziel              | -0,10            | -0,13   | -0,13   | 0,19  | 0,02  | -0,13               |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,75             | 0,82    | 0,79    | 0,08  | -0,63 | 0,77                |
| Klebrigkeit                      | 0,72             | 0,83    | 0,82    | 0,22  | -0,50 | 0,70                |
| Geschmeidigkeit                  | -0,65            | -0,73   | -0,67   | 0,35  | 0,55  | -0,74               |
| Länge der Zähigkeit              | -0,77            | -0,68   | -0,68   | -0,47 | 0,88  | -0,77               |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,48             | 0,56    | 0,51    | -0,16 | -0,42 | 0,53                |
| Kohäsion                         | -0,66            | -0,72   | -0,71   | -0,05 | 0,51  | -0,68               |
| Elastizität                      | -0,62            | -0,68   | -0,66   | 0,03  | 0,51  | -0,66               |
| Elastizitäts-Index               | -0,61            | -0,69   | -0,66   | 0,08  | 0,49  | -0,66               |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,66            | -0,70   | -0,70   | -0,21 | 0,52  | -0,65               |

### 3.2.2.2 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe mit dem Kugelkompressionstest bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (Kugelstempel) erhaltenen Korrelationen sind in Tab. 18 zusammengefasst.

Tab. 18: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (10 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel

| Korrelation mit                  | G <sub>max</sub> | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | f <sub>n</sub> <Hz> |
|----------------------------------|------------------|---------|---------|-------|-------|---------------------|
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,94             | 0,93    | 0,96    | 0,19  | -0,79 | 0,91                |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -0,14            | -0,27   | -0,21   | 0,64  | 0,11  | -0,26               |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,64             | 0,51    | 0,56    | 0,55  | -0,59 | 0,54                |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,95             | 0,91    | 0,95    | 0,27  | -0,81 | 0,90                |
| Rigidität 1                      | 0,28             | 0,20    | 0,24    | 0,23  | -0,24 | 0,23                |
| Rigidität 2                      | 0,12             | 0,11    | 0,11    | -0,19 | -0,11 | 0,13                |
| Beladung am Ziel                 | 0,92             | 0,85    | 0,89    | 0,36  | -0,81 | 0,87                |
| Deformation am Ziel              | 0,39             | 0,31    | 0,34    | 0,34  | -0,38 | 0,36                |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,57             | 0,62    | 0,61    | -0,19 | -0,49 | 0,62                |
| Klebrigkeit                      | 0,43             | 0,50    | 0,50    | -0,16 | -0,32 | 0,47                |
| Geschmeidigkeit                  | -0,35            | -0,47   | -0,41   | 0,63  | 0,32  | -0,48               |
| Länge der Zähigkeit              | -0,80            | -0,68   | -0,72   | -0,20 | 0,90  | -0,76               |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,20             | 0,29    | 0,25    | -0,31 | -0,17 | 0,31                |
| Kohäsion                         | -0,17            | -0,25   | -0,23   | 0,35  | 0,14  | -0,22               |
| Elastizität                      | -0,26            | -0,36   | -0,32   | 0,48  | 0,24  | -0,35               |
| Elastizitäts-Index               | -0,25            | -0,35   | -0,31   | 0,49  | 0,22  | -0,33               |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,18            | -0,22   | -0,22   | 0,19  | 0,15  | -0,19               |

### 3.2.2.3 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe mit dem Stempel AACC36 Kompressionstest bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (planer Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 19 zusammengefasst.

Tab. 19: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (5 cm Fallhöhe) und der Kompression mit AACC36-Stempel

| Korrelation mit                  | G <sub>max</sub> | E*; kPa | k; N/mm | ER; % | D; mm | f <sub>n</sub> ; Hz |
|----------------------------------|------------------|---------|---------|-------|-------|---------------------|
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,94             | 0,93    | 0,95    | 0,48  | -0,75 | 0,88                |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -0,29            | -0,38   | -0,34   | 0,51  | 0,12  | -0,37               |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,19             | 0,02    | 0,08    | 0,50  | -0,29 | 0,11                |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,91             | 0,88    | 0,91    | 0,53  | -0,75 | 0,84                |
| Rigidität 1                      | 0,48             | 0,42    | 0,50    | 0,83  | -0,34 | 0,33                |
| Rigidität 2                      | 0,48             | 0,42    | 0,50    | 0,83  | -0,34 | 0,33                |
| Beladung am Ziel                 | 0,62             | 0,49    | 0,52    | 0,41  | -0,65 | 0,57                |
| Deformation am Ziel              | -0,09            | -0,09   | -0,12   | -0,24 | 0,03  | -0,04               |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,28             | 0,10    | 0,12    | 0,12  | -0,42 | 0,26                |
| Klebrigkeit                      | 0,22             | 0,06    | 0,09    | 0,11  | -0,34 | 0,20                |
| Geschmeidigkeit                  | -0,50            | -0,59   | -0,53   | 0,46  | 0,35  | -0,58               |
| Länge der Zähigkeit              | -0,03            | -0,01   | -0,03   | -0,31 | 0,14  | -0,03               |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,22             | 0,06    | 0,09    | 0,14  | -0,33 | 0,19                |
| Kohäsion                         | -0,55            | -0,60   | -0,61   | -0,16 | 0,38  | -0,53               |
| Elastizität                      | -0,24            | -0,29   | -0,25   | 0,37  | 0,24  | -0,34               |
| Elastizitäts-Index               | -0,25            | -0,31   | -0,26   | 0,38  | 0,24  | -0,35               |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,55            | -0,60   | -0,61   | -0,25 | 0,39  | -0,53               |

### 3.2.2.4 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe mit dem Stempel AACC36 Kompressionstest bei 50 % Kompression

Die vom Kugelresilienztester und im Kompressionsversuch (planer Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 20 zusammengefasst.

Tab. 20: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (10 cm Fallhöhe) und der Kompression mit AACC36-Stempel

| Korrelation mit                  | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | fn, Hz |
|----------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,89  | 0,86    | 0,89    | 0,18  | -0,76 | 0,86   |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -0,04 | -0,21   | -0,14   | 0,73  | -0,04 | -0,17  |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,51  | 0,36    | 0,42    | 0,51  | -0,52 | 0,42   |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,89  | 0,84    | 0,88    | 0,23  | -0,77 | 0,85   |
| Rigidität 1                      | 0,20  | 0,12    | 0,16    | 0,16  | -0,23 | 0,18   |
| Rigidität 2                      | 0,30  | 0,26    | 0,31    | 0,30  | -0,23 | 0,24   |
| Beladung am Ziel                 | 0,80  | 0,69    | 0,74    | 0,30  | -0,74 | 0,75   |
| Deformation am Ziel              | -0,07 | -0,09   | -0,10   | -0,22 | -0,02 | -0,02  |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,38  | 0,30    | 0,31    | 0,00  | -0,44 | 0,40   |
| Klebrigkeit                      | 0,31  | 0,22    | 0,24    | 0,02  | -0,39 | 0,32   |
| Geschmeidigkeit                  | -0,32 | -0,42   | -0,37   | 0,55  | 0,23  | -0,41  |
| Länge der Zähigkeit              | -0,14 | -0,06   | -0,09   | -0,08 | 0,26  | -0,09  |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,30  | 0,19    | 0,22    | 0,08  | -0,37 | 0,30   |
| Kohäsion                         | -0,25 | -0,30   | -0,30   | 0,12  | 0,16  | -0,25  |
| Elastizität                      | -0,15 | -0,24   | -0,19   | 0,47  | 0,15  | -0,26  |
| Elastizitäts-Index               | -0,10 | -0,18   | -0,13   | 0,41  | 0,09  | -0,19  |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,26 | -0,29   | -0,30   | 0,05  | 0,17  | -0,24  |



### 3.3 Korrelationen der Werte des Kugelresilienztesters mit der Scherkraft

#### 3.3.1 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe mit der Scherkraft

Die Messergebnisse des Kugelresilienztesters und die Scherkraft bei zehn verzehrfertigen Lebensmitteln sind in Tab. 21 zusammengestellt. Jedes der Ergebnisse ist ein Mittelwert aus 5-15 Messungen. Bei der Darstellung der Scherkraft gegen Kennwerte des Kugelresilienztesters (Abb. 8,9,10) zeigte sich, dass zwar für den Großteil der Wertepaare eine Regressionsgerade erstellt werden konnte, dass aber zwei bzw. drei Proben (Apfel, Melone, Speck) ein deutlich anderes Verhalten aufwiesen: Apfel und Melone deutlich plastisch, Speck zäh-elastisch. Diese drei Proben wurden daher nicht bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten herangezogen. Der Korrelationskoeffizient  $r$  wurde errechnet und auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen des Kugelresilienztesters und der Scherkraft geprüft (t-Test für gepaarte Proben).

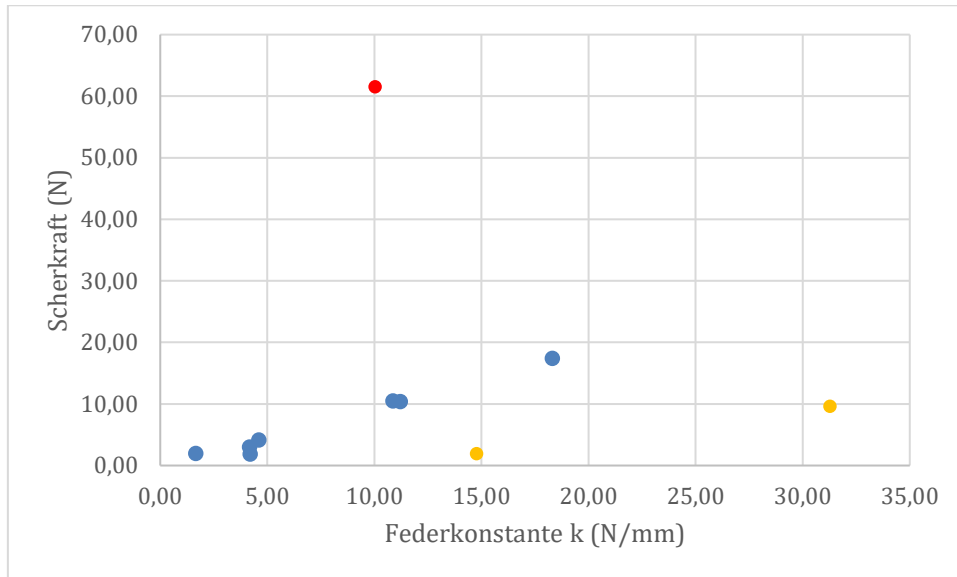
Der Korrelationskoeffizient  $r$  für die mit dem Kugelresilienztester gemessenen bzw. errechneten Werte und der Scherkraft war im Bereich 0,11–0,99. Die Korrelationen waren mit Ausnahme des Verhältnisses Deformation zu Scherkraft statistisch signifikant.

Tab. 21: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraft bei 10 verzehrfertigen Lebensmitteln

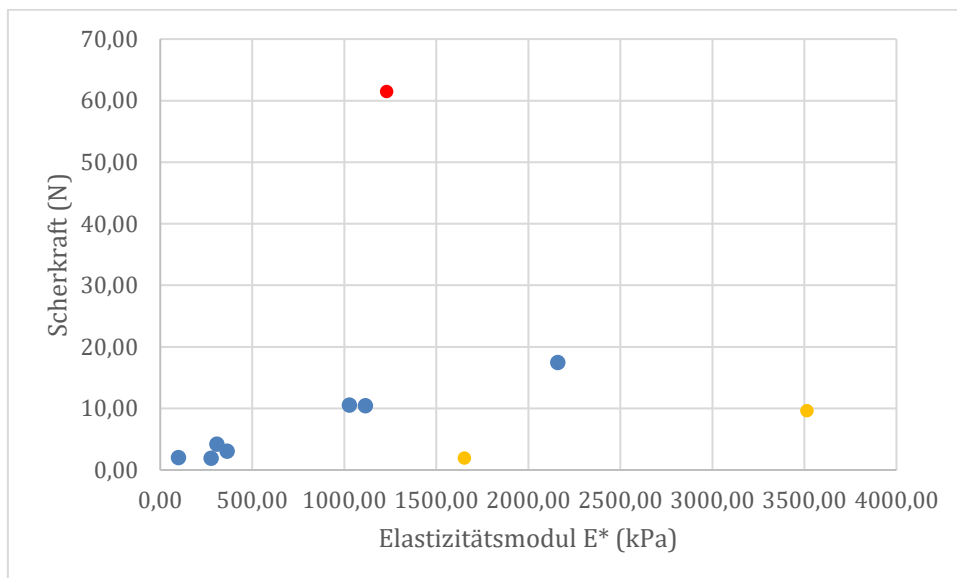
|                   | Kugelresilienztester |         |       |         |         |       |       |        | Instron       |
|-------------------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|---------------|
|                   | H, mm                | v0, m/s | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | Fn, Hz | max. Kraft, N |
| Leberkäse         | 52,65                | 1,02    | 20,84 | 276,88  | 4,20    | 25,98 | 6,11  | 29,47  | 1,89          |
| Melone            | 51,99                | 1,00    | 38,50 | 1652,99 | 14,78   | 17,07 | 2,80  | 66,79  | 1,91          |
| Mozzarella        | 55,06                | 1,04    | 13,40 | 99,83   | 1,66    | 5,72  | 9,00  | 21,35  | 1,97          |
| Gouda             | 51,87                | 1,01    | 20,62 | 363,60  | 4,17    | 18,41 | 5,08  | 34,77  | 3,02          |
| Extrawurst        | 51,56                | 1,01    | 21,59 | 307,82  | 4,60    | 35,87 | 5,82  | 29,75  | 4,16          |
| Apfel             | 51,14                | 1,00    | 55,33 | 3514,80 | 31,28   | 32,74 | 2,19  | 87,18  | 9,60          |
| Dürre             | 53,71                | 1,03    | 34,36 | 1115,63 | 11,21   | 22,81 | 3,39  | 54,32  | 10,40         |
| Bergwurst         | 53,16                | 1,02    | 33,64 | 1028,39 | 10,87   | 26,08 | 3,53  | 52,42  | 10,50         |
| Kantwurst         | 53,20                | 1,02    | 43,69 | 2160,93 | 18,31   | 20,35 | 2,57  | 74,37  | 17,45         |
| Speck             | 54,27                | 1,03    | 32,35 | 1230,46 | 10,04   | 11,92 | 3,12  | 58,51  | 61,48         |
| min               | 51,14                | 1,00    | 13,40 | 99,83   | 1,66    | 5,72  | 2,19  | 21,35  | 1,89          |
| max               | 55,06                | 1,04    | 55,33 | 3514,80 | 31,28   | 35,87 | 9,00  | 87,18  | 61,48         |
| r mit max. Kraft* | 0,12                 | 0,13    | 0,97  | 0,99    | 0,99    | 0,11  | 0,84  | 0,98   | 1,0           |
| p-Wert (t-Test)*  |                      |         | <0,01 | 0,03    | 0,04    | <0,01 | 0,53  | <0,01  |               |

\*exkl. Apfel, Melone und Speck

Abb 8: k (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)

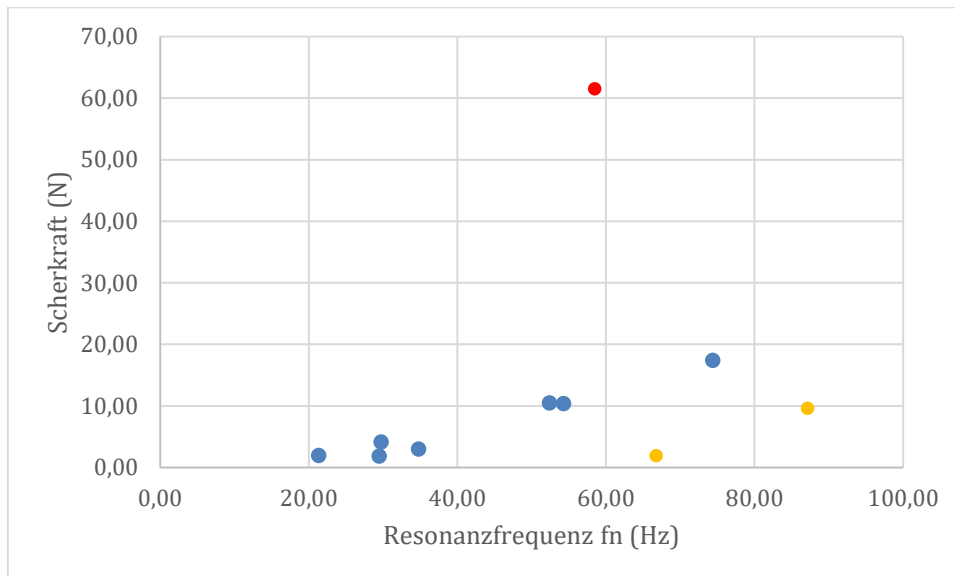


Bei den beiden Obstproben (orange) und der Speckprobe (rot) war das Verhältnis zwischen Scherkraft und Federkonstante deutlich anders als bei den anderen Proben.

Abb 9: Elastizitätsmodul  $E^*$  (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)

Bei den beiden Obstproben (orange) und der Speckprobe (rot) war das Verhältnis zwischen Scherkraft und Elastizitätsmodul deutlich anders als bei den anderen Proben.

Abb 10: Resonanzfrequenz (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)



Bei den beiden Obstproben (orange) und der Speckprobe (rot) war das Verhältnis zwischen Scherkraft und Resonanzfrequenz deutlich anders als bei den anderen Proben.

### 3.3.2 Korrelation des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe mit der Scherkraft

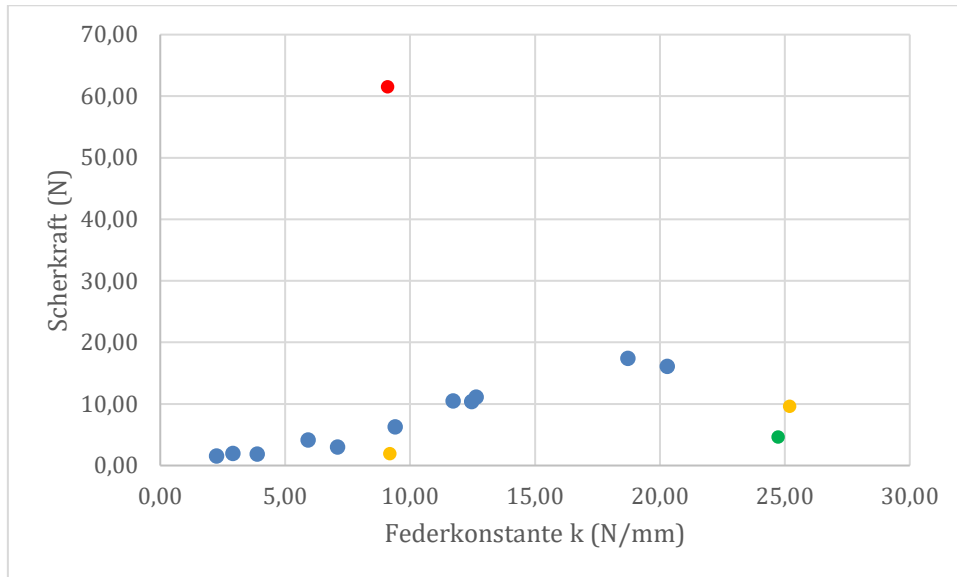
Die Messergebnisse des Kugelresilienztesters und die Scherkraft bei 15 verzehrfertigen Lebensmitteln sind in Tab. 10 zusammengestellt. Jedes der Ergebnisse ist ein Mittelwert aus 5-15 Messungen. Bei der Darstellung der Scherkraft gegen Kennwerte des Kugelresilienztesters (Abb. 11,12,13) zeigte sich, dass zwar für den Großteil der Wertepaare eine Regressionsgerade erstellt werden konnte, dass aber vier Proben (Apfel, Melone, Speck; Bergkäse) ein deutlich anderes Verhalten aufwiesen. Diese vier Proben wurden daher nicht bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten herangezogen. Es wurde bei den verbliebenen elf Proben auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kugelresilienztester-Ergebnissen und der Scherkraft geprüft (t-Test für gepaarte Proben).

Der Korrelationskoeffizient  $r$  für die mit dem Kugelresilienztester gemessenen bzw. errechneten Werte und der Scherkraft war im Bereich 0,96–0,98. Mit Ausnahme der Deformation  $D$  und der Energierückgewinnung  $E^*$  handelte es sich um positive Korrelationen. Die Korrelationen waren mit Ausnahme des Verhältnisses Deformation zu Scherkraft statistisch signifikant.

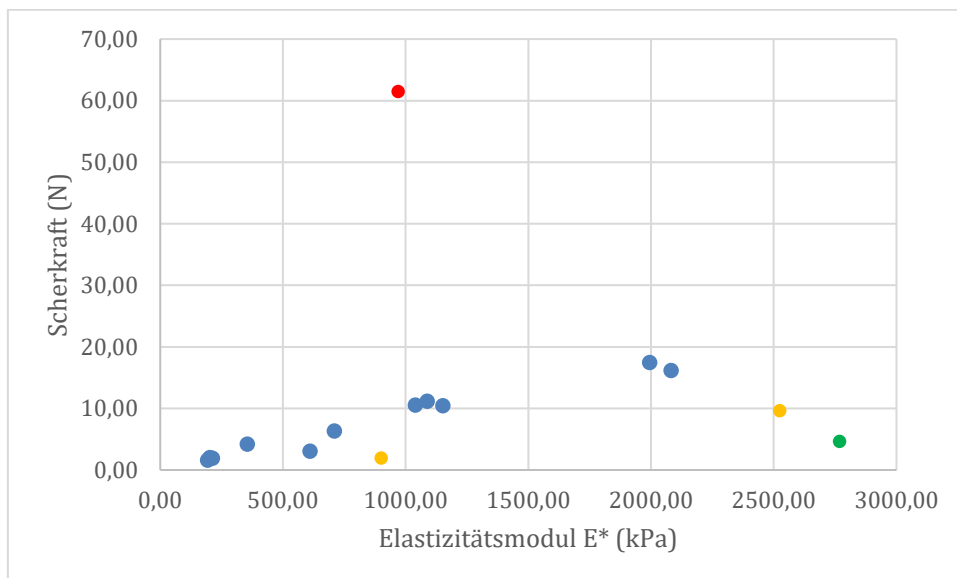
Tab. 22: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraft bei 15 verzehrfertigen Lebensmitteln

|                   | Kugelresilienztester |         |       |         |         |       |       |        | Instron       |
|-------------------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|---------------|
|                   | H, mm                | v0, m/s | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | Fn, Hz | max. Kraft, N |
| Hirtenkäse        | 113,75               | 1,48    | 22,39 | 193     | 2,26    | 17,69 | 10,36 | 31,79  | 1,58          |
| Leberkäse         | 115,38               | 1,50    | 29,65 | 213     | 3,89    | 21,81 | 9,19  | 29,30  | 1,89          |
| Melone            | 115,67               | 1,51    | 45,07 | 901     | 9,19    | 3,63  | 4,80  | 53,47  | 1,91          |
| Mozzarella        | 117,32               | 1,52    | 24,83 | 202     | 2,91    | 13,86 | 10,21 | 29,29  | 1,97          |
| Gouda             | 115,06               | 1,50    | 40,03 | 611     | 7,11    | 17,35 | 5,60  | 48,95  | 3,02          |
| Extrawurst        | 119,74               | 1,53    | 37,29 | 355     | 5,92    | 27,28 | 7,60  | 34,87  | 4,16          |
| Bergkäse          | 115,25               | 1,50    | 74,61 | 2769    | 24,74   | 18,42 | 3,11  | 93,36  | 4,62          |
| Wiener            | 119,36               | 1,53    | 46,92 | 710     | 9,40    | 24,15 | 5,60  | 49,22  | 6,30          |
| Apfel             | 114,72               | 1,50    | 74,18 | 2525    | 25,20   | 19,86 | 3,43  | 88,19  | 9,60          |
| Dürre             | 116,52               | 1,51    | 53,37 | 1152    | 12,47   | 17,58 | 4,44  | 62,53  | 10,40         |
| Bergwurst         | 116,67               | 1,51    | 51,83 | 1040    | 11,73   | 20,31 | 4,65  | 59,81  | 10,50         |
| Dauerwurst        | 116,00               | 1,51    | 53,67 | 1088    | 12,65   | 23,33 | 4,60  | 60,35  | 11,15         |
| Salami            | 116,09               | 1,51    | 67,84 | 2082    | 20,29   | 16,41 | 3,53  | 82,91  | 16,13         |
| Kantwurst         | 115,77               | 1,51    | 65,19 | 1995    | 18,73   | 16,04 | 3,53  | 81,18  | 17,45         |
| Speck             | 119,52               | 1,53    | 45,35 | 971     | 9,11    | 9,04  | 4,81  | 60,29  | 61,48         |
| min               | 113,75               | 1,48    | 22,39 | 193     | 2,26    | 3,63  | 3,11  | 29,29  | 1,58          |
| max               | 119,74               | 1,53    | 74,61 | 2769    | 25,20   | 27,28 | 10,36 | 93,36  | 61,48         |
| r mit max. Kraft* |                      |         | 0,96  | 0,98    | 0,98    | -0,18 | -0,87 | 0,97   | 1             |
| p-Wert (t-Test)*  |                      |         | <0,01 | <0,01   | <0,01   | <0,01 | 0,58  | <0,01  |               |

\* Ohne Probe Apfel, Bergkäse, Melone, Speck

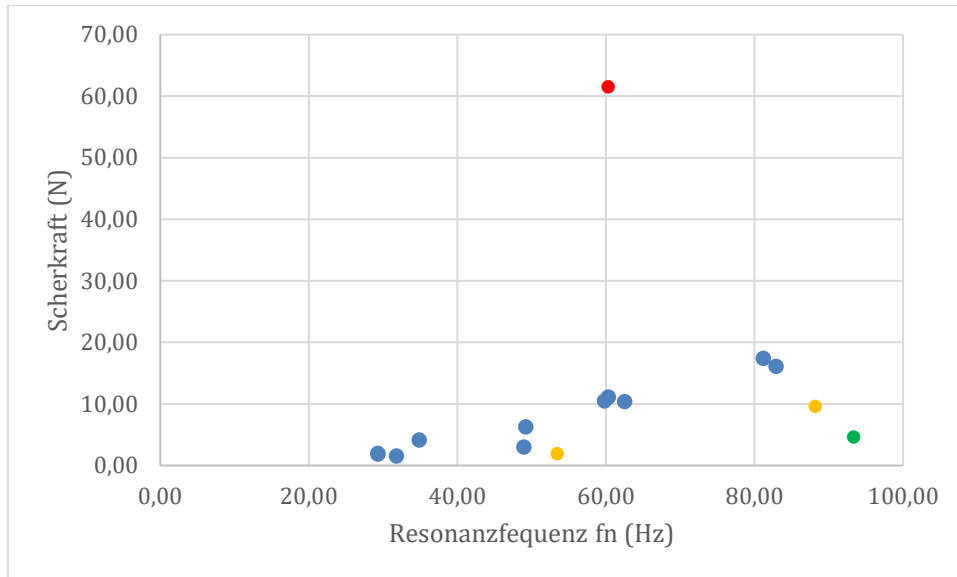
Abb 11:  $k$  (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)

Bei Apfel (orange), Melone (orange), Speck (rot), Bergkäse (grün) war das Verhältnis zwischen Scherkraft und Federkonstante deutlich anders als bei den anderen Proben.

Abb 12: Elastizitätsmodul  $E^*$  (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)

Bei Apfel (orange), Melone (orange), Speck (rot), Bergkäse (grün) war das Verhältnis zwischen Scherkraft und Elastizitätsmodul deutlich anders als bei den anderen Proben.

Abb 13: Resonanzfrequenz (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)



Bei Apfel (orange), Melone (orange), Speck (rot), Bergkäse (grün) war das Verhältnis zwischen Scherkraft und Elastizitätsmodul deutlich anders als bei den anderen Proben.

### 3.4 Werte des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse und Korrelationen

#### 3.4.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse

##### 3.4.1.1 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Kühltemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 23 zusammengefasst.

Tab. 23: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AAC36-Stempel (5 % Kompression und Kühltemperatur)

|                                  | Butterkäse | Edamer | Gouda | Kashkaval | Mondseer |
|----------------------------------|------------|--------|-------|-----------|----------|
| H<mm>                            | 52,8       | 53,4   | 54,3  | 52,6      | 52,9     |
| v0<m/s>                          | 1,02       | 1,02   | 1,03  | 1,02      | 1,02     |
| Gmax                             | 25,7       | 30,5   | 30,7  | 35,4      | 22,6     |
| E*<kPa>                          | 664        | 1396   | 1284  | 1357      | 424      |
| k<N/mm>                          | 6,46       | 9,28   | 9,17  | 12,22     | 4,91     |
| ER<%>                            | 16,4       | 16,0   | 16,5  | 20,3      | 19,3     |
| D<mm>                            | 4,07       | 2,70   | 2,92  | 3,09      | 4,90     |
| fn<Hz>                           | 47,6       | 53,6   | 55,3  | 62,1      | 39,4     |
| Härte 1. Zyklus                  | 343        | 404    | 407   | 518       | 163      |
| Deformation am Härtepunkt        | 1,26       | 1,20   | 1,24  | 1,30      | 1,33     |
| % Deformation bei Härte          | 4,95       | 5,00   | 4,98  | 4,97      | 4,80     |
| Probenlänge                      | 25,4       | 24,1   | 24,9  | 26,2      | 27,6     |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 1,88       | 2,10   | 2,17  | 3,53      | 0,85     |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 0,62       | 0,58   | 0,66  | 0,78      | 0,70     |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,85       | 0,85   | 1,00  | 1,48      | 0,48     |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 2,70       | 2,95   | 3,18  | 5,02      | 1,33     |
| Rigidität 1                      | 10,0       | 13,8   | 8,3   | 17,5      | 10,0     |
| Rigidität 2                      | 10,0       | 13,8   | 8,3   | 17,5      | 10,0     |
| Beladung am Ziel                 | 343        | 404    | 407   | 518       | 163      |
| Deformation am Ziel              | 1,26       | 1,20   | 1,24  | 1,30      | 1,35     |
| % Deformation am Ziel            | 4,95       | 5,00   | 4,98  | 4,97      | 4,90     |
| Relativ-Modul                    | 0,00       | 0,00   | 0,00  | 0,00      | 0,00     |
| Peak Belastung                   | 68425      | 80662  | 81244 | 103553    | 32464    |
| Belastung bei Peak-Beladung      | 0,05       | 0,05   | 0,05  | 0,05      | 0,05     |
| Adhäsions-Kraft                  | 50         | 64     | 70    | 197       | 19       |
| Klebrigkeit                      | 0,23       | 0,40   | 0,60  | 1,12      | 0,13     |
| Geschmeidigkeit                  | 0,45       | 0,41   | 0,45  | 0,41      | 0,58     |
| Länge der Zähigkeit              | 0,36       | 0,32   | 0,31  | 0,72      | 1,99     |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,10       | 0,13   | 0,08  | 0,78      | 0,10     |
| Härte 2. Zyklus                  | 0,00       | 0,00   | 0,00  | 0,00      | 0,00     |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 1,50       | 1,58   | 1,45  | 2,75      | 0,73     |
| Kohäsion                         | 0,80       | 0,78   | 0,66  | 0,78      | 0,84     |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | 0,60       | 0,55   | 0,62  | 0,75      | 0,74     |
| Reversible Arbeit 2              | 0,78       | 0,78   | 0,90  | 1,30      | 0,45     |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 2,28       | 2,35   | 2,32  | 4,05      | 1,15     |
| Elastizität                      | 1,09       | 1,10   | 1,02  | 1,23      | 1,29     |
| Elastizitäts-Index               | 0,87       | 0,92   | 0,82  | 0,95      | 0,91     |
| Gummiartigkeit                   | 275        | 307    | 269   | 400       | 136      |
| Kaubarkeit                       | 2,93       | 3,30   | 2,72  | 4,82      | 1,75     |
| Kaubarkeits-Index                | 240        | 282    | 223   | 377       | 124      |
| Korrigierte Kohäsion             | 0,72       | 0,69   | 0,46  | 0,69      | 0,73     |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 246        | 268    | 189   | 365       | 118      |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 2,65       | 2,88   | 1,98  | 4,38      | 1,50     |

### 3.4.1.2 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Kühltemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 24 zusammengefasst.

Tab. 24: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10% Kompression und Kühltemperatur)

|                                  | Butterkäse | Edamer | Gouda  | Kashkaval | Mondseer |
|----------------------------------|------------|--------|--------|-----------|----------|
| H<mm>                            | 52.8       | 53.4   | 54.3   | 52.6      | 52.9     |
| v0<m/s>                          | 1.02       | 1.02   | 1.03   | 1.02      | 1.02     |
| Gmax                             | 25.7       | 30.5   | 30.7   | 35.4      | 22.6     |
| E*<kPa>                          | 664        | 1396   | 1284   | 1357      | 424      |
| k<N/mm>                          | 6.46       | 9.28   | 9.17   | 12.22     | 4.91     |
| ER<%>                            | 16.4       | 16.0   | 16.5   | 20.3      | 19.3     |
| D<mm>                            | 4.07       | 2.70   | 2.92   | 3.09      | 4.90     |
| fn<Hz>                           | 47.6       | 53.6   | 55.3   | 62.1      | 39.4     |
| Härte 1. Zyklus                  | 519        | 546    | 612    | 1051      | 300      |
| Deformation am Härtepunkt        | 2.52       | 2.40   | 2.40   | 2.63      | 2.81     |
| % Deformation bei Härte          | 9.95       | 9.98   | 9.98   | 9.93      | 9.93     |
| Probenlänge                      | 25.4       | 24.0   | 24.0   | 26.4      | 28.3     |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 6.03       | 5.75   | 7.23   | 14.33     | 3.47     |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 1.35       | 1.17   | 1.38   | 1.50      | 1.54     |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 2.55       | 2.20   | 2.95   | 5.23      | 1.70     |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 8.55       | 7.93   | 10.20  | 19.60     | 5.17     |
| Rigidität 1                      | 11.3       | 11.3   | 11.7   | 14.2      | 8.3      |
| Rigidität 2                      | 11.3       | 11.3   | 11.7   | 14.2      | 8.3      |
| Beladung am Ziel                 | 519        | 546    | 612    | 1051      | 300      |
| Deformation am Ziel              | 2.52       | 2.40   | 2.40   | 2.63      | 2.81     |
| % Deformation am Ziel            | 9.95       | 9.98   | 9.98   | 9.93      | 9.93     |
| Relativ-Modul                    | 0.00       | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00     |
| Peak Belastung                   | 103636     | 109130 | 122199 | 209937    | 59934    |
| Belastung bei Peak-Beladung      | 0.10       | 0.10   | 0.10   | 0.10      | 0.10     |
| Adhäsions-Kraft                  | 70         | 56     | 65     | 148       | 25       |
| Klebrigkeit                      | 0.43       | 0.40   | 0.52   | 0.82      | 0.17     |
| Geschmeidigkeit                  | 0.42       | 0.38   | 0.41   | 0.37      | 0.49     |
| Länge der Zähigkeit              | 0.57       | 0.52   | 0.44   | 0.64      | 2.59     |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0.20       | 0.13   | 0.17   | 0.55      | 0.13     |
| Härte 2. Zyklus                  | 0.00       | 165.00 | 0.00   | 0.00      | 0.00     |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 4.68       | 4.28   | 5.38   | 10.05     | 2.87     |
| Kohäsion                         | 0.77       | 0.75   | 0.75   | 0.71      | 0.83     |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | 1.23       | 1.08   | 1.28   | 1.40      | 1.48     |
| Reversible Arbeit 2              | 2.20       | 1.80   | 2.62   | 4.35      | 1.43     |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 6.85       | 6.10   | 7.97   | 14.43     | 4.30     |
| Elastizität                      | 2.15       | 2.55   | 2.10   | 2.47      | 2.30     |
| Elastizitäts-Index               | 0.85       | 0.91   | 0.88   | 0.87      | 0.82     |
| Gummiartigkeit                   | 402        | 408    | 457    | 739       | 248      |
| Kaubarkeit                       | 8.45       | 9.60   | 9.45   | 18.25     | 5.60     |
| Kaubarkeits-Index                | 343        | 364    | 402    | 648       | 203      |
| Korrigierte Kohäsion             | 0.71       | 0.71   | 0.66   | 0.64      | 0.80     |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 371        | 384    | 405    | 663       | 238      |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 7.85       | 9.08   | 8.38   | 16.33     | 5.40     |



### 3.4.1.3 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Raumtemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 25 zusammengefasst.

Tab. 25: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Raumtemperatur)

|                                  | Butterkäse | Edamer | Gouda | Kashkaval | Mondseer |
|----------------------------------|------------|--------|-------|-----------|----------|
| H<mm>                            | 54.0       | 54.9   | 56.5  | 54.3      | 52.6     |
| v0<m/s>                          | 1.03       | 1.04   | 1.05  | 1.03      | 1.02     |
| Gmax                             | 23.5       | 27.3   | 23.2  | 20.8      | 18.2     |
| E*<kPa>                          | 493        | 710    | 452   | 372       | 270      |
| k<N/mm>                          | 5.23       | 6.98   | 4.87  | 4.08      | 3.20     |
| ER<%>                            | 19.6       | 19.7   | 17.7  | 17.0      | 19.8     |
| D<mm>                            | 4.57       | 4.00   | 4.78  | 5.08      | 5.69     |
| fn<Hz>                           | 39.9       | 46.7   | 38.9  | 36.0      | 31.1     |
| Härte 1. Zyklus                  | 125        | 168    | 163   | 164       | 107      |
| Deformation am Härtepunkt        | 1.25       | 1.22   | 1.16  | 1.26      | 1.28     |
| % Deformation bei Härte          | 4.93       | 4.93   | 4.83  | 4.83      | 4.93     |
| Probenlänge                      | 25.5       | 24.9   | 24.0  | 25.9      | 26.2     |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0.77       | 1.08   | 1.00  | 1.18      | 0.63     |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 0.59       | 0.66   | 0.62  | 0.66      | 0.58     |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0.32       | 0.43   | 0.43  | 0.52      | 0.30     |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 1.07       | 1.55   | 1.43  | 1.68      | 0.87     |
| Rigidität 1                      | 11.67      | 12.50  | 13.33 | 14.17     | 6.67     |
| Rigidität 2                      | 11.67      | 12.50  | 13.33 | 14.17     | 6.67     |
| Beladung am Ziel                 | 125        | 168    | 163   | 164       | 107      |
| Deformation am Ziel              | 1.25       | 1.22   | 1.17  | 1.26      | 1.28     |
| % Deformation am Ziel            | 4.93       | 4.93   | 4.88  | 4.83      | 4.93     |
| Relativ-Modul                    | 0.00       | 0.00   | 0.00  | 0.00      | 0.00     |
| Peak Belastung                   | 24973      | 33463  | 32464 | 32797     | 21310    |
| Belastung bei Peak-Beladung      | 0.05       | 0.05   | 0.05  | 0.05      | 0.05     |
| Adhäsions-Kraft                  | 36.7       | 76.3   | 50.0  | 73.3      | 30.0     |
| Klebrigkeit                      | 0.17       | 0.48   | 0.22  | 0.40      | 0.10     |
| Geschmeidigkeit                  | 0.41       | 0.41   | 0.44  | 0.44      | 0.42     |
| Länge der Zähigkeit              | 1.13       | 0.87   | 1.51  | 0.84      | 1.21     |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0.10       | 0.38   | 0.18  | 0.28      | 0.03     |
| Härte 2. Zyklus                  | 0.00       | 0.00   | 0.00  | 0.00      | 0.00     |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 0.63       | 0.90   | 0.82  | 1.03      | 0.50     |
| Kohäsion                         | 0.84       | 0.82   | 0.82  | 0.89      | 0.81     |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | 0.55       | 0.61   | 0.59  | 0.66      | 0.51     |
| Reversible Arbeit 2              | 0.28       | 0.43   | 0.40  | 0.43      | 0.27     |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 0.92       | 1.35   | 1.25  | 1.43      | 0.77     |
| Elastizität                      | 1.09       | 1.09   | 1.05  | 1.11      | 1.11     |
| Elastizitäts-Index               | 0.87       | 0.90   | 0.90  | 0.89      | 0.87     |
| Gummiartigkeit                   | 106        | 137    | 133   | 145       | 86       |
| Kaubarkeit                       | 1.13       | 1.48   | 1.40  | 1.60      | 0.93     |
| Kaubarkeits-Index                | 93         | 124    | 120   | 129       | 73       |
| Korrigierte Kohäsion             | 0.81       | 0.71   | 0.74  | 0.94      | 0.71     |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 103        | 118    | 119   | 153       | 74       |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 1.12       | 1.30   | 1.25  | 1.67      | 0.77     |

### 3.4.1.4 Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Raumtemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 26 zusammengefasst.

Tab. 26: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Raumtemperatur)

|                                  | Butterkäse | Edamer | Gouda | Kashkaval | Mondseer |
|----------------------------------|------------|--------|-------|-----------|----------|
| H<mm>                            | 54.0       | 54.9   | 56.5  | 54.3      | 52.6     |
| v0<m/s>                          | 1.03       | 1.04   | 1.05  | 1.03      | 1.02     |
| Gmax                             | 23.5       | 27.3   | 23.2  | 20.8      | 18.2     |
| E*<kPa>                          | 493        | 710    | 452   | 372       | 270      |
| k<N/mm>                          | 5.23       | 6.98   | 4.87  | 4.08      | 3.20     |
| ER<%>                            | 19.6       | 19.7   | 17.7  | 17.0      | 19.8     |
| D<mm>                            | 4.57       | 4.00   | 4.78  | 5.08      | 5.69     |
| fn<Hz>                           | 39.9       | 46.7   | 38.9  | 36.0      | 31.1     |
| Härte 1. Zyklus                  | 287        | 211    | 288   | 302       | 197      |
| Deformation am Härtepunkt        | 2.62       | 2.36   | 2.32  | 2.49      | 2.55     |
| % Deformation bei Härte          | 9.83       | 9.77   | 9.90  | 9.82      | 9.60     |
| Probenlänge                      | 26.6       | 24.1   | 23.5  | 25.4      | 26.5     |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 3.95       | 2.59   | 3.50  | 4.23      | 2.73     |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 1.42       | 1.09   | 1.23  | 1.35      | 1.28     |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 1.63       | 1.01   | 1.37  | 1.68      | 1.23     |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 5.57       | 3.60   | 4.88  | 5.92      | 3.97     |
| Rigidität 1                      | 8.33       | 11.43  | 10.83 | 14.17     | 8.33     |
| Rigidität 2                      | 8.33       | 11.43  | 10.83 | 14.17     | 8.33     |
| Beladung am Ziel                 | 286        | 211    | 288   | 302       | 197      |
| Deformation am Ziel              | 2.64       | 2.38   | 2.32  | 2.50      | 2.60     |
| % Deformation am Ziel            | 9.92       | 9.84   | 9.90  | 9.82      | 9.83     |
| Relativ-Modul                    | 0.00       | 0.00   | 0.00  | 0.00      | 0.00     |
| Peak Belastung                   | 57271      | 42239  | 57604 | 60267     | 39290    |
| Belastung bei Peak-Beladung      | 0.10       | 0.10   | 0.10  | 0.10      | 0.10     |
| Adhäsions-Kraft                  | 56         | 46     | 43    | 75        | 45       |
| Klebrigkeit                      | 0.30       | 0.29   | 0.22  | 0.48      | 0.27     |
| Geschmeidigkeit                  | 0.42       | 0.38   | 0.40  | 0.39      | 0.44     |
| Länge der Zähigkeit              | 0.75       | 0.84   | 0.65  | 1.01      | 0.90     |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0.22       | 0.19   | 0.13  | 0.38      | 0.17     |
| Härte 2. Zyklus                  | 0.00       | 0.00   | 0.00  | 0.00      | 0.00     |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 3.05       | 2.00   | 2.73  | 3.18      | 2.13     |
| Kohäsion                         | 0.77       | 0.77   | 0.78  | 0.75      | 0.78     |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | 1.29       | 0.97   | 1.14  | 1.23      | 1.23     |
| Reversible Arbeit 2              | 1.40       | 0.84   | 1.15  | 1.42      | 1.10     |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 4.45       | 2.86   | 3.87  | 4.62      | 3.23     |
| Elastizität                      | 2.18       | 1.92   | 1.93  | 2.09      | 2.13     |
| Elastizitäts-Index               | 0.83       | 0.80   | 0.83  | 0.84      | 0.82     |
| Gummiartigkeit                   | 222        | 164    | 226   | 227       | 153      |
| Kaubarkeit                       | 4.72       | 3.10   | 4.27  | 4.67      | 3.17     |
| Kaubarkeits-Index                | 183        | 133    | 187   | 190       | 125      |
| Korrigierte Kohäsion             | 0.72       | 0.74   | 0.75  | 0.69      | 0.68     |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 203        | 157    | 215   | 210       | 135      |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 4.35       | 2.96   | 4.07  | 4.32      | 2.80     |

### 3.4.2 Korrelationen des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse

#### 3.4.2.1 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Kühltemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 27 zusammengefasst.

Tab. 27: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Kühltemperatur)

| Korrelation mit                  | Gmax  | E*<kPa> | k<N/mm> | ER<%> | D<mm> | fn<Hz> |
|----------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Härte 1. Zyklus                  | 0,96  | 0,88    | 0,95    | 0,00  | -0,86 | 0,99   |
| Deformation am Härtepunkt        | -0,29 | -0,59   | -0,25   | 0,87  | 0,73  | -0,34  |
| % Deformation bei Härte          | 0,76  | 0,85    | 0,72    | -0,50 | -0,92 | 0,81   |
| Probenlänge                      | -0,46 | -0,71   | -0,42   | 0,79  | 0,83  | -0,51  |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,95  | 0,77    | 0,95    | 0,27  | -0,71 | 0,96   |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 0,33  | -0,01   | 0,36    | 0,94  | 0,17  | 0,28   |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,93  | 0,73    | 0,93    | 0,32  | -0,66 | 0,94   |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,95  | 0,76    | 0,95    | 0,29  | -0,70 | 0,96   |
| Rigidität 1                      | 0,69  | 0,52    | 0,73    | 0,53  | -0,40 | 0,63   |
| Rigidität 2                      | 0,69  | 0,52    | 0,73    | 0,53  | -0,40 | 0,63   |
| Beladung am Ziel                 | 0,96  | 0,88    | 0,95    | 0,00  | -0,86 | 0,99   |
| Deformation am Ziel              | -0,38 | -0,65   | -0,34   | 0,83  | 0,78  | -0,43  |
| % Deformation am Ziel            | 0,74  | 0,91    | 0,71    | -0,53 | -0,97 | 0,77   |
| Relativ-Modul                    | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Peak Belastung                   | 0,96  | 0,88    | 0,95    | 0,00  | -0,86 | 0,99   |
| Belastung bei Peak-Beladung      | -0,58 | -0,47   | -0,57   | -0,26 | 0,41  | -0,59  |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,88  | 0,63    | 0,90    | 0,54  | -0,52 | 0,87   |
| Klebrigkeit                      | 0,93  | 0,74    | 0,94    | 0,47  | -0,63 | 0,92   |
| Geschmeidigkeit                  | -0,82 | -0,83   | -0,80   | 0,31  | 0,87  | -0,86  |
| Länge der Zähigkeit              | -0,58 | -0,68   | -0,54   | 0,64  | 0,80  | -0,66  |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,72  | 0,42    | 0,76    | 0,74  | -0,28 | 0,69   |
| Härte 2. Zyklus                  | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 0,90  | 0,68    | 0,91    | 0,35  | -0,61 | 0,90   |
| Kohäsion                         | -0,52 | -0,64   | -0,47   | 0,39  | 0,69  | -0,56  |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | -0,01 | -0,31   | 0,04    | 0,97  | 0,48  | -0,07  |
| Reversible Arbeit 2              | 0,93  | 0,73    | 0,93    | 0,30  | -0,67 | 0,95   |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 0,91  | 0,70    | 0,92    | 0,34  | -0,63 | 0,92   |
| Elastizität                      | -0,21 | -0,43   | -0,15   | 0,87  | 0,59  | -0,30  |
| Elastizitäts-Index               | 0,29  | 0,13    | 0,34    | 0,63  | 0,01  | 0,20   |
| Gummiartigkeit                   | 0,92  | 0,80    | 0,92    | 0,09  | -0,77 | 0,94   |
| Kaubarkeit                       | 0,90  | 0,71    | 0,91    | 0,32  | -0,64 | 0,90   |
| Kaubarkeits-Index                | 0,91  | 0,77    | 0,92    | 0,18  | -0,72 | 0,91   |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,33 | -0,46   | -0,29   | 0,34  | 0,51  | -0,37  |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 0,83  | 0,66    | 0,84    | 0,20  | -0,62 | 0,84   |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 0,81  | 0,60    | 0,83    | 0,37  | -0,52 | 0,81   |

### 3.4.2.2 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Kühltemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 28 zusammengefasst.

Tab. 28: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Kühltemperatur)

| Korrelation mit                  | Gmax  | E*<kPa> | k<N/mm> | ER<%> | D<mm> | fn<Hz> |
|----------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Härte 1. Zyklus                  | 0,92  | 0,69    | 0,93    | 0,42  | -0,60 | 0,92   |
| Deformation am Härtepunkt        | -0,46 | -0,70   | -0,41   | 0,80  | 0,82  | -0,53  |
| % Deformation bei Härte          | 0,21  | 0,54    | 0,16    | -0,84 | -0,66 | 0,25   |
| Probenlänge                      | -0,47 | -0,70   | -0,42   | 0,79  | 0,83  | -0,53  |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,87  | 0,61    | 0,89    | 0,52  | -0,50 | 0,87   |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -0,17 | -0,48   | -0,14   | 0,84  | 0,61  | -0,20  |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,84  | 0,56    | 0,85    | 0,55  | -0,46 | 0,84   |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,86  | 0,60    | 0,88    | 0,53  | -0,49 | 0,86   |
| Rigidität 1                      | 0,93  | 0,76    | 0,93    | 0,16  | -0,72 | 0,96   |
| Rigidität 2                      | 0,93  | 0,76    | 0,93    | 0,16  | -0,72 | 0,96   |
| Beladung am Ziel                 | 0,92  | 0,69    | 0,93    | 0,42  | -0,60 | 0,92   |
| Deformation am Ziel              | -0,46 | -0,70   | -0,41   | 0,80  | 0,82  | -0,53  |
| % Deformation am Ziel            | 0,21  | 0,54    | 0,16    | -0,84 | -0,66 | 0,25   |
| Relativ-Modul                    | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Peak Belastung                   | 0,92  | 0,69    | 0,93    | 0,42  | -0,60 | 0,92   |
| Belastung bei Peak-Beladung      | -0,85 | -0,77   | -0,82   | 0,02  | 0,76  | -0,89  |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,84  | 0,57    | 0,85    | 0,46  | -0,48 | 0,85   |
| Klebrigkeit                      | 0,92  | 0,71    | 0,92    | 0,31  | -0,65 | 0,94   |
| Geschmeidigkeit                  | -0,90 | -0,88   | -0,89   | 0,15  | 0,88  | -0,92  |
| Länge der Zähigkeit              | -0,70 | -0,75   | -0,67   | 0,50  | 0,84  | -0,78  |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,70  | 0,37    | 0,73    | 0,70  | -0,25 | 0,69   |
| Härte 2. Zyklus                  | 0,17  | 0,46    | 0,17    | -0,49 | -0,50 | 0,13   |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 0,86  | 0,59    | 0,88    | 0,52  | -0,49 | 0,86   |
| Kohäsion                         | -0,96 | -0,88   | -0,95   | -0,01 | 0,86  | -0,99  |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | -0,24 | -0,51   | -0,20   | 0,84  | 0,64  | -0,28  |
| Reversible Arbeit 2              | 0,83  | 0,56    | 0,85    | 0,52  | -0,46 | 0,84   |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 0,85  | 0,58    | 0,87    | 0,53  | -0,48 | 0,85   |
| Elastizität                      | 0,43  | 0,44    | 0,46    | 0,29  | -0,34 | 0,33   |
| Elastizitäts-Index               | 0,75  | 0,92    | 0,73    | -0,47 | -0,97 | 0,76   |
| Gummiartigkeit                   | 0,91  | 0,69    | 0,92    | 0,41  | -0,60 | 0,92   |
| Kaubarkeit                       | 0,90  | 0,66    | 0,92    | 0,49  | -0,56 | 0,89   |
| Kaubarkeits-Index                | 0,93  | 0,72    | 0,94    | 0,38  | -0,64 | 0,93   |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,92 | -0,82   | -0,90   | 0,02  | 0,81  | -0,96  |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 0,91  | 0,68    | 0,92    | 0,41  | -0,60 | 0,91   |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 0,89  | 0,66    | 0,91    | 0,49  | -0,56 | 0,88   |

### 3.4.2.3 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 5 % Kompression und Raumtemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 29 zusammengefasst.

Tab. 29: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Raumtemperatur)

| Korrelation mit                  | Gmax  | E*<kPa> | k<N/mm> | ER<%> | D<mm> | fn<Hz> |
|----------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Härte 1. Zyklus                  | 0,62  | 0,57    | 0,57    | -0,60 | -0,62 | 0,63   |
| Deformation am Härtepunkt        | -0,53 | -0,41   | -0,43   | 0,39  | 0,47  | -0,48  |
| % Deformation bei Härte          | 0,11  | 0,21    | 0,21    | 0,98  | -0,11 | 0,12   |
| Probenlänge                      | -0,64 | -0,54   | -0,56   | 0,19  | 0,58  | -0,59  |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | 0,47  | 0,43    | 0,42    | -0,69 | -0,48 | 0,49   |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | 0,47  | 0,49    | 0,47    | -0,50 | -0,49 | 0,52   |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | 0,24  | 0,20    | 0,19    | -0,82 | -0,26 | 0,27   |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | 0,49  | 0,46    | 0,45    | -0,67 | -0,50 | 0,51   |
| Rigidität 1                      | 0,56  | 0,48    | 0,49    | -0,67 | -0,60 | 0,57   |
| Rigidität 2                      | 0,56  | 0,48    | 0,49    | -0,67 | -0,60 | 0,57   |
| Beladung am Ziel                 | 0,62  | 0,57    | 0,57    | -0,60 | -0,62 | 0,63   |
| Deformation am Ziel              | -0,57 | -0,46   | -0,48   | 0,36  | 0,52  | -0,52  |
| % Deformation am Ziel            | 0,19  | 0,25    | 0,25    | 0,97  | -0,15 | 0,17   |
| Relativ-Modul                    | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Peak Belastung                   | 0,62  | 0,57    | 0,57    | -0,60 | -0,62 | 0,63   |
| Belastung bei Peak-Beladung      | -0,30 | -0,20   | -0,22   | 0,57  | 0,36  | -0,29  |
| Adhäsions-Kraft                  | 0,56  | 0,57    | 0,55    | -0,43 | -0,56 | 0,59   |
| Klebrigkeit                      | 0,63  | 0,66    | 0,64    | -0,28 | -0,64 | 0,67   |
| Geschmeidigkeit                  | -0,41 | -0,50   | -0,50   | -0,92 | 0,42  | -0,42  |
| Länge der Zähigkeit              | -0,22 | -0,32   | -0,29   | -0,05 | 0,28  | -0,29  |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | 0,70  | 0,72    | 0,70    | -0,29 | -0,70 | 0,74   |
| Härte 2. Zyklus                  | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | 0,43  | 0,40    | 0,39    | -0,70 | -0,45 | 0,46   |
| Kohäsion                         | -0,11 | -0,13   | -0,14   | -0,69 | 0,01  | -0,06  |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | 0,34  | 0,31    | 0,30    | -0,73 | -0,38 | 0,38   |
| Reversible Arbeit 2              | 0,50  | 0,47    | 0,46    | -0,64 | -0,49 | 0,52   |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | 0,51  | 0,47    | 0,46    | -0,66 | -0,51 | 0,53   |
| Elastizität                      | -0,47 | -0,35   | -0,38   | 0,20  | 0,43  | -0,41  |
| Elastizitäts-Index               | 0,62  | 0,55    | 0,55    | -0,49 | -0,57 | 0,60   |
| Gummiartigkeit                   | 0,54  | 0,49    | 0,49    | -0,68 | -0,56 | 0,56   |
| Kaubarkeit                       | 0,49  | 0,45    | 0,45    | -0,69 | -0,51 | 0,52   |
| Kaubarkeits-Index                | 0,57  | 0,52    | 0,52    | -0,66 | -0,58 | 0,59   |
| Korrigierte Kohäsion             | -0,23 | -0,26   | -0,26   | -0,68 | 0,12  | -0,19  |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 0,31  | 0,26    | 0,26    | -0,79 | -0,36 | 0,34   |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 0,34  | 0,30    | 0,29    | -0,75 | -0,39 | 0,37   |

### 3.4.2.4 Kugelresilienztester, 5 cm Fallhöhe und Texturprofilanalyse bei 10 % Kompression und Raumtemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Texturprofilanalyse (planer AACC36-Stempel) erhaltenen Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 30 zusammengefasst.

Tab. 30: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Raumtemperatur)

| Korrelation mit                  | Gmax  | E*<kPa> | k<N/mm> | ER<%> | D<mm> | fn<Hz> |
|----------------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|
| Härte 1. Zyklus                  | 0,02  | -0,10   | -0,07   | -0,75 | -0,10 | 0,02   |
| Deformation am Härtepunkt        | -0,51 | -0,46   | -0,46   | 0,34  | 0,42  | -0,48  |
| % Deformation bei Härte          | 0,53  | 0,40    | 0,43    | -0,57 | -0,56 | 0,50   |
| Probenlänge                      | -0,58 | -0,51   | -0,51   | 0,41  | 0,50  | -0,55  |
| Härte Gesamtarbeit 1. Zyklus     | -0,19 | -0,28   | -0,26   | -0,67 | 0,09  | -0,18  |
| Reversible Deformation 1. Zyklus | -0,56 | -0,60   | -0,58   | -0,18 | 0,46  | -0,55  |
| Reversible Arbeit Zyklus 1       | -0,37 | -0,45   | -0,43   | -0,55 | 0,27  | -0,36  |
| Gesamtarbeit 1. Zyklus           | -0,24 | -0,33   | -0,31   | -0,65 | 0,14  | -0,23  |
| Rigidität 1                      | 0,17  | 0,15    | 0,14    | -0,77 | -0,19 | 0,21   |
| Rigidität 2                      | 0,17  | 0,15    | 0,14    | -0,77 | -0,19 | 0,21   |
| Beladung am Ziel                 | 0,02  | -0,10   | -0,08   | -0,75 | -0,10 | 0,01   |
| Deformation am Ziel              | -0,54 | -0,48   | -0,48   | 0,42  | 0,47  | -0,52  |
| % Deformation am Ziel            | 0,32  | 0,21    | 0,25    | 0,16  | -0,33 | 0,26   |
| Relativ-Modul                    | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Peak Belastung                   | 0,02  | -0,10   | -0,07   | -0,75 | -0,10 | 0,02   |
| Belastung bei Peak-Beladung      | 0,40  | 0,28    | 0,31    | -0,62 | -0,47 | 0,39   |
| Adhäsions-Kraft                  | -0,24 | -0,23   | -0,24   | -0,56 | 0,13  | -0,18  |
| Klebrigkeit                      | -0,22 | -0,19   | -0,21   | -0,52 | 0,13  | -0,16  |
| Geschmeidigkeit                  | -0,75 | -0,71   | -0,71   | 0,45  | 0,75  | -0,76  |
| Länge der Zähigkeit              | -0,39 | -0,29   | -0,33   | -0,15 | 0,35  | -0,33  |
| Gesamtarbeit Zähigkeit           | -0,21 | -0,19   | -0,21   | -0,55 | 0,12  | -0,15  |
| Härte 2. Zyklus                  | 0,00  | 0,00    | 0,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| Härte Gesamtarbeit 2. Zyklus     | -0,19 | -0,28   | -0,26   | -0,65 | 0,09  | -0,18  |
| Kohäsion                         | 0,11  | 0,06    | 0,08    | 0,45  | -0,03 | 0,04   |
| Reversible Deformation 2. Zyklus | -0,74 | -0,77   | -0,76   | -0,15 | 0,67  | -0,74  |
| Reversible Arbeit 2              | -0,46 | -0,53   | -0,51   | -0,48 | 0,36  | -0,45  |
| Gesamtarbeit 2. Zyklus           | -0,27 | -0,36   | -0,34   | -0,61 | 0,17  | -0,27  |
| Elastizität                      | -0,62 | -0,60   | -0,59   | 0,20  | 0,54  | -0,60  |
| Elastizitäts-Index               | -0,57 | -0,67   | -0,65   | -0,77 | 0,51  | -0,58  |
| Gummiartigkeit                   | 0,05  | -0,08   | -0,05   | -0,72 | -0,12 | 0,03   |
| Kaubarkeit                       | -0,09 | -0,20   | -0,17   | -0,61 | 0,00  | -0,10  |
| Kaubarkeits-Index                | 0,02  | -0,11   | -0,08   | -0,74 | -0,09 | 0,01   |
| Korrigierte Kohäsion             | 0,79  | 0,71    | 0,73    | -0,04 | -0,74 | 0,75   |
| Korrigierte Gummiartigkeit       | 0,16  | 0,03    | 0,06    | -0,73 | -0,23 | 0,15   |
| Korrigierte Kaubarkeit           | 0,01  | -0,10   | -0,08   | -0,64 | -0,10 | 0,01   |

### 3.5 Ergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraft- und Bruchkraftmessung und Korrelationen

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Scher- und Bruchkraftmessungen ist zu beachten, dass die Genauigkeit der verwendeten Kraftmesszelle bei  $\pm 0,5$  N (im Bereich 1-500 N) lag.

#### 3.5.1 Kugelresilienztester und Scherkraft bei Kühltemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Scherkraftmessung erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 31 zusammengefasst.

Tab. 31: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraftmessung (Kühltemperatur) und Korrelationen

| Werte bei<br>5-10°C | Kugelresilienztester |         |       |         |         |       |       |        | Instron       |
|---------------------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|---------------|
|                     | H, mm                | v0, m/s | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | fn, Hz | max. Kraft, N |
| Edamer              | 53,39                | 1,02    | 30,52 | 1395,95 | 9,28    | 16,01 | 2,70  | 53,63  | 2,57          |
| Butterkäse          | 52,82                | 1,02    | 25,72 | 663,69  | 6,46    | 16,42 | 4,07  | 47,60  | 2,61          |
| Mondseer            | 52,94                | 1,02    | 22,56 | 424,43  | 4,91    | 19,25 | 4,90  | 39,39  | 3,36          |
| Gouda               | 54,33                | 1,03    | 30,73 | 1283,82 | 9,17    | 16,51 | 2,92  | 55,25  | 3,51          |
| Kashkaval           | 52,58                | 1,02    | 35,35 | 1357,27 | 12,22   | 20,33 | 3,09  | 62,07  | 2,40          |
| Min.                | 52,58                | 1,02    | 22,56 | 424,43  | 4,91    | 16,01 | 2,70  | 39,39  | 2,40          |
| Max.                | 54,33                | 1,03    | 35,35 | 1395,95 | 12,22   | 20,33 | 4,90  | 62,07  | 3,51          |
| r mit max.<br>Kraft |                      |         | -0,47 | -0,33   | -0,49   | -0,10 | 0,32  | -0,47  |               |
| p-Wert<br>(t-Test)  |                      |         | 0,000 | 0,007   | 0,016   | 0,000 | 0,186 | 0,000  |               |

Die Werte sind, der Größe nach geordnet, mit zunehmend dunkler Farbe unterlegt.

### 3.5.2 Kugelresilienztester und Scherkraft bei Raumtemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Scherkraftmessung erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 32 zusammengefasst.

Tab. 32: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraftmessung (Raumtemperatur) und Korrelationen

| Werte bei:<br>23-27°C | Kugelresilienztester |         |       |         |         |       |       |        | Instron       |
|-----------------------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|---------------|
|                       | H, mm                | v0, m/s | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | fn, Hz | max. Kraft, N |
| Edamer                | 54,90                | 1,04    | 27,27 | 710,23  | 6,98    | 19,70 | 4,00  | 46,71  | 2,25          |
| Butterkäse            | 53,98                | 1,03    | 23,47 | 493,49  | 5,23    | 19,59 | 4,57  | 39,94  | 2,91          |
| Mondseer              | 53,75                | 1,03    | 20,31 | 321,07  | 3,90    | 21,52 | 5,43  | 32,80  | 2,33          |
| Gouda                 | 56,52                | 1,05    | 23,22 | 451,58  | 4,87    | 17,65 | 4,78  | 38,92  | 2,81          |
| Kashkaval             | 54,31                | 1,03    | 20,81 | 371,73  | 4,08    | 17,00 | 5,08  | 35,97  | 1,37          |
| Min.                  | 53,75                | 1,03    | 20,31 | 321,07  | 3,90    | 17,00 | 4,00  | 32,80  | 1,37          |
| Max.                  | 56,52                | 1,05    | 27,27 | 710,23  | 6,98    | 21,52 | 5,43  | 46,71  | 2,91          |
| R mit<br>max.Kraft    |                      |         | 0,32  | 0,22    | 0,27    | 0,35  | -0,27 | 0,22   | 1,00          |
| p-Wert                |                      |         | 0,000 | 0,002   | 0,008   | 0,000 | 0,004 | 0,000  |               |

Die Werte sind, der Größe nach geordnet, mit zunehmend dunkler Farbe unterlegt.

### 3.5.3 Kugelresilienztester und Bruchkraft bei Kühltemperatur

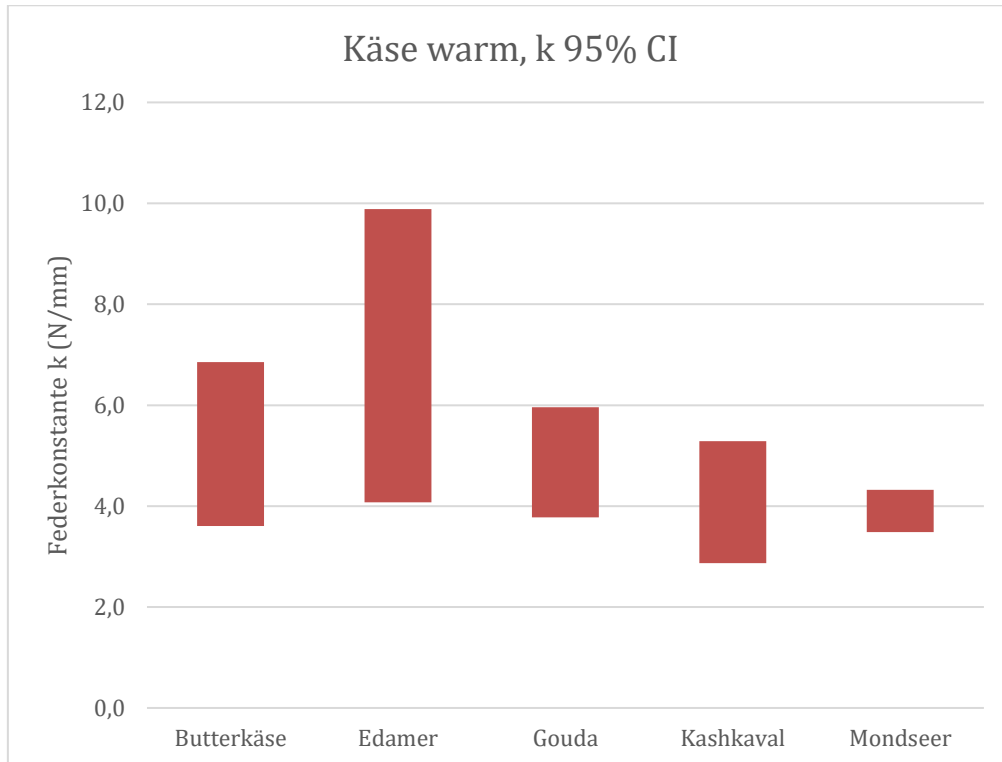
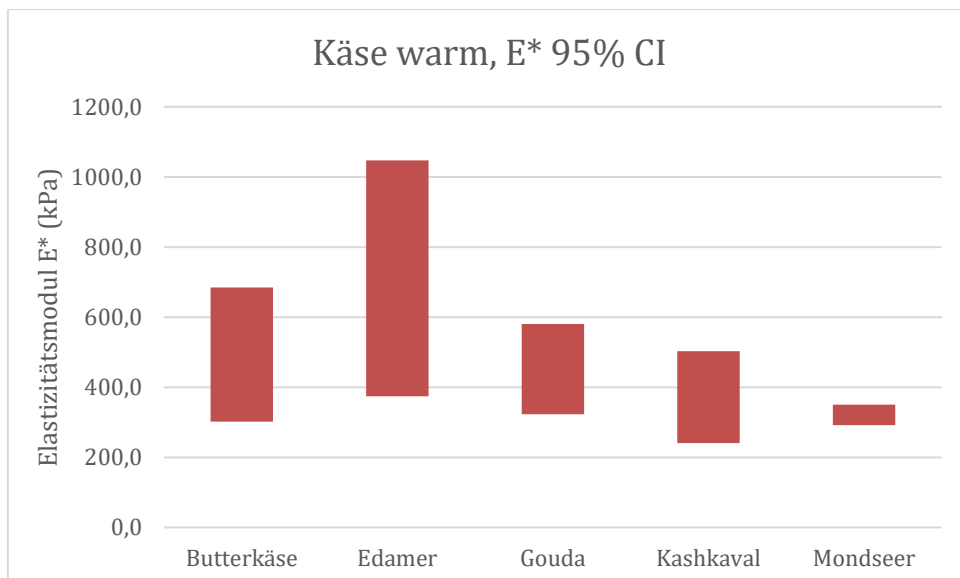
Die vom Kugelresilienztester und mit Scherkraftmessung erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 33 zusammengefasst.

Tab. 33: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Bruchkraftmessung (Kühltemperatur) und Korrelationen

| Werte bei:<br>5-10°C | Kugelresilienztester |         |       |         |         |       |       |        | Instron     |
|----------------------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|-------------|
|                      | H, mm                | v0, m/s | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | fn, Hz | Brk.Load, N |
| Edamer               | 53,39                | 1,02    | 30,52 | 1395,95 | 9,28    | 16,01 | 2,70  | 53,63  | 1,3         |
| Butterkäse           | 52,82                | 1,02    | 25,72 | 663,69  | 6,46    | 16,42 | 4,07  | 47,60  | 1,0         |
| Mondseer             | 52,94                | 1,02    | 22,56 | 424,43  | 4,91    | 19,25 | 4,90  | 39,39  | 1,3         |
| Gouda                | 54,33                | 1,03    | 30,73 | 1283,82 | 9,17    | 16,51 | 2,92  | 55,25  | 1,3         |
| Kashkaval            | 52,58                | 1,02    | 35,35 | 1357,27 | 12,22   | 20,33 | 3,09  | 62,07  | 0,9         |
| Min.                 | 52,58                | 1,02    | 22,56 | 424,43  | 4,91    | 16,01 | 2,70  | 39,39  | 0,9         |
| Max.                 | 54,33                | 1,03    | 35,35 | 1395,95 | 12,22   | 20,33 | 4,90  | 62,07  | 1,3         |
| r mit<br>Brk.Load    |                      |         | -0,32 | 0,04    | -0,34   | -0,51 | -0,10 | -0,35  | 1.00        |
| p-Wert               |                      |         | 0,000 | 0,007   | 0,003   | 0,000 | 0,001 | 0,000  |             |

Die Werte sind, der Größe nach geordnet, mit zunehmend dunkler Farbe unterlegt.



Abb 14: 95% Vertrauensbereiche der Federkonstante  $k$ , ermittelt mit dem KugelresilienztesterAbb 15: 95% Vertrauensbereiche des Elastizitätsmoduls  $E^*$ , ermittelt mit dem Kugelresilienztester

### 3.5.4 Kugelresilienztester und Bruchkraft bei Raumtemperatur

Die vom Kugelresilienztester und mit Bruchkraftmessung erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 34 zusammengefasst.

Tab. 34: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Bruchkraftmessung (Raumtemperatur) und Korrelationen

| Werte bei:<br>23-27°C | Kugelresilienztester |         |       |         |         |       |       |        | Instron     |
|-----------------------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|-------------|
|                       | H, mm                | v0, m/s | Gmax  | E*, kPa | k, N/mm | ER, % | D, mm | fn, Hz | Brk.Load, N |
| Edamer                | 54,90                | 1,04    | 27,27 | 710,23  | 6,98    | 19,70 | 4,00  | 46,71  | 1,2         |
| Butterkäse            | 53,98                | 1,03    | 23,47 | 493,49  | 5,23    | 19,59 | 4,57  | 39,94  | 1,7         |
| Mondseer              | 53,75                | 1,03    | 20,31 | 321,07  | 3,90    | 21,52 | 5,43  | 32,80  | 1,0         |
| Gouda                 | 56,52                | 1,05    | 23,22 | 451,58  | 4,87    | 17,65 | 4,78  | 38,92  | 1,3         |
| Kashkaval             | 54,31                | 1,03    | 20,81 | 371,73  | 4,08    | 17,00 | 5,08  | 35,97  | 0,9         |
| Min.                  | 53,75                | 1,03    | 20,31 | 321,07  | 3,90    | 17,00 | 4,00  | 32,80  | 0,9         |
| Max.                  | 56,52                | 1,05    | 27,27 | 710,23  | 6,98    | 21,52 | 5,43  | 46,71  | 1,7         |
| r mit<br>Brk.Load     |                      |         | 0,33  | 0,29    | 0,31    | 0,12  | -0,40 | 0,32   |             |
| p-Wert<br>(t-Test)    |                      |         | 0,000 | 0,002   | 0,001   | 0,000 | 0,000 | 0,000  |             |

Die Werte sind, der Größe nach geordnet, mit zunehmend dunkler Farbe unterlegt.

#### 4. Diskussion

Auf Grund der Vielzahl, der bei der Texturprofilanalyse errechneten Größen werden in der Diskussion nicht alle Kennwerte mit jenen des Kugelresilienztesters verglichen. Es wurde ein Schwerpunkt auf Kennwerte der Texturprofilanalyse und des Kugelresilienztesters gelegt, bei denen ein Kausalzusammenhang anzunehmen war.

Die Korrelationen instrumenteller Verfahren mit sensorischer Bewertung befinden sich je nach Verfahren im Bereich von  $r = 0,5$ , sind aber z. T. auch signifikant (Nollet und Toldra 2011). Zum Vergleich verschiedener Verfahren gibt es weniger Studien und in diesen werden im Allgemeinen eher eng definierte Produktgruppen benutzt (Hyldig und Nielsen 2001, Romero de Ávila 2014, Ruiz de Huidobro et al. 2005). Im Gegensatz dazu wird in dieser Arbeit eine weit gefasste Gruppe von Lebensmitteln (Fleischprodukte, Milchprodukte, Obst) benutzt, da der Kugelresilienztester möglichst vielfältig einsetzbar sein sollte. Dieser Vergleich über verschiedene Produktgruppen hat den Nachteil, dass die Vergleichs- bzw. Referenzmethoden nicht immer optimal an die Proben/Produkte angepasst werden konnten, sondern dass immer eine einheitliche Geräte-Einstellung verwendet wurde. So wird z. B. empfohlen, dass das zu testende Produkt einen kleineren Durchmesser als der verwendete Stempel aufweist (<https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis>). Da dies bei einigen Versuchen nicht der Fall war bzw. nicht möglich war und darüber hinaus bei einer Texturprofilanalyse die Einstellungen genau auf das Produkt angepasst werden sollten, wird eine Folgestudie empfohlen, die hierauf eingeht.

##### 4.1 Übereinstimmung der Kugelresilienztesterwerte mit jenen der Kompression

Die Korrelation der Arbeit bis zum Härtepunkt (Kompressionsphase) war stark mit der Federkonstante und dem Elastizitätsmodul des Kugelresilienztesters korreliert ( $r$  ca. 0,86 bei planem AACC36-Stempel Kompression und Kugelresilienztester mit 10 cm Fallhöhe, sonst war  $r \geq 0,93$ ). Die Korrelationen waren statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ), die Gruppengrößen betrug 7 für die Versuche mit 5 cm Fallhöhe beim Kugelresilienztester und 11 bei den Versuchen mit 10 cm Fallhöhe beim Kugelresilienztester.

Diese hohen Korrelationskoeffizienten waren nicht unerwartet, da beim Kompressionsversuch die Weglänge fest vorgegeben war (50 % bei einer immer gleichen Produkthöhe), und somit ein hoher Wert für die Arbeit bis zum Härtepunkt nur durch einen steilen Anstieg der Kraft im

Kraft-Weg-Diagramm zu erzielen war. In diesem Fall wäre aber auch der Wert für die Federkonstante entsprechend höher. In gleicher Weise kann der hohe Korrelationskoeffizient des Elastizitätsmoduls (Kugelresilienztester) mit der Gesamtarbeit bis zum Härtepunkt (Kompressionsversuch) erklärt werden. Die reversible Arbeit, die beim Herauffahren des Stempels beim Kompressionsversuch gemessen wird, ist die Kraft, mit der die Probe auf den mit festgelegter Geschwindigkeit nach oben fahrendem Stempel drückt. Da es bei einigen Proben bei 50 % Kompression zu auf den ersten Blick nicht sichtbaren Rissen, Brüchen bzw. Verformungen kam, war auch nicht zu erwarten, dass diese reversible Arbeit bzw. das Verhältnis der reversiblen Arbeit zur Arbeit bis zum Härtepunkt (Kompressionsversuch) gut mit der Energierückgewinnung korreliert. Zu beachten ist auch, dass es bei den Proben „Melone“, „Apfel“, „Mozzarella“ und „Hirtenkäse“ durch die aus 5 cm bzw. 10 cm Höhe fallende Kugel zu irreversiblen plastischen Verformungen kam, wodurch die Energierückgewinnung verringert war.

Im Gegensatz zu den üblichen Vorschriften für Kompressionsversuche waren die zu untersuchenden Objekte größer als die Stempelfläche. Damit können am Rand des Stempels Scherkräfte in der Probe entstehen (Smewing undatiert). Da aber der Kugelresilienztester mit seiner sphärischen Fläche naturgemäß eine größere Auftreff-Fläche benötigt und beim Kompressionsversuch nicht nur ein Stempel mit planer Fläche, sondern auch eine Kugel mit 30 mm Durchmesser verwendet wurde, war auf diese Weise zumindest eine bessere Vergleichbarkeit gegeben.

#### **4.2 Übereinstimmung der Kugelresilienztesterwerte mit jenen der Texturprofilanalyse**

Die Texturprofilanalyse liefert ebenso, wie der Kugelresilienztester Parameter, die sich auf Kraft-Weg-Diagramme zurückführen lassen. Bei der Messung von auf Raumtemperatur gebrachten Produkten waren die Korrelation der mittels Texturprofilanalyse ermittelten Werte mit jenen des Kugelresilienztesters (Tab. 29, 30) bis auf wenige Ausnahmen niedriger als bei den Werten der an gekühlten Proben durchgeführten Messungen (Tab. 27, 28). Es ist aber zu beachten, dass die Wertebereiche der Proben bei Raumtemperatur (Tab. 25, 26) enger waren als jene der gekühlten Proben (Tab. 23, 24). Da die Messgenauigkeit der jeweiligen Geräteanordnungen nicht genau bekannt war, ist denkbar, dass hier einzelne Proben von einem oder beiden Verfahren nicht zuverlässig unterschieden werden konnten (s.a. 4.3).

Wie schon unter 4.1 besprochen, ergab sich eine hohe Korrelation der Federkonstanten  $k$  (Kugelresilienztester) mit der Gesamtarbeit bzw. der Arbeit bis zum Härtepunkt. Da – anders

als bei den Versuchen mit 50%iger Kompression – bei der 5- oder 10%igen Kompression keine Probe beschädigt wurde, war es auch nicht verwunderlich, dass die Federkonstante auch mit der reversiblen Arbeit korrelierte (da beim Rücklauf des Stempels die Probe eben mit der Federcharakteristik zurückdrückt). Dies galt auch für einen zweiten Kompressions-Entspannungszyklus. Die hohe Korrelation der „Gummiartigkeit“ (Texturprofilanalyse) mit der Federkonstante  $k$  (Kugelresilienztester) und der Resonanzfrequenz  $f_n$  (Kugelresilienztester) ist nicht verwunderlich, da das „gummiartige Verhalten“ letztlich jener einer Feder entspricht. Da bei den Versuchen die Geschwindigkeit der Kompression und jene des Zurücklaufens des Stempels etwas unterschiedlich waren, ist bei der Interpretation einiger Kennwerte der Texturprofilanalyse Vorsicht geboten (Brookfield, undatiert).

#### **4.3 Übereinstimmung der Kugelresilienztesterwerte mit jenen der Scherkraft und Bruchkraft**

Die Messung der Scherkraft bedingt eine Zerstörung des Objekts, wobei eher das Durchtrennen des Objekts mit den Schneidezahnkanten simuliert wird, es ist also kein Schneidvorgang. Dieses Verfahren ist geeignet, verschiedene Produkte oder verschiedene Reifungsstufen oder Zubereitungsarten zu vergleichen, muss aber nicht notwendigerweise mit der Konsumentenakzeptanz korrelieren (Platter et al. 2003), da hier auch der Eindruck beim Kauen (Widerstand bei mehrmaligen Kauen) von Bedeutung ist. Das Kauempfinden kann besser über die Texturprofilanalyse nachgestellt werden.

Beim Vergleich verschiedener Lebensmittel von Obst über Fleischwaren zu Käsen ergaben sich signifikante und hohe positive Korrelationen der Federkonstanten, des Elastizitätsmoduls, der Resonanzfrequenz mit der Scherkraft, sofern bestimmte Produkte ausgeschlossen wurden. Es ist dies aber weniger eine Einschränkung bei der Scherkraftbestimmung, sondern auf die Natur des Kugelresilienztesters Gerätes zurückzuführen, das die Probe als ideale Feder betrachtet. Von der Regressionsgerade abweichende Wertepaare zeigen daher entweder an, dass das Objekt irreversibel verformt wurde (Obst; Energierückgewinnung niedrig) oder dass das Objekt sich zwar verformt, aber der Durchtrennung erheblichen Widerstand entgegensetzt (Rohschinken mit Faserstruktur, die als Bündelung elastischer Seile verstanden werden kann).

Beim Vergleich von fünf verschiedenen Schnittkäsen ergaben sich nur sehr niedrige Korrelationskoeffizienten, und es ergaben sich bei der Reihung der Werte nach Größe

verschiedene Reihungen (durch farbige Unterlegung in den Tabellen 31-34 kenntlich gemacht), was die Aussagekraft des Korrelationskoeffizienten schmälert. Es ist zu beachten, dass die Bruchkraftwerte (Tab. 33, 34) bei etwa 1 N waren, was die unterste Grenze für die verwendete 500 N Messzelle darstellt; zu berücksichtigen ist auch die Genauigkeit von 0,5 N (im Bereich 1–500 N). Da die Scherkraftwerte im Bereich 2,4–3,51 N (Tab. 31, 32) waren, ist auch hier die Genauigkeit des Kraftaufnehmers kritisch.

Bei der Darstellung der Ergebnisse des Kugelresilienztesters Geräts nach Rängen (farbige Unterlegung in Tab. 31–34) zeigt sich auch zwischen den verschiedenen Parametern nicht immer dieselbe Reihung, was auch zu den niedrigen Korrelationskoeffizienten zur Scher- bzw. Bruchkraft beiträgt und die Frage aufwirft, ob die fünf Käsesorten zuverlässig unterschieden werden konnten. Die Abb. 13 und 14 zeigen anhand der Federkonstanten und des Elastizitätsmoduls beispielhaft, dass die Vertrauensbereiche sich bei einigen Käsesorten deutlich überlappten, was eine Unterscheidung der Sorten in der Praxis wohl erschweren würde. Hier wären weitere Untersuchungen nötig, um die Genauigkeit des Kugelresilienztesters zu definieren. Denkbar ist aber auch, dass die Streuung ein Produktcharakteristikum ist (Beprobung verschiedener Stellen einer Probe zeigt Inhomogenitäten an) oder dass bei mehrfacher Beprobung einer Stelle bzw. sehr nahe nebeneinanderliegenden Probenstellen es zu Änderungen der Produkteigenschaften kommt (Virag, 2018). Da die „Würfe“ des Kugelresilienztesters zeitlich knapp aufeinander folgen, ist nicht auszuschließen, dass Pausen zwischen den Würfeln zu einer Verringerung der Streuung führen könnten (wobei die knapp hintereinander erfolgenden „Würfe“ eher dem Kaugeschehen entsprechen).

#### **4.4 Mögliche Anwendungsbereiche des Kugelresilienztesters**

Der Kugelresilienztester macht es durch seine Bauart möglich, die Textur von verschiedenen Materialien schnell und einfach zu testen und ist dabei transportabel, sowie günstig in der Herstellung. Zudem ermöglicht der Kugelresilienztester eine nahezu zerstörungsfreie Ermittlung der Textur. Mit dem Erarbeiten von zusätzlichen Daten (Messgenauigkeit des Kugelresilienztesters, optimierter Vergleich mit der Texturprofilanalyse) könnte er eine transportable Alternative zur Texturprofilanalyse darstellen. Dies würde den Einsatz des Kugelresilienztesters in der Produktion von Lebensmitteln, bei der Qualitätssicherung und der Reifeüberprüfung ermöglichen.

## 5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Kugelresilienztester (Kugel-Resilienztester nach Peham und Schramel 2016; Europ. Patent EP 3045890 A1) mit der Scherkraftmessung (Warner-Bratzler-Scherzelle; Instron) und der Texturprofilanalyse bzw. Kompression (AACCC36-Stempel, Kugelstempel mit 30 mm Durchmesser; Brookfield) verglichen. Bei einer Texturprüfung mit dem Kugelresilienztester fällt eine mit Sensoren ausgestattete Kugel auf das zu beprobende Objekt und misst dabei die Fallhöhe, die Beschleunigung, die Abbremsung und den Rückstoß, um daraus unter anderem die Federkonstante, das Elastizitätsmodul, die Energierückgewinnung, die Resonanzfrequenz und die Eindringtiefe zu berechnen. Diese -durch den Kugelresilienztester- erhaltenen Kennwerte wurden in Korrelation zu den Kennwerten der etablierten Texturmessmethoden (Warner-Bratzler-Scherzelle, Texturprofilanalyse) gesetzt. In einer ersten Versuchsreihe wurden hohe und signifikante Korrelationen für Federkonstante und Elastizitätsmodul (Kugelresilienztester) mit der Arbeit bis zum Härtepunkt und der Gesamtarbeit (Kompressionsversuch) erhalten, wenn die Testbedingungen beim Kugelresilienztester es den Produkten erlauben, wie ein elastischer Körper zu reagieren. Produkte, die ausgesprochen plastisch reagierten (Apfel, Melone) oder eine faserige Struktur aufwiesen (Rohschinken), konnten nicht in die Korrelationsanalyse einbezogen werden. Bei der vergleichenden Untersuchung von fünf schnittfesten Käsen (ähnliche Sorten) ergaben sich keine verwertbaren Korrelationen zwischen Kugelresilienztester, Scherkraft und Texturprofilanalyse, was z.T. durch die Empfindlichkeitsgrenze des Scherkraft-Messgeräts bedingt war. Die Messgenauigkeit der Versuchs-/Testanordnungen sollte in weiteren Studien untersucht werden.

## 6 Summary

In this study, a texture measuring device “Kugelresilienztester” (Kugelresilienztester, spherical resilience testing device according to Peham und Schramel 2016; Europ. Patent EP 3045890 A1) was compared to shear force testing (Warner-Bratzler shear cell; Instron) and texture profile analysis (AACC36 flat probe, spherical-probe with a diameter of 30 mm; Brookfield). The texture analysis with the Kugelresilienztester uses a small steel ball with sensors. The ball is elevated and impacting in free fall on the sample. Sensors measure height, acceleration, deceleration and recoil to calculate spring constant, modulus of elasticity, energy recovery, resonance frequency and depth of penetration. The parameters received from the Kugelresilienztester were correlated with the parameters of renowned texture measuring methods (Warner-Bratzler shear cell, texture profile analysis, compression). In the first series of experiments, high and significant correlations were obtained for spring constant and elasticity modulus (Kugelresilienztester) and work-to-hardness-point and total work (compression test), when testing conditions of the Kugelresilienztester allowed the product to behave as an elastic unit. Foods with pronounced plasticity (apple, melon) or with fibrous structure (dry cured ham) were excluded from correlation analysis. In a test of five similar firm cheese types, no useful correlation between the texture profile analysis and shear force measurement could be established, which was, in part due to limited sensitivity of the shear force device. It is suggested to conduct further studies on measurement accuracy of the used test- or experimental-setup.



## 7. Abkürzungen

|          |                                               |
|----------|-----------------------------------------------|
| BK       | Bruchkraftmessung                             |
| D        | Eindringtiefe                                 |
| E*       | Elastizitätsmodul                             |
| ER       | Energierückgewinnung                          |
| fn       | Resonanzfrequenz                              |
| k        | Federkonstante                                |
| K-AACC36 | Kompressionstest mit AACC36 genormtem Stempel |
| K-KS     | Kompressionstest mit Kugelstempel             |
| KRT      | Kugelresilienztester                          |
| KRT-5cm  | Kugelresilienztest bei einer Fallhöhe von 5cm |
| SK       | Scherkraftmessung                             |
| TPA      | Texturprofilanalyse                           |
| TPA-5%   | Texturprofilanalyse bei 5% Deformation        |
| TPA-10%  | Texturprofilanalyse bei 10% Deformation       |

## 8. Literaturverzeichnis

Barton-Gade, P.A., Cross, H.R., Jones, J.M., & Winger, R.J. (1988). In H.R. Cross & A.J. Overby (Eds.), *Meat Science, Milk Science and Technology* (pp.141-171). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. zitiert nach Ruiz de Huidobro et al. 2005.

Bourne, M.C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62-66. Zitiert nach Herrero et al. 2008.

Bourne, M.C. (2002). Principles of objective texture measurement. In M.C. Bourne (Ed.), *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (pp. 107-188). San Diego, USA. Zitiert nach Romero de Ávila et al. 2014.

Bratzler, L.J. (1932). Measuring the tenderness of meat by means of a mechanical shear. Master of Science Thesis. Kansas State College (KA), USA.

Brookfield (undatiert). Glossar zur Texturprofilanalyse. <https://www.brookfieldengineering.de/brookfield-university/learning-center/learn-about-texture-analysis/texture-analysis-glossary>. (Zugriff 10.09.2021).

Civille, G.V., and Liska, I.H. (1975). Modifications and applications to foods of the General Foods sensory texture profile technique. *Journal of Texture Studies*, 6, 19-31.

Culioli, J. (1995). Meat tenderness: Mechanical assessment. In A. Ouali, D.I. De Meyer, & F.J.M. Smulders (Eds.), *Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality* (pp. 239-263). Utrecht (The Netherlands): ECCEAMST.

Desmond, E. (2006). Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*, 74, 188-196.

García, M. L., Cáceres, E., Selgas, M. D. (2006). Effect of inulin on the textural and sensory properties of mortadella, a Spanish cooked meat product. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1207-1215.

Guerrero, L., Guàrdia, M.D. (1999). La medida de las propiedades mecánicas en la carne y en los derivados cárnicos [The assessment of the mechanicals properties in meat and meat products]. *Eurocarne*, 77, 41-49. Zitiert nach Huidobro et al. 2005.

- Herrero A.M, De la Hoz L, Ordóñez J.A, Herranz B, Romero de Ávila M.D, Cambero M.I. (2008). Tensile properties of cooked meat sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters and physico-chemical characteristics. *Meat Science*, 80, 690-696.
- Honikel K.O. (1998). Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat. *Meat Science*, 49, 447-457.
- Hyldig, G., & Nielsen, D. (2001). A review of sensory and instrumental methods used to evaluate the texture of fish muscle. *Journal of Texture Studies*, 32, 219-242.
- Jiménez-Colmenero, F. (2000). Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 56-66.
- Kemi, V. E., Karkkainen, M. U., & Lamberg-Allardt, C. J. E. (2006). High phosphorus intakes acutely and negatively affected  $\text{Ca}^{2+}$  and bone metabolism in a dose dependent manner in healthy young females. *British Journal of Nutrition*, 96, 545-552.
- Kerr, W. L., Wang, X., & Choi, S. G. (2005). Physicals and sensory characteristics of low-fat Italian sausage prepared with hydrated oat. *Journal of Food Quality*, 28, 62-77.
- Lawless H.T, Heymann H. (1998). *Sensory Evaluation of Food*. 1. Auflage. New York: Chapman & Hall (379-405).
- Lu, R. (2013). Principles of solid food texture analysis In D. Kilcast (Ed.). *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality: A Practical Guide*. Abington, Cambridge UK: Woodhead Publishing Ltd., 103-128. Unter:  
[https://books.google.at/books?id=XwxaAgAAQBAJ&pg=PA103&lpg=PA103&dq=Kilcast,+D.++\(2004\).+Force/deformation+techniques+for+measuring+texture.+In+D.+Kilcast+\(Ed.\).+Texture+in+food&source=bl&ots=nA5cSCN8jM&sig=ACfU3U2xo1VyhkBoNP95amTb7kfHx962vg&hl=de&sa=X&ved=2ahUKEwj7xaisrNHyaHw\\_\\_7sIH9pCVEQ6AF6BAgOEAM#v=onepage&q=Kilcast%2C%20D.%20\(2004\).%20Force%2Fdeformation%20techniques%20for%20measuring%20texture.%20In%20D.%20Kilcast%20\(Ed.\).%20Texture%20in%20food&f=false](https://books.google.at/books?id=XwxaAgAAQBAJ&pg=PA103&lpg=PA103&dq=Kilcast,+D.++(2004).+Force/deformation+techniques+for+measuring+texture.+In+D.+Kilcast+(Ed.).+Texture+in+food&source=bl&ots=nA5cSCN8jM&sig=ACfU3U2xo1VyhkBoNP95amTb7kfHx962vg&hl=de&sa=X&ved=2ahUKEwj7xaisrNHyaHw__7sIH9pCVEQ6AF6BAgOEAM#v=onepage&q=Kilcast%2C%20D.%20(2004).%20Force%2Fdeformation%20techniques%20for%20measuring%20texture.%20In%20D.%20Kilcast%20(Ed.).%20Texture%20in%20food&f=false)
- Mor-Mur, M., & Yuste, J. (2003). High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: Physicals properties and sensory analysis. *Meat Science*, 65, 1187-1191.
- Nollet L.M.L, Toldrá F. (2011). *Sensory Analysis of Food of Animal Origin*. 1.Auflage. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

- Platter, W. J., Tatum, J. D., Belk, K. E., Chapman, P. L., Scanga, J. A., & Smith, G. C. (2003). Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science*, 81, 2741–2750
- Prändl O, Fischer A, Schmidhofer T, Sinell H-J. (1988). *Handbuch der Lebensmitteltechnologie - Fleisch Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung*. 1.Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co (702-704).
- Rohm, H. 1990. Consumer awareness of food texture in Austria. *Journal of Texture Studies*, 21, 363-373. (eingesehen unter: <https://dokumen.tips/documents/consumer-awareness-of-food-texture-in-austria.html>)
- Romero de Ávila M.D, Cambero M.I, Ordóñez J.A, De la Hoz L, Herrero A.M. (2014). Rheological behavior of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA). *Meat Science*, 98, 310-315.
- Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Blázquez B, Onega E. (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69, 527-536.
- Ruusunen, M., & Puolanne, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70, 531-541.
- Smewing, J (undatiert): Texture – a meaty issue. Erhältlich unter: <https://www.stablemicrosystems.com/ResourceRequest.html#article-meaty> (Zugriff 10.09.2021).
- Thaler M. (2018). Eignung eines Resilienztestgerätes zur zerstörungsfreien Bestimmung der Zartheit von Fleisch [Diplomarbeit]. Wien: Veterinärmedizinische Universität Wien.
- Tscheuschner H.D. (1996). *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*. 2.Auflage. Hamburg: B. Behr's Verlag GmbH & Co (S. 135-187).
- Virag Y. (2018). Bestimmung der Konsistenz von Extrawurst und Kochschinken mittels Kugelresilienztester [Diplomarbeit]. Wien: Veterinärmedizinische Universität Wien.

Warner, K.F. (1928). Progress report of the mechanical test for tenderness of meat. Proceedings of the American Society of Animal Production, 21, 114. Zit. nach: Schultz, H.W. (1957) : MECHANICAL METHODS OF MEASURING TENDERNESS OF MEAT.  
<https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1957/mechanical-methods-of-measuring-tenderness-of-meat.pdf?sfvrsn=2>

Yilmaz, I., Simsek, O., & Isikli, M. (2002). Fatty acid composition and quality characteristics of low-fat cooked sausage made with beef and chicken meat, tomato juice and sunflower oil. Meat Science, 62, 253-258.

#### WEBPAGES

<https://patents.google.com/patent/EP3045890A1/nl> (12.08.2021). Peham, C, Schramel, JP (2016) Vorrichtung zur Bestimmung der elastischen Eigenschaften von Oberflächen und Böden und Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung, Patent EP 3045890 A1.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Eindringtiefe> (03.08.2021)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Elastizitätsmodul> (03.08.2021)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Federkonstante> (03.08.2021)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Resonanzfrequenz> (11.08.2021)

<https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis> (07.08.2021)

## 9. Abbildungs-/ Tabellenverzeichnis

| <b>Abbildungen</b>                                                                                   | <b>Seite</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Abb 1: Beschreibung und Messaufbau des Kugelresilienztesters                                         | 6            |
| Abb 2: CT3 Brookfield Texture Analyzer und verwendete Stempel                                        | 8            |
| Abb 3: Beispiele für das Programminterface der Einstellungen und Ergebnisauswahl                     | 12           |
| Abb 4: Schematischer Kraft-Abstand-Beispielgraph für den 1.Zyklus einer Texturprofilanalyse          | 15           |
| Abb 5: Schematischer Beispielgraph für die Darstellung zweier Texturprofilanalysezyklen              | 15           |
| Abb 6: Versuchsaufbau Instron - für die Scher- und Bruchkraftmessung                                 | 18           |
| Abb 7: Warner-Bratzler-Scherzelle                                                                    | 18           |
| Abb 8: k (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)                                                          | 44           |
| Abb 9: Elastizitätsmodul $E^*$ (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)                                    | 44           |
| Abb 10: Resonanzfrequenz (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)                                          | 45           |
| Abb 11: k (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)                                                         | 47           |
| Abb 12: Elastizitätsmodul $E^*$ (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)                                   | 47           |
| Abb 13: Resonanzfrequenz (x-Achse) und Scherkraft (y-Achse)                                          | 48           |
| Abb 14: 95% Vertrauensbereiche der Federkonstante k, ermittelt mit dem Kugelresilienztester          | 59           |
| Abb 15: 95% Vertrauensbereiche des Elastizitätsmoduls $E^*$ , ermittelt mit dem Kugelresilienztester | 59           |

| <b>Tabellen</b>                                                                                            | <b>Seite</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tab. 1: Einstellungen für das Kompressionsverfahren                                                        | 9            |
| Tab. 2: Einstellungen für die Texturprofilanalyse                                                          | 10           |
| Tab. 3: Ausgewählte Ergebnisparameter                                                                      | 11           |
| Tab. 4: Definition der Ergebnisparameter in Kurzform                                                       | 16           |
| Tab. 5: Beprobte Fleischprodukte                                                                           | 21           |
| Tab. 6: Beprobte Milchprodukte                                                                             | 23           |
| Tab. 7: Beprobte Obstsorten                                                                                | 25           |
| Tab. 8: Übersicht für die an den verschiedenen Produkten durchgeführten Tests (1.Probendurchlauf)          | 26           |
| Tab. 9: Übersicht für die an den verschiedenen Käsen durchgeführten Tests (2.Probendurchlauf)              | 29           |
| Tab. 10: Wertebereiche für die mit den verschiedenen Verfahren aus 2.3.1 erhaltenen Kennzahlen             | 30           |
| Tab. 11: Wertebereiche für die mit den verschiedenen Verfahren erhaltenen Kennzahlen aus 2.3.2 bei 5-10°C  | 32           |
| Tab. 12: Wertebereiche für die mit den verschiedenen Verfahren erhaltenen Kennzahlen aus 2.3.2 bei 23-27°C | 33           |
| Tab. 13: Ergebnisse des Kugelresilienztesters (5 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel         | 34           |
| Tab. 14: Ergebnisse des Kugelresilienztesters (10 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel        | 35           |
| Tab. 15: Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 5 cm Fallhöhe und der Kompression mit dem AACC36-Stempel | 36           |

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 16.1: Ergebnisse des Kugelresilienztesters aus 10 cm Fallhöhe                                                                                    | 37 |
| Tab. 16.2: Ergebnisse der Kompression mit dem AACC36-Stempel bei 50 % Kompression                                                                     | 38 |
| Tab. 17: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (5 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel                 | 39 |
| Tab. 18: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (10 cm Fallhöhe) und der Kompression mit Kugelstempel                | 40 |
| Tab. 19: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (5 cm Fallhöhe) und der Kompression mit AACC36-Stempel               | 41 |
| Tab. 20: Korrelationskoeffizienten der Werte aus der Kugelresilienztestermessung (10 cm Fallhöhe) und der Kompression mit AACC36-Stempel              | 42 |
| Tab. 21: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraft bei 10 verzehrfertigen Lebensmitteln                                             | 43 |
| Tab. 22: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraft bei 15 verzehrfertigen Lebensmitteln                                             | 46 |
| Tab. 23: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Kühltemperatur)             | 49 |
| Tab. 24: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Kühltemperatur)            | 50 |
| Tab. 25: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Raumtemperatur)             | 51 |
| Tab. 26: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Raumtemperatur)            | 52 |
| Tab. 27: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Kühltemperatur)  | 53 |
| Tab. 28: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Kühltemperatur) | 54 |
| Tab. 29: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (5 % Kompression und Raumtemperatur)  | 55 |
| Tab. 30: Korrelationskoeffizienten des Kugelresilienztesters und der Texturprofilanalyse mit dem AACC36-Stempel (10 % Kompression und Raumtemperatur) | 56 |
| Tab. 31: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraftmessung (Kühltemperatur) und Korrelationen                                        | 57 |
| Tab. 32: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Scherkraftmessung (Raumtemperatur) und Korrelationen                                        | 58 |
| Tab. 33: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Bruchkraftmessung (Kühltemperatur) und Korrelationen                                        | 59 |
| Tab. 34: Messergebnisse des Kugelresilienztesters und der Bruchkraftmessung (Raumtemperatur) und Korrelationen                                        | 60 |