

Ermittlung materialwissenschaftlicher Kennwerte von Fleisch- und Fischprodukten

vorgelegt von Diplom-Ingenieur
Nico Hildebrandt
aus Berlin

von der Fakultät III – Prozesswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss

Vorsitzender: Prof. Dr. M. H. Wagner

Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. B. Senge

Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. F. Thiemig

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 09.09.2009

Berlin 2009

D 83

Kurzfassung

Ermittlung materialwissenschaftlicher Kennwerte von Fleisch- und Fischprodukten

Bisherige Erkenntnisse bezüglich der Strukturausbildung bei der Fermentation und Rekonstitution von zerkleinertem Muskelgewebe beruhen vor allem auf mikroskopischen sowie auf sensorisch-taktilen Beobachtungen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die komplexen Strukturbildungsvorgänge zerkleinerten Muskelgewebes in der Mikrostrukturebene während Fermentations- und Rekonstitutionsprozessen mittels rheologischer Methoden materialwissenschaftlich analysiert und bewertet.

Mit Hilfe von Oszillationsmessungen im Timesweep-Modus im linear viskoelastischen Bereich der Modellbrätproben aus Rind- und Schweinefleisch sowie Karpfenfilet konnte anhand der rheologischen Parameter Speichermodul G' und Verlustfaktor $\tan \delta$ der Fermentationsverlauf rohstoffabhängig in verschiedene Strukturierungsabschnitte eingeteilt und pH- und zeitabhängig diskutiert werden. So wurden bei der Fermentation von Rind- und Schweinefleisch vier, bei der Fermentation von Karpfenfilet fünf Strukturierungsabschnitte festgestellt.

Am Beispiel der Rindfleischfermentation wurden die Auswirkungen von Salzzugabe, Starterkulturzugabe und Starterkulturpräparat auf die Strukturbildungsprozesse untersucht. Dabei wurden sowohl die Vorstrukturierung der myofibrillären Proteine durch den Einsalzeffekt als auch die einsetzende Säuredenaturierung der Muskelproteine als wichtige strukturbildende Elemente der Partikelgelausbildung erkannt. Durch Variation des Starterkulturpräparates konnte festgestellt werden, dass geringere Säuerungsraten zu geordneteren Partikelgelnetzwerken führen.

Am Beispiel der Schweinefleischfermentation konnte die Strukturbildungsgeschwindigkeit v_{Str} durch Ableitung der linearisierten Teilbereiche der $G'(t)$ -Kurve als weiterer Parameter zur neuartigen quantitativen Bewertung ablaufender Strukturierungen herangezogen werden. Dabei zeigte sich, dass mit zunehmendem Wasser- und Fettgehalt die Strukturbildungsgeschwindigkeit abnahm. Mit zunehmendem Gehalt an Fett bzw. S8 nahmen die viskosen Eigenschaften zu. Ab einem S8-Gehalt von 30 % wurde die Ausbildung eines Partikelgels verhindert. Durch einen höheren Fremdwassergehalt wurde die Relation von viskosen zu elastischen Eigenschaften nicht verändert. Die Zugabe von Ca-Lactat hatte einen leicht störenden Einfluss auf vorstrukturierende Quelleffekte und somit etwas schwächere Partikelgele zur Folge.

Messungen im Amplituden- und Frequenzsweep-Modus zeigten, dass bei den Bräten vor und nach der Fermentation Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis vorlagen.

Eine Analyse der Strukturbildungsvorgänge bei der Rekonstitution von Fleisch durch Alginat-Calcium-Systeme mittels Oszillationsmessungen im Timesweep zeigte in Abhängigkeit von der Zusammensetzung anhand der Parameter Speichermodul G' und Verlustfaktor $\tan \delta$ unterschiedliche Strukturierungsmechanismen in der Mikroebene, welche erfasst und diskutiert wurden.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten materialwissenschaftlichen Untersuchungen ermöglichen neuartige objektive Aussagen über den Mechanismus der Strukturausbildung bei der Fermentation und Rekonstitution von Fleisch und Fisch. Die Untersuchungen können zur Bewertung von Formulierungsänderungen, technologischen Parametern und Rohstoffen hinsichtlich der Strukturausbildung in der Mikrostrukturebene im Rahmen von Produktentwicklungen genutzt werden.

Abstract

Determination of material scientific characteristics of meat and fish products

Knowledge on the structuring mechanisms during the processing of fermented and structured meat and fish products is often obtained from microscopical and sensory investigations. The objective of the work was the material scientific analysis and assessment of the complex structuring mechanisms of minced muscle tissue in the micro structure during fermentation and structuring processes with rheological methods.

Oscillation tests in timesweep were applied within the linear viscoelastic region to investigate the behavior of muscle homogenates from beef, pork and carp during the fermentation process. The development of structure was described as a gelification process depending on acidification and time. The rheological parameters loss factor $\tan \delta$ and storage modulus G' were used to divide the fermentation process into different phases of structure formation. Four phases were found for the fermentation process of beef and pork and five phases for carp homogenates, respectively.

Experiments were carried out with beef homogenates to investigate the influence of the addition of salt, starter culture and type of starter culture on the mechanisms of structure formation during the fermentation process. The pre-structuring of meat proteins due to the addition of salt and the denaturation of the meat proteins were found to be key factors for the development of a particle gel network. Slow rates of acidification were found to result in better structure of the particle gel network.

Investigations on the fermentation process of pork homogenates lead to the new parameter rate of structure formation v_{Str} , which was obtained by the first derivation of the $G'(t)$ curve. With increasing water and fat (S8) content v_{Str} decreases. With increasing S8 content, the viscous properties increases, but with increasing water content, the relation from viscous to elastic properties did not change. A S8 content over 30 % prevents the development of a particle gel network. The addition of Ca-lactate leads to a slight decreasing of the pre-structuring of meat proteins due to the addition of salt and thus to the formation of a slightly weaker particle gel network.

Amplitude- and frequency-sweeps showed, that the muscle homogenates are complex disperse systems on the basis of particles before and after the fermentation process, respectively.

The investigations on the mechanisms of structure formation during the meat structuring process with alginate-calcium-systems were carried out with oscillation tests in timesweep mode. Different mechanisms of structure formation were detected with the help of the parameters $\tan \delta$ and G' in dependence on the ingredients and compounds of the different alginate-calcium-systems.

The material scientific investigations of this work allow new objective statements about the mechanisms of structure formation during fermentation and structuring processes of meat and fish. The investigations could be a useful instrument during the development stage of products to estimate the different effects of new ingredients, technological parameters and raw materials on the structure formation of the microstructure.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	IX
1. Einleitung	1
2. Aufgabenstellung	2
3. Literaturrecherche	3
3.1. Muskelaufbau	3
3.2. Fettgewebsaufbau	4
3.3. Funktionelle Eigenschaften von Fleisch	5
3.3.1. Wasserbindungseigenschaften von Fleisch	5
3.3.2. Quelleigenschaften von Fleisch.....	6
3.3.3. Rheologische Eigenschaften von Fleisch- und Fischbrät	8
3.4. Fleisch- und Fischfermentation	12
3.4.1. Starterkulturen	12
3.4.2. Kohlenhydrate.....	13
3.4.3. Neutralsalze.....	13
3.4.4. Salze der Genussäuren.....	13
3.4.5. Antioxidationsmittel	13
3.4.6. Konservierungsmittel.....	14
3.4.7. Strukturbildungstheorien fermentierter Fleisch- und Fischprodukte	14
3.5. Fleischbindesysteme auf Alginatbasis	16
3.6. Rheologische Methoden und experimentelle Grundlagen	16
3.6.1. Texturerfassung	17
3.6.2. Konsistenz erfassung.....	17
3.6.3. Oszillationsmessungen	17
3.6.3.1. Grundlagen	18
3.6.3.2. Amplitudensweepmessungen.....	19
3.6.3.3. Frequenzsweepmessungen:	19
3.6.3.4. Timesweep-Messungen	20
3.7. Zusammenfassung Literaturrecherche	20
4. Material und Methoden	21
4.1. Material	21
4.1.1. Rindfleisch	21
4.1.2. Schweinefleisch	21
4.1.3. Karpfen.....	21
4.2. Eingesetzte Zusatzstoffe.....	21
4.2.1. Starterkultur	21
4.2.2. Zusatzstoffe	22
4.2.3. Fleischbindesysteme auf Alginatbasis	22
4.3. Präparationsmethoden.....	23

4.3.1.	Rindfleisch	23
4.3.1.1.	1. Versuchsserie	23
4.3.1.2.	2. Versuchsserie (Variation Präparation und Starterkultur).....	24
4.3.2.	Schweinefleisch	25
4.3.2.1.	Variation Fremdwassergehalt.....	25
4.3.2.2.	Variation Fettgehalt.....	26
4.3.2.3.	Variation Ca-Lactat	27
4.3.2.4.	Fleischbindesysteme	28
4.3.3.	Karpfen.....	28
4.4.	Chemisch-physikalische Kennwerte	29
4.4.1.	pH-Wert	29
4.4.2.	Trockensubstanzgehalt	29
4.4.3.	Rohproteingehalt.....	30
4.4.4.	Aschegehalt	30
4.4.5.	Charakterisierung mittels GEHA-Standardisierung	30
4.5.	Materialwissenschaftliche Methoden	30
4.5.1.	Konventionelle rheologische Untersuchungen	30
4.5.2.	Oszillationsmessungen	30
4.5.2.1.	Amplitudensweep	31
4.5.2.2.	Frequenzsweep	31
4.5.2.3.	Timesweep.....	31
4.6.	Statistische Absicherung.....	32
5.	Fermentationsverlauf Rindfleisch	33
5.1.	Chemisch-physikalische Kennwerte Rindfleisch.....	33
5.2.	Fermentationsuntersuchungen 1. Versuchsserie Rindfleisch.....	33
5.2.1	Charakterisierung pH-Wert-Verlauf 1. Versuchsserie Rindfleisch.....	33
5.2.2	Strukturierungsprozesse während der Fermentation (Standardansatz)	34
5.2.3	Strukturierungsprozesse während der Fermentation ohne Salzzugabe.....	36
5.2.4.	Strukturierungsprozesse während der Fermentation ohne Starterkulturen	37
5.2.5.	Vergleichende Betrachtung der ablaufenden Strukturierungsprozesse.....	38
5.3.	Einfluss Probenpräparation und Starterkulturvariation	39
5.3.1.	Vergleich des Präparationsverfahrens mit und ohne Passiersieb	40
5.3.1.1.	Charakterisierung pH-Wert-Verlauf in Abhängigkeit von der Präparation.....	40
5.3.1.2.	Einfluss der Präparation auf $\tan \delta$ während der Fermentation	40
5.3.1.3.	Einfluss der Präparation auf G' während der Fermentation.....	41
5.3.1.4.	Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$	41
5.3.2.	Einfluss der Starterkultur auf die Fermentation von Rindfleisch.....	42
5.3.2.1.	Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes in Abhängigkeit von der Starterkultur.....	42
5.3.2.2.	Verlustfaktor im Timesweep in Abhängigkeit von der Starterkultur	42
5.3.2.3.	Speichermodul im Timesweep in Abhängigkeit von der Starterkultur.....	43
5.4.	Zusammenfassende Wertung der Fementation von Rindfleisch	44
6.	Fermentationsverlauf von Schweinefleisch.....	45
6.1.	Chemisch-physikalische Kennwerte Schweinefleisch	45
6.2.	Einfluss des Fremdwassergehaltes auf den Fermentationsverlauf.....	46
6.2.1.	Charakterisierung des pH-Verlaufes in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	46
6.2.2.	Speichermodul im Timesweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	47

6.2.3.	Verlustfaktor im Timesweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	48
6.2.4.	Einteilung des Fermentationsverlaufes von Schweinefleisch anhand $\tan \delta$	48
6.2.5.	Einteilung des Fermentationsverlaufes von Schweinefleisch anhand Speichermodul G' 50	
6.2.6.	Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	52
6.2.7.	Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	56
6.2.8.	Frequenzsweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	57
6.2.9.	Zusammenfassende Wertung Variation Fremdwassergehalt	58
6.3.	Einfluss des Fettgehaltes auf den Fermentationsverlauf.....	59
6.3.1.	Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	59
6.3.1.1.	Fermentationszeiten bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt	59
6.3.1.2.	Startlevel der pH-Werte in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	60
6.3.1.3.	Adaptionsphase in Abhängigkeit vom Fettgehalt	61
6.3.2.	Verlustfaktor $\tan \delta$ während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	61
6.3.3.	Speichermodul während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	62
6.3.4.	Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	64
6.3.5.	Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Fettgehalt	68
6.3.5.1.	Amplitudensweep vor der Fermentation.....	68
6.3.5.2.	Amplitudensweep nach der Fermentation.....	69
6.3.6.	Frequenzsweep in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	71
6.3.6.1.	Frequenzsweep-Messungen vor der Fermentation.....	71
6.3.6.2.	Frequenzsweep-Messungen nach der Fermentation.....	73
6.3.7.	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	74
6.4.	Einfluss von Ca-Lactat auf den Fermentationsverlauf.....	75
6.4.1.	Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	75
6.4.1.1.	Fermentationszeiten bis pH 5 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	75
6.4.1.2.	Startlevel der pH-Werte in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	76
6.4.1.3.	Adaptionsphase in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	77
6.4.1.4.	Säuerungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	77
6.4.2.	Verlustfaktor im Timesweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	78
6.4.3.	Speichermodul im Timesweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	78
6.4.4.	Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	80
6.4.5.	Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	84
6.4.5.1.	Amplitudensweep-Messungen vor der Fermentation (Ca-Lactat).....	84
6.4.5.2.	Amplitudensweep nach der Fermentation (Ca-Lactat).....	84
6.4.6.	Frequenzsweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	85
6.4.6.1.	Frequenzsweep-Messung vor der Fermentation (Ca-Lactat)	85
6.4.6.2.	Frequenzsweep-Messung nach der Fermentation (Ca-Lactat).....	85
6.4.7.	Zusammenfassende Wertung Ca-Lactat-Untersuchungen.....	86
7.	Strukturbildung Karpfenfermentation	88
7.1.	Chemisch-physikalische Kennwerte Karpfen.....	88
7.2.	Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes von K3 und K2	89
7.2.1.	Fermentationszeiten bis pH 5 bei Karpfen	89

7.2.2.	Startlevel der pH-Werte Karpfen.....	90
7.2.3.	Adaptionsphasen Karpfen.....	90
7.3.	Speichermodulverlauf im Timesweep von K3 und K2.....	91
7.4.	Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ im Timesweep von K3 und K2.....	92
7.5.	Einteilung des Fermentationsverlaufes von Karpfen anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$	93
7.6.	Amplitudensweep von Karpfen.....	95
7.6.1.	Amplitudensweep der Rohbräte vor der Fermentation.....	95
7.6.2.	Amplitudensweep der Bräte K3 und K2 vor der Fermentation.....	95
7.6.3.	Amplitudensweep der Bräte K3 und K2 nach der Fermentation:.....	96
7.7.	Frequenzsweep von Karpfen.....	96
7.7.1.	Frequenzsweep-Messungen der Rohbräte K3 und K2.....	96
7.7.2.	Frequenzsweep vor und nach der Fermentation.....	98
7.8.	Zusammenfassende Wertung der Fermentation von Karpfen.....	99
8.	Fleischbindesysteme auf Alginatbasis.....	100
8.1.	Timesweep Einkomponentensystem Raps.....	100
8.2.	Timesweep Zweikomponentensystem ISP MT 200/ MT230.....	101
8.3.	Timesweep Zweikomponentensystem Hansen INNO 20/INNO 30.....	102
8.4.	Timesweep Einkomponentensystem ISP MT 624.....	103
8.5.	Zusammenfassende Wertung der Timesweepmessungen.....	104
8.6.	Bewertung der realisierten Strukturierungsmechanismen.....	105
8.7.	Visuelle und textuelle Bewertung der erhaltenen Produkte.....	105
8.8.	Zusammenfassende Wertung der Fleischbindesysteme auf Alginatbasis.....	107
9.	Hinweise für weiterführende Arbeiten.....	109
10.	Zusammenfassung.....	110
11.	Literaturverzeichnis.....	113
12.	Anhang.....	121
12.1	Tabellenverzeichnis.....	147
12.2.	Abbildungsverzeichnis.....	148

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Lateinische Symbole

<u>Symbol</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Einheit</u>
A	Fläche	m ²
d	Durchmesser	m, nm, μm
f	Frequenz	Hz
F	Kraft	N
G	Schubmodul	Pa
G'	Speichermodul	Pa
G''	Verlustmodul	Pa
h	Spaltweite, Schichtdicke	m
K	Konsistenzfaktor	Pas ⁿ
MAW	Mittelabweichung	...
MW	Mittelwert	...
l	Länge	m, mm, cm
n	Fließindex	-
R ²	Bestimmtheitsmaß	-
R _a	Außenradius Zylindermesssystem	m
R _i	Innenradius Zylindermesssystem	m
s	Auslenkung	m
s	Weg	m
S	Standardabweichung	...
Stabw	Standardabweichung	...
t	Zeit	s, min, h
T	Temperatur	°C
V _{Str}	Strukturbildungsgeschwindigkeit	Pa/min
X _i	Einzelwert	...
\bar{X}	Mittelwert	...

Griechische Symbole

<u>Symbol</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Einheit</u>
δ	Phasenverschiebungswinkel	°
tan (δ)	Verlustfaktor	-
Δ	Differenz	...
η	dynamische Viskosität	Pa
η _{CA}	Casson-Viskosität	Pa
φ	Auslenkwinkel, Drehwinkel	°
γ	Deformation	-
γ ₀	Deformationsamplitude	-
γ _L	Grenze des lvB	-
γ _{max}	Maximal-Deformation	-
$\dot{\gamma}$	Scherrate, Schergeschwindigkeit	s ⁻¹
$\dot{\gamma}_{max}$	Maximal-Scherrate	s ⁻¹
σ	Normalspannung	Pa
τ	Schubspannung	Pa
τ ₀	Schubspannungsamplitude Oszillation	Pa

τ_0	Fließgrenze Spannversuch	Pa
$\tau_{0,CA}$	Casson-Fließgrenze	Pa
τ_{max}	Maximal-Schubspannung	Pa
ω	Kreisfrequenz	s ⁻¹

Abkürzungen

a	Einzelversuch
ATP	Adenosintriphosphat
a_w	Wasseraktivität
b	Einzelversuch
BEFFE	Bindegewebeiseiweißfreies Fleischeiweiß
c	Einzelversuch
d	Einzelversuch
e	Einzelversuch
Fa.	Firma
IEP	isoelektrischer Punkt
Kap.	Kapitel
L.	Lactobacillus
Lc1	Starterkultur Lc1
LMBG	Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz
lvB	linear viskoelastischer Bereich
FE	Fleischeiweiß
K2	zweijähriger Karpfen bzw. Filet von zweijährigem Karpfen
K3	dreijähriger Karpfen bzw. Filet von dreijährigem Karpfen
n	Anzahl Versuche
PP	Platte-Platte-Messsystem
RI	mageres Rindfleisch nach GEHA-Sortierung
R_o. S.	Modellbrät Rindfleisch ohne Zerkleinerung durch Passiersieb
R_S.	Modellbrät Rindfleisch mit Zerkleinerung durch Passiersieb
RW	Starterkulturmischung RW
S1	mageres Schweinefleisch nach GEHA-Sortierung
S8	Schweinespeck
S1	Modellbrät Schweinefleisch (Standardansatz)
S1+10	Modellbrät (anteilig 10 % S8)
S1+20	Modellbrät (anteilig 20 % S8)
S1+30	Modellbrät (anteilig 30 % S8)
S1+40	Modellbrät (anteilig 40 % S8)
St.	Staphylococcus
TS	Trockensubstanzgehalt
ve	viskoelastisch
WBV	Wasserbindevermögen
6%_a	Modellbrät Schweinefleisch (Standardansatz), Einzelversuch
6%_b	Modellbrät Schweinefleisch (Standardansatz), Einzelversuch
20%_a	Modellbrät Schweinefleisch (20 % Fremdwassergehalt), Einzelversuch
20%_b	Modellbrät Schweinefleisch (20 % Fremdwassergehalt), Einzelversuch

1. Einleitung

Die Fleischindustrie stellte mit einem Umsatzanteil von über 22 % im Jahr 2007 die umsatzstärkste Branche innerhalb der Ernährungsindustrie in Deutschland dar [1]. Der Fleischverzehr lag im selben Jahr in der Bundesrepublik Deutschland mit 60,3 kg pro Kopf etwa 1,5 % höher als im Vorjahr [2]. Der Fleischwarenverzehr war in den Jahren 2001 bis 2006 mit rund 30 kg pro Kopf und Jahr relativ stabil [3].

Die Bedeutung von Fleisch und Fleischwaren ergibt sich aufgrund ihrer hohen Nährstoffdichte (Proteine, Eisen, B-Vitamine, Spurenelemente). Somit stellen Fleisch und Fleischprodukte wichtige Komponenten einer gesunden und ausgewogenen Ernährung dar [4].

Ein entscheidender Qualitätsparameter neben der ernährungsphysiologischen Bedeutung von Fleisch und Fleischwaren ist die sensorische Beschaffenheit, wobei der Textur eine zentrale Rolle zukommt. So sind beispielsweise die Zartheit bzw. Zähigkeit von Fleisch, die Knackigkeit von Brühwürsten, die Festigkeit von Rohwurst, der Teilchenzusammenhalt rekonstituierter Fleisch- und Fischprodukte u.v.m. wichtige Qualitätsparameter, die häufig über Akzeptanz bzw. Ablehnung des Produktes vom Verbraucher entscheiden. [5, 6]

Für die Ausbildung gewünschter oder unerwünschter Textureigenschaften sind oftmals Veränderungen in der Mikrostrukturebene während der Verarbeitung verantwortlich. Daher ist die Kenntnis von Veränderungen in der Mikrostrukturebene bei der Herstellung von Fleisch- und Fischprodukten von großer Bedeutung.

Auch die Veränderungen, die zur Ausbildung einer schnittfesten Textur und damit zur Teilchenbindung bei der Rohwurstfermentation bzw. fermentativen Rekonstitution [7] führen, finden vor allem in der Mikrostrukturebene statt. So soll vor allem bei schnell gereiften Produkten die Ausbildung einer schnittfesten Textur durch die Überführung einer Proteinlösung, die sich im Zustand einer sog. „Gellösung“ befindet und die Fleischpartikel umhüllt, mittels mikrobieller Säurebildung in den schnittfesten „Gelzustand“ erreicht werden. Diese gelartige Proteinmatrix wird auch als „Kittsubstanz“ bezeichnet. [8-11]

Die Kenntnis der Strukturbildungsprozesse in der Mikrostrukturebene, d.h. die Ausbildung der sog. „Kittsubstanz“, während der Fermentation von Fleisch ist für die Endproduktqualität von großer Bedeutung, da zahlreiche technologische Parameter und Zutaten sowie die Zusammensetzung und Eigenschaften des Rohstoffes die Ausbildung einer Gelstruktur und damit die Qualität des Endproduktes stark beeinflussen können.

Alginate-Calcium-Systeme können auch als „Kittsubstanzen“ zur Bindung von Fleischteilchen eingesetzt werden [12]. Je nach Zusammensetzung der Bindsysteme können sich aufgrund unterschiedlicher Strukturierungsmechanismen und Technologieabläufe unterschiedliche Endproduktqualitäten ergeben.

Die Kenntnis von Strukturierungsprozessen in Abhängigkeit vom Rohstoff, von technologischen Parametern und Zutaten ist somit von herausragender Bedeutung und soll in der vorliegenden Arbeit mit rheologischen Methoden materialwissenschaftlich analysiert und bewertet werden.

2. Aufgabenstellung

Die Strukturierungsvorgänge in der Mikrostrukturebene von fermentierten und rekonstituierten Fleisch- und Fischprodukten sind wesentlich für den Teilchenzusammenhalt verantwortlich und beeinflussen somit auch stark die Endproduktqualität.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die materialwissenschaftliche Analyse und Bewertung der komplexen Strukturierungsprozesse in der Mikrostrukturebene bei der Herstellung von fermentierten und rekonstituierten Fleisch- und Fischprodukten. Dabei stehen Oszillationsmessungen im Timesweep-, Amplitudensweep- und Frequenzsweep-Modus im Vordergrund. Dazu werden zunächst rohstoffspezifische Modellbräte und sogenannte Standardansätze aus den Rohstoffen Rindfleisch, Schweinefleisch und Karpfenfilet entwickelt und gegebenenfalls optimiert. Voraussetzung zur fundamentalen Messung im Zylindermesssystem eines Rheometers ist eine möglichst feine Zerkleinerung der Modellbräte. Ausgehend von den entwickelten Modellbräten befasst sich die Arbeit mit folgenden Schwerpunktthemen:

1. Materialwissenschaftliche Analyse und Bewertung der komplexen Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Rindfleisch anhand des Standardansatzes.
2. Materialwissenschaftliche Analyse und Bewertung der komplexen Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Schweinefleisch anhand des Standardansatzes.
3. Materialwissenschaftliche Analyse und Bewertung der komplexen Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Karpfenfilets anhand des Standardansatzes.
4. Bewertung des Einflusses von Salz- und Starterkulturzusatz sowie des Starterkulturpräparates auf die Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Rindfleisch.
5. Bewertung des Einflusses von Fremdwasser- und Fettgehalt sowie von Ca-Lactat-Zusatz auf die Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Schweinefleisch.
6. Materialwissenschaftliche Beurteilung der Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von zwei- und dreijährigen Karpfen.
7. Materialwissenschaftliche Bewertung der komplexen Strukturbildungsprozesse von vier unterschiedlichen Fleischbindesystemen auf Alginat-Calcium-Basis.

Die ermittelten grundlagenwissenschaftlichen Daten sowie die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Methoden sollen zu einem besseren Verständnis ablaufender Strukturwandlungen und deren Einflussparameter beitragen und somit bei der Produktentwicklung eine bessere Bewertung des Einflusses technologischer Parameter und Zusätze sowie der eingesetzten Rohstoffe auf die komplexen Strukturierungsprozesse in der Mikrostrukturebene ermöglichen.

3. Literaturrecherche

3.1. Muskelaufbau

Ein **Muskel** enthält 70-78 % Wasser, 15-22 % Protein, 1-5 % Fett, 1-2 % Kohlenhydrate und etwa 1 % Mineralstoffe. [13-15]

Fleisch und Fischfleisch stellen Muskelsysteme dar. Chemische Energie wird in mechanische Arbeit umgewandelt. Man unterscheidet zwischen glatter und quergestreifter Muskulatur. Die Skelettmuskulatur stellt die quergestreifte Muskulatur dar, die glatte Muskulatur liegt in Blutgefäßwänden und im Darm vor. Der Herzmuskel ist als eine Mischform zwischen beiden Arten anzusehen [16, 17]. Fleisch besteht in der Regel aus quergestreifter Skelettmuskulatur [13, 15, 18]. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher der Aufbau der quergestreiften Muskulatur näher betrachtet.

Der gesamte **Muskel** wird von einer Bindegewebsmembran, dem sog. Epimysium, umgeben, welches zu den Muskelenden hin in Sehnen ausläuft [19]. Die nächste Untereinheit bilden die **Muskelfaserbündel**, welche ebenfalls von einer Bindegewebshülle, dem Perimysium umschlossen werden. Die Muskelfaserbündel weisen Durchmesser von etwa 2 mm auf [16, 17]. Zwischen diesen Faserbündeln kann Fettgewebe eingelagert sein, welches als Marmorierung zu erkennen ist [16, 17, 20] und als interzelluläres Fettgewebe bezeichnet wird [21]. Die nächste Untereinheit stellt die einzelne **Muskelfaser** bzw. **Muskelzelle** dar, welche ebenfalls von einer feinen, festen Bindegewebshülle, dem Endomysium, umgeben ist. Bei **Muskelfasern** handelt es sich um große Zellen mit Durchmessern von 0,01 bis 0,1 mm sowie Längen von 1 mm bis zu 150 mm und mehr. [13, 16, 17, 20]

Muskelzellen besitzen mehrere Zellkerne, die in das sarkoplasmatische Retikulum eingebettet sind. Diese morphologische und funktionelle Grundeinheit des Muskelgewebes wird von einer Zellmembran, dem Sarkolemm, umgeben. Diese Membran besteht aus einer wasserunlöslichen Phospholipiddoppelschicht und gewährleistet eine Trennung von innerzellulärem und außerzellulärem Raum. Signal- und Stoffaustausch läuft über diese Zellmembran. Weiter befinden sich in der Muskelzelle die Mitochondrien, die als sog. „Kraftwerke“ die Hauptmenge der zellulären Energie in Form von ATP erzeugen und die Lysosomen, die proteinabbauende Enzyme enthalten. [13, 16, 17, 19, 20, 22].

Die aus Proteinen bestehenden **Myofibrillen** bilden die Hauptmasse der Muskelfaser, von denen jede einen Durchmesser von etwa 1-2 μm hat. Von diesen können bis zu 1000 parallel zueinander angeordneter Struktureinheiten sich in Faserrichtung durch die Muskelzelle ziehen [13, 16, 17, 20, 22].

Das **Sarkomer** stellt die Funktionseinheit der Myofibrille dar und besteht im Wesentlichen aus den kontraktilen Proteinen Actin und Myosin. Sie bilden die kontraktilen Grundeinheiten des Muskels, da diese während der Muskelkontraktion miteinander in Wechselwirkung treten. Ein Sarkomer wird jeweils von den Z-Linien (auch als Scheiben oder Membranen bezeichnet) begrenzt. Dieser Abschnitt, der von der einen Z-Linie bis zur anderen reicht, kann sich in einer Fibrille mehrere hundert mal wiederholen.

Die charakteristische Querstreifung der Myofibrillen ergibt sich aus den polarisationsoptisch isotropen hellen Abschnitten (I-Bande), und den dunklen, anisotropen Abschnitten (A-Bande). Die hellen I-Banden werden von den sehr dichten Z-Scheiben durchzogen und erscheinen dadurch zweigeteilt. Die dünnen Filamente (Actin) gehen von beiden Seiten der Z-Membran aus und erstrecken sich über die I-Bande bis zum Ende des dunklen Bereichs der A-Bande. Sie weisen eine durchschnittliche Länge von 1 μm auf. In der Mitte der A-Bande befindet sich die weniger dichte H-Zone. Die H-Zone wird von der M-Scheibe in zwei Hälften geteilt. Von der M-Scheibe ausgehend verlaufen zu beiden Seiten die dicken Filamente (Myosin) mit einem Durchmesser von etwa 15 nm und einer Länge von etwa 1,5 μm . Die M-Scheibe enthält ein sog. M-Protein. Im dichten Bereich der A-Bande verlaufen die dünnen (Actin) und dicken (Myosin) Filamente parallel. Diese sind im Querschnitt hexagonal angeordnet. Jedem dünnen Filament sind drei dicke Filamente benachbart, und jedes dicke Filament ist von sechs dünnen Filamenten umgeben.

70-75 % des myofibrillären Eiweißes machen Myosin und Actin aus. Das gesamte Muskelprotein besteht zu 50-55 % aus myofibrillärem Eiweiß, 30 % sarkoplasmatischen Proteinen und der Rest aus Bindegewebe. [16, 17]

Actin ist ein globuläres Proteinmolekül mit einem Durchmesser von etwa 5,5 nm. Im Actinfilament sind die globulären Einzelmoleküle (G-Actin) zu einem fibrillären F-Actin polymerisiert. Es bilden sich zwei perlschnurartige Aggregate, die sich helixartig umeinander winden. In den dabei entstehenden Furchen sind zwei weitere Proteine lokalisiert. Diese spielen bei der Regulierung der Kontraktion eine wichtige Rolle. Zum einen das fadenförmige Tropomyosin und zum anderen das aus drei globulären Untereinheiten bestehende Troponin (Troponin T, I, C). Die Actinfilamente sind an die Z-Scheibe gebunden.

Bei **Myosin** handelt es sich um ein salzlösliches Protein, welches jedoch bei einer Salzkonzentration von über 6 % wieder ausfällt. Es besitzt eine Länge von etwa 145 nm. Das Myosinmolekül besteht prinzipiell aus einem „Schwanz“-Teil und einem „Kopf“-Teil. Der „Schwanz“-Teil besteht aus zwei superspiralisierten α -Helix-Strängen. Der schwerere Teil im Myosinmolekül wird durch den globulären Kopfteil gebildet und ist über einen beweglichen Molekülbereich, die Lockerstelle 1, mit einem gestreckten Halsteil verbunden. Daran schließt sich über die Lockerstelle 2 der leichte Teil des Myosinmoleküls als Schwanz an. Bei der Muskelkontraktion kommt es zu einer Interaktion des „Kopf“-Teils mit dem dünnen Filament (Actin). Die Filamente gleiten ineinander und es kommt zu einer Verkürzung des Abstandes zwischen den Z-Scheiben. [13, 16, 17, 22]

3.2. Fettgewebsaufbau

Das Fettgewebe von warmblütigen Tieren stellt morphologisch gesehen eine besondere Form des lockeren Bindegewebes mit sehr starker Fetttröpfchenanreicherung dar [23-26]. Jede Fettzelle (Adipozyt) enthält als Hauptkomponente ein einzelnes Tröpfchen an Triglyceriden (univakuoläres Fettgewebe). Die Fettzellen werden netzwerkartig durch retikuläres Bindegewebe zu Fettgewebsläppchen (Lobuli) vereinigt und in primäre, sekundäre und tertiäre Lobuli unterteilt. Die Fettzellen können aber auch lose im Bindegewebe vorliegen. Im

dicht gepackten Zellverband nehmen die Fettzellen eine polyedrische Form (Siegelringform) an. Liegen sie vereinzelt vor, so haben sie eine kugelförmige Gestalt. Tritt das Fettgewebe in größeren Komplexen auf, so kann es auch Blut- und Lymphgefäße enthalten [23, 24, 27, 28]. Fettgewebe wird unterteilt in Depotfett (subkutanes Fettgewebe, wie z.B. Rücken- Nacken- und Backenspeck, Körperhöhlenfettgewebe), intermuskuläres Fettgewebe („Marmorierung“) und intramuskuläres Fettgewebe. Das Depotfett bzw. das subkutane Fettgewebe stellt 80 % des gesamten Fettgewebes, das zwischen den Muskelzellen eingelagerte intermuskuläre Fettgewebe 1 bis 7 %. Das intramuskuläre Fettgewebe hat einen Anteil von 2 % am Fettgewebe und ist innerhalb eines Muskels mehr oder weniger fein verteilt [23, 26].

Beim subkutanem Fettgewebe sind prinzipiell zwischen Haut und Muskel zwei oder mehrere Fettgewebsschichten eingelagert, die durch Bindegewebsfaszias getrennt sind. Der Fettzellendurchmesser wird mit Werten zwischen 15 µm und 200 µm angegeben. Die genetische Veranlagung, Fütterung, Alter, Fettgewebeanteil am Schlachttierkörper und der Fettgehalt des Fettgewebes beeinflussen das Wachstum der Fettzellen [21, 24, 29]. Unterschiede im Aufbau des Fettgewebes sind auf Variationsursachen wie Tierart, Lokalisationsstelle, Rasse, Haltungsform, Alter, Gewicht der Tiere usw. zurückzuführen. Neben der Funktion als Energie- und Wärmespeicher erfüllen Fettgewebe auch eine mechanisch-stützende Funktion [24, 28]. Die Werte für den Wasser-, Fett- und Bindegewebsgehalt können sehr schwankend sein. Bei Rückenspeck liegt der Wassergehalt etwa bei 10 %, der Proteingehalt bei etwa 3 % und der Fettgehalt bei 85 bis 95 %. Nicht nur das Verhältnis von ungesättigten zu gesättigten Fettsäuren hat einen Einfluss auf die Festigkeit des Fettgewebes sondern auch die Beschaffenheit des Netzwerkes aus retikulärem Bindegewebe, welches die Zellen umgibt und miteinander vernetzt [23, 25, 30].

3.3. Funktionelle Eigenschaften von Fleisch

3.3.1. Wasserbindungseigenschaften von Fleisch

Nach Honikel [31] kann das Wasserbindungsvermögen (WBV) von Fleisch als die Fähigkeit definiert werden, das eigene oder unter Umständen auch zugesetztes Wasser bei der Behandlung des Fleisches ganz oder teilweise festzuhalten. Zur Bestimmung des WBV gibt es verschiedene Methoden wie seine Messung ohne Anwendung eines äußeren Zwangs, seine Messung unter Anwendung eines mechanischen Zwangs (Filterpapierpress-, Zentrifugier- und Kapillarmetermethode) und seine Messung unter Bedingungen des Erhitzens. Mit den verschiedenen Methoden werden unterschiedliche Bindungszustände des Wassers erfasst. [31]

Frisches Fleisch enthält nach dem Schlachten etwa 75 % Wasser. Die Menge variiert je nach Tierart, Rasse, Alter, genetischen Faktoren und vielen weiteren Einflussfaktoren [32]. Man unterscheidet zwischen gebundenem, immobilisiertem und freiem Wasser [33]. Nach Honikel [31] wird das gebundene Wasser als Protein-gebundenes Wasser bezeichnet. Das Filament- und Fibrillen-gebundene Wasser kann demnach als immobilisiertes Wasser angesehen werden. Das Wasser des sarkoplasmatischen Raumes wird als freies Wasser bezeichnet. Es

wird jedoch von der Zellmembran in der Zelle eingeschlossen. Das extrazelluläre Wasser macht weniger als 10 % des Gesamtwassers aus [31]. Der Hauptanteil an Wasser in den Muskeln ist sowohl in den Myofibrillen, als auch zwischen den Myofibrillen und zwischen den Myofibrillen und der Zellmembran (Sarkoplasma) sowie zwischen den Muskelzellen und den Muskelbündeln eingelagert. Weniger als 10 % des gesamten Wassers im Muskel ist fest gebunden. Immobilisiertes Wasser wird durch sterische Effekte und/oder durch Wechselwirkungskräfte mit dem gebundenen Wasser im Gewebe gehalten. 82-84 % des Muskelzellvolumens besteht aus Myofibrillen. Es wird geschätzt, dass sich 80 bis 85 % [15, 32, 34] des Wassers einer Muskelzelle in den Myofibrillen befindet. Eine große Menge dieses Wassers wird durch Kapillarkräfte gehalten, die durch die Anordnung von dicken und dünnen Filamenten innerhalb der Myofibrillen hervorgerufen werden [32, 34]. Faktoren, die die Retention von immobilisiertem Wasser beeinflussen, sind der Ladungszustand der myofibrillären Proteine, die Struktur der Muskelzelle und seiner Komponenten, postmortale Einflüsse und die Menge an extrazellulärem Raum innerhalb des Muskels. So liegt eine Abhängigkeit vom pH-Wert vor. In der Nähe des isoelektrischen Punktes (IEP) von Myosin (pH 5,2 bis 5,5) ist das WBV am geringsten. Unterhalb bzw. oberhalb des IEP nimmt das WBV zu. Auch die Verkürzung der Sarkomeren post mortem (z. B. Rigor mortis, cold shortening) kann zu einer Zunahme des Tropfsaftverlustes führen, da in den I-Banden eine größere Menge Wasser gebunden ist als in den proteindichteren A-Banden. [34]

Auch Abweichungen in der Fleischbeschaffenheit, wie z.B. PSE-Fleisch, haben einen Einfluss auf das WBV. PSE-Fleisch weist ein geringes WBV auf. Als häufigste Ursache wird die genetische Veranlagung der Tiere angesehen. Die Erscheinung von PSE tritt auch häufig auf, wenn die Tiere vor dem Schlachten unter Stress standen [34]. Der schnelle postmortale pH-Wert-Abfall im warmen Muskel führt beim PSE-Fleisch zu einer partiellen Denaturierung und zum Aufbrechen von Muskelzellmembranen und damit zu einem Verlust des WBV vieler Proteine. Wasser kann aus dem Zellinnern austreten [19, 34, 35]. DFD-Fleisch zeichnet sich dagegen durch einen hohen End-pH-Wert von > 6,2 aus. Im DFD-Fleisch ist im Gegensatz zum PSE-Fleisch das Muskeleiweiß nicht denaturiert. Es zeigt aufgrund seines hohen pH-Wertes zwar ein gutes WBV, aber auch eine verminderte Haltbarkeit. [35-37]

Des Weiteren haben auch die enzymatischen Prozesse der Fleischreifung einen Einfluss auf das WBV des Fleisches. [34]

3.3.2. Quelleigenschaften von Fleisch

Die Quelleigenschaften von Fleisch hängen meist stark mit dem WBV des Fleisches zusammen [38] und haben ähnliche Einflussfaktoren. Die Quellung läuft vor allem bei den unlöslichen Proteinen ab. Die Wasseraufnahme durch Quellung führt zu einer Volumenvergrößerung, z. B. bei Myofibrillen um das 6-fache in 1 mol/l NaCl. [39]. Die Quellung hat eine Immobilisierung von Wasser in der Proteinstruktur zur Folge. Bei Muskelfasern kann die Quellung durch das Sarkolemm begrenzt werden [38]. Die Quellfähigkeit nimmt durch Zerkleinerung zu. Muskelzellen werden aufgebrochen und die Myofibrillen durch die Zerstörung

des Sarkolemmes teilweise freigelegt [40]. Die Quelleigenschaften zerkleinerten Fleisches ändern sich durch postmortale Vorgänge prinzipiell wie im intakten Gewebe.

Eine Salzzugabe bis etwa 5 bis 6 % (Maximum des WBV bei post rigor Fleisch [33, 41]) führt zum sog. Einsalzeffekt, d.h. salzlösliche Proteine gehen in Lösung und die Myofibrillen quellen. Das WBV nimmt zu. Die Ionen des Kochsalzes lagern sich an die Ladungen der Proteinseitenketten an und schirmen deren Anziehung ab. Die myofibrillären Proteine, insbesondere Myosin, besitzen bei pH-Werten > 5 eine negative Nettoladung. Bei der Anlagerung von Cl^- -Ionen an die Filamente erhöhen sich die elektrostatischen Abstoßungskräfte zwischen den Filamenten. Offer et al. [32] nehmen an, dass ein wichtiger Faktor der Quellung bei einer kritischen Salzkonzentration, nämlich die Entfernung von einer oder mehrerer transversaler Strukturkomponenten in der Myofibrille (Querverbindungen, M-Linie, Z-Linie), dem filamentären Netzwerk erlaubt, sich auszudehnen [32]. Wasser dringt mit den Salzionen in die dichten Proteinstrukturen ein und bringt diese dazu, sich voneinander zu entfernen. Bei einer Quellung besitzen die Teilchen noch eine gewisse Assoziation zueinander. Gehen sie in Lösung, beeinflussen sie sich nicht mehr gegenseitig. Lösungs- und Quellprozesse laufen beim Einsalzeffekt zeitlich überlagert ab. Die Erhöhung des WBV und damit die Erhöhung des Quellungszustandes von zerkleinertem Fleisch ist bei der Brühwurstherstellung von Bedeutung [11, 36-38, 40, 42-45]. Auch für die Rohwurstherstellung sind durch die Quellung des Magerfleischanteils bedingte Vorstrukturierungseffekte von Bedeutung und mit denen der Brühwurstherstellung zu vergleichen [11]. Eine Salzkonzentration von mehr als 5 bzw. 6 % führt zum Aussalzeffekt [33].

Auch der postmortale Zustand der Muskelproteine ist entscheidend für die Wirkung des Salzes. Im Prä-rigor-Fleisch ist der Muskel noch weich und dehnbar, da Aktin- und Myosinfilamente nicht miteinander verknüpft sind. Der Zusatz von Kochsalz zum zerkleinerten Prä-rigor-Fleisch führt zu einer starken Quellung und damit zu einer räumlichen Auflockerung des Proteinnetzwerkes. Bei zerkleinertem und gesalzenem Fleisch im Zustand des Rigor mortis wird die Quellfähigkeit herabgesetzt. Erst bei Lösung des Rigor mortis ist wieder ein Anstieg der Quellfähigkeit bei Salzzusatz zu zerkleinertem Fleisch zu beobachten. [36-38].

Diphosphat soll die Quellfähigkeit zerkleinerten Fleisches durch Dissoziation der Aktin- und Myosinfilamente bewirken. Zugewetztes Citrat soll durch die Bindung von Mg^{2+} - oder Ca^{2+} -Ionen – welche das WBV zerkleinerten Fleisches herabsetzen – steigernd auf die Quellfähigkeit zerkleinerten Fleisches wirken. [36, 37]

Zweiwertige Kationen können das Quell- bzw. Wasserbindevermögen der myofibrillären Proteine herabsetzen. Wasser wird unterschiedlich stark von mehrwertigen Kationen gebunden. Ca^{2+} wird zwischen zwei Filamenten eingebunden und verliert in diesem Chelatkomplex einen Teil seines Hydratwassers. Mg^{2+} hingegen soll Wasser so fest binden, dass es kaum zwischen zwei Filamenten eingebunden werden kann. [46-48]

3.3.3. Rheologische Eigenschaften von Fleisch- und Fischbrät

Die Muskelgewebe von Fleisch und Fisch sind ähnlich aufgebaut [49]. Das Fischmuskelgewebe hat jedoch gegenüber dem Warmblüterfleisch einen wesentlich geringeren Gehalt an Bindegewebe. Als Bindemittel wirkt zwischen den Fischmuskelfasern vorrangig das kollagene Bindegewebe, wobei die Querverbindungen sehr viel geringer sind als beim Warmblüterfleisch. So bestimmen die Muskelfasern, d.h. die fibrillären Proteine, im Wesentlichen die rheologischen Eigenschaften des Fischfleisches [49-51]. Fleisch- und Fischbräte stellen sehr komplexe Systeme dar. Man kann sie als kolloidale flüssig-fest-Systeme betrachten. Die kontinuierliche Phase wird dabei von einer Wasserphase ausgebildet, in der gelöste Proteine, Salze und andere Extrakte enthalten sind. Die feste Phase enthält verschiedene Fetzen an Bindegewebe, Zellen, Zellfragmente bis hin zu ganzen Myofibrillen und Myofibrillenbündel, Aggregate von Myofilamenten, andere partikuläre Inhaltsstoffe der Muskelfaser, Fettkügelchen sowie gequollene myofibrilläre Proteine und Stromaproteine. Ihre rheologischen Eigenschaften können von einer Vielzahl von Faktoren, wie z. B. postmortale Faktoren, Milieubedingungen, pH-Wert, Spezies, Rasse, Alter, Ernährungszustand, Fütterung, Zusatzstoffen wie z. B. Salz u.v.a.m. stark beeinflusst werden. [49-53]

Fleisch- und Fischbräte werden als viskoelastische Festkörper angesehen. Wenn die aufgebrachte Belastung, d.h. die aufgebrachte Schubspannung, über dem Wert der Fließgrenze des Materials ist, bricht die Struktur teilweise zusammen und es setzt viskoplastisches Fließen ein, welches am einfachsten mit dem mechanischen Analogiemodell nach Bingham beschrieben werden kann. Fleischbrät zeigt thixotropes Verhalten. [53-56]

Nach Gorbatov et al. zeigt Fleischbrät außerdem gewisse adhäsive Eigenschaften [54-57]. Das Fließverhalten von Fleischbräten [58-60], Homogenaten aus Rinder-, Schweine-, Hähnchenschenkel- und Hähnchenbrustmuskulatur [60-63] sowie Fischfleischbrät [53] und Aktomyosinlösung aus Karpfen [64] wird als pseudoplastisch bezeichnet. Für die Beschreibung zerkleinerter Muskelsysteme wird daher häufig das Fließgesetz nach Herschel-Bulkley

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{in Pa} \quad (\text{Gl. 1})$$

als geeignet angesehen [53, 58-62, 64-67].

Payne und Rizvi [59] geben für Brühwurstbräte nach dem Herschel-Bulkley Ansatz Fließgrenzen τ_0 von etwa 840 Pa und einen Fließindex n zwischen 0,2 und 0,4 bei 10 °C an (Rotationsviskosimeter, profiliertes Zylindermesssystem). Barbut und Mittal [60] untersuchten den Einfluss verschiedener Salze auf die rheologischen Eigenschaften von Geflügelfleischbrät mittels Rotationsviskosimeter (Zylindermesssystem). Je nach Einfluss der Zusatzstoffe ergeben sich nach dem Herschel-Bulkley Ansatz für die Fließgrenze τ_0 Werte von etwa 407 bis 542 Pa, für den Konsistenzfaktor K von 37,3 bis 76,3 Pa s^n und für den Fließindex n von 0,616 bis 0,771. Des Weiteren untersuchten Mittal und Barbut [61] die rheologischen Eigenschaften von Homogenaten aus Hühnerschenkel- und Hühnerbrustmuskulatur unter dem Einfluss verschiedener Salz- und Phosphatlevel. Es wird eine Erhöhung der Fließgrenzen durch Salzzusatz festgestellt. Die Fließgrenzen werden nach dem Herschel-Bulkley-Ansatz

mit 40 Pa ohne Salzzugabe und mit bis zu 712 Pa bei 2 % Salzzugabe angegeben, wobei die rheologischen Eigenschaften bei diesen Untersuchungen sehr stark von der Muskelart (hell oder dunkel) abhängen und schwer zu quantifizieren sind. Je nach Muskelart und Salzzusatz werden die Konsistenzfaktoren K mit Werten von 309 bis 1046 Pas^n und die Fließindices n mit Werten von 0,132 bis 0,484 angegeben. Bianchi et al. [62] untersuchten die rheologischen Eigenschaften von mageren Rinder-, Schweine- und Hühnerbrust-Muskelhomogenaten in Abhängigkeit vom Salzgehalt mittels Rotationsviskosimeter (Zylindermesssystem) bei 20 °C. Nach dem Herschel-Bulkley-Ansatz fanden sie kleinere Werte für die Fließgrenzen als in [59-61] angegeben, jedoch enthielten die Bräte etwa 40 % Fremdwasser. Der Zusatz von 2 % Salz führt bei allen Homogenaten zu einer Zunahme der Fließgrenze τ_0 und des Konsistenzfaktors K sowie zu einer Abnahme des Fließindex n . Es werden Werte τ_0 von 3,5 ohne bis 26,4 Pa mit Salzzugabe, Konsistenzfaktoren von 6,9 ohne bis 31,6 Pas^n mit Salzzugabe und Fließindices von 0,37 ohne bis 0,23 mit Salzzugabe angegeben. Die Werte sind von der Tierart abhängig. [62]

Die in [59-62] angegebenen rheologischen Kennwerte sind sehr unterschiedlich. So ist beispielsweise der von Bianchi et al. [62] festgestellte Effekt der Erhöhung des Konsistenzfaktors K sowie der Abnahme der Werte für den Fließindex n durch 2 % Salzzugabe bei Mittal und Barbut [61] nicht unbedingt festzustellen. Dies ist offenbar auf die große Variabilität der Rohstoffe und auf Unterschiede in der Brätzusammensetzung sowie auf die Verwendung verschiedener Rheometer, Messsysteme und Messanstellungen zurückzuführen.

Pipek und Sinevič [68, 69] bestimmten durch Rotationsrheometrie (modifiziertes Zylindermesssystem) die rheologischen Eigenschaften grobzerkleinerten Schweine- und Rindfleisch (gewolft 13 mm). Das Verhältnis R_a/R_i betrug bei diesen Messungen jedoch 3,397. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Ergebnisse dieser Untersuchungen kritisch bewertet werden müssen, da für fundamentale wissenschaftliche Untersuchungen das Verhältnis $R_a/R_i < 1,0847$ einzuhalten ist. Nach dem Herschel-Bulkley-Ansatz ergeben sich je nach Einflussfaktor folgende Werte: τ_0 von 100 bis 1500 Pa, K von 800 bis 2500 Pas^n und n von 0,1 bis 0,4.

Auch der Casson-Ansatz

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_{0,CA}} + \sqrt{\eta_{CA} \cdot \dot{\gamma}} \quad \text{in Pa}^{0,5} \quad (\text{Gl. 2})$$

wird zur Beschreibung des Fließverhaltens von Brät frischer Rohwurst sowie für Rind- und Geflügelfleischbräte vorgeschlagen. [70-72]

Durch ältere Untersuchungen von Hamm [73] wurde festgestellt, dass folgende Hauptfaktoren die rheologischen Eigenschaften von Muskelhomogenaten bzw. zerkleinerten Fleisches und sog. „Fleischemulsionen“ in sehr komplexer Weise beeinflussen: Veränderungen des WBV und der Quellung der Muskelfaserfragmente, Reifestadium, Fettkonzentration, Temperatur u.v.a.m. Untersuchungen zum Einfluss dieser Hauptfaktoren wurden von Hamm et al. mittels Muskelhomogenaten mit bis zu 80 % Fremdwasserzusatz durchgeführt [73-81].

Besonders bei abgehängtem Fleisch besteht zwischen WBV und Fließverhalten ein enger Zusammenhang. Mit steigendem WBV nimmt der Quellungszustand des Systems zu und somit nimmt auch die innere Reibung des Systems zu. Die rheologischen Werte sind hier in gleichem Maße vom pH-Wert abhängig wie das WBV, d.h. das rheologische Verhalten wird vom Quellungszustand des Systems bestimmt. Am isoelektrischen Punkt des myofibrillären Eiweißes (bei pH 5,0) weisen sowohl die Werte für das WBV als auch die Werte für Fließgrenze, Abscherkraft und Viskosität ein ausgeprägtes Minimum auf. Ein steigender Kochsalzzusatz von bis zu 6 % zu Muskelhomogenaten (Maximum des WBV) von abgehängtem Fleisch bewirkt eine Steigerung von Viskosität und Fließgrenze. Die Salzzugabe führt zur Verschiebung des isoelektrischen Punktes in Richtung niedrigerer pH-Werte. Mit zunehmendem Fremdwasserzusatz nehmen die rheologischen Werte ab, da die Menge an locker eingelagertem Wasser zunimmt. Des Weiteren wurde Thixotropie festgestellt. [54-56, 77, 79-81] Die Beziehung zwischen WBV bzw. Quellungszustand und rheologischen Werten ist jedoch nicht allgemein gültig. Im Rigor mortis weist das Fleisch ein geringes WBV auf. Die Werte für Fließgrenze und Viskosität steigen jedoch stark an, da im Rigor mortis Aktin und Myosin assoziiert vorliegen. Die verhärteten Myofibrillen bestimmen hier die rheologischen Eigenschaften. Eine Zugabe von NaCl und Diphosphat führt beim Muskelhomogenat aus Rigor Fleisch zwar zur Erhöhung des WBV aber auch zur Senkung von Fließgrenze und Viskosität. Das wird mit einer Dissoziation von Myosin und Aktin erklärt. Schlachtwarmes Fleisch hingegen weist ein hohes WBV, aber niedrigere Werte für Fließgrenze und Viskosität auf. Das myofibrilläre Eiweiß ist durch Anwesenheit von ATP zu Myosin und Aktin dissoziiert. Die Muskelfasern sind weich und biegsam und setzen somit nur geringe Widerstände beim Fließen entgegen. Durch NaCl-Zusatz zu schlachtwarmen Fleisch werden Fließgrenze und Viskosität noch weiter erniedrigt. Postmortale Veränderungen des Fließverhaltens des Fleisches werden durch Veränderungen in der Weichheit der Fibrillen und damit in der Wechselwirkung zwischen Actin und Myosin bestimmt. Die rheologischen Eigenschaften von Fleischbrät zu verschiedenen Zeitpunkten post mortem hängen vor allem von der Rigidität der Muskelteilchen ab und haben erst im Post rigor Fleisch eine enge Beziehung zum WBV. [75, 76, 78] Hamm und Rede [74] stellten fest, dass bei fetthaltigen Homogenaten bei 15 °C die rheologischen Werte mit steigendem Fettgehalt zunehmen und bei 30 °C mit steigendem Fettgehalt abnehmen. Eine Zunahme rheologischer Werte mit steigendem Fettgehalt konnte auch durch Payne und Rizvi [59] bei Brühwurstbräten bei 10 °C gezeigt werden.

Oszillationsmessungen stellen die modernen Methoden zur Beurteilung der rheologischen Eigenschaften sowie des Strukturzustandes von viskoelastischen Substanzen dar. Es gibt nur wenige Untersuchungen, die mittels Oszillationsmessungen den Strukturzustand und die Strukturausbildung von Fleisch- und Fischbräten charakterisieren. Erdmann et al. [82] zeigten mittels schubspannungsgesteuerten Oszillationsmessungen, dass unerhitzte Brühwurstbräte strukturviskoses, visko-elastisches Verhalten zeigen. Weitere Messungen ergaben eine Fließgrenze. Hammer [65] und Hammer und Höpfl [83] zeigten mittels Oszillationsmessungen im Amplitudensweep-Modus (schubspannungskontrolliertes Torsionsrheometer,

PP-System [65] bzw. geriffeltes PP-System [83]), dass für Brühwurstbräte ein linear viskoelastischer Bereich (lvB) bei Drehmomenten zwischen 1 und 1000 μNm existiert. Frequenzsweep-Messungen (Drehmoment 100 μNm , $f = 0,1$ bis 20 Hz, $T = 12$ °C) zeigen einen linearen Anstieg von G' mit steigender Frequenz und einen linearen Anstieg der komplexen Viskosität mit abnehmender Frequenz im doppelt-logarithmischen Maßstab. Der Autor charakterisiert die Bräte als teilvernetzte Systeme. Der Verlauf der Parameter Speichermodul und komplexe Viskosität indiziert, dass hier Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis vorliegen [65]. Der Einsatz geriffelter PP-Messsysteme erwies sich gegenüber nicht geriffelten Messsystemen als geeigneter zur rheologischen Charakterisierung von Brühwurstbräten [83, 84]. Frequenz-sweep-Messungen (Drehmoment 100 μNm , $f = 0,1$ bis 40 Hz, $T = 12$ °C) zeigen einen linearen Anstieg von G' mit steigender Frequenz und eine lineare Abnahme der komplexen Viskosität mit steigender Frequenz im doppelt-logarithmischen Maßstab. Der Verlustfaktor $\tan \delta$ wies im gesamten Frequenzband Werte < 1 auf. Die Bräte wurden von den Autoren als Gele charakterisiert. Der Verlauf der Parameter G' , komplexe Viskosität und $\tan \delta$ indiziert jedoch, dass im Brühwurstbrät Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis vorliegen. [83]

Fukushima et al. [85] charakterisierten die rheologischen Eigenschaften verschiedener Fischbräte mittels Oszillationsmessungen (Rheometer MCR 300 (Paar Physica), PP-System, Messspalt: 1 mm). Im gesamten Temperaturbereich (5 bis 30 °C) liegt für jede Fischart im lvB eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$ ist. Messungen im Frequenzsweep-Modus ($\gamma = 1$ %, $f = 0,1 \dots 10$ Hz, $T = 5, 10, 15, 20, 25$ und 30 °C) zeigen einen linear abfallenden Speichermodul G' mit abnehmender Frequenz im doppelt-logarithmischen Maßstab. Die Autoren beschreiben diese Systeme als Systeme, die im Solzustand vorliegen. Der Verlauf von $G'(f)$ indiziert, dass bei den untersuchten Fischbräten Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis vorliegen. $G''(f)$ und $\tan \delta (f)$ werden nicht dargestellt. Es wird weiterhin thixotropes Verhalten festgestellt. [85]

In aktuelleren Oszillationsuntersuchungen werden mittels Timesweepmessungen häufig die sog. thermisch-induzierten Gelbildungsvorgänge anhand von Muskelhomogenaten (15 g Fleisch und 60 ml Wasser) untersucht. Als Parameter zur Beurteilung der Gelbildung wird häufig nur der Speichermodul G' herangezogen. Lesiow und Xiong stellten komplexe Abhängigkeiten der thermisch-induzierten Gelbildungseigenschaften (27 bis 90 °C) von der Muskelart (Muskulatur von Hühnerbrust und Hühnerschenkel) und vom pH-Wert der Homogenate fest. [86, 87]

Da die rheologischen Eigenschaften von Fleisch- und Fischbräten zu einem großen Anteil durch die myofibrillären Proteine bestimmt werden, beinhalten aktuellere rheologische Untersuchungen im Oszillationsmodus häufig die Charakterisierung von isolierten und gereinigten myofibrillären Proteinen in Bezug auf eine thermisch-induzierte Gelbildung. Es ist anzumerken, dass das komplexe System Fleischbrät bei diesen Untersuchungen stark vereinfacht wird. Oszillationsmessungen im Temperatursweep-Modus geben anhand der Parameter Speichermodul G' und Verlustwinkel Aufschluss über das pH-abhängige Verhalten beim Erhitzen. Westphalen et al. [88, 89] zeigten bei ihren Untersuchungen, dass die thermisch-

induzierte Gelbildungsrate der isolierten myofibrillären Proteine in komplexer Abhängigkeit zu Muskelgruppe und pH-Wert der isolierten myofibrillären Proteine steht. Doerscher et al. [90] zeigten durch Temperatursweep-Messungen mittels gereinigter und isolierter myofibrillärer Proteine vom Schwein (semimembranosus Muskel), dass mit zunehmendem Kollagengehalt die Steigung des Speichermoduls während der Erwärmung abnimmt.

Verschiedene Messanstellungen, Rheometer und Messsysteme, die große Variabilität der Rohstoffe sowie starke Unterschiede in der Zusammensetzung der Fleischbräte bzw. Modellsysteme führen zu Abweichungen der rheologischen Kennwerte.

3.4. Fleisch- und Fischfermentation

Die Fermentation ist eines der ältesten Haltbarmachungsverfahren von Lebensmitteln [91]. Zu den fermentierten Fleischprodukten zählen lang- und kurzgereifte Rohwürste, Rohschinken sowie auf dem Wege der fermentativen Rekonstitution hergestellte Fleisch- und Fischprodukte. Die fermentative Rekonstitution von Fleisch und Fisch ist an die Rohwursttechnologie, insbesondere der Herstellung schnell reifender Rohwurst, angelehnt [7]. Daher wird diese nachfolgend detailliert dargestellt. Die Fermentation von Fleisch und Fisch stellt eine sog. „solid-state-fermentation“ dar, da die für den Fermentationsprozess bedeutenden Mikroorganismen nesterförmig innerhalb der Brätmasse immobilisiert vorliegen [92]. Bei schnell gereiften Rohwürsten und den fermentativ rekonstituierten Fleisch- und Fischprodukten wird die Ausbildung der Schnittfestigkeit im Wesentlichen über die pH-Wert-Senkung erreicht [8, 93-95].

3.4.1. Starterkulturen

Starterkulturen dienen bei fermentierten Fleischerzeugnissen insbesondere der sicheren pH-Wert-Absenkung im Produkt und beeinflussen dadurch auch Farbe, Geschmack und Konsistenz. Sie dienen zudem als Konkurrenzflora gegenüber unerwünschten Mikroorganismen. Insbesondere kommen bei fermentierten Fleischerzeugnissen homofermentative Lactobacillen als Starterkulturen zum Einsatz. Diese sind in der Lage, Kohlenhydrate, wie z. B. Glucose, über die Glykolyse unter Energiegewinnung zu Milchsäure abzubauen. Heterofermentative Lactobacillen produzieren unerwünschte Essigsäure und CO₂ und sind somit nicht als Starterkulturen geeignet [96-100]. Die Säuerungsleistung der Lactobacillen ist stark von der Temperatur (Optima je nach Spezies 25 bis 35 °C) [101, 102], dem a_w-Wert (über den Salzgehalt eingestellt), der Spezies und vom Stamm abhängig [101]. Landvogt und Fischer [103] stellten fest, dass bereits eine geringe Glucosezugabe von 0,15 % zu Fleischbrät schon eine gute Säuerungsleistung der Lactobacillen zur Folge hat. Eine Erhöhung der Glucosekonzentration auf bis zu 4 % resultierte hingegen nicht in einer Steigerung der Säuerungsleistung. Lediglich das Ausmaß der pH-Wert-Senkung wird beeinflusst. Bei einigen Spezies wurde eine Verkürzung der lag-Phase und eine Steigerung der Säuerungsleistung durch höhere Inokulationsmengen festgestellt. Der Zerkleinerungsgrad (8 mm bis feinstzerkleinert) soll keinen Einfluss auf die Säuerungsleistung haben [103]. Als geeignet zur Verwendung als Starterkulturen werden u. a. bestimmte Stämme der Spezies *L. plantarum*, *L. curvatus*, *L.*

pentosus, *L. sakei* und *L. kasei* angesehen. Kommerzielle Starterkulturmischungen können, je nach Einsatzbereich, auch nitratreduzierende Bakterien der Familie Micrococcaceae, wie z.B. *Staphylococcus carnosus* oder *St. xylosus* enthalten [104-108]. Einige Lactobacillen, wie z.B. *L. sakei*, sind auch in der Lage, Bakteriozine zu bilden [98, 106, 109-112]. Einige Spezies von Lactobacillen sollen auch über probiotische Eigenschaften verfügen [97, 110, 111, 113, 114].

3.4.2. Kohlenhydrate

Als Kohlenhydratquelle dienen insbesondere Monosaccharide. Glucose kann am einfachsten von den zugesetzten Starterkulturen bzw. auch von der natürlichen Laktobazillenflora im Brät über die Glykolyse zu Milchsäure abgebaut werden, die dann eine pH-Wert-Senkung bewirkt [115]. Das Ausmaß der Säurebildung ist auch von der Art der zugesetzten Kohlenhydrate abhängig [116]. Einfachzucker kommen insbesondere bei schnellreifenden Rohwürsten und den daran angelehnten fermentativ rekonstituierten Fleisch- und Fischprodukten zum Einsatz, da hier eine schnelle pH-Senkung eine wesentliche Hürde ausmacht. Oligo- und Polysaccharide finden eher Anwendung in lang reifenden Produkten. In der Regel soll eine Zugabe von 0,4 bis 0,6 % ausreichen. In den Leitsätzen ist die Zugabemenge auf 2 % beschränkt. [115]

3.4.3. Neutralsalze

Neutralsalze wie NaCl dienen der Aromabildung, haben durch die Senkung des a_w -Wertes einen konservierenden Effekt und bewirken durch den Einsalzeffekt das Inlöslichwerden bzw. eine Quellung des Muskeleiweißes und tragen auch zur Bindung der Partikel und somit zur Strukturbildung bei [45, 115, 117]. Je nach Rohwurstsorte werden 2,4 bis 2,8 % Salz hinzugegeben [115, 117]. Je nach herzustellendem fermentierten Fleisch- bzw. Fischprodukt kann die Salzmenge aus sensorischen Gründen auch geringer sein.

3.4.4. Salze der Genusssäuren

Hier spielen insbesondere Na-, K- und Ca-Lactat eine Rolle. Die Laktate sollen eine bakterio-statische Wirkung auf pathogene und/ oder verderbnisfördernde Keime wie *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*, *Campylobacter*, Salmonellen, *Brochothrix thermosphacta* und *Yersinia enterocolitica* haben. [118-121]

Auch die Salze der Essigsäure werden als Säureregulierer eingesetzt.

3.4.5. Antioxidationsmittel

Ascorbinsäure wird als Reduktionsmittel eingesetzt. Insbesondere wird die Reduktion des braunen Metmyoglobins zu Myoglobin gefördert. Salze der Ascorbinsäure wie Na- und Ca-Ascorbat können als Säureregulatoren eingesetzt werden. [115]

3.4.6. Konservierungsmittel

Mit dem Salz zugesetztes Nitrit bzw. Nitrat (bei mind. vierwöchiger Reifung) dient der Bildung des roten Pökelfarbstoffes Nitrosomyoglobin. Das Nitrit soll des Weiteren eine hemmende Wirkung auf das Wachstum von Bakterien, wie z. B. Clostridien, haben. [115, 120]

3.4.7. Strukturbildungstheorien fermentierter Fleisch- und Fischprodukte

Prinzipiell wird bei den fermentierten Fleischprodukten zwischen schnittfest und streichfähig und schnell bzw. langsam gereift unterschieden [11, 21, 122-124]. Das Hauptaugenmerk wird in der vorliegenden Arbeit auf die schnellgereiften Produkte gelegt, wo die pH-Wert-Absenkung eine wesentliche Hürde zur Erreichung der mikrobiologischen Stabilität darstellt [108, 122] und für die Ausbildung der Schnittfestigkeit verantwortlich sein soll [8, 93-95]. Bei den langsam gereiften fermentierten Fleischprodukten wird dies hauptsächlich mittels a_w -Wert-Senkung erreicht. Diese ist eng mit dem Trocknungsprozess verknüpft [122, 125]. Die schnelle Reifung erfolgt vor allem bei hohen Temperaturen, d. h. bei 25 bis 35 °C in der Nähe des Temperaturoptimums der Lactobacillen. Die Säuerungsrate und die Säuerungsintensität sollen einen unmittelbaren Einfluss auf wichtige Qualitätsparameter wie Schnittfestigkeit, Farbe, Aroma und Geschmack haben, wobei der Zusammenhalt der Partikel von großer Bedeutung ist [126].

Neben der Zusammensetzung der Rohstoffe sind insbesondere die Mechanismen des Ein-salzens und der säuredenaturativen pH-Wert-Senkung für die Strukturausbildung von Bedeutung. Bisherige Erkenntnisse bezüglich der Strukturbildung bei der Fermentation von zerkleinertem Muskelgewebe beruhen vor allem auf mikroskopischen sowie auf sensorisch-taktilen Beobachtungen.

Beim Zerkleinerungsprozess wird die geordnete Muskelstruktur zerstört und Bindegewebe und fibrilläre Muskelstrukturen aufgebrochen. Nach einem Kutterprozess umfasst das Partikelspektrum hauptsächlich Muskelfaserstücke (l: 1 mm bis mehrere cm, d: 10-200 μ m), Kollagenfibrillen (l: mehrere mm, d: 30-70 nm), Sarkolemmreste, Myofibrillenteilchen (l: < 1 mm, d: 100-300 nm), Filamentteilchen (l: 100-500 nm, d: 5-15 nm) sowie Fettpartikel (d < 50 μ m) [40, 45, 48, 127]. Die Partikelspektren können jedoch bei der Herstellung fermentierter Fleisch- und Fischprodukte unterschiedlich sein. Bei weniger intensiver Zerkleinerung durch z. B. Fleischwolf lassen sich noch zahlreiche Zellbruchstücke erkennen.

Als ein wesentliches strukturbildendes Element der Fermentation von Fleisch kann der Ein-salzeffekt angesehen werden. Die Ionen des zugesetzten Kochsalzes diffundieren in die zerstörten Muskelzellen [128] und können sich nun an die Proteinseitenketten anlagern und deren Anziehung abschirmen. Die Struktur quillt und ein Teil der Proteine soll in Lösung gehen. Durch den Ein-salzeffekt kommt es zu einer Strukturänderung der Proteine [40, 45, 115, 117]. Das Filamentgitternetzwerk dehnt sich aus und die myofibrillären Gitterräume werden erweitert. In ihnen kann Wasser immobilisiert werden [10, 11, 32]. Lösungs- und Quellungs-vorgänge sollen zeitlich parallel ablaufen und es soll sich eine Proteinlösung ausbilden, die die Fleischpartikel als feinmaschiges dreidimensionales Netzwerk umhüllt und als sog. Kitt-substanz bezeichnet wird. Diese Übergangsstruktur ist fließfähig [10, 11, 71, 129, 130] und

soll sich nach Kotter und Prändl [9] im Zustand einer sog. „Gellösung“ befinden. Das Wasser wirkt einerseits als Trennschicht zwischen den Proteinfäden und andererseits verknüpft es die Proteinfäden durch die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen und wirkt somit als Verbindungsglied zwischen den Proteinfäden [10, 11, 21]. Für die Verfestigung im interpartikulären Bereich ist nach Kotter, Terplan und Gervasini [8] im weiteren Verlauf der Reifung die mikrobielle Säurebildung ausschlaggebend. Durch zugesetzte bzw. in der Mikroflora vorhandene Lactobacillen wird aus Kohlenhydraten über die Glykolyse Milchsäure gebildet. Der pH-Wert im Brät fällt demzufolge ab und es kommt zur Säuredenaturation der hauptsächlich myofibrillären Proteine. Bei einem pH-Wert unterhalb von 5,4/5,3 soll die Brätmasse nun schnittfest werden, d. h. die vorher durch den Einsalzeffekt gebildete zwischenpartikuläre Eiweißmatrix soll nun vom Solzustand bzw. vom Zustand der „Gellösung“ [8, 9] in den Gelzustand übergehen. Je nach herzustellendem Produkt kann die Schnitffestigkeit im weiteren Reifungsverlauf noch durch Synäresevorgänge verstärkt werden [8, 10, 11, 21, 102, 105, 130-133]. Die Geschwindigkeit der pH-Absenkung und damit die Ausbildung der schnitffesten Struktur ist von der Reifungstemperatur abhängig [102, 129]. Auch nimmt der pH-Wert wo Eiweiß koaguliert mit steigender NaCl-Konzentration zu [130]. Die Festigkeit von schnitffesten Rohwürsten soll nach Rödel [131] dann noch bis zu einem pH-Wert von 4,9 zunehmen. Häufig wird der pH-Bereich von 5,4 bis 5,3, wo Fleischbrät schnitffest wird, als isoelektrischer Punkt bezeichnet [10, 11, 21, 105, 131-133]. Der isoelektrische Punkt des ungesalzenen Fleischeiweißes wird nach [34] auch mit pH-Bereichen von 5,2 bis 5,5 angegeben. Einige Autoren geben jedoch zu bedenken, dass bei fermentierten Fleischerzeugnissen durch die Kochsalzzugabe der isoelektrische Punkt in Richtung niedrigerer pH-Werte verschoben wird. Somit ist der pH-Wert der Gelbildung bei der Fermentation von Fleisch nicht mit dem pH-Wert des isoelektrischen Punktes identisch. Der isoelektrische Punkt gesalzenen Fleischeiweißes wird mit pH-Werten um 4,5 bis 4,0 angegeben [46, 94, 124, 134].

Bei den streichfähigen fermentierten Fleischerzeugnissen wird die Streichfähigkeit dadurch gewährleistet, dass Fleisch- und Fettgewebe so zerkleinert werden, dass es zur Ausbildung einer Fetthülle um die Muskelgewebepartikel kommt. Dadurch soll die Ausbildung des interpartikulären Proteinnetzwerkes als Kittsubstanz von Fleisch- und Fettteilchen verhindert bzw. behindert werden. Bei zu geringer Fettmenge soll sich eine sog. „Durchdringungsstruktur“ ausbilden, d. h. die fließfähige Fettmasse und durch den Einsalzeffekt gequollenes und gelöstes Fleischeiweiß verbinden sich nebeneinander und durchdringen sich gegenseitig. Im weiteren Reifungsverlauf soll es dann durch die pH-Wert-Senkung zu einer Verschlechterung der Streichfähigkeit kommen, da das Proteinnetzwerk der Durchdringungsstruktur vom Sol in den Gelzustand überführt wird. Die dreidimensionale, größtenteils zusammenhängende netzwerkartige Eiweißstruktur wird für die Herabsetzung der Streichfähigkeit verantwortlich gemacht [11, 21, 133, 135-137]. Nach Klettner [136] wird die Streichfähigkeit durch niedrigere pH-Werte negativ beeinflusst. Auch das Zerkleinerungsverfahren (Einphasen- bzw. Zweiphasenverfahren) soll einen großen Einfluss auf die Ausbildung eines gut streichfähigen Produktes haben. [11, 21, 135, 136]

3.5. Fleischbindesysteme auf Alginatbasis

Eine alternative Art der Bindung von Fleischpartikeln stellt der Einsatz von Fleischbindesystemen auf Alginatbasis dar. Natriumalginat wird aus den Zellwänden der Braunalgen gewonnen. Das Alginat besteht aus Blöcken von Mannuron- und Guluronsäure. Die thermo-stabile Bindung der Fleischabschnitte basiert auf einer Gelreaktion von Natriumalginat mit Ca^{2+} -Ionen [12, 138]. Es bilden sich Gele in Form von „Egg box-Strukturen“ aus, da die Guluron-säureblöcke eine gefaltete Bandstruktur annehmen. Die Konfiguration der Guluronblöcke ist für die Gelierung mit Ca^{2+} -Ionen am besten geeignet [33, 139].

Es gibt verschiedenartige Bindungssysteme, die zum Teil patentiert sind.

Das Bindungssystem MT 200/MT 230 von ISP Food Ingredients ist unter EP 0345886 als Patent gemeldet [12, 140]. Die Fleischteile werden mit zwei Komponenten behandelt, wobei vor der Gelbildungsreaktion kein Salz zugesetzt werden darf. Zuerst wird bei Kühltemperaturen (0 bis 2 °C) das Na-Alginat untergemischt. Das speziell verkapselte, gut wasserlösliche Ca-Lactat wird anschließend zugegeben und das Brät innerhalb von 20 bis 30 min abgefüllt. Die Gelbildungsreaktion läuft dann bei 2 °C innerhalb von 18 h ab [12]. Die verzögerte, kontrollierte Freisetzung der Ca^{2+} -Ionen soll durch eine relativ hydrophobe Verkapselung mittels gehärteten Pflanzenfetten in Kombination mit Monoglyceriden aus Speisefettsäuren und oberflächenaktiven Stoffen gewährleistet werden [12, 140]. Andere Präparate besitzen eine ähnliche Zusammensetzung, wobei die Zugabe des verkapselten Ca-Lactates innerhalb eines Einkomponenten-Systems zeitgleich mit der Zugabe des Na-Alginates erfolgt.

Ein anderes Patent [141] nutzt zur Herstellung von strukturierten Fleischprodukten mittels Alginatgelen schwerer wasserlösliche Calciumsalze, wie z.B. Calciumphosphat, in Verbindung mit einem sog. gelbildungshemmenden bzw. gelbildungsverzögernden Salz, wie z.B. Tetranatriumdiphosphat. Durch dieses Mischungsprinzip soll eine langsame, kontrollierte Gelbildung erfolgen. [141]

3.6. Rheologische Methoden und experimentelle Grundlagen

Die Rheologie beschreibt das Deformationsverhalten von Flüssigkeiten, Festkörpern oder kolloidalen Systemen unter Einwirkung äußerer anisotroper Kräfte. Das Deformationsverhalten von Lebensmitteln ist in der Regel durch die Abweichung vom idealelastischen/ idealviskosen Verhalten gekennzeichnet [142].

Bei Lebensmitteln wird häufig eine Unterscheidung zwischen Konsistenz und Textur vorgenommen. Eine Konsistenz weisen alle Lebensmittel auf, die fließfähig sind, d.h. die Lebensmittelsysteme bilden bei Einwirkung einer Kraft ein kontinuierliches Geschwindigkeitsgefälle aus. Feste Lebensmittel besitzen eine Textur, d.h. sie reagieren als integrale Wirkung aller strukturierenden Elemente bei Krafteinwirkung mit einer bleibenden Verformung. [143]

Die rheologischen Eigenschaften von Lebensmitteln werden häufig von deren strukturellem Aufbau bestimmt. Die Bestimmung dieser Eigenschaften ist für die Beurteilung der Qualitäts- und Verarbeitungseigenschaften, für die Bewertung von Lager-, Fließ- und Transportverhalten sowie zur Detektierung von Strukturen bzw. strukturellen Änderungen während technologischer Prozesse von Bedeutung.

3.6.1. Texturerfassung

Zur Beschreibung des rheologischen Verhaltens von Fleisch- und Fischprodukten werden häufig Methoden eingesetzt, die der Untersuchung der Textureigenschaften dienen.

Die Textur von Fleisch und Fleischwaren wird meist durch die Anwendung von Materialprüfmaschinen erfasst. Über die Aufnahme von Kraft-Weg- bzw. Spannungs-Dehnungs-Diagrammen bei der Deformation von zylinderförmigen Proben können fundamentale mechanische Eigenschaften vermessen werden. Hier wird die Parallelplattendeformation als geeignete Methode angesehen. Auch Puncture-Tests können zur Bewertung der Textureigenschaften von Fleischerzeugnissen angewendet werden [143-145]. Zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften von Fleisch und Fleischprodukten mit Materialprüfmaschinen existieren auch imitative Methoden, die spezielles Prüfwerkzeug erforderlich machen. Diese sollen bestimmte Prozesse bei der Nahrungsaufnahme nachahmen. Sie liefern keine fundamentalen rheologischen Kennwerte. Das Warner-Bratzler-Scherblatt [6] wird häufig zur Bewertung der Textureigenschaften von Fleisch und Fleischerzeugnissen [143-147] herangezogen. Hier soll der einmalige Abiss simuliert werden. Die von Szczesniak [148] entwickelte instrumentelle Textur-Profil-Analyse (TPA) soll den Kauvorgang durch mehrfache zyklische Belastung der Probe nachahmen und Aussagen über Eigenschaften wie Festigkeit, Adhäsion, Kohäsion usw. liefern [6, 144, 145, 149]. Die Ermittlung erfolgt anhand von Kraft-Weg- bzw. Kraft-Zeit-Diagrammen.

Auch empirische Methoden wie Penetrationsmessungen werden vorgeschlagen. Bei der Penetrometermessung wird ein Eindringkörper (Kugel, Kegel, Nadel, Kalotte, Stift usw.) mit einer bestimmten Masse für eine vorher festgelegte Zeit unter Wirkung der Schwerkraft in das Probenmaterial gefahren. Der Weg, der vom Eindringkörper zurückgelegt wird, stellt ein Maß für die Festigkeit dar [136, 150].

3.6.2. Konsistenzfassung

Mit einem Rotationsrheometer können in Spannversuchen die Fließeigenschaften von Fleisch- und Fischbräten erfasst werden. Das ermittelte Deformationsverhalten wird im $\dot{\gamma}$ - τ -Diagramm dargestellt. [143]

Auch die in der Teigverarbeitung zur Anwendung kommenden Brabender Viscographen bzw. Amylographen werden zur Bewertung der Konsistenz von Fleisch- und Fischbrät vorgeschlagen. Diese geben jedoch keine fundamentalen Kennwerte wieder. [80, 151].

Die unter 3.6.1. und 3.6.2. dargestellten Methoden arbeiten nicht zerstörungsfrei und sind somit nicht zur Detektierung ablaufender Strukturbildungsvorgänge bei der Fermentation und Rekonstitution von Fleisch- und Fischbrät geeignet.

3.6.3. Oszillationsmessungen

Oszillationsmessungen stellen eine moderne Methode zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften viskoelastischer Systeme wie feinerzkleinerte Fleisch- und Fischbräte dar. Es kann u. a. das Verhältnis zwischen viskosen und elastischen Eigenschaften erfasst werden. Mittels Oszillationsmessungen im lvB des Untersuchungsmaterials ist es möglich, quasi ohne

Zerstörung der Probenstruktur, die Veränderungen in der Mikrostrukturebene [152-154] während Fermentations- und Rekonstitutionsprozessen und damit Strukturbildungsvorgänge zu erfassen.

3.6.3.1. Grundlagen

Die Messsubstanz wird einer oszillierenden Scherbeanspruchung ausgesetzt und es können elastische und viskose Materialeigenschaften gleichzeitig erfasst werden. Soll eine zerstörungsfreie Messung im lvB der Probe durchgeführt werden, dann muss mit kleinen Deformationsamplituden gemessen werden.

Bei Tests mit geregelter Deformation als Sinusfunktion

$$\gamma(t) = \gamma_0 \cdot \sin \omega t \quad (\text{Gl. 5})$$

oder geregelter Schubspannung als Sinusfunktion

$$\tau(t) = \tau_0 \cdot \sin \omega t \quad (\text{Gl. 6})$$

werden Daten wie die Deformationsamplitude γ_0 oder die Schubspannungsamplitude τ_0 sowie die zeitliche Verschiebung der Ergebniskurve gegenüber der vorgegebenen Kurve (Phasenverschiebungswinkel δ) gemessen. Das Messergebnis bei einer γ -Regelung ist eine τ -Kurve als phasenverschobene Sinusfunktion (Abb. 1):

$$\tau(t) = \tau_0 \cdot \sin(\omega t + \delta) \quad (\text{Gl. 7})$$

Aus dem Phasenverschiebungswinkel δ sowie den Amplituden von Deformation γ_0 und Schubspannung τ_0 lassen sich Speicher- und Verlustmodul berechnen. Der Speichermodul G' charakterisiert die elastischen Eigenschaften der Substanz und der Verlustmodul G'' ist ein Maß für die viskosen Eigenschaften der Substanz. Das Verhältnis aus Verlustmodul G'' zu Speichermodul G' wird mittels des Verlustfaktors $\tan \delta$ angegeben (Tab. 1).

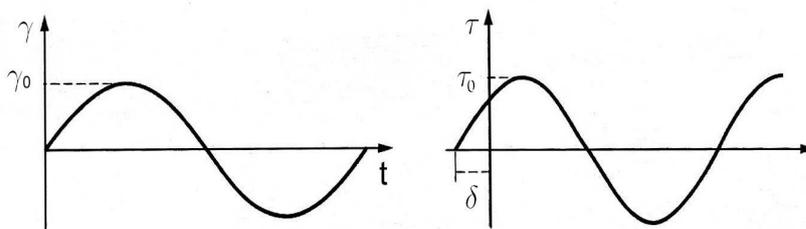


Abb. 1: Links: vorgegebene Sinuskurve (γ -Regelung), rechts: resultierende, phasenverschobene Sinuskurve (τ -Kurve), aus [154]

Tab. 1: Parameter der Oszillationsmessungen

Parameter	Gleichung	Einheit
Speichermodul G': charakterisiert die Festkörpereigenschaften viskoelastischer Substanzen	$G' = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cdot \cos \delta$	(8) Pa
Verlustmodul G'': charakterisiert die viskosen Eigenschaften viskoelastischer Substanzen	$G'' = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cdot \sin \delta$	(9) Pa
Verlustfaktor $\tan \delta$: gibt das Verhältnis von viskosen zu elastischen Eigenschaften an	$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$	(10) -

Für ideal-elastisches Verhalten beträgt der Phasenverschiebungswinkel $\delta = 0^\circ$ ($\tan \delta = 0$) und für idealviskoses Verhalten -90° ($\tan \delta = \infty$). Für Substanzen, die ein gleiches Verhältnis von viskosen und elastischen Eigenschaften aufweisen, beträgt der Phasenverschiebungswinkel 45° ($\tan \delta = 1$, d.h. $G' = G''$). Für den Phasenverschiebungswinkel gilt bei viskoelastischem Verhalten $-90^\circ < \delta < 0^\circ$. [154]

3.6.3.2. Amplitudensweepmessungen

Der Amplitudensweep dient der Ermittlung des lvB der Probe. Die Deformationsamplitude wird variiert und die Frequenz konstant gehalten. Die folgende Abb. 2 zeigt das Prinzip einer Amplitudensweep-Messung.

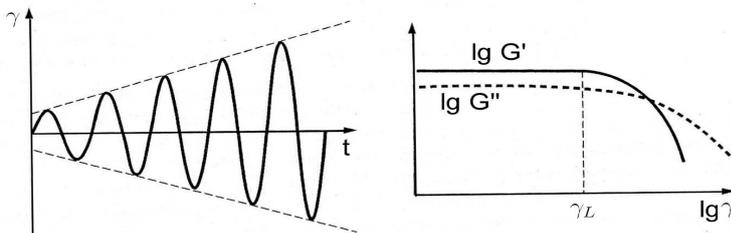


Abb. 2: Amplitudensweep: links: Vorgabe der variablen Deformationsamplitude; rechts: $G'(\gamma)$, $G''(\gamma)$ und γ_L , aus [154]

Die Ermittlung des lvB erfolgt mit Hilfe der doppellogarithmischen Darstellung des Verlaufes von Speicher- und Verlustmodul in Abhängigkeit von der Deformation γ . Im lvB der Probe bleiben $\lg G'(\gamma)$ und $\lg G''(\gamma)$ auf einem konstanten Plateauwert. Die Probe wird bei diesen geringen Deformationen nicht zerstört. Bei Deformationsamplituden $\gamma > \gamma_L$ wird der lvB verlassen und die Probenstruktur wird zerstört. Dies ist gekennzeichnet durch den Abfall von Speicher- und Verlustmodul (Abb. 2). [154]

3.6.3.3. Frequenzsweepmessungen:

Bei einer Messung im Frequenzsweep-Modus wird im lvB der Probe der Ruhezustand gemessen. Es wird die Deformation konstant gehalten und die Frequenz variiert. Mittels Frequenzsweep kann das scherzeitabhängige Verhalten der Probe simuliert werden. Das Kurzzeitverhalten wird bei hohen Frequenzen und das Langzeitverhalten der Probe bei niedrigen Frequenzen simuliert [154]. In der folgenden Abb. 3 ist die Messvorgabe einer Frequenzsweep-Messung dargestellt.

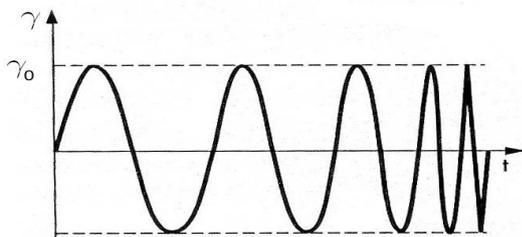


Abb. 3: Vorgabe der variablen Frequenz beim Frequenzsweep (γ -Regelung), aus [154]

Mittels Frequenzsweep können vorliegende Gel- oder Dispersionsstrukturen detektiert werden. Bei Gelen weisen $G' (f)$ und $G'' (f)$ immer einen Schnittpunkt auf. Liegen Dispersionsstrukturen vor, so verlaufen $G' (f)$ und $G'' (f)$ bei doppellogarithmischer Auftragung als parallele Geraden. [153]

3.6.3.4. Timesweep-Messungen

Timesweep-Messungen werden im lvB der Probe durchgeführt. Bei dieser Messung werden die Temperatur, die Deformation γ und die Frequenz f konstant gehalten. Diese Messanstellung dient der Erfassung von Strukturveränderungen in Abhängigkeit von der Zeit. [154]

Wesentliche Voraussetzungen für die Messung im Oszillationsrheometer sind ein homogenes Medium, keine Gaseinschlüsse und Partikeldurchmesser ≤ 20 % des Messspaltes. Daraus geht hervor, dass die Messungen nur an feinzerkleinerten Bräten durchgeführt werden können.

3.7. Zusammenfassung Literaturrecherche

Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass keine fundamentalen rheologischen Messungen, die das Strukturierungsverhalten von zerkleinertem Muskelgewebe in der Mikrostrukturebene während Fermentations- und Rekonstitutionsprozessen beschreiben, vorliegen. Mittels Oszillationsmessungen im lvB der Proben hätte man die Möglichkeit, das Strukturierungsverhalten von feinzerkleinertem Muskelgewebe bei Fermentations- und Rekonstitutionsprozessen nahezu ohne Zerstörung der Probenstruktur zu messen. Daher wird die Messung des Strukturierungsverhaltens während Fermentation und Rekonstitution am Beispiel feinzerkleinerter Modellbräte aus Rind- und Schweinefleisch sowie Karpfen in der Oszillationsebene vorgeschlagen.

4. Material und Methoden

4.1. Material

4.1.1. Rindfleisch

Zur Herstellung der Modellbräte wurde Rindfleisch RI nach GEHA-Standardisierung [155] verwendet. Dieses wurde durch eine 2 mm Lochscheibe gewolft. Die Präparation der verschiedenen Ansätze erfolgte jeweils aus frischem Material.

4.1.2. Schweinefleisch

Als Rohstoff diente bei jeder Versuchsserie frisches Schweinefleisch der Sorte S1 bzw. S8 gemäß GEHA-Standardisierung [155]. Dieses wurde in einem Fleischwolf mittels 2 mm Lochscheibe zerkleinert, zur Herstellung einer einheitlichen Mischung gut gemischt und in kleinen Portionen vakuumverpackt und bei max. -19 °C bis zur Weiterverarbeitung gelagert. In Abb. 4 ist die Herstellung des Probenmaterials schematisch dargestellt.

Bei jeder Versuchsserie wurden die Modellbräte dementsprechend aus einer anderen Grundgesamtheit hergestellt. Innerhalb der Versuchsserien wurde die gleiche S1- bzw. S8-Mischung als Rohstoff verwendet.

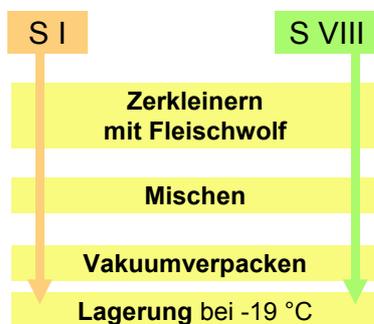


Abb. 4: Fließschema zur Bearbeitung der Rohstoffe [156]

4.1.3. Karpfen

Als Rohstoffe wurden tiefgekühlte Filets von dreijährigen (K3) und von zweijährigen Karpfen (K2) verwendet.

4.2. Eingesetzte Zusatzstoffe

4.2.1. Starterkultur

Es wurden folgende Starterkulturpräparate verwendet:

1. Lc1 (nur Lactobacillen):

Diese mussten zunächst reaktiviert werden. Dazu wurde der gesamte Inhalt eines Päckchens Starterkulturen Lc gemäß Herstellerangaben (BioCarna®-Ferment, Danisco, Deutschland) in 200 ml Wasser klümpchenfrei suspendiert. Die so erhaltene Starterkultursuspension stellt eine einfache Rohwurstkonzentration für 100 kg Fleisch dar. Innerhalb der hier durchgeführten Untersuchungen wurde immer mit der doppelten Konzentration gearbeitet.

2. Starterkulturen speziell für die Rohwurstherstellung (MC-Starterkulturen, AVO, Deutschland):

Diese Starterkulturmischung wird im weiteren Verlauf der Arbeit als RW bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine Mischung aus Lactobacillen und Micrococen. Diese können laut Herstellerangabe als Pulver zum Fleischbrät hinzugegeben werden. Die einfache Rohwurstkonzentration wird vom Hersteller mit 10 g/25 kg angegeben. Innerhalb der hier durchgeführten Untersuchungen wurde immer mit der doppelten Konzentration gearbeitet.

4.2.2. Zusatzstoffe

Kochsalz:	handelsübliches Speisesalz
Dextrose:	Müllers Mühle GmbH, Gelsenkirchen
Natriumacetat:	Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Ascorbinsäure:	Fibrisol Service GmbH, Viernheim
Ca-Lactat:	Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe

4.2.3. Fleischbindesysteme auf Alginatbasis

Folgende Bindsysteme wurden verwendet:

1) Ein-Komponenten-Bindsystem Raps 36856 (Fa. Raps GmbH & Co. KG, Kulmbach)

Inhaltsstoffe gemäß Herstellerspezifikation: Calciumlactat (E 327), Monoglyceride von Speisefettsäuren (E 471), pflanzliches Fett (teilweise gehärtet), Natriumalginat (E401), Dextrose, Di- und Triphosphate (E 450, E 451), Gewürzextrakte, Sliciumdioxid

2) Ein-Komponenten-Bindsystem Textureze MT 624 (Fa. Welding GmbH & Co. KG, Hamburg in Vertretung für Fa. ISP Food Ingredients)

Inhaltsstoffe gemäß Herstellerspezifikation: Natriumalginat (E 401), Calciumsulfat-dihydrat (E 516), Tetranatriumdiphosphat (E 450 (iii))

3) Zwei-Komponenten-Bindsystem Textureze MT 200/ MT 230 (Fa. Welding GmbH & Co. KG, Hamburg in Vertretung für Fa. ISP Food Ingredients)

Inhaltsstoffe gemäß Herstellerspezifikation:

MT200: Natriumalginat (E 401), Dextrose

MT230: Calciumlactat (E 327), Monoglyceride (E 471), pflanzliches Fett (teilweise gehärtet)

4) Zwei-Komponenten-Bindsystem INNO 20/ INNO 30 (Fa. Chr. Hansen GmbH, Holdorf)

Inhaltsstoffe gemäß Herstellerspezifikation:

INNO 20: Glucosesirup, Natriumalginat (E 401), Dextrose, Gewürzextrakte

INNO 30: Calciumlactat (E 327), Mono- und Diglyceride (E 471), gehärtetes Pflanzenfett

4.3. Präparationsmethoden

Eine bekannte Methode zur Durchführung der Probenpräparation und zur rheologischen Strukturdetektion existiert nicht und wurde daher empirisch am Beispiel Rindfleisch ermittelt.

4.3.1. Rindfleisch

Es wurden zwei Versuchsserien zur Charakterisierung der Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Rindfleisch durchgeführt.

Die 1. Versuchsserie diente dazu, die prinzipiellen Strukturbildungsprozesse in der Mikrostrukturebene bei der Fermentation am Beispiel des Rohstoffes Rindfleisch pH-abhängig zu analysieren und zu bewerten.

Die 2. Versuchsserie sollte klären, inwieweit eine Variation der Präparation der Modellbräte den prinzipiellen Strukturbildungsverlauf während der Fermentation beeinflusst. Des Weiteren wurde in dieser Versuchsserie der Einfluss eines anderen Starterkulturpräparates auf ablaufende Strukturierungen in der Mikroebene untersucht.

4.3.1.1. 1. Versuchsserie

Das RI Fleisch wurde unter Zusatz von 20 % Wasser (bezogen auf die Masse des Modellbrätes) in einer Universalküchenmaschine (Privileg, Cuisine de Luxe) feinst zerkleinert/gemischt (Stufe 4) und anschließend zweimal durch die 2 mm Raspelscheibe gedrückt (jeweils Stufe 4). Das Modellbrät war folgendermaßen zusammengesetzt:

80 % RI + 20 % H₂O = 100 % Modellbrät

Ausgehend von diesem Modellbrät wurden drei unterschiedliche Ansätze präpariert um den Einfluss von Salz- bzw. Starterkulturzugabe auf ablaufende Strukturierungen während der Fermentation bewerten zu können.

1. Standardansatz mit Salz und Starterkultur (n = 5)
2. Ansatz ohne Salz, mit Starterkultur (n = 2)
3. Ansatz mit Salz, ohne Starterkultur (n = 2)

Die Zutaten für den Standardansatz sind in der folgenden Tab. 2 angegeben und beziehen sich auf die Masse des Modellbrätes.

Tab. 2: Zutaten für den Standardansatz der 1. Versuchsserie Rindfleisch

Zutaten	Menge
Kochsalz	2 %
Dextrose	1 %
Natriumacetat	0,1 %
Ascorbinsäure	0,1 %
Starterkulturen (Lc1)	4 ml/kg

4.3.1.2. 2. Versuchsserie (Variation Präparation und Starterkultur)

Die Abb. 5 zeigt schematisch die Unterschiede in der Präparation der Modellbräte der 2. Versuchsserie.

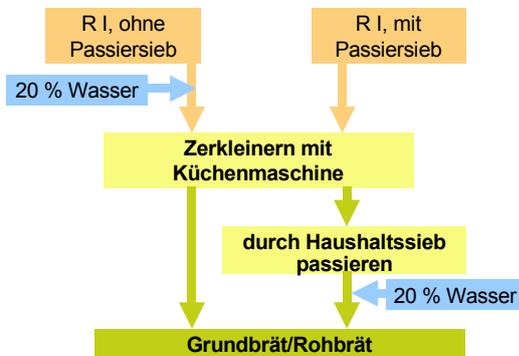


Abb. 5: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte aus Rindfleisch mit den unterschiedlichen Präparationsverfahren der 2. Versuchsserie

Als Weiterentwicklung der Probenpräparation im labortechnischen Maßstab wurde ein weiterer Präparationsschritt eingeführt. Dieser sollte dazu dienen, eine Standardisierung der Partikelgrößenverteilung und damit eine bessere Reproduzierbarkeit der Zerkleinerungstechnik im Labormaßstab zu gewährleisten. Dazu wurde in dieser 2., ergänzenden Versuchsserie der Einfluss dieses Präparationsschrittes auf die prinzipiellen Strukturierungsmechanismen von Standardansätzen untersucht.

Die Herstellung der Modellbräte erfolgte hier bei einer Probe gemäß der 1. Versuchsserie (RI, ohne Passiersieb) und bei einer weiteren Probe wurde dieser zusätzliche Präparationsschritt (RI, mit Passiersieb) durchgeführt (Abb. 5).

Das gewolfte RI-Material wurde zunächst mit dem Universalmesser einer Küchenmaschine (Privileg, Cuisine de Luxe) zerkleinert (Stufe 4) und dann anschließend zweimal durch die 2 mm Raspelscheibe der Küchenmaschine gedrückt (jeweils Stufe 4). Anschließend wurde dieses Brät durch ein haushaltsübliches Passiersieb passiert. Dann erfolgte die Zugabe von 20 % Wasser bezogen auf das Endgewicht des Modellbrätes.

Dieser zusätzliche Präparationsschritt (passieren des Brätes durch ein Passiersieb) wurde bei allen weiteren Fermentationsuntersuchungen bei den Rohstoffen aus Schweinefleisch sowie aus Karpfen durchgeführt.

Bei beiden innerhalb dieser Versuchsserie hergestellten Modellbräten wurden die Starterkulturen RW hinzugesetzt. So konnte ein Vergleich der ablaufenden Fermentationsprozesse bei der Fermentation von Rindfleisch mit den Starterkulturen RW mit den Standardansätzen der 1. Versuchsserie (Starterkultur Lc1) durchgeführt werden.

Die Zutaten sind in der folgenden Tab. 3 aufgeführt.

Tab. 3: Zutaten Modellbräte 2. Versuchsserie Rindfleisch (bezogen auf Masse Modellbrät)

Zutaten	Menge
Kochsalz	2 %
Dextrose	1 %
Natriumacetat	0,1 %
Ascorbinsäure	0,1 %
Starterkulturen (RW)	0,8 g/kg

4.3.2. Schweinefleisch

4.3.2.1. Variation Fremdwassergehalt

In dieser 1. Versuchsserie wurde die Abhängigkeit der Strukturierungsvorgänge bei der Fermentation von Schweinefleisch in Abhängigkeit von der Menge an zugesetztem Fremdwasser untersucht.

Diese Versuchsserie dient zum einen der Überprüfung, ob die Strukturierungsmechanismen von Modellbräten aus Schweinefleisch (S1) mit unterschiedlichem Fremdwassergehalt prinzipiell ähnlich sind und inwieweit Aussagen zu Unterschieden in der Strukturausbildung in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt gemacht werden können.

Dazu wurde ein üblicher Standardansatz der Schweinefleischmodellbrätproben mit 6 % Fremdwasserzusatz verglichen mit einem Fermentationsansatz der 20 % Fremdwasser enthielt. Der Fermentationsansatz mit 20 % Wasserzusatz ist an den Standardansatz der Untersuchungen aus der Serie der Fermentation von Rindfleisch angelehnt.

Die folgende Abb. 6 stellt ein vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte schematisch dar.

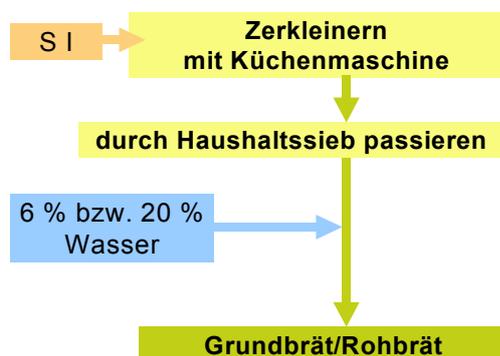


Abb. 6: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte mit unterschiedlichem Fremdwassergehalt

Zur Herstellung der Modellbräte wurde der nach Abb. 4 aufbereitete S1-Rohstoff ganz leicht angetaut, in Würfel geschnitten und mittels Küchenmaschine (Privileg, Cuisine de Luxe) zerkleinert. Nach Zerkleinerung mit dem Universalmesser (Stufe 4) erfolgte die zweimalige Zerkleinerung mittels Durchpressen durch die 2 mm Raspelscheibe der Küchenmaschine (je-

weils auf Stufe 4) um eine feinstzerkleinerte Masse zu erhalten. Der so zerkleinerte Rohstoff wurde anschließend durch ein Haushaltssieb passiert. Nach der Passage durch das Haushaltssieb wurden nun 6 % (bezogen auf die Masse des fremdwasserfreien Fleisches) bzw. 20 % (bezogen auf die Masse des Grundbrätes/ Rohbrätes) Wasser zum zerkleinerten Fleisch hinzugegeben. Man erhält die entsprechenden Grund- bzw. Rohbräte.

Die jeweiligen Grundbräte wurden mit den in Tab. 4 dargestellten Zutaten vermischt.

Tab. 4: Zutaten zu den Rohbräten der 1. Versuchsserie Schweinefleisch bezogen auf die Masse Rohbrät

Zutaten	Menge
Kochsalz	2 %
Dextrose	1 %
Natriumacetat	0,1 %
Ascorbinsäure	0,1 %
Starterkulturen (RW)	0,8 g/kg

4.3.2.2. Variation Fettgehalt

Diese Versuchsserie diente dazu, den Einfluss des Fettgehaltes auf ablaufende Strukturierungsprozesse bei der Fermentation von Schweinefleisch zu untersuchen. Dazu wurden Modellbräte mit einem Anteil an S8-Material als Fettgewebe von 0 %, 10 %, 20 %, 30 % und 40 % am Rohbrät hergestellt und untersucht.

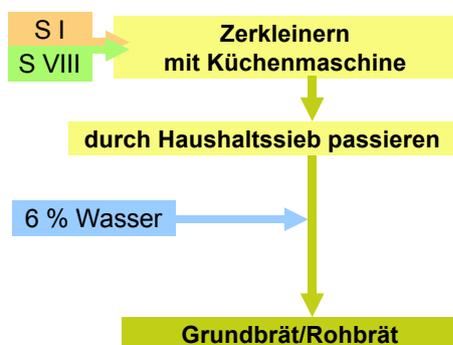


Abb. 7: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte mit unterschiedlichem Fettgehalt, nach [156]

Die Abb. 7 zeigt ein stark vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte mit unterschiedlichem Fettgehalt. S1 (leicht angetaut) und S8 (tiefgekühlt) wurden in Würfel geschnitten und im entsprechenden Mischungsverhältnis in die Universalküchenmaschine (Privileg, Cuisine de Luxe) gegeben. Nach Zerkleinerung und Mischen (Stufe 4) mit dem Universalmesser erfolgte die zweimalige Zerkleinerung mittels Durchpressen durch die 2 mm Raspelscheibe (jeweils auf Stufe 4) der Küchenmaschine um eine feinstzerkleinerte Masse zu erhalten. Der so zerkleinerte Rohstoff wurde anschließend durch ein Haushaltssieb passiert. Nach der Passage durch das Haushaltssieb wurden nun 6 % Wasser (bezogen auf die Masse des fremdwasserfreien Fleisches) zum zerkleinerten Fleisch hinzugegeben. Man erhält

die entsprechenden Grund- bzw. Rohbräte. Eine Übersicht über die hergestellten Proben ist in Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5: Zusammensetzung der Modellbräte mit unterschiedlichem S8-Gehalt und deren Probenbezeichnung

Anteil im Modellbrät [%]		Probenbezeichnung
S1	S8	
100	0	S1
90	10	S1+10
80	20	S1+20
70	30	S1+30
60	40	S1+40

Die jeweiligen Grundbräte wurden entsprechend mit den in Tab. 4 dargestellten Zutaten vermischt.

4.3.2.3. Variation Ca-Lactat

In Abb. 8 ist ein vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte zur Untersuchung des Einflusses von Ca-Lactat auf die ablaufenden Strukturierungsprozesse während der Fermentation dargestellt.

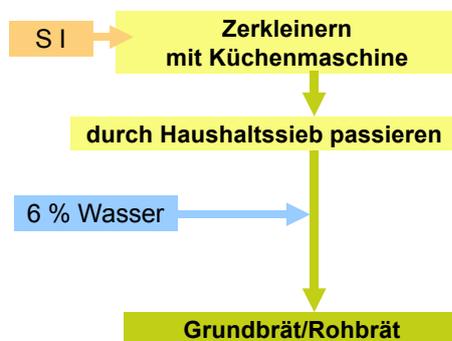


Abb. 8: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte der Ca-Lactat-Serie, nach [156]

Zur Herstellung der Modellbräte wurde der nach Abb. 4 aufbereitete S1-Rohstoff ganz leicht angetaut, in Würfel geschnitten und mittels Küchenmaschine (Privileg, Cuisine de Luxe) zerkleinert. Nach Zerkleinerung mit dem Universalmesser (Stufe 4) erfolgte die zweimalige Zerkleinerung mittels Durchpressen durch die 2 mm Raspelscheibe der Küchenmaschine (jeweils auf Stufe 4) um eine feinstzerkleinerte Masse zu erhalten. Der so zerkleinerte Rohstoff wurde anschließend durch ein Haushaltssieb passiert. Nach der Passage durch das Haushaltssieb wurden 6 % Wasser (bezogen auf die Masse des fremdwasserfreien Fleisches) zum zerkleinerten Fleisch hinzugegeben. Man erhält die entsprechenden Grund- bzw. Rohbräte. Die Grundbräte/ Rohbräte wurden mit den in Tab. 6 dargestellten Zutaten vermischt.

Tab. 6: Zutaten zu den Grundbräten der 3. Versuchsserie (Ca-Lactat) bezogen auf die Masse Grundbrät

Zutaten	Menge
Kochsalz	2 %
Dextrose	1 %
Natriumacetat	0,1 %
Ascorbinsäure	0,1 %
Starterkulturen (RW)	0,8 g/kg
Ca-Lactat	0; 0,5 bzw. 1 %

4.3.2.4. Fleischbindesysteme

Als Fleischmatrix diente fein zerkleinertes Fleischbrät (Präparation nach Abb. 8) mit der Zusammensetzung: 93 % S1 + 7 % Wasser = 100 % Fleischbrät. Bei dem verwendeten S1 Fleisch handelte es sich um tiefgekühltes Fleisch.

1) Ein-Komponenten-Bindesystem Firma Raps:

Eingesetzte Menge: 2 % bezogen auf die Masse Fleischbrät (oberster Konz.-Bereich laut Angabe)

2) Ein-Komponenten-Bindesystem Firma ISP (Welding) Textureze MT 624:

Eingesetzte Menge: 2 % bezogen auf die Masse Fleischbrät

3) Zwei-Komponenten-Bindesystem Firma ISP (Welding) Textureze MT200/MT230:

Eingesetzte Menge: Je 1 % (oberster Konzentrationsbereich laut Angabe) MT 200 bzw. MT 230 auf die Masse Fleischbrät.

Zuerst wurde das MT 200 (Alginat) gründlich manuell mit dem Fleischbrät vermischt. Anschließend wurde MT 230 (Ca-Lactat) dazugegeben und ebenfalls gründlich vermischt.

4) Zwei-Komponenten-Bindesystem Firma Chr. Hansen GmbH INNO 20 / INNO 30:

Eingesetzte Menge: gemäß Herstellerangabe wurden 1,5 % INNO 20 und 1,0 % INNO 30 bezogen auf die Masse Fleischbrät hinzugegeben.

Zuerst wurde INNO 20 (Alginat) gründlich mit dem Fleischbrät vermischt. Anschließend wurde INNO 30 (Ca-Lactat) dazugegeben und ebenfalls gründlich eingemischt.

Alle Versuchsansätze wurden nach dem Mischen sofort in die Messzelle gegeben und mittels Timesweep-Messung charakterisiert. Es wurden keine Salze oder Gewürze hinzugegeben.

4.3.3. Karpfen

Aufgabe dieser Untersuchungen war es, die Strukturausbildung in der Mikrostrukturebene während der Fermentation von Filets dreijähriger Karpfen (K3) und zweijähriger Karpfen (K2) zu analysieren.

Die Herstellung der Modellbräte aus Filets von K3 bzw. K2 zur Beurteilung ablaufender Strukturierungsmechanismen ist in der folgenden Abb. 9 dargestellt.

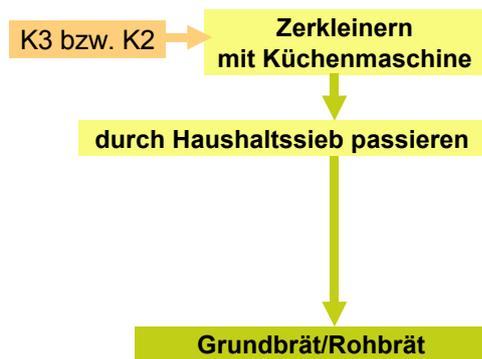


Abb. 9: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Grundbräte aus K3 und K2 Filets

Die gefrorenen Filets aus K2 bzw. K3 wurden in Würfel geschnitten und mit dem Universalmesser der Küchenmaschine (Privileg, Cuisine de Luxe) zerkleinert (Stufe 4). Anschließend wurde die Masse zweimal durch die 2 mm Raspelscheibe der Küchenmaschine gedrückt (jeweils Stufe 4). Danach wurde das Material durch ein Haushaltssieb passiert. Die so erhaltenen Grundbräte/ Rohbräte wurden mit den in Tab. 7: angegebenen Zutaten vermengt und die Strukturausbildung während der Fermentation mittels Timesweep-Messung untersucht.

Tab. 7: Zutaten zu den Grundbräten aus K2 bzw. K3 bezogen auf die Masse Grundbrät

Zutaten	Menge
Kochsalz	2 %
Dextrose	1 %
Natriumacetat	0,1 %
Ca-Lactat	1 %
Starterkulturen (RW)	0,8 g/kg

4.4. Chemisch-physikalische Kennwerte

Die ergänzenden chemisch-physikalischen Untersuchungen von Rindfleisch wurden bei der 2. Versuchsserie durchgeführt.

4.4.1. pH-Wert

Die pH-Werte der eingesetzten, zerkleinerten RI-Rohwaren (2. Versuchsserie) und der Grundbräte aus Karpfen wurden mittels einer Einstichelektrode (Schott Blue Line 21, Messaufnehmer pH Consort 601) mittels Dreifachbestimmung ermittelt.

4.4.2. Trockensubstanzgehalt

Der Trockensubstanzgehalt wurde gravimetrisch mit dem Moisture Analyzer MA 30 (Sartorius, Deutschland) bei 120 °C bis zur Massenkonstanz bestimmt. Dazu wurden 1 g auf 0,001 g genau eingewogen. Die Bestimmung der Trockensubstanz der zerkleinerten RI-Rohware (2. Versuchsserie) erfolgte über eine Dreifachbestimmung. Die Trockensubstanzbestimmung

der einzelnen Grundbräte aus Schweinefleisch bzw. Karpfen wurde mittels Dreifachbestimmung durchgeführt.

Die Bestimmung der Trockensubstanz der S1-Rohstoffe der Variationen Fettgehalt und Ca-Lactat erfolgte nach ASU L 06.00-3 [157].

4.4.3. Rohproteingehalt

Der Rohproteingehalt der Rohstoffe S1 bzw. S8 der Variationen Fettgehalt und Ca-Lactat wurde gegebenenfalls nach ASU L 06.00-7 [158] bestimmt.

4.4.4. Aschegehalt

Der Aschegehalt der S1-Rohstoffe (Variation Fettgehalt und Ca-Lactat) wurde gegebenenfalls mittels Doppelbestimmungen nach ASU L 06.00-4 [159] bestimmt.

4.4.5. Charakterisierung mittels GEHA-Standardisierung

Für die Rohstoffe S1 und S8 wurden die durchschnittlichen chemisch-analytischen Kennwerte nach GEHA-Standardisierungssystem [155] angegeben. Daraus wurden die durchschnittlichen chemisch-analytischen Kennwerte der Grundbräte mit unterschiedlichen S8-Gehalten rechnerisch ermittelt.

4.5. Materialwissenschaftliche Methoden

4.5.1. Konventionelle rheologische Untersuchungen

Spann- und Kriechversuche wurden nicht durchgeführt, da das prinzipielle Materialverhalten von Fleischbrät bereits untersucht wurde und kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn bezüglich der Beurteilung ablaufender Strukturbildungsprozesse von Fleischmatrices zu erwarten ist. Oszillationsmessungen sind hingegen die modernen Methoden zur komplexen Charakterisierung viskoelastischer Systeme.

4.5.2. Oszillationsmessungen

Die folgende Tab. 8 zeigt eine Übersicht über die verwendeten Messsysteme.

Tab. 8: Verwendete Messsysteme

Messsystem	1. Versuchsserie Rind, Fleischbindesysteme	Alle anderen Versuchsansätze
Luftlagerrheometer	UDS 200 (Paar Physica; Deutschland)	MCR 301 (Paar Physica, Deutschland)
Zylindermesssystem	Z3 DIN	CC27
Messzylinder	Z3 DIN, geriffelt	CC27/P1, geriffelt
Peltier-Temperiereinrichtung	ja	ja

4.5.2.1. Amplitudensweep

Die Messungen im Amplitudensweep-Modus erfolgten mittels folgender Messanstellungen:

Temperatur: $T = 30\text{ °C}$ bei Fermentation

Deformation $\gamma = 10^{-4} \dots 1$, log, über Zeit, stufenförmige Rampe

Frequenz $f = 1\text{ Hz}$.

4.5.2.2. Frequenzsweep

Die Messungen im Frequenzsweep-Modus erfolgten mittels folgender Messanstellungen:

Temperatur: $T = 30\text{ °C}$ bei Fermentation, 2 °C bei Fleischbindesystemen

Deformation: $\gamma = 10^{-3}$

Frequenz: $f = 50 \dots 0,01\text{ Hz}$, log Fahrweise

4.5.2.3. Timesweep

Die Messungen im Timesweep-Modus erfolgten mittels folgender Messanstellungen:

Temperatur: $T = 30\text{ °C}$ bei Fermentation, 2 °C bei Fleischbindesystemen

Deformation $\gamma = 10^{-3}$

Frequenz $f = 1\text{ Hz}$

Messpunktdauer: 2 min

Die Abb. 10 zeigt eine Übersicht über durchgeführte rheologische Untersuchungen zur Strukturdetektion bei der Fermentation sowie zur Charakterisierung von Grund- bzw. Rohbräten bzw. den mit Zutaten versetzten Bräten.

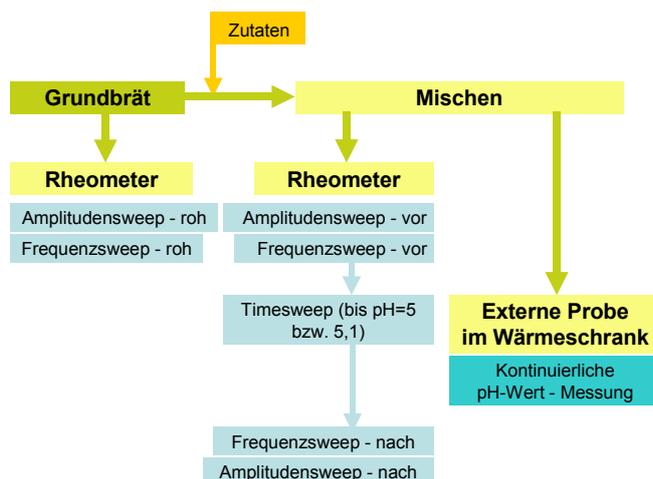


Abb. 10: Übersicht über durchgeführte rheologische Untersuchungen zu ablaufenden Strukturierungsprozessen bei der Fermentation der unterschiedlichen Versuchsserien, nach [156]

Die aufgeführten Amplitudensweep- und Frequenzsweep-Messungen wurden nicht in jeder Versuchsserie durchgeführt.

Bei den jeweiligen Grundbräten wurde gegebenenfalls eine Amplituden- und Frequenzsweep-Messung durchgeführt. Diese Grundbräte wurden mit den entsprechenden Zutaten

vermischt und mittels Amplituden- und Frequenzsweep-Messung charakterisiert. Die mit Zutaten versetzten Bräte wurden dann bei 30 °C bis zu einem pH-Wert von 5,0 fermentiert und mittels Timesweep-Messung wurden ablaufende Strukturbildungsprozesse detektiert. Die Erfassung des pH-Wertes mittels Einstichelektrode (Schott Blue Line 21, Messaufnehmer pH Consort 601) erfolgte jede Minute zeitgleich zur Timesweep-Messung in einer externen, vorher vakuumierten Probe gleichen Materials bei 30 °C im Wärmeschrank (WTB Binder, Deutschland). Die Daten der Timesweep-Messungen wurden dann den jeweiligen pH-Wert-Verläufen gegenübergestellt und pH-abhängig diskutiert. Somit konnten die rheologischen Kennwerte, die während der Fermentation aufgezeichnet wurden, pH-abhängig diskutiert werden. Nach der Fermentation wurde mit der selben Probe ebenfalls eine Frequenz- und Amplitudensweep-Messung durchgeführt.

4.6. Statistische Absicherung

Bei Doppel- bzw. Mehrfachbestimmungen wurde der Mittelwert (MW) berechnet nach folgender Gleichung berechnet:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Gl. 11})$$

Bei weniger als sechs Einzelwerten wurde als Abweichung die Mittelabweichung (MAW) nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{MAW} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \quad (\text{Gl. 12})$$

Wurde der Mittelwert aus sechs und mehr Einzelwerten bestimmt, wurde die dazugehörige Abweichung als Standardabweichung (Stabw) nach folgender Gleichung berechnet:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gl. 13})$$

5. Fermentationsverlauf Rindfleisch

Für die Charakterisierung der Strukturbildungsmechanismen in der Mikrostrukturebene bei der Fermentation von verschiedenen tierischen Proteinmatrices mittels rheologischer Untersuchungen musste zunächst eine Methode entwickelt werden. Erste Versuche zur rheologischen Charakterisierung ablaufender Strukturierungen in tierischen Proteinmatrices wurden mittels fettarmen Rindfleisch der GEHA Sortierung RI durchgeführt. Es musste zunächst ein geeignetes Modellbrät hergestellt werden, welches zur Messung im Rheometermessspalt geeignet ist, da nur feinerkleinertes Fleisch zum Einsatz kommen kann. Die Untersuchungen zu ablaufenden Strukturbildungsvorgängen bei der Fermentation von Rindfleisch stellen die ersten Untersuchungen dieser Art dar, die überhaupt durchgeführt wurden. Diese Untersuchungen waren der Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen am Beispiel Schweinefleisch und Karpfen. Zur Beschreibung des Fermentationsprozesses werden für die gesamte Arbeit folgende Modalitäten vereinbart: Wird der Fermentationsprozess anhand des pH-Wertes eingeteilt so erfolgt die Einteilung in Phasen. Wird der Fermentationsprozess anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ eingeteilt, dann erfolgt dieses in Abschnitten. Die Einteilung des Fermentationsprozesses anhand des Speichermoduls G' erfolgt in Bereichen.

5.1. Chemisch-physikalische Kennwerte Rindfleisch

Die folgende Tab. 9 zeigt die ermittelten pH- und TS-Werte der Proben der 2. Versuchsserie Rindfleisch.

Tab. 9: pH und TS-Gehalt der Rindfleischproben, 2. Versuchsserie

Probe	pH					TS [%]				
	x ₁	x ₂	x ₃	MW	MAW	x ₁	x ₂	x ₃	MW	MAW
R o.S.	5,63	5,64	5,65	5,64	0,01	26,24	26,26	26,10	26,20	0,07
R S.	5,62	5,62	5,62	5,62	0,00	29,66	30,11	30,61	30,13	0,32

Unterschiede können auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen sein.

5.2. Fermentationsuntersuchungen 1. Versuchsserie Rindfleisch

Die 1. Versuchsserie Rindfleisch (in [160]) dient der Untersuchung des Einflusses von Salz bzw. Starterkulturzugabe auf die Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Rindfleisch.

5.2.1 Charakterisierung pH-Wert-Verlauf 1. Versuchsserie Rindfleisch

Die folgende Abb. 11 zeigt die Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des Standardansatzes Rindfleisch, 1. Versuchsserie in Adaptionsphase und kontinuierliche Säuerungsphase.

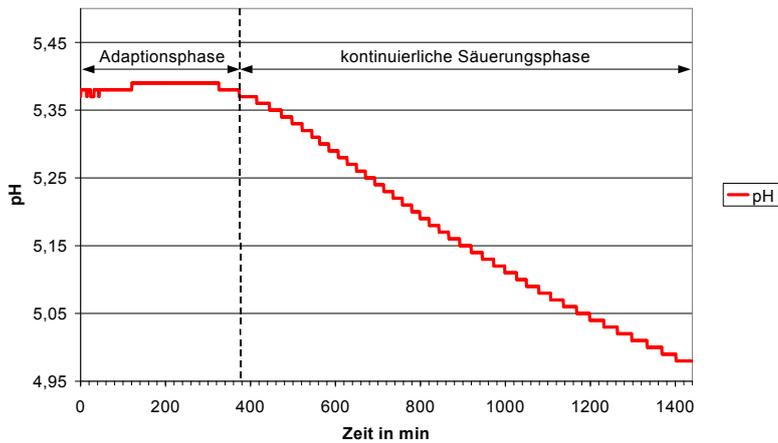


Abb. 11: Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des pH-Wertes in Phasen

5.2.2 Strukturierungsprozesse während der Fermentation (Standardansatz)

Für den Standardansatz sind die Ergebnisse in der Abb. 12 am Beispiel $\tan \delta$ und pH und der Abb. 13 am Beispiel G' und $\tan \delta$ dargestellt.

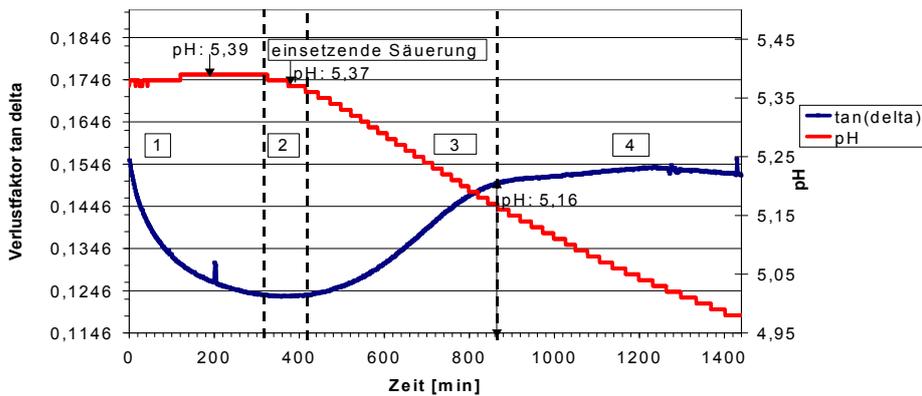


Abb. 12: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation des Standardansatzes

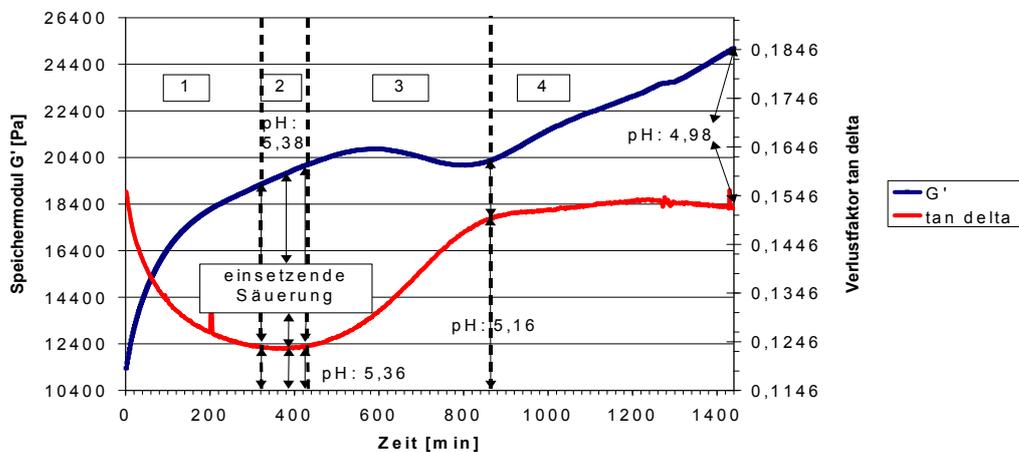


Abb. 13: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation des Standardansatzes

Für alle Proben kann in Abhängigkeit vom Versuchsansatz ein spezifisches Strukturierungsverhalten zur Ausbildung einer Partikelgelstruktur dominant pH-abhängig nachgewiesen werden. Der pH-Wert bleibt in den ersten sechs Stunden der Fermentation zunächst konstant. Ab der sechsten Stunde fällt er kontinuierlich innerhalb von 24 h auf einen pH-Wert um 5,0 ab. Da der Verlustfaktor $\tan \delta$ ein scharfer Indikator für ablaufende Strukturierungen ist, kann der Fermentationsverlauf des Standardansatzes anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ pH-abhängig in vier verschiedene Strukturierungsabschnitte eingeteilt werden.

1. Abschnitt:

Der pH-Wert bleibt in den ersten sechs Stunden der Fermentation konstant. Es ist eine starke Zunahme des Speichermoduls G' (um 70 %) sowie ein Abfall des Verlustfaktors $\tan \delta$ zu verzeichnen. Die Festkörpereigenschaften nehmen zu. Das kann mit einer Vorstrukturierung der Fleischproteine durch den Einsalzeffekt erklärt werden. Die Proteine gehen in Lösung und haben aufgrund des Salzzusatzes eine größere Quellfähigkeit und binden somit Wasser in den kapillaren Hohlräumen. Dadurch werden die Proteine aufgefaltet und neu strukturiert. Es kommt zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen permanenter Dipole und möglicher Verhakungen im dreidimensionalen Netzwerk des Modellbrätes, welches die Brätpartikel umhüllt bzw. einschließt.

2. Abschnitt:

Im zweiten Abschnitt setzt die kontinuierliche Säuerung und der Verlustfaktor $\tan \delta$ nimmt ein Minimum an. Dieser Abschnitt dauert nur etwa 1,5 h (Abb. 12 und Abb. 13) und sollte als Übergangsbereich eingeordnet werden.

3. Abschnitt:

Bedingt durch mikrobielle Milchsäurebildung kommt es im dritten Abschnitt zu einem kontinuierlichen pH-Wert-Abfall und somit zu einer Säuredenaturation der myofibrillären Eiweiße. Es wird eine starke Zunahme des Verlustfaktors $\tan \delta$ in diesem Abschnitt ermittelt. Die Abschnittsdauer beträgt etwa 7 h. Unter Ausbildung von neuen Bindungen/ Verknüpfungen bildet sich nun ein viskoelastisches Proteinnetzwerk aus. Zum Ende des 3. Abschnittes bei pH-Werten im Bereich von etwa 5,2 nimmt der Verlustfaktor $\tan \delta$ ein konstantes Level an. Der Speichermodul G' nimmt bei diesem Wert zunächst ein lokales Minimum an, was ein Hinweis auf den Gelbildungsbereich der Fleischproteine sein könnte.

4. Abschnitt:

Im vierten Abschnitt (Dauer etwa 10 h) ist die Ausbildung des viskoelastischen Proteinnetzwerk gels offenbar weitestgehend abgeschlossen. Indikator hierfür ist der Verlustfaktor $\tan \delta$, der sich in diesem Abschnitt trotz fortlaufender Säuerung nicht mehr ändert. Der Speichermodul nimmt weiter zu und weist zum Ende der Messung eine Zunahme von 100 ... 150 % auf. Es entsteht ein schnittfestes Partikelgel.

Durch die rheologischen Messungen gelingt erstmals zeit- und pH-abhängig die Einteilung des Gesamtprozesses in die genannten Abschnitte durch online Messung. Am Beispiel der Zunahme des Speichermoduls G' kann der Gesamteffekt der Strukturausbildung erkannt und

bewertet werden. Die in der Literatur beschriebenen Mechanismen werden wiedergefunden und können technologieabhängig quantifiziert werden.

5.2.3 Strukturierungsprozesse während der Fermentation ohne Salzzugabe

Für den Ansatz ohne Salzzugabe sind die Ergebnisse in der Abb. 14 am Beispiel $\tan \delta$ und pH und in der Abb. 15 am Beispiel G' und $\tan \delta$ dargestellt.

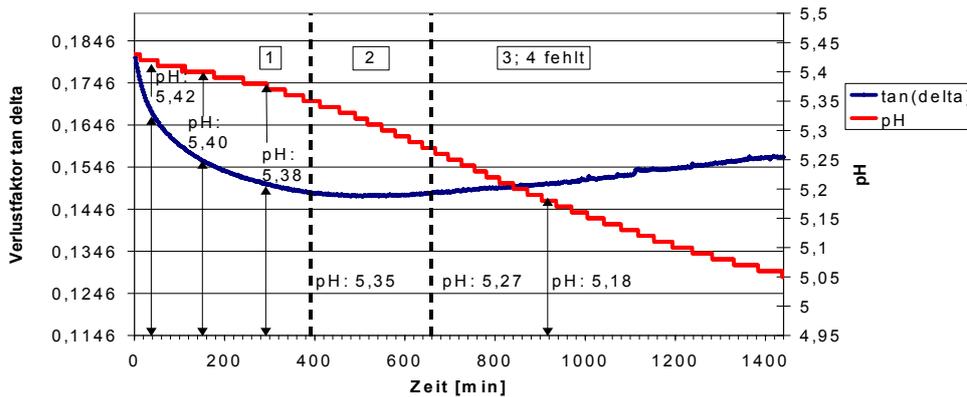


Abb. 14: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation ohne Salzzugabe

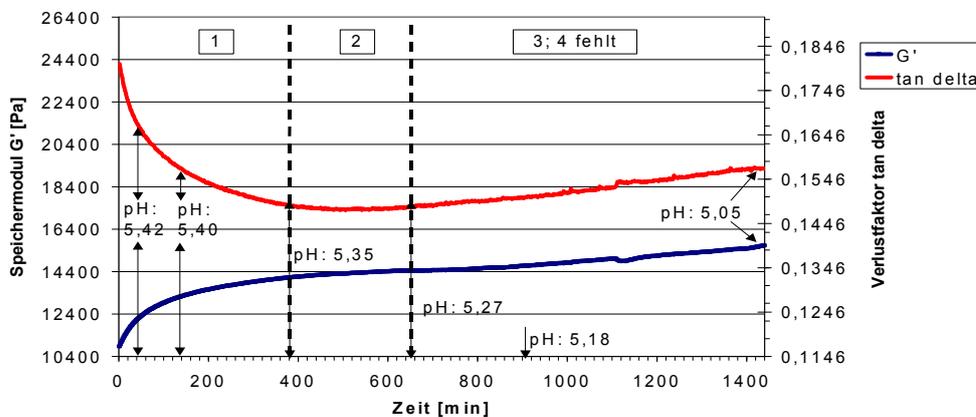


Abb. 15: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation ohne Salzzugabe

1. Abschnitt:

Durch die fehlende Salzzugabe bleibt eine Adaptionsphase der Starterkulturen im 1. Abschnitt aus. Mit Beginn der Messung ist eine kontinuierliche Säurebildung zu beobachten. Der Speichermodul G' nimmt in diesem Abschnitt nur sehr schwach zu (Zunahme um 30 % vom Ausgangswert, im Vergleich zum Standardansatz: 70 %). Das ist auf die fehlenden Vorstrukturierungen der myofibrillären Proteine durch den Einsalzeffekt zurückzuführen. Es kommt hier nicht zu Löse- und Quellvorgängen der Fleischproteine.

2. Abschnitt:

Nach etwa 6,5 h erreicht der Verlustfaktor ein Minimum.

3. Abschnitt:

Trotz starker kontinuierlicher Säuerung bleibt im weiteren Verlauf der Fermentation die Ausbildung eines schnittfesten viskoelastischen Proteinnetzwerkels aus. Dies ist gekennzeichnet durch den sehr schwachen Anstieg des Verlustfaktors $\tan \delta$ im 3. Abschnitt. Der Verlustfaktor steigt hier nur um etwa 6 % an. Im Vergleich dazu sind es beim Standardansatz etwa 25 %. Die Auffaltung, Lösung und Quellung und damit die Änderung der Originalstruktur der Proteine durch den Einsalzeffekt ist eine grundlegende Voraussetzung für die säureinduzierte Ausbildung einer viskoelastischen Proteingelstruktur. Der **4. Abschnitt** bleibt bei diesem Ansatz aufgrund fehlender Gelbildung aus.

5.2.4. Strukturierungsprozesse während der Fermentation ohne Starterkulturen

Die Abb. 16 und Abb. 17 zeigen die Ergebnisse der Timesweep-Untersuchungen des Ansatzes ohne Starterkulturen.

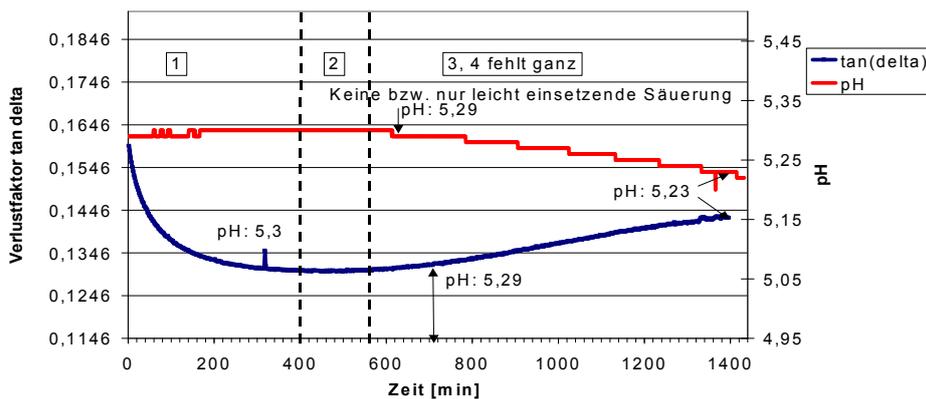


Abb. 16: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation ohne Starterkulturzugabe

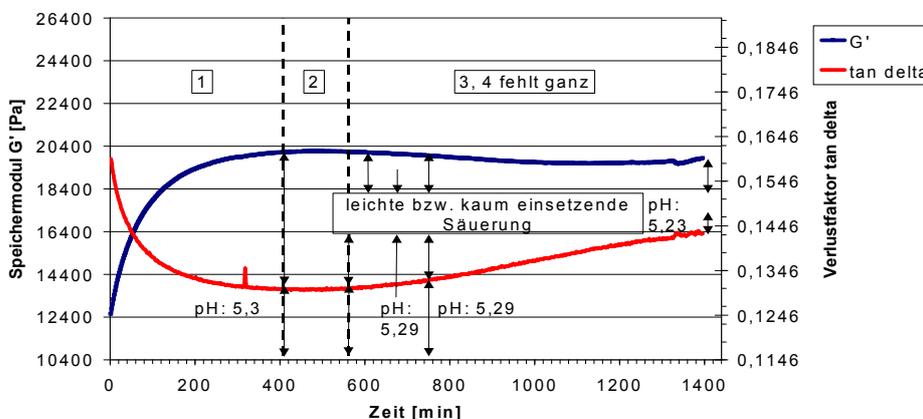


Abb. 17: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation ohne Starterkulturzugabe

Hier kommt es innerhalb der ersten 6 h zu den bereits beim Standardansatz erläuterten Vorstrukturierungen der myofibrillären Proteine durch den Einsalzeffekt die, analog zum Standardansatz, durch eine starke Zunahme des Speichermoduls G' gekennzeichnet sind. Im weiteren Verlauf der Fermentation nimmt der pH-Wert nicht wesentlich ab. Dadurch, dass praktisch keine Säuerung stattfindet, können die durch den Einsalzeffekt aufgefalteten myofibrillären Proteine keine neuen Bindungen ausbilden, da die dafür notwendige säurebedingte Proteindenaturation ausbleibt. Es kommt hier nicht zur Ausbildung eines schnittfesten viskoelastischen Proteinnetzwerkels. Es wird nur Abschnitt 1 analog zum Standardansatz wiedergefunden. Der Ansatz ist als Orientierungsmessung anzusehen, da bei dem anderen Ansatz ohne Starterkulturen eine Säuerung durch bereits im Rohstoff vorhandene Mikroorganismen eintrat und es somit zu einer Partikelgelbildung kam.

5.2.5. Vergleichende Betrachtung der ablaufenden Strukturierungsprozesse

Eine vergleichende Darstellung der Versuchsansätze findet in Abb. 18 und Abb. 19 am Beispiel der relativen Änderungen des Speichermoduls G' und des Verlustfaktors $\tan \delta$ für den 1. bzw. für den 3. Abschnitt der Fermentation für die drei Versuchsansätze statt.

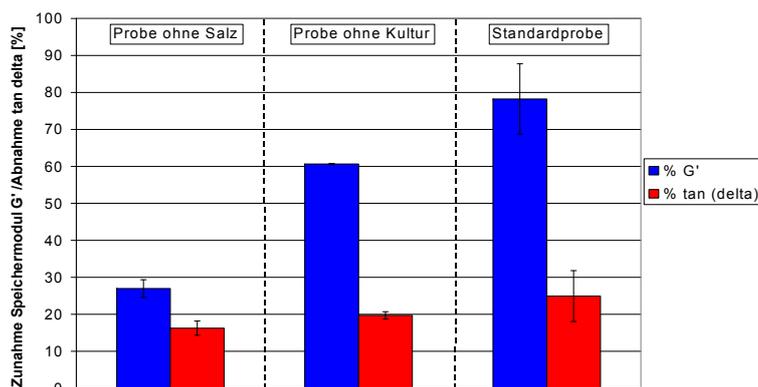


Abb. 18: Relative Zunahmen des Speichermoduls G' und relative Abnahme des Verlustfaktors $\tan \delta$ im 1. Abschnitt der Fermentation für die drei verschiedenen Ansätze

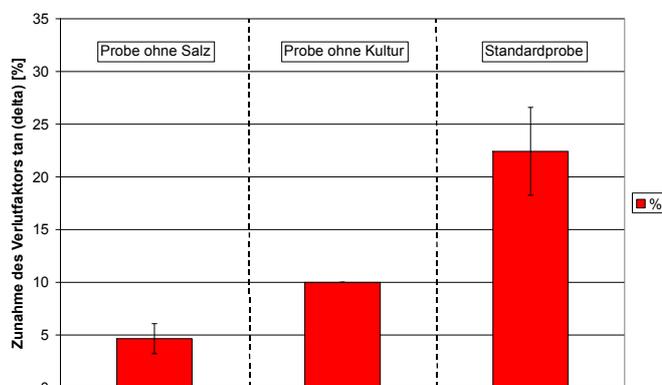


Abb. 19: Relative Zunahmen des Verlustfaktors $\tan \delta$ im 3. Abschnitt der Fermentation für die drei verschiedenen Ansätze

Im 1. Abschnitt (Abb. 18) kommt es durch die Salzzugabe zu einer ersten Vorstrukturierung der myofibrillären Proteine. Sie bilden hier offenbar schon ein dreidimensionales Netzwerk aus. Diese Vorstrukturierung und damit die Zunahme der Festkörpereigenschaften durch die Immobilisierung des Wassers ist durch den starken Anstieg des Speichermoduls G' (Zunahme der Festkörpereigenschaften) im 1. Abschnitt bei den Proben mit Salzzusatz (Probe ohne Kultur und Standardansatz) gekennzeichnet. Die Zunahme des Speichermoduls liegt bei mindestens 60 % vom Ausgangswert. Bei der Probe ohne Salzzusatz liegt die Zunahme des Speichermoduls bei nicht einmal 30 %. Hier kommt es nicht zu entsprechenden Vorstrukturierungen (Abb. 18). Die leichte Zunahme des Speichermoduls im 1. Abschnitt beim Ansatz ohne Salzzugabe könnte auf den bereits stattfindenden pH-Wert-Abfall in diesem Abschnitt zurückgeführt werden.

Der 3. Abschnitt (Abb. 19) der Fermentation ist gekennzeichnet durch die Ausbildung eines viskoelastischen Proteinnetzwerkes als Partikelgel des Standardansatzes durch Säuredenaturation der myofibrillären Proteine. Das ist gekennzeichnet durch einen Anstieg des Verlustfaktors $\tan \delta$ um etwa 25 % in diesem Abschnitt. Bei den Proben ohne Salzzusatz beträgt die prozentuale Zunahme des Verlustfaktors $\tan \delta$ nur etwa 7 %. Es kommt trotz starker Säuerung nicht zur Ausbildung eines Partikelgelnetzwerkes. Bleibt die Säuredenaturation wie bei der Probe ohne Starterkulturzusatz weitestgehend aus, so kommt es auch nicht zur Ausbildung eines viskoelastischen Partikelgelnetzwerkes, da sich durch die fehlende Säuredenaturation keine neuen Verknüpfungen in diesem Netzwerk ausbilden können. Das ist gekennzeichnet durch die geringe Zunahme des Verlustfaktors $\tan \delta$ um nur 10 % ($n = 1$) im 3. Abschnitt. Kommt es durch schon im Rohstoff vorhandene Milchsäurebakterien zu einer zeitversetzten Brätsäuerung, dann bildet sich auch ein Proteinnetzwerk aus und es werden dem Standardansatz ähnliche Strukturbildungsmechanismen nachgewiesen.

Im 4. Abschnitt nimmt der Speichermodul bei den Standardansätzen aufgrund fortlaufender Säuerung weiter zu. Dies bleibt bei den Ansätzen ohne Salz und bei den Ansätzen ohne Starterkulturzugabe bei ausgebliebener kontinuierlicher Säuerungsphase aus.

5.3. Einfluss Probenpräparation und Starterkulturvariation

In dieser 2., ergänzenden Versuchsserie soll der Einfluss des zusätzlichen Präparationschrittes (passieren durch Sieb) auf die prinzipiellen Strukturierungsmechanismen von Standardansätzen untersucht werden. Bei beiden innerhalb dieser Versuchsserie hergestellten Modellbräten wurde die Starterkulturmischung RW hinzugesetzt und die Fermentationsprozesse von Rindfleisch mit den Standardansätzen der 1. Versuchsserie (Starterkultur Lc1) verglichen.

5.3.1. Vergleich des Präparationsverfahrens mit und ohne Passiersieb

5.3.1.1. Charakterisierung pH-Wert-Verlauf in Abhängigkeit von der Präparation

Die folgende Abb. 20 zeigt den pH-Verlauf der Ansätze R_S. (mit Passierschritt) und R_o. S. (ohne Passierschritt) während der Fermentation mit der Starterkultur RW.

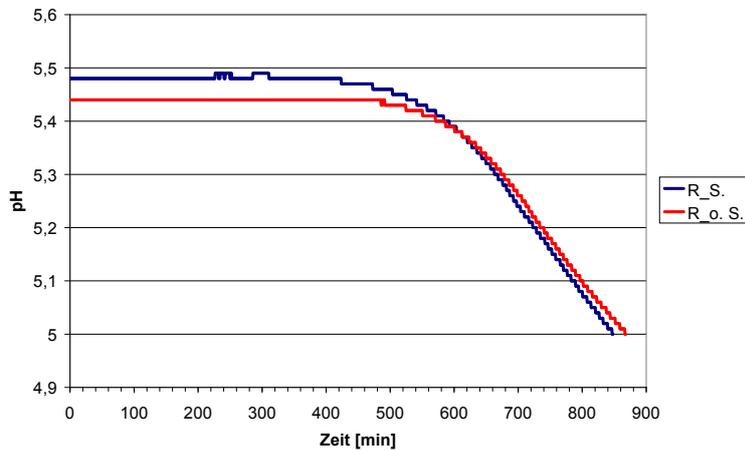


Abb. 20: Vergleich der pH-Verläufe der Proben R_S. und R_o. S. während der Fermentation

Die Startlevel von 5,48 (R_S.) und 5,44 (R_o. S.) sind leicht unterschiedlich und auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen. Die Dauer der Fermentation bis zu einem pH-Wert von 5,0 sowie die Dauer der Adaptionsphasen unterscheiden sich nur geringfügig. In der kontinuierlichen Säuerungsphase besitzen beide Ansätze in etwa gleiche Säuerungsgeschwindigkeiten. Der prinzipielle Verlauf des pH-Wertes während der Fermentation der Proben ist nahezu identisch. Der Passierschritt hat keinen eindeutigen Einfluss auf den Verlauf des pH-Wertes während der Fermentation. Die natürliche Variabilität der Rohstoffe ist hier der größte Einflussfaktor.

5.3.1.2. Einfluss der Präparation auf $\tan \delta$ während der Fermentation

Die Abb. 21 zeigt den Verlauf der Verlustfaktoren $\tan \delta$ für die beiden Ansätze.

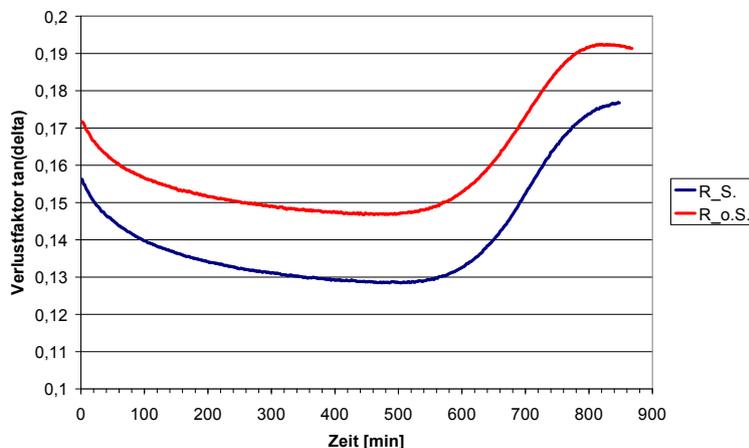


Abb. 21: Verlustfaktor $\tan \delta$ der Proben R_S. und R_o. S. während der Fermentation im Timesweep

Bei beiden Ansätzen liegt dominantes Festkörperverhalten während der gesamten Fermentation vor ($\tan \delta < 1$). Man kann erkennen, dass die Verlustfaktor-Kurven in ihrem prinzipiellen Verlauf nahezu identisch sind, auch wenn sie sich in ihren Levels unterscheiden. Die Probe R_o.S. besitzt ein höheres Level $\tan \delta$ im gesamten Fermentationsverlauf als die Probe R_S., d. h. leicht höhere viskose Eigenschaften. Die Ursachen für diese Unterschiede liegen möglicherweise in den natürlichen Rohstoffschwankungen und nicht im zusätzlichen Präparationsschritt.

5.3.1.3. Einfluss der Präparation auf G' während der Fermentation

Die Abb. 22 zeigt den Verlauf der Speichermodule der Proben R_S. und R_o. S. Der prinzipielle Verlauf des Speichermoduls G' ist bei beiden Proben ähnlich. Die Probe R_o. S. hat zu Beginn und zum Ende der Fermentation höhere Level G' als R_S., obwohl diese Probe auch den etwas höheren Level $\tan \delta$ aufweist, d.h. relativ höhere viskose Eigenschaften unter Dominanz der Festkörpereigenschaften besitzt. Die geringen Unterschiede sind auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen und nicht auf den zusätzlichen Präparationsschritt.

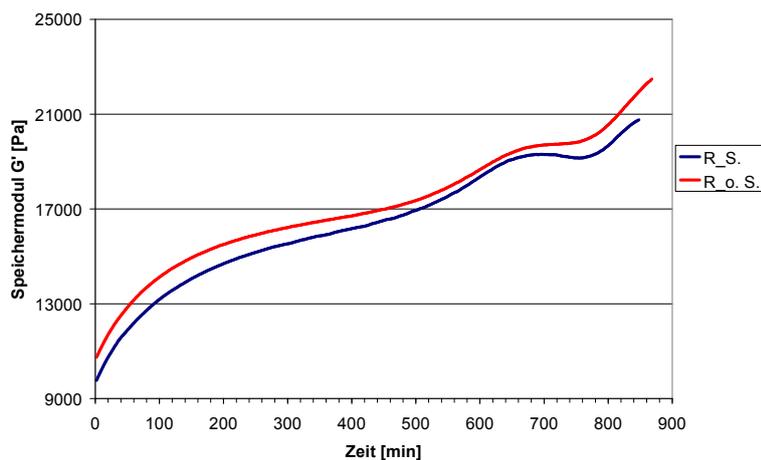


Abb. 22: Speichermodul G' der Proben R_S. und R_o. S. während der Fermentation im Timesweep

5.3.1.4. Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$

Bei beiden Proben kann der Fermentationsverlauf anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ als scharfes Trennkriterium analog zur 1. Versuchsserie in 4 Abschnitte eingeteilt werden.

Diese sind in den Abb. 99 bis Abb. 102 im Anhang für die Probe R_S. und für die Probe R_o.S. dargestellt. Die Einteilung des Fermentationsverlaufes der Ansätze R_S. und R_o.S. anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ ist ähnlich. Nach etwa 380 min ist bei beiden Ansätzen der 1. Abschnitt (Quellung und Lösung der Proteine) beendet. Bei einem pH-Wert von 5,43 (nach etwa 530 min) setzt bei beiden Proben die Säuredenaturation der myofibrillären Proteine ein und es beginnt der Strukturierungsabschnitt 3. Dieser 3. Abschnitt ist auch hier gekennzeichnet durch eine Zunahme des Verlustfaktors $\tan \delta$. Es bildet sich ein schnittfestes Parti-

kelgel aus. Abschnitt 4 schließt sich an (Dauer: 32 bis 74 min). Der Verlustfaktor $\tan \delta$ nimmt bei beiden Ansätzen einen konstanten Level an und ändert sich nicht mehr nennenswert. Unter fortlaufender Säuerung nimmt der Speichermodul bei beiden Proben jedoch weiter zu.

5.3.2. Einfluss der Starterkultur auf die Fermentation von Rindfleisch

5.3.2.1. Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes in Abhängigkeit von der Starterkultur

In der folgenden Abb. 23 ist der Einfluss der Starterkultur auf den pH-Wert-Verlauf während der Fermentation von Rindfleisch dargestellt.

Adaptionszeit:

Man kann erkennen, dass die Starterkulturen Lc1 (ca. 280-375 min) gegenüber den Starterkulturen RW (ca. 470-520 min) kürzere Adaptionszeiten besitzen.

Kontinuierliche Säuerungsphase:

In der kontinuierlichen Säuerungsphase sind die Starterkulturen Lc1 jedoch viel langsamere Säurebildner als die Starterkulturen RW. Die Starterkulturen RW besitzen in der kontinuierlichen Säuerungsphase etwa 3 bis 4-fache Säuerungsgeschwindigkeiten.

Fermentationszeit:

Aufgrund der unterschiedlichen Säuerungsgeschwindigkeiten in der kontinuierlichen Säuerungsphase ist die gesamte Fermentationsdauer bis zu einem pH-Wert von 5,0 (RW) bzw. 5,05 bis 5,0 (Lc1) auch deutlich unterschiedlich. Die Fermentation dauert bei den Starterkulturen Lc1 fast 10 h länger als bei den Starterkulturen RW.

Die Startlevel der pH-Werte unterscheiden sich nicht sehr deutlich und sind auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen.

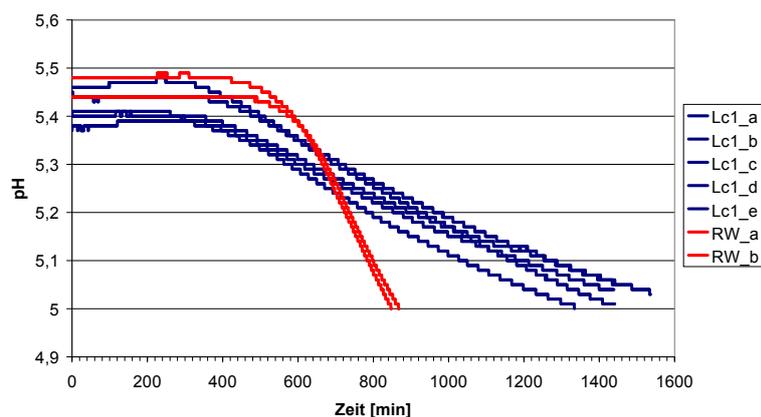


Abb. 23: pH-Wert-Verlauf während der Fermentation der Rindfleischproben mit Lc1 und mit RW

5.3.2.2. Verlustfaktor im Timesweep in Abhängigkeit von der Starterkultur

Die Abb. 24 zeigt den Verlauf der Verlustfaktoren $\tan \delta$ während der Fermentation der Proben Lc1 und RW. Die Proben RW haben leicht höhere Level $\tan \delta$ zum Fermentationsende

als die Proben Lc1. Die Unterschiede in den Leveln der Verlustfaktoren sind im Wesentlichen durch natürliche Rohstoffschwankungen bedingt.

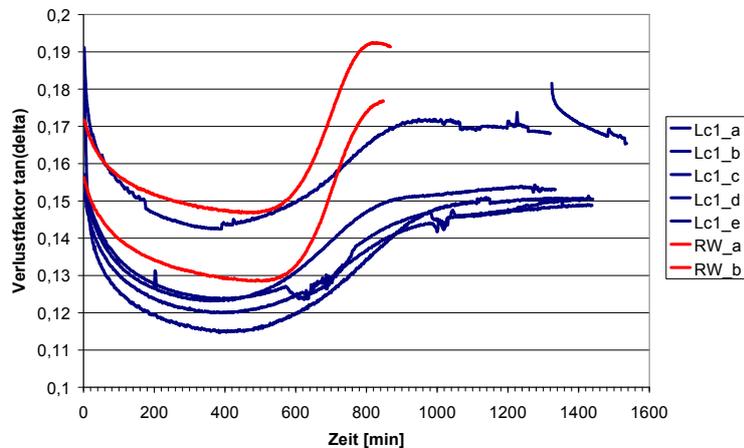


Abb. 24: Verlustfaktor $\tan \delta$ während der Fermentation der Rindfleischproben mit LC1 und RW

5.3.2.3. Speichermodul im Timesweep in Abhängigkeit von der Starterkultur

In der folgenden Abb. 25 ist der Verlauf des Speichermoduls G' während der Fermentation der Rindfleischbräte in Abhängigkeit von der Starterkultur dargestellt.

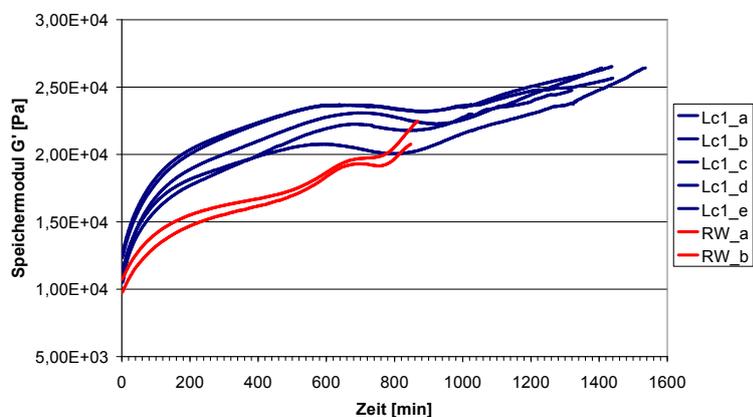


Abb. 25: Speichermodul G' während der Fermentation der Rindfleischproben mit Lc1 und mit RW

Die prinzipielle Kurvenform bzw. der prinzipielle Kurvenverlauf ist bei RW, abgesehen von der kürzeren Fermentationszeit, ähnlich. Anhand von Abb. 25 kann man erkennen, dass die Level der Speichermodule G' von RW zum Fermentationsende wesentlich niedriger sind als die Level der Speichermodule G' von Lc1. Ursache hierfür ist die kürzere Fermentationszeit von RW (etwa 10 h kürzer), welche vor allem durch die viel schnellere Säuerungsgeschwindigkeit (3 bis 4-fache Geschwindigkeit des pH-Abfalls) von RW (RW = -0,0013 pH/min; Lc1 = -0,00035 pH/min) in der kontinuierlichen Säuerungsphase verursacht wird. Eine schnelle Absenkung des pH-Wertes führt also zu niedrigeren Leveln G' , d.h. zu geringer ausgebildeten Festkörpereigenschaften. Eine langsame pH-Absenkung bewirkt, dass sich

viel geordnetere Strukturen ausbilden können. Der Ladungszustand an den Proteinmolekülen wird nur langsam geändert. Durch den langsameren pH-Abfall geht somit auch die Säuredenaturation langsamer voran, was zur Folge hat, dass sich die Proteinmoleküle viel geordneter umstrukturieren können und somit auch mehr Zeit haben, den energieärmsten Zustand anzustreben. Das resultiert dann insgesamt, aufgrund eines geordneteren Partikelgelnetzwerkes, in höheren Leveln der Speichermodule G' zum Fermentationsende. Ein analoges Ergebnis findet Senge bei der Milchsäuregelformung der Milchfermentation. Schnell verlaufende Fermentationen besitzen im Vergleich zur geringeren Strukturbildungsgeschwindigkeit Strukturartefakte.

5.4. Zusammenfassende Wertung der Fementation von Rindfleisch

Mit Hilfe von Oszillationsmessungen konnte anhand des Verlaufs von Speichermodul G' und Verlustfaktor $\tan \delta$ der Aufbau eines Partikelgels erstmals zeit- und pH-abhängig erfasst und diskutiert werden.

Die durchgeführten Untersuchungen ermöglichen die Bewertung von Prozessen in der Mikrostrukturebene in Abhängigkeit von technologischen Parametern und Zusätzen und liefern somit objektive Aussagen über die Mechanismen der Gelausbildung in fermentierten Fleischprodukten. Des Weiteren konnte der Einfluss der Säuerungsgeschwindigkeit in der kontinuierlichen Säuerungsphase der Fermentation auf die Strukturbildungsprozesse bewertet werden. Es zeigt sich auch, dass der zusätzlich eingeführte Präparationsschritt keinen wesentlichen Einfluss auf die prinzipiellen Strukturierungsprozesse hat. Vier Abschnitte können im technologisch relevanten Versuchsansatz ermittelt und quantifiziert werden:

1. Quellen und Lösen der Muskelproteine unter Einsalzbedingungen,
2. Ende der Adaptionphase der Starterkultur (Übergangsbereich),
3. Primärer Gelierprozess, Ausbildung des Partikel-Gel-Systems,
4. Sekundärer Gelierprozess mit konstantem Verhältnis zwischen Elastizität und Viskosität des Partikel-Gel-Systems, Zunahme der Festigkeit.

6. Fermentationsverlauf von Schweinefleisch

Ausgehend von den Untersuchungen zu ablaufenden Strukturierungsmechanismen bei der Fermentation von Rindfleisch wurde der prinzipielle Strukturbildungsprozess bei der Fermentation von Schweinefleisch charakterisiert und der Einfluss folgender technologischer Varianten auf die Strukturbildung bei der Fermentation in der Mikrostrukturebene schwerpunktmäßig untersucht:

1. Versuchsserie: Einfluss des Fremdwassergehaltes auf ablaufende Strukturbildungsprozesse während der Fermentation.
2. Versuchsserie: Einfluss des Fettgehaltes auf ablaufende Strukturbildungsprozesse während der Fermentation. [156]
3. Versuchsserie: Einfluss von Ca-Lactat auf ablaufende Strukturbildungsprozesse während der Fermentation. [156]

6.1. Chemisch-physikalische Kennwerte Schweinefleisch

Die chemisch-physikalischen Kennwerte befinden sich im Anhang.

Trockensubstanz

Die TS-Gehalte der verwendeten S1-Rohstoffe liegen in Bereichen von 24 bis 25 % und unterscheiden sich nur geringfügig voneinander (Tab. 24, Anhang).

Die TS-Gehalte der Grundbräte aus Variation Fremdwassergehalt, Fettgehalt und Ca-Lactat sind in Tab. 25 im Anhang dargestellt. Ein höherer Fremdwasserzusatz führt zur Senkung des TS, mit zunehmendem Fettgehalt in den Modellbräten steigt dieser. Die TS der Standardansätze (6 %_a, 6 %_b, S1_a, S1_b, 0 %_a, 0 %_b) sind nur leicht unterschiedlich und auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen.

Rohproteingehalt

Die Rohproteingehalte der S1-Rohstoffe (Variation Fettgehalt und Ca-Lactat) sowie des S8-Rohstoffes sind in Tab. 26 des Anhangs dargestellt. Die Rohproteingehalte der S1-Rohstoffe betragen etwa 22 % und sind relativ ähnlich. Unterschiede sind auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen.

Aschegehalt

Die Aschegehalte der S1-Rohstoffe (Variation Fettgehalt und Ca-Lactat) sind in der Tab. 27 des Anhangs dargestellt. Die Aschegehalte der S1-Rohstoffe liegen bei etwa 1 %. Unterschiede können auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückgeführt werden.

GEHA-Standardisierung

Die Tab. 28 im Anhang enthält die nach dem GEHA-Standardisierungssystem rechnerisch ermittelten durchschnittlichen chemisch-analytischen Kennwerte der Modellbräte in Abhängigkeit vom S8-Gehalt.

6.2. Einfluss des Fremdwassergehaltes auf den Fermentationsverlauf

In dieser 1. Versuchsserie wurden die Strukturierungsvorgänge bei der Fermentation von Schweinefleisch in Abhängigkeit von der Menge an zugesetztem Fremdwasser pH-abhängig untersucht. Dazu wurde ein üblicher Standardansatz der Schweinefleischmodellbrätproben mit 6 % Fremdwasserzusatz verglichen mit einem Fermentationsansatz mit 20 % Fremdwasser. Der Ansatz mit 20 % Fremdwassergehalt ist angelehnt an den Standardansatz der Rindfleischbräte. Eine Reduzierung des Wassergehaltes im Brät führt zu einer Probenoptimierung. Der Modellcharakter der Bräte soll minimiert werden.

6.2.1. Charakterisierung des pH-Verlaufes in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die Abb. 26 zeigt den pH-Verlauf während der Fermentation der Ansätze mit 6 % bzw. 20 % Fremdwasserzusatz.

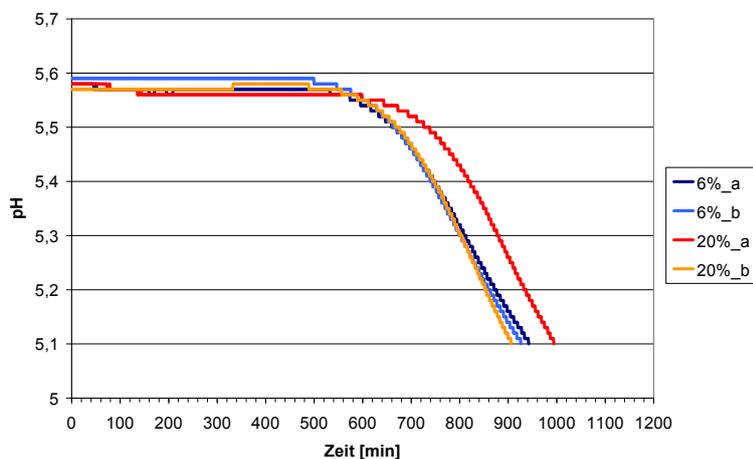


Abb. 26: pH-Verlauf während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die Startlevel der pH-Werte zum Zeitpunkt $t = 0$ min werden nicht deutlich vom Anteil an zugesetztem Fremdwasser beeinflusst (Abb. 26). Die Fermentationszeiten (Abb. 27) und die Säuerungsgeschwindigkeiten (Abb. 26) in der kontinuierlichen Säuerungsphase werden ebenfalls nicht deutlich vom Fremdwassergehalt beeinflusst.

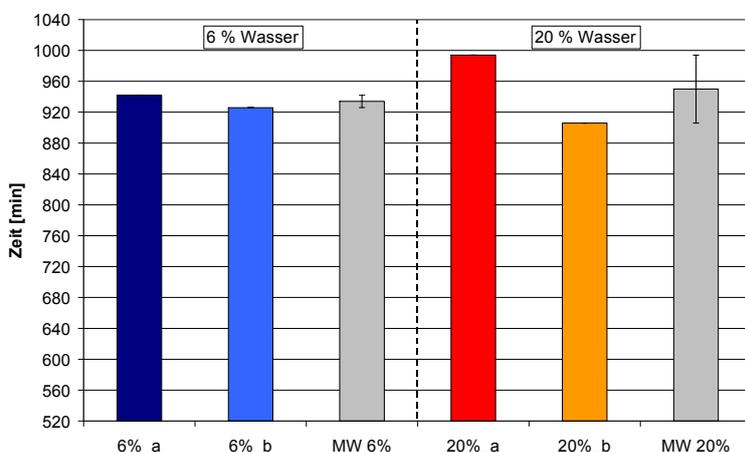


Abb. 27: Fermentationsdauer bis pH 5,1 in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die folgende Abb. 28 zeigt die Dauer der Adaptionphasen in Abhängigkeit des Fremdwas-sergehaltes. Auch bezüglich der Dauer der Adaptionphasen sind keine Unterschiede zwi-schen den Ansätzen mit 6 % und 20 % Fremdwassergehalt auszumachen.

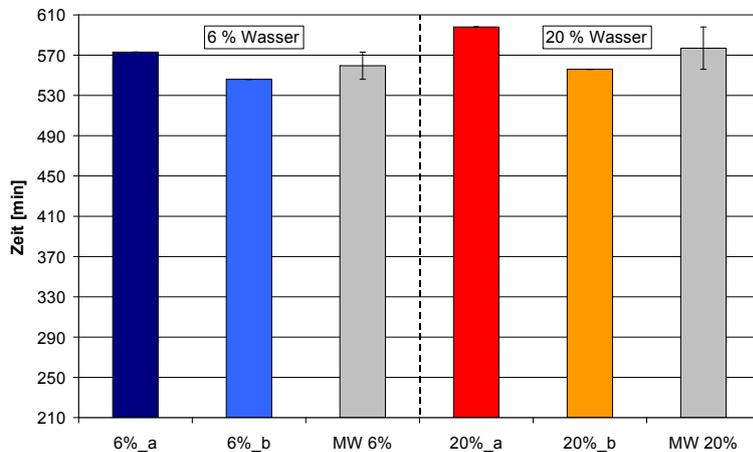


Abb. 28: Dauer der Adaptionphasen in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

6.2.2. Speichermodul im Timesweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die folgende Abb. 29 zeigt den Verlauf der jeweiligen Speichermodule im Timesweep der Fermentation für die Ansätze mit 6 % bzw. 20 % Fremdwasserzusatz.

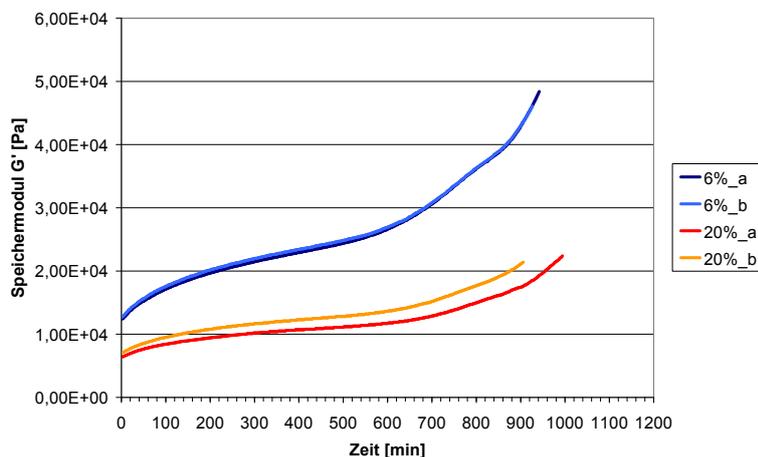


Abb. 29: G' (t) während der Fermentation bis pH 5,1 in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Bei beiden Versuchsvariationen nimmt der Speichermodul über den gesamten Fermenta-tionsprozess zu. Es liegt ein deutlicher Einfluss des Fremdwassergehaltes auf die Level der Speichermodule vor. Sowohl Start- als auch Endlevel des Speichermoduls G' liegen bei 20 % Fremdwasserzusatz deutlich niedriger als bei 6 % Fremdwasserzusatz (Tab. 10).

Tab. 10: Speichermodul G' zu Fermentationsbeginn (Start) und zu Fermentationsende (pH 5,1) in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Probe	Start G' [Pa]	Start MAW	Ende (pH 5,1) G' [Pa]	Ende (pH 5,1) MAW
MW 6 %	12529	163	47239	1137
MW 20 %	6734	333	21880	481

Zu Beginn der Fermentation liegen etwa doppelt so hohe Level der Speichermodule G' bei den Ansätzen mit 6 % Wasserzusatz gegenüber den Ansätzen mit 20 % Wasserzusatz vor (Tab. 10). Auch am Ende der Fermentation bei pH 5,1 sind die Level der Speichermodule G' bei 6 % Fremdwassergehalt mehr als doppelt so hoch wie bei den Ansätzen mit 20 % Fremdwassergehalt. Die Zunahme der Speichermodule liegt bei den Ansätzen mit 6 % Wasserzusatz bei dem etwa 4-fachen, bei den Ansätzen mit 20 % Wasserzusatz liegt die Zunahme der Speichermodule nur etwa beim 3-fachen vom Startlevel (Tab. 10).

6.2.3. Verlustfaktor im Timesweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

In Abb. 30 sind die Verlustfaktoren $\tan \delta$ im Timesweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt dargestellt.

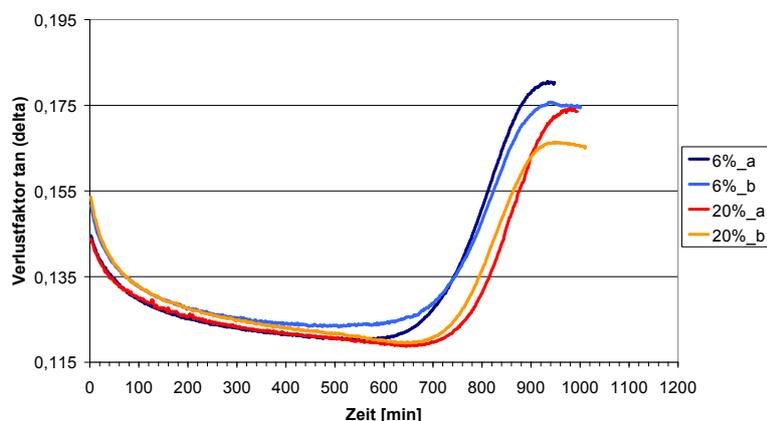


Abb. 30: $\tan \delta$ (t) während der Fermentation bis pH 5,1 in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Es sind kaum Unterschiede in den jeweiligen Leveln des Verlustfaktors während der Fermentation (Abb. 30) auszumachen. Die Level $\tan \delta$ sind während der Fermentation vor allem in den ersten 500 min nahezu gleich, d.h. die Relativität von viskosen zu elastischen Eigenschaften bleibt sowohl bei 6 % als auch bei 20 % Fremdwasserzusatz erhalten. Es liegt für alle Ansätze dominantes Festkörperverhalten im linear viskoelastischen Bereich vor, da $\tan \delta < 1$ während der gesamten Fermentation ist (Abb. 30).

6.2.4. Einteilung des Fermentationsverlaufes von Schweinefleisch anhand $\tan \delta$

Auch bei der Fermentation von Schweinefleisch kann der Fermentationsverlauf anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ als scharfer Indikator zwischen den ablaufenden Strukturierungsschnitten eingeteilt werden. Dies wird anhand der Probe 6 %_a exemplarisch in der Abb. 31

am Beispiel des $\tan \delta$ und des pH-Wertes und in der Abb. 32 am Beispiel G' und $\tan \delta$ dargestellt.

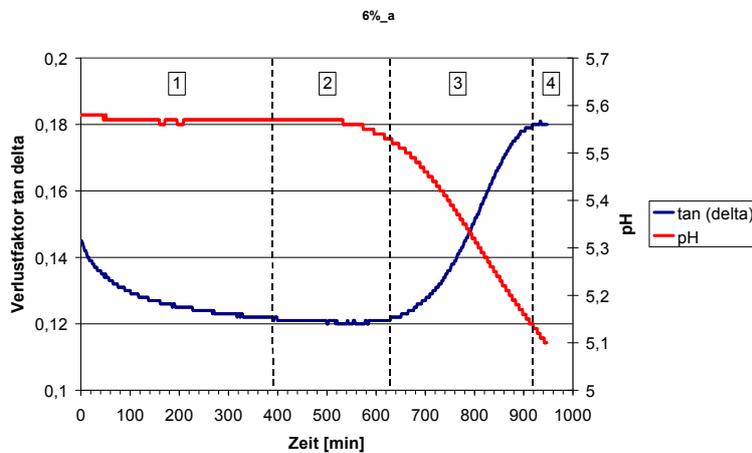


Abb. 31: $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation von Schweinefleisch am Beispiel der Probe 6 %_a

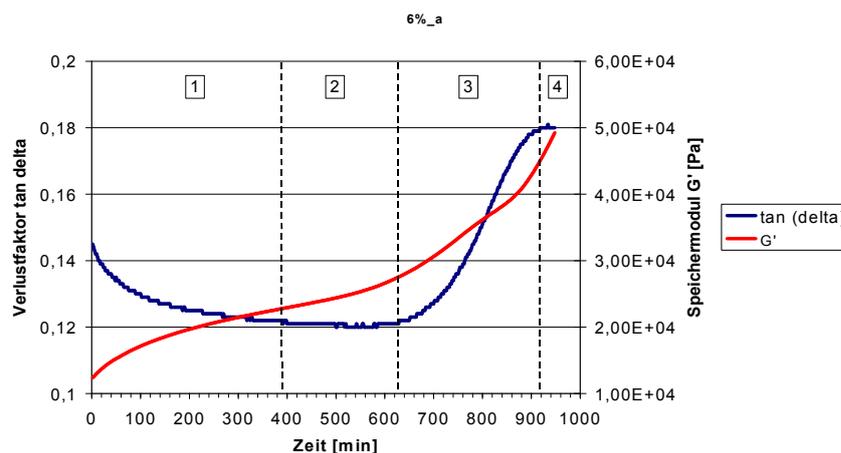


Abb. 32: $\tan \delta$ und G' während der Fermentation von Schweinefleisch am Beispiel der Probe 6 %_a

Es bilden sich analog zu den Standardansätzen der Fermentation von Rindfleisch (Kap. 5) folgende vier Abschnitte aus:

Im **1. Abschnitt** bleibt der pH-Wert zunächst konstant (Adaptionsphase). Die Abnahme des Verlustfaktors $\tan \delta$ und die Zunahme des Speichermoduls G' in diesem Abschnitt kennzeichnen stattfindende Quell- und Lösungsvorgänge von hauptsächlich myofibrillärem Protein und damit die Zunahme der Festkörpereigenschaften. Im **2. Abschnitt** sind Quell- und Lösungsvorgänge weitestgehend abgeschlossen und der Verlustfaktor $\tan \delta$ nimmt ein Minimum an. Zum Ende des 2. Abschnittes setzt die Säuerung ein. Im **3. Abschnitt** (Ausbildung eines Partikelgels) nimmt der Verlustfaktor $\tan \delta$ – bei gleichzeitiger Zunahme des Speichermoduls G' – zu (ab pH \sim 5,5). Dies kennzeichnet eine erneute Umstrukturierung der Matrix durch säureinduzierte Proteindenaturierung. Es bildet sich ein schnittfestes Partikel-

gelnetzwerk aus. Der pH-Wert fällt aufgrund mikrobiologisch gebildeter Milchsäure kontinuierlich auf Werte um 5,2 zum Ende des 3. Abschnittes ab. Im **4. Abschnitt** erreicht der Verlustfaktor ein annähernd konstantes Level. Dies könnte ein Indiz für die abgeschlossene Gelbildung sein. Unter fortlaufender Säuerung nimmt der Speichermodul G' weiter zu.

Dieser prinzipielle Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ tritt sowohl bei 6 % als auch bei 20 % Fremdwassergehalt in Abhängigkeit vom pH-Wert-Verlauf auf. Der Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ im Timesweep erlaubt allerdings keine deutlichen Aussagen zu quantitativen Veränderungen während des Strukturbildungsprozesses, da sich die Level der Verlustfaktoren $\tan \delta$ bei 6 % und bei 20 % Fremdwasserzusatz kaum unterscheiden (Abb. 30). Die Relativität zwischen viskosen und elastischen Eigenschaften bleibt hier also unabhängig vom Fremdwassergehalt erhalten. Das Wasser wird durch den Einsalzeffekt komplett in den kapillaren Hohlräumen der Proteinstrukturen immobilisiert bzw. wird als Hydrathülle gebunden. Der Verlustfaktor ist eher dazu geeignet, qualitative Strukturänderungen bzw. Umstrukturierungsprozesse der Matrix anzuzeigen und ist nicht immer zur Anzeige quantitativer Veränderungen geeignet. Die quantitativen Unterschiede ergeben sich insbesondere bei Betrachtung der Speichermodule G' während der Fermentation.

Durch die Dominanz der Festkörpereigenschaften muss als entscheidender Parameter zur Diskussion ablaufender Strukturbildungsprozesse der Verlauf des Speichermoduls G' mit herangezogen werden.

6.2.5. Einteilung des Fermentationsverlaufes von Schweinefleisch anhand Speichermodul G'

Der Strukturierungsverlauf bei der Fermentation von Schweinefleisch kann anhand des Verlaufes der Speichermodule in vier Bereiche (A, B, C und D) eingeteilt werden. Die folgenden Abb. 33 und Abb. 34 zeigen die prinzipielle Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des Speichermoduls G' durch lineare Approximation der einzelnen Bereiche. Da die pH-abhängigen Verläufe der G' -Kurven im Verhältnis zum pH-Wert-Verlauf prinzipiell ähnlich sind, wird hier die Einteilung exemplarisch anhand einer Probe dargestellt und diskutiert. Aus den Steigungen der approximierten Geraden der Bereiche A, B, C und D kann nun die Strukturbildungsgeschwindigkeit v_{Str} als 1. Ableitung des jeweiligen linearisierten Teilstückes der $G'(t)$ -Kurve als weiterer Parameter zur Beurteilung der ablaufenden Strukturierungsprozesse während der Fermentation von Schweinefleisch herangezogen werden.

Folgende Gleichung gilt für die jeweiligen Bereiche A, B, C und D:

$$v_{\text{Str}} = \frac{dG'(t)}{dt} \equiv \frac{\Delta G'(t)}{\Delta t} \quad \text{in Pa/min} \quad (\text{Gl. 14})$$

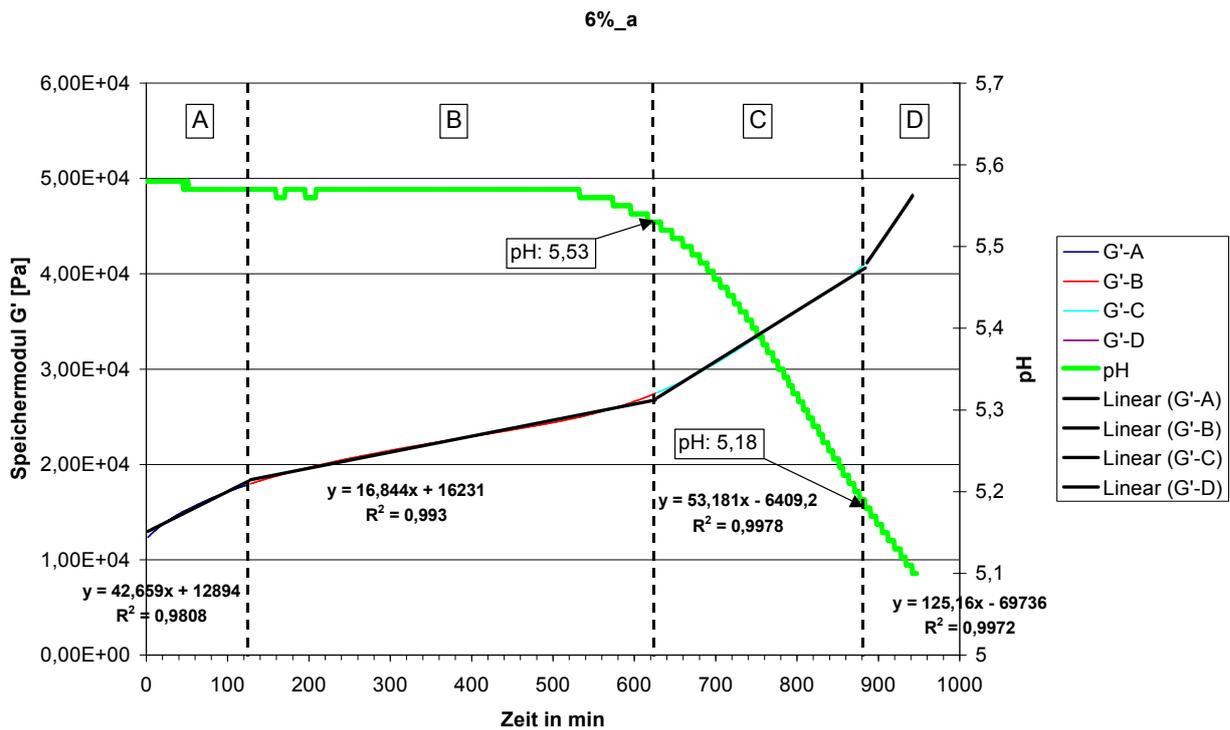


Abb. 33: Verlauf des Speichermoduls G' und des pH-Wertes im Timesweep während der Fermentation der Probe 6%_a und prinzipielle Einteilung des Fermentationsverlaufes in die Bereiche A, B, C und D

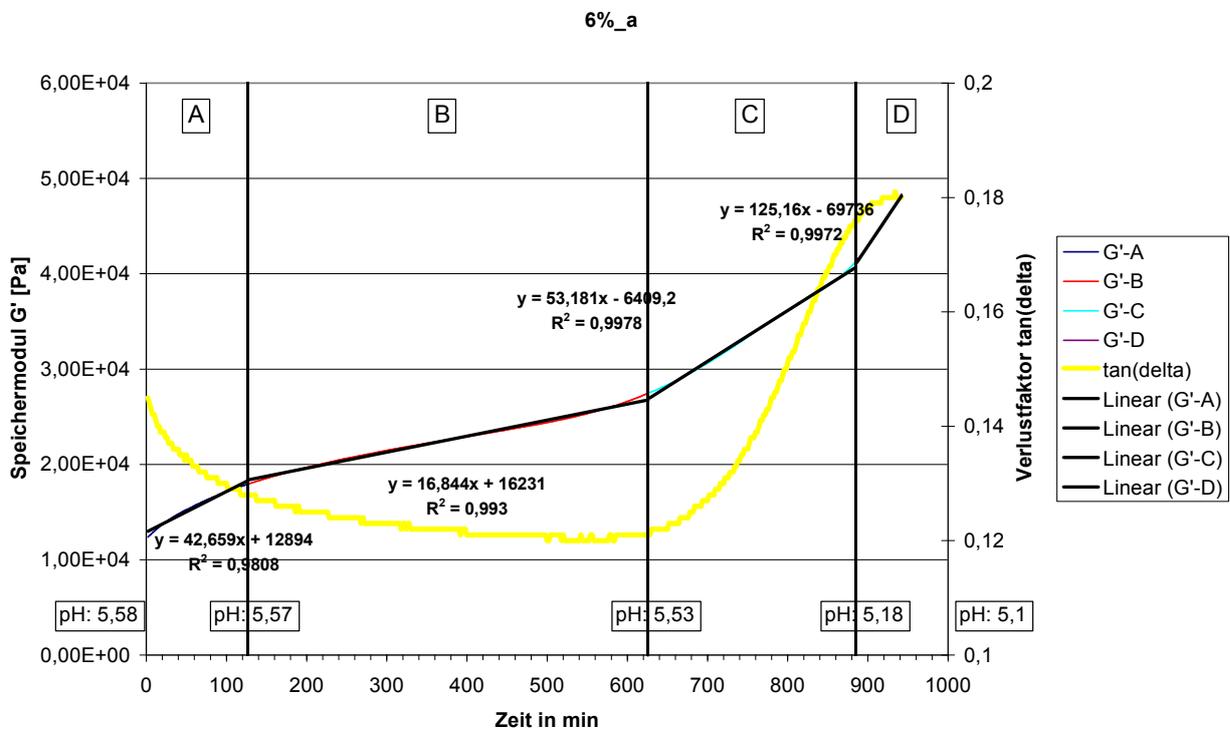


Abb. 34: Verlauf von Speichermodul G' und Verlustfaktor tan δ im Timesweep während der Fermentation des Ansatzes 6%_a und Einteilung in die Bereiche A, B, C und D anhand der G'-Kurve

Bereiche A und B:

Die Bereiche A und B repräsentieren den Verlauf des Speichermoduls in der Adaptionsphase. G' nimmt zu, obwohl sich der pH-Wert nicht ändert (Abb. 33). Die Zunahme der Festkörpereigenschaften ist durch den Einsalzeffekt bedingt. Die Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A ist höher als in Bereich B, da Quell- und Lösevorgänge der Fleischproteine und damit die Immobilisierung von Wasser im dreidimensionalen Netzwerk mit zunehmender Prozesszeit abnehmen. Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein. Der Verlustfaktor $\tan \delta$ fällt in den Bereichen A und B ab und nimmt ein Minimum an (Abb. 34).

Bereiche C und D:

An den Bereich B schließt dann mit dem Einsetzen der mikrobiellen Säurebildung der Bereich C an. Der Bereich C zeigt eine höhere Strukturbildungsgeschwindigkeit als die Bereiche A und B. Dies wird durch die Neustrukturierung der Proteinmatrix durch die einsetzende Partikelgelbildung durch Säuredenaturation der Fleischproteine verursacht. In diesem Bereich C steigt auch der Verlustfaktor $\tan \delta$ an (Abschnitt 3) und indiziert die stattfindende Umstrukturierung der Fleischbrätmatrix in ein Partikelgel-System durch den pH-Abfall von etwa 5,5 auf 5,2.

Im weiteren Verlauf der kontinuierlichen Säuerungsphase der Fermentation kommt es zu einer weiteren Zunahme der Strukturbildungsgeschwindigkeit (Bereich D). Zum Ende des Bereiches D ändert sich der Verlustfaktor nicht mehr wesentlich, jedoch nimmt der Speichermodul bei fortlaufend kontinuierlicher Säurebildung weiter zu und das ausgebildete Partikelgel verfestigt sich zunehmend (Abb. 33 und Abb. 34). Die Anzahl der Verknüpfungen nimmt zu.

6.2.6. Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die Ermittlung der Strukturbildungsgeschwindigkeiten wurde analog des in der Abb. 33 dargestellten Prinzips durchgeführt.

Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt:

Die Abb. 35 zeigt die ermittelte Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

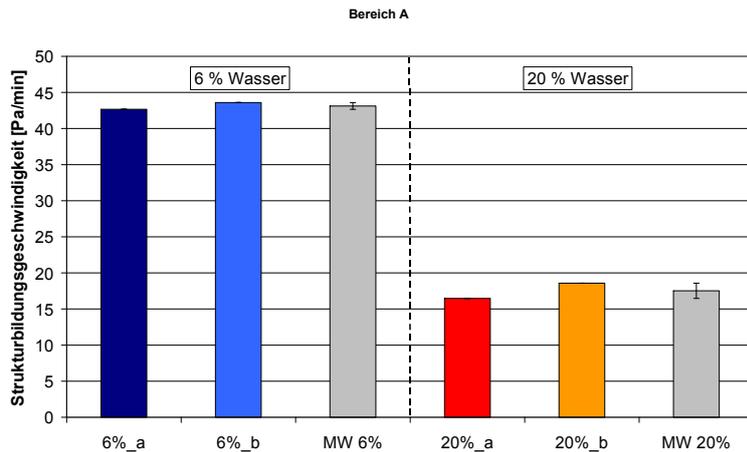


Abb. 35: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die Abb. 36 zeigt die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

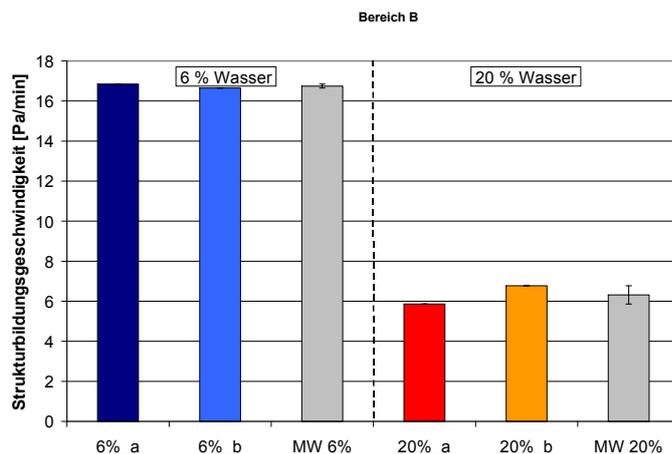


Abb. 36: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Tab. 11 enthält die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

Tab. 11: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Probe	v_{Str} [Pa/min] Bereich A	MAW Bereich A	v_{Str} [Pa/min] Bereich B	MAW Bereich B
MW 6 %	43,13	0,47	16,75	0,10
MW 20 %	17,52	1,06	6,32	0,45

Prinzipiell sind die jeweils ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich A höher als im entsprechenden Bereich B (Abb. 35, Abb. 36 und Tab. 11). Einsalzeffekt bedingte Quell- und Löseprozesse nehmen mit zunehmender Prozesszeit ab und es stellt sich ein Gleichgewicht ein. Das System strebt einen energiearmen Zustand an. Mit zunehmendem

Fremdwassergehalt nehmen die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten ab. Ursache hierfür ist die Herabsetzung der Protein-Salzion-Wasser-Interaktion durch die Ausbildung von Dipol-Dipol-Wechselwirkungen. Durch den Einsalzeffekt kommt es zu einer Teilchenquellung, insbesondere der myofibrillären Proteine. Wasser wird immobilisiert und somit nimmt der Anteil des freien Wassers im Brät infolge Teilchenquellung allmählich ab. Es kommt zur Ausbildung von Dipol-Dipol-Wechselwirkungen da die geladenen Teilchen im Brät (Proteine [Brätteilchen], Na^+ , Cl^-) um die freien Wasserdipole konkurrieren. Dadurch kommt es zu einer Erhöhung der elastischen Eigenschaften bzw. der Festkörpereigenschaften (Erhöhung der Viskosität). Wird der Wasserzusatz wie hier auf 20 % erhöht, so liegt im Brät nicht mehr eine solche Konkurrenzsituation vor, d. h. die entsprechende Protein-Salzion-Wasser-Interaktion wird abgeschwächt. Die Proteinketten werden großvolumiger im Brätraum angeordnet und sind somit sehr leicht gegeneinander verschiebbar. Die kapillaren Hohlräume zwischen den Proteinfäden in denen das zugesetzte Wasser eingelagert wird, werden bei einer größeren Menge Wasser aufgeweitet. Der Abstand der Proteinmoleküle zueinander wird größer und entsprechende Wechselwirkungskräfte über Wasserstoffbrückenbindungen permanenter Dipole werden herabgesetzt. Das führt somit zu den deutlich schwächeren Anstiegen der Speichermodule in den Bereichen A und B bei Erhöhung des Fremdwassergehaltes (Abb. 35, Abb. 36 und Tab. 11).

Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt:

Die Abb. 37 zeigt die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

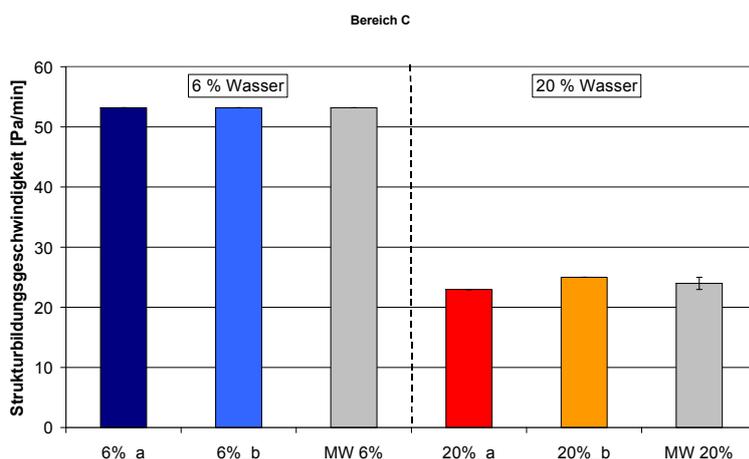


Abb. 37: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die Abb. 38 zeigt die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

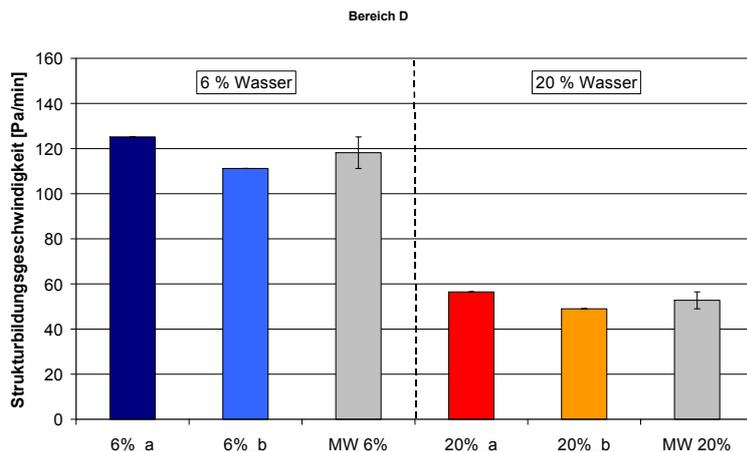


Abb. 38: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Tab. 12 enthält die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

Tab. 12: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Probe	v_{Str} [Pa/min] Bereich C	MAW Bereich C	v_{Str} [Pa/min] Bereich D	MAW Bereich D
MW 6 %	53,18	0,00	118,19	6,98
MW 20 %	23,97	1,01	52,74	3,74

Die Bereiche C und D stehen für die Strukturausbildung in der kontinuierlichen Säuerungsphase. Die Strukturbildungsgeschwindigkeit ist in Bereich C etwa dreimal so hoch wie in Bereich B und höher als in Bereich A. Die Strukturbildungsgeschwindigkeit ist in Bereich D bei jedem Ansatz deutlich höher als in Bereich C. Bereich C kennzeichnet die beginnende Ausbildung eines Partikelgels durch Säuredenaturation. Der pH-Wert fällt in Bereich C von 5,53 bis auf etwa 5,2 ab.

Der pH-Wert beim Übergang von Bereich C zu Bereich D scheint nicht von der Menge an Fremdwasser abhängig zu sein und liegt bei 5,14 bis 5,23. Der Übergang von Bereich C zu Bereich D liegt in guter Übereinstimmung mit dem Übergang von Abschnitt 3 zu Abschnitt 4 und deutet an, dass die Ausbildung des Partikelgels in diesem Übergangsbereich weitestgehend abgeschlossen ist.

Mit höherem Fremdwassergehalt nehmen die entsprechenden Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D trotz gleichbleibender Säuerungsgeschwindigkeiten ab (Abb. 26, Abb. 37 und Abb. 38). Ursache hierfür ist der in den kapillaren Hohlräumen eingeschlossene höhere Fremdwasseranteil. Dieser sorgt dafür, dass die Abstände der Proteinmoleküle zueinander größer werden (Quell- und Lösevorgänge in den Bereichen A und B). Durch die Säuredenaturation in der kontinuierlichen Säuerungsphase können sich dann nicht so feste und offenbar auch nicht so viele Verknüpfungen, Bindungen und Verhakungen untereinander ausbilden wie das bei einem geringeren Fremdwasserzusatz der Fall ist. Dies ist durch den

schwächeren Anstieg des Speichermoduls G' , also der geringeren Strukturbildungsgeschwindigkeit, in den Bereichen C und D gekennzeichnet (Abb. 37, Abb. 38 und Tab. 12).

6.2.7. Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die folgende Abb. 39 zeigt den Verlauf von G' (γ) und $\tan \delta$ (γ) in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt vor der Fermentation

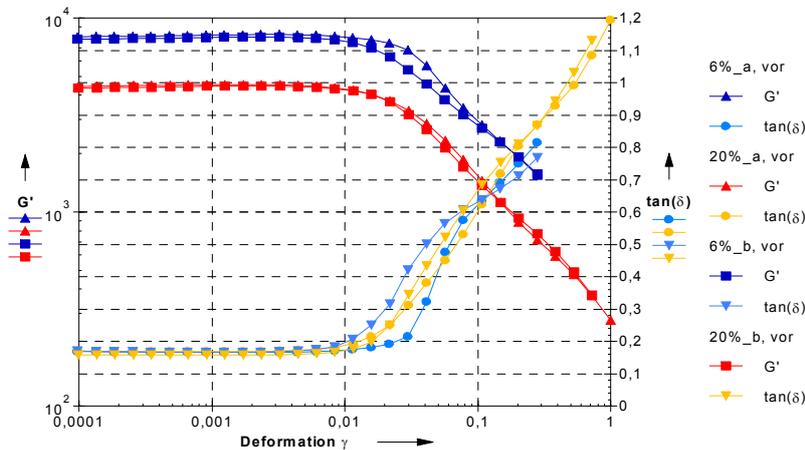


Abb. 39: G' (γ) und $\tan \delta$ (γ) vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die folgende Abb. 40 zeigt den Verlauf von G'' (γ) vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.

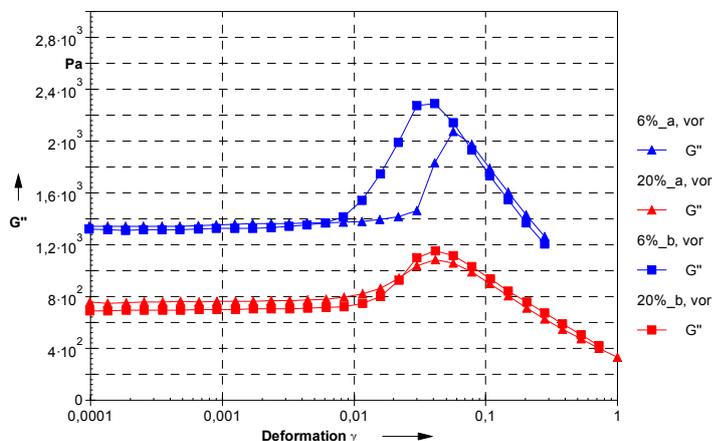


Abb. 40: G'' (γ) vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Betrachtet man die Abb. 39 so kann man feststellen, dass die Speichermodule für 6 %_a und 6 %_b etwa doppelt so hohe Level besitzen wie 20 %_a und 20 %_b. Auch die Verlustmodule G'' (Abb. 40) liegen für 6 %_a und 6 %_b auch auf etwa doppelt so hohen Leveln als bei 20 %_a und 20 %_b. Anhand Abb. 39 kann man erkennen, dass die Level der Verlustfaktoren $\tan \delta$, d. h. die Relativität von Viskosität und Elastizität im linear viskoelastischen Bereich von den 6 % Ansätzen und von den 20 % Ansätzen unterschiedlich sind. Auch beim Verlassen des linear viskoelastischen Bereiches sind keine deutlichen Unterschiede zwischen den 6 % und den 20 % Ansätzen auszumachen.

Betrachtet man die Abb. 40 so kann man feststellen, dass ein charakteristischer Peak beim Verlassen des IvB im Amplitudensweep vorhanden ist. Allerdings ist er bei den 6 % Ansätzen stärker ausgeprägt als bei den 20 % Ansätzen. Ein Kurvenanstieg der G'' -Kurve außerhalb des IvB zeigt, dass vor dem endgültigen Zusammenbrechen der internen Struktur ein erhöhter Anteil an Deformationsenergie als „Strukturveränderungsarbeit“ verbraucht wird, d. h. das immobilisierte bzw. als Hydrathülle in der Matrix gebundene Wasser wird abgepresst.

6.2.8. Frequenzsweep in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Die folgende Abb. 41 zeigt den Verlauf von G' (f) und G'' (f) in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt vor der Fermentation.

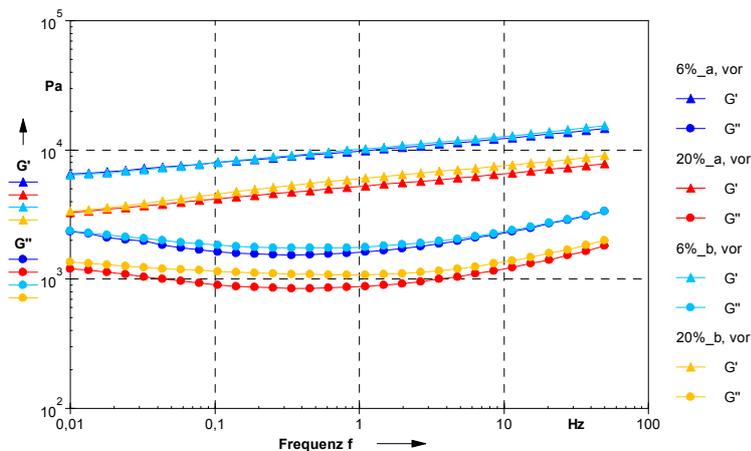


Abb. 41: $G'(f)$ und $G''(f)$ im Frequenzsweep vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

In Abb. 42 ist der Verlauf von G' (f) und G'' (f) in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt nach der Fermentation dargestellt.

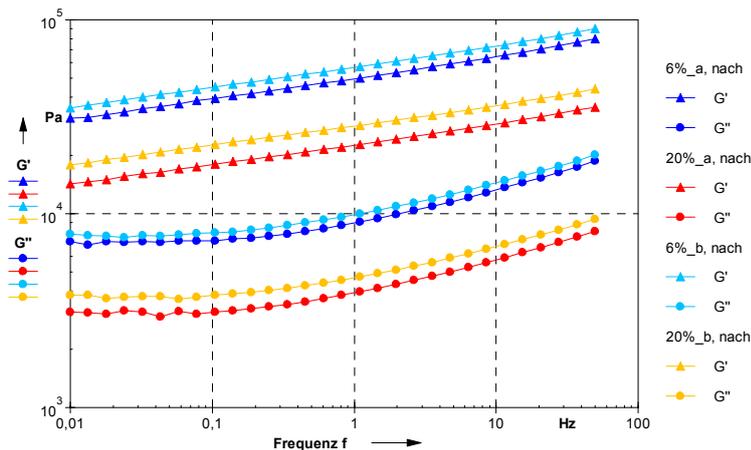


Abb. 42: $G'(f)$ und $G''(f)$ im Frequenzsweep nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

Betrachtet man die Abb. 41 und Abb. 42 so kann man feststellen, dass vor und nach der Fermentation für alle Proben dominant Festkörperverhalten vorliegt, da $G' > G''$. Auch liegen für alle Proben nach der Fermentation die jeweiligen Speicher- und Verlustmodule auf einem höheren Level, wobei die 6 % Ansätze etwa doppelt so hohe Level aufweisen wie die 20 %

Ansätze. Mittels der Frequenzsweep-Messungen werden unabhängig vom Fremdwassergehalt vor und nach der Fermentation Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis detektiert. Es hat durch die Fermentation eine Umwandlung des Partikel-Systems in ein Partikel-Gel-System stattgefunden.

Die folgende Abb. 43 zeigt eine Gegenüberstellung der Verlustfaktoren $\tan \delta$ im Frequenzsweep vor und nach der Fermentation der Fleischbräte. Man kann erkennen, dass sowohl vor als auch nach der Fermentation keine deutlichen Unterschiede zwischen den Proben vorhanden sind. Bei allen Proben ist die stärkere Betonung der viskosen Eigenschaften bei $f < 1$ Hz nach der Fermentation nicht mehr vorhanden. Es ist jedoch kein deutlicher Unterschied zwischen 6 % und 20 % Fremdwassergehalt auszumachen (Abb. 43).

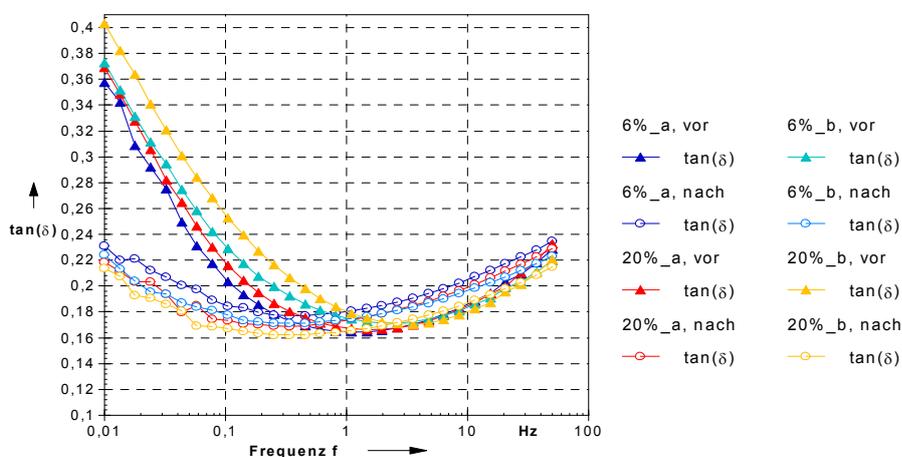


Abb. 43: $\tan \delta (f)$ im Frequenzsweep vor und nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt

6.2.9. Zusammenfassende Wertung Variation Fremdwassergehalt

Die Einteilung der Fermentation in verschiedene Abschnitte anhand des Verlaufes des Verlustfaktors $\tan \delta$ ist von den zeitlichen Abschnitten in guter Übereinstimmung mit der neu eingeführten Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand der G' -Kurve. Die Einführung der Strukturbildungsgeschwindigkeit v_{Str} für die Strukturierungsbereiche A, B, C und D erlaubt eine neuartige quantitative Wertung ablaufender Strukturbildungsprozesse.

Deutliche Unterschiede liegen in den Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D vor, d. h. es liegen sowohl in der Adaptionphase (Quellungs- und Lösungsvorgänge der Fleischproteine) als auch in der kontinuierlichen Säuerungsphase deutliche Unterschiede in den Geschwindigkeiten der Zunahme des Speichermoduls G' , d. h. der Festkörpereigenschaften in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt vor. Eine größere Menge an Fremdwasser (hier 20 %) bewirkt jeweils eine niedrigere Strukturbildungsgeschwindigkeit v_{Str} in den Bereichen A, B, C und D des Fermentationsprozesses. Die Quell- und Lösungsvorgänge durch den Einsalzeffekt sind bei den Ansätzen mit 20 % Wasserzusatz zwar auch prinzipiell vorhanden und bedingen somit auch eine Zunahme der Festkörpereigenschaften, jedoch sind diese Zunahmen am Beispiel der niedrigeren Strukturbildungsgeschwindigkeit

v_{Str} in den Bereichen A und B nicht mehr so stark wie bei nur 6 % Wasserzugabe. Aufgrund der Wasserzugabe wird die Protein-Wasser-Salz-Interaktion abgeschwächt.

Der pH-Wert-Abfall wird durch den erhöhten Zusatz an Fremdwasser nicht beeinflusst. Jedoch wird in der Phase der kontinuierlich ablaufenden Säuerung die Bildung von Strukturen bzw. die Ausbildung festerer Verhakungen und Verknüpfungen durch einen höheren Wasserzusatz vermindert. Das ist an der deutlich geringeren Strukturbildungsgeschwindigkeit sowohl im Bereich C als auch im Bereich D des Fermentationsprozesses bei den Ansätzen mit 20 % Fremdwassergehalt zu erkennen. Die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels erfolgt bei allen Ansätzen.

6.3. Einfluss des Fettgehaltes auf den Fermentationsverlauf

Ziel ist es, den Einfluss des Fettgehaltes auf ablaufende Strukturierungsprozesse in der Mikrostrukturebene bei der Fermentation von Schweinefleisch zu untersuchen. [156]

6.3.1. Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes in Abhängigkeit vom Fettgehalt

In der folgenden Abb. 44 sind die pH-Verläufe während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt dargestellt. Bei jedem Ansatz schließt sich an eine Adaptionphase die kontinuierliche Säuerungsphase an.

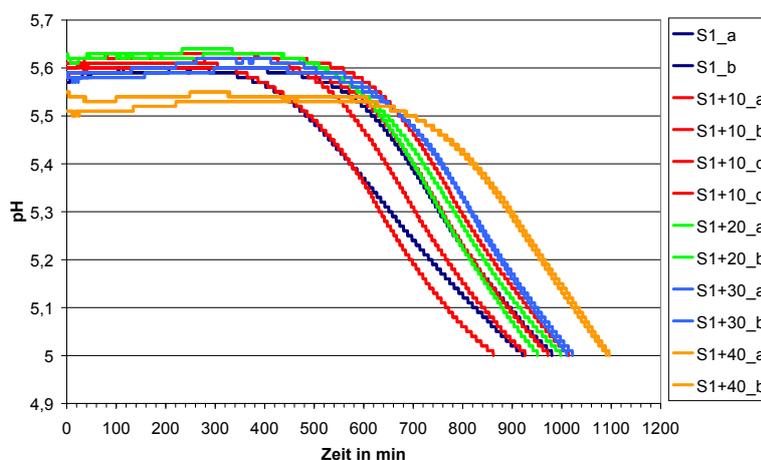


Abb. 44: pH-Verlauf während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

6.3.1.1. Fermentationszeiten bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Die Abb. 45 zeigt die Abhängigkeit der Fermentationszeit vom Fettgehalt.

Anhand der Abb. 44 und Abb. 45 kann man erkennen, dass eine Erhöhung des Fettgewebsanteils in Form von S8-Zusatz tendenziell eine Verlängerung der Fermentationszeit bewirkt. Ab einem Zusatz von 30 % S8 sind diese Unterschiede recht deutlich. Die Ansätze S1, S1+10 und S1+20 unterscheiden sich nicht deutlich in ihren Fermentationszeiten bis zum Erreichen eines pH-Wertes von 5,0. Die Ansätze S1+30 und S1+40 unterscheiden sich von den anderen Ansätzen relativ deutlich. Hier sind die entsprechenden Fermentationszeiten länger. Die längste durchschnittliche Fermentationszeit weist der Ansatz S1+40 auf.

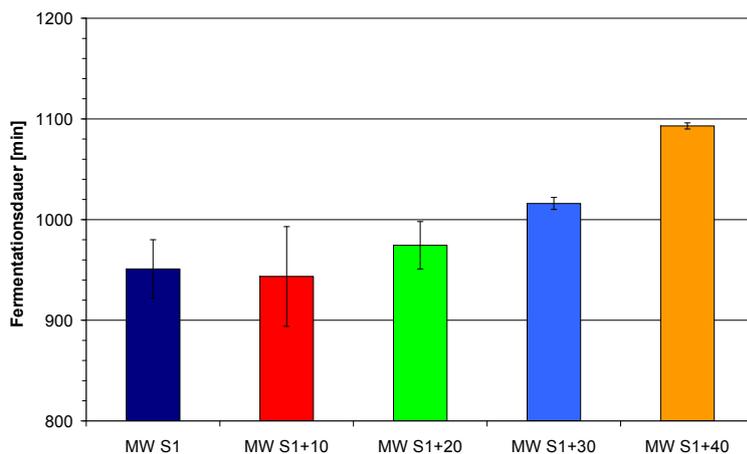


Abb. 45: Fermentationsdauer bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt

6.3.1.2. Startlevel der pH-Werte in Abhängigkeit vom Fettgehalt

In Abb. 46 sind die mittleren pH-Startlevel der unterschiedlichen Ansätze mit ihren jeweiligen Mittelabweichungen in einem Balkendiagramm dargestellt.

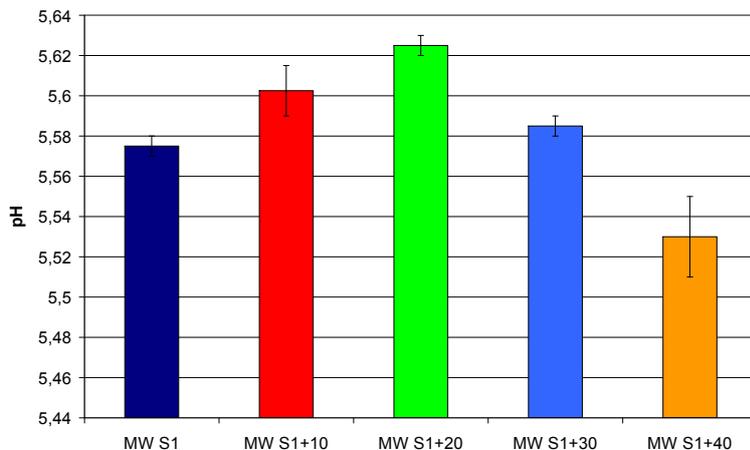


Abb. 46: Mittelwerte der pH-Startlevel in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Zunächst ist ein Anstieg in den Startleveln von S1 über S1+10 bis zu S1+20 zu erkennen. Bei weiterer Steigerung des Anteils an S8-Material nehmen die pH-Startlevel jedoch wieder ab und haben bei S1+40 niedrigste Startlevel, aber nicht kürzeste Fermentationszeiten. Es gibt also keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Fettgehalt und pH-Startlevel, sowie zwischen pH-Startlevel und Fermentationsdauer bis zu einem pH-Wert von 5,0. Das zeigt, dass sich die Proben prinzipiell in zwei Klassen unterteilen lassen, wobei die Probe S1+20 eine Zwischenstellung einnimmt. Das indifferente Verhalten der Proben S1+30 und S1+40 könnte durch eine Aufkonzentrierung von Zusatzstoffen wie Ascorbinsäure in der wässrigen Phase verursacht werden und somit die pH-Senkung bewirken. Auch Klettner [136] stellte fest, dass die pH-Startlevel bei der Herstellung feinerzkleinerter streichfähiger Rohwürste mit steigendem Speckanteil (30 bis 60 %) geringer wurden.

6.3.1.3. Adaptionsphase in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Die Abb. 47 zeigt die Dauer der Adaptionsphasen in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

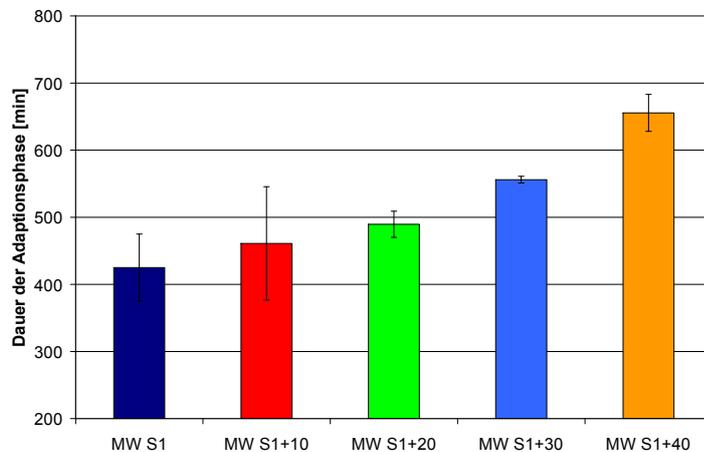


Abb. 47: Dauer der Adaptionsphasen in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Es ist die Tendenz zu erkennen, dass die Adaptionsphasen mit steigendem Fettgehalt länger dauern. Die Unterschiede sind aufgrund großer Streuungen nicht sehr deutlich ausgeprägt. Das gilt insbesondere für die Ansätze S1, S1+10 und S1+20. Die Ansätze mit S1+40 besitzen die deutlichst längsten Adaptionszeiten. Die Ursache könnte zum einen darin liegen, dass die Starterkulturen teils in der Fettphase eingeschlossen sind und somit nicht richtig mit den Kohlenhydraten versorgt werden können und zum anderen daran, dass die Nährstoffe, wie z. B. die zugesetzte Dextrose nicht richtig bzw. nicht vollständig in der wässrigen bzw. Muskelfleischphase gelöst vorliegen und somit nicht unmittelbar für die Milchsäureproduktion zur Verfügung stehen, was sich in längeren Adaptionsphasen mit steigendem Fettgehalt äußert. Dies wird besonders bei S1+30 und S1+40 deutlich.

Betrachtet man zu der Dauer der Adaptionsphase (Abb. 47) den gesamten Fermentationsverlauf in Abb. 44 und damit auch die kontinuierliche Säuerungsphase so kann man feststellen, dass die Fermentationsdauer bis zu einem pH-Wert von 5,0 nicht von der Säuerungsgeschwindigkeit abhängig ist, da alle Ansätze in der Säuerungsphase etwa gleiche Säuerungsgeschwindigkeiten besitzen. Die Fermentationsdauer ist auch nicht vom pH-Startlevel der Ansätze abhängig. Die Fermentationsdauer wird im Wesentlichen durch die Dauer der Adaptionsphase bestimmt und ist in gewissem Maße vom Fettgehalt der Proben abhängig.

Auch in [161] besitzt eine Fleischbrätprobe mit über 32 % Fett eine längere Adaptionsphase gegenüber einer Probe mit knapp 20 % Fett.

6.3.2. Verlustfaktor $\tan \delta$ während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Die Abb. 48 zeigt den Verlustfaktor während der Fermentation der Fleischbräte in Abhängigkeit vom Fettgehalt und weist eine Dominanz der Festkörpereigenschaften für jede Probe während der Fermentation auf, da $\tan \delta < 1$ ist.

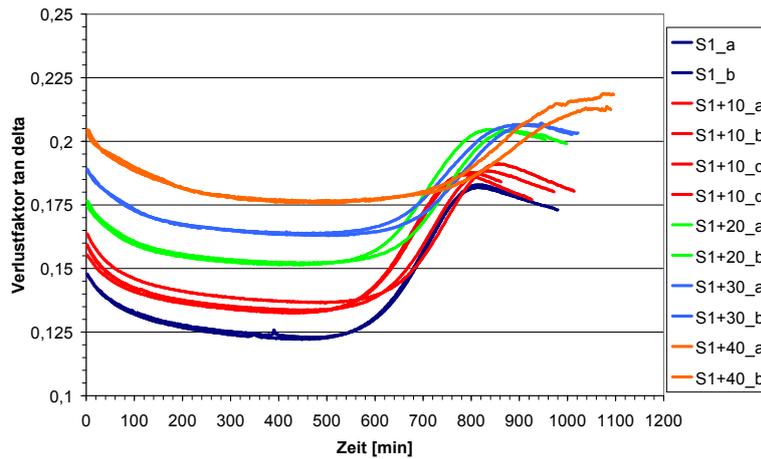


Abb. 48: Verlustfaktor $\tan \delta$ im Timesweep der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Mit zunehmendem Fettgehalt steigen die Level des Verlustfaktors an, d.h. der viskose Anteil wird durch steigende Fettzugabe stärker betont. Die Festkörpereigenschaften werden also im Wesentlichen von den Proteinen des Magerfleisches (myofibrilläre Proteine) bestimmt. Die Einlagerung des Fettes in die Fleischbrätmatrix folgt anderen Mechanismen als die Immobilisierung des zugesetzten Fremdwassers als innere Phase (Kap. 6.2.).

Fett wird hier offenbar zunehmend als äußere Phase in die Fleischbrätmatrix eingebaut und bestimmt damit zunehmend in der äußeren bzw. kontinuierlichen Phase bei hohen Konzentrationen die viskoelastischen Eigenschaften. Daher nimmt der viskose Anteil mit steigendem Fettgehalt zu. Die Strukturierungskräfte werden geschwächt.

6.3.3. Speichermodul während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Die folgende Abb. 49 zeigt die Speichermodulverläufe im Timesweep in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

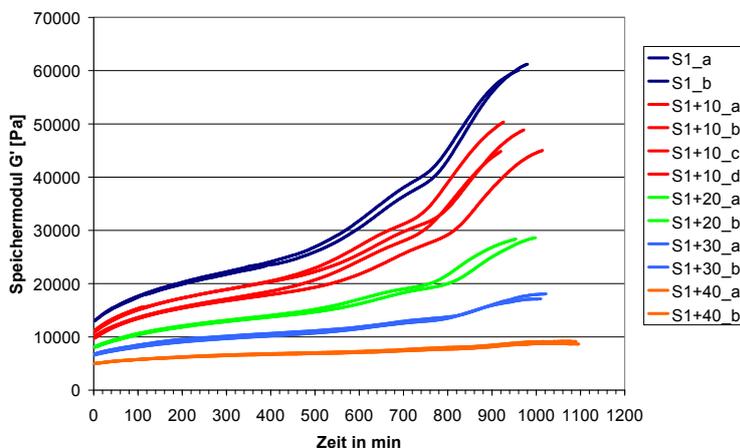


Abb. 49: Speichermodul G' im Timesweep der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Wie man anhand der Abb. 49 erkennen kann, erreichen die Ansätze ohne S8 Zusatz die höchsten Level G' gefolgt von den Ansätzen in aufsteigender S8 Konzentration (S1>S1+10>S1+20>S1+30>S1+40). In den folgenden Abb. 50 und Abb. 51 sind die Mittelwerte der Speichermodule G' zum Start der Fermentation bzw. zum Ende der Fermentation bei einem pH-Wert von 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt dargestellt.

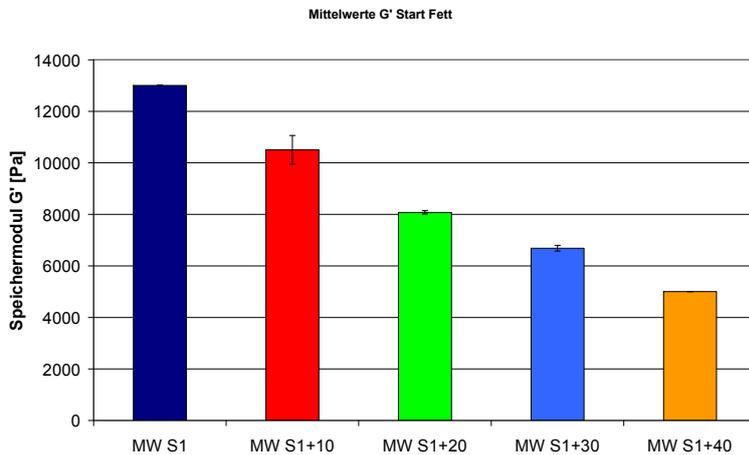


Abb. 50: MW der Speichermodule G' in Abhängigkeit vom Fettgehalt beim Start der Fermentation

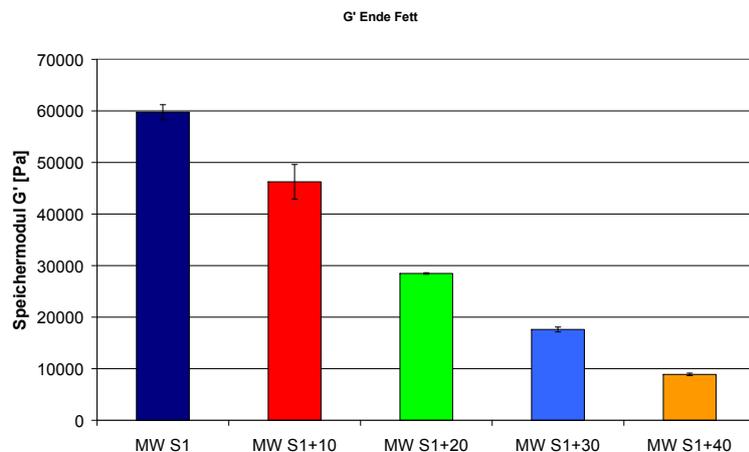


Abb. 51: MW der Speichermodule G' in Abhängigkeit vom Fettgehalt bei Fermentationsende (pH 5,0)

Die Ansätze ohne S8-Zusatz weisen die höchsten Speichermodulwerte G' zu Beginn der Fermentation auf (Abb. 50). Mit zunehmendem Fettgehalt nehmen die Festkörpereigenschaften in Form des Speichermoduls G' linear ($R^2 = 0,9851$, $y = -198,18x + 12618$) ab. Diese Unterschiede sind von Konzentrationsstufe zu Konzentrationsstufe deutlich ausgeprägt. Das zugesetzte Fett in Form von S8-Material kann hier in diesem Fleischbrät als strukturverhindernde Komponente angesehen werden, da es zunehmend in der kontinuierlichen Phase der Fleischbrätmatrix eingelagert ist.

Auch nach der Fermentation liegen die höchsten Level G' ohne Zusatz von S8-Material vor. Mit zunehmendem Fettgehalt der Proben nehmen die Festkörpereigenschaften, hier in Form des Speichermoduls G', zum Fermentationsende hin stark linear ($R^2 = 0,9842$, $y = -1303,1x$

+ 58258) ab (Abb. 51). Bei den Proben S1+20 werden nicht einmal 50 % der Level G' der Proben ohne S8-Zusatz erreicht. Der Aufbau eines schnittfesten Partikelgels wird durch den Zusatz von Fett trotz starker Säuerung behindert bzw. bei S8-Gehalten ab 30 % verhindert. Die prozentuale Zunahme des Speichermoduls liegt bei den Proben S1 bei etwa 360 %. Demgegenüber liegt bei den Proben S1+40 die relative Zunahme des Speichermoduls nur bei etwa 75%. Das zugesetzte Fett hat also stark destrukturierende Eigenschaften auf das Festkörperverhalten der Matrix.

6.3.4. Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Da eine deutliche Dominanz der Festkörpereigenschaften für jeden Ansatz während der Fermentation im linear viskoelastischen Bereich vorliegt, können entsprechende Strukturbildungsvorgänge anhand des dominierenden elastischen Anteils G' diskutiert werden. Die Einteilung der G'-Kurve in die Bereiche A, B, C und D und die Ableitung der jeweiligen Strukturbildungsgeschwindigkeiten konnte nach dem in Abb. 33 dargestellten Prinzip durchgeführt werden, da die Verläufe der Speichermodule G' bei der Fermentation von Schweinefleisch im Timesweep-Modus prinzipiell ähnlich sind.

Bereiche A und B bei der Fermentation von Schweinefleisch in Abhängigkeit vom Fettgehalt:
Die Abb. 52 und Abb. 53 zeigen die jeweiligen Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Fettgehalt für die Bereiche A und B der Fermentation.

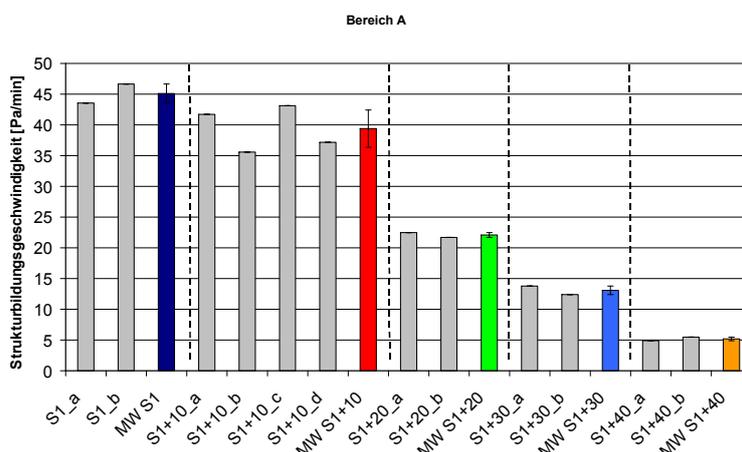


Abb. 52: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Die Bereiche A und B stellen jeweils auch hier die Bereiche dar, wo keine Säuerung stattfindet, d. h. diese beiden Bereiche befinden sich in der Adaptionsphase der ablaufenden Fermentationen.

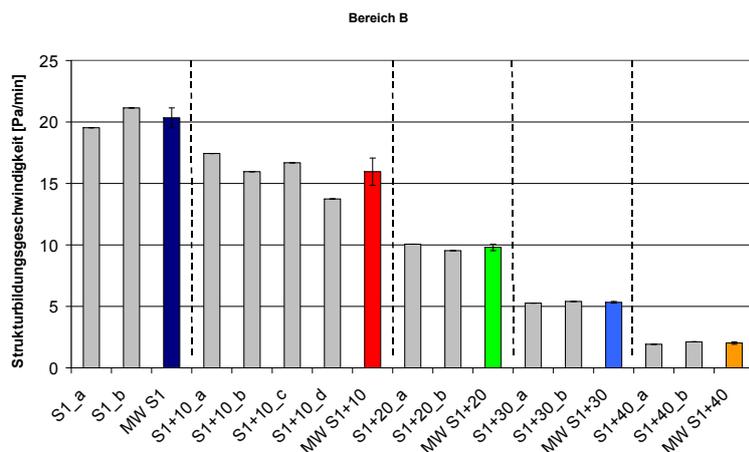


Abb. 53: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich B in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Tab. 13 enthält Angaben zu den Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

Tab. 13: Strukturbildungsgeschwindigkeit in den Bereichen A und B in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Probe	v_{Str} [Pa/min] Bereich A	MAW Bereich A	v_{Str} [Pa/min] Bereich B	MAW Bereich B
MW S1	45,10	1,55	20,34	0,80
MW S1+10	39,39	3,03	15,96	1,11
MW S1+20	22,10	0,39	9,80	0,26
MW S1+30	13,09	0,70	5,33	0,07
MW S1+40	5,18	0,29	2,02	0,10

Bei allen Ansätzen nimmt der Speichermodul G' sowohl in Bereich A als auch in Bereich B zu. Die Strukturbildungsgeschwindigkeiten unterscheiden sich jedoch deutlich voneinander.

Bereich A: Mit zunehmendem Fettgehalt im Brät nimmt die Strukturbildungsgeschwindigkeit in linearer Funktion ab ($y = -1,0615x + 46,2$; $R^2 = 0,9761$). Mit zunehmendem Fettgehalt wird die Einsalzeffekt-bedingte Festigkeitszunahme vermindert. Ursache für die Festigkeitszunahme ist die Quellung und das in Lösung gehen der Fleischeiweiße. Hierdurch wird eine neuartige dreidimensionale Proteinnetzwerkstruktur gebildet, in der Wasser immobilisiert wird. Die Proteine werden also durch den Einsalzeffekt aufgefaltet und können sich neu strukturieren und freies Wasser in den kapillaren Hohlräumen des neu gebildeten Netzwerkes einlagern. Der Zusatz von Fettgewebe führt zu einem dazu, dass weniger Muskelprotein (myofibrilläres Protein) zur Verfügung steht, welches vorliegendes Wasser immobilisieren könnte. Zum anderen ist auch der Wassergehalt geringer. Es kann sich mit zunehmendem Fettgehalt immer schlechter ein dreidimensionales Proteinnetzwerk ausbilden. Daher sind die Steigungen der G' -Kurven, d.h. die Strukturbildungsgeschwindigkeiten, mit zunehmendem Fettgehalt geringer. Die zunehmende Abschirmung der Fleischeiweiße durch partielle Umhüllung mit Fett als kontinuierliche Phase führt zu einer Behinderung der Neustrukturierung der Fleischeiweiße, da die Fleischeiweißpartikel durch das Fett voneinander abge-

schirmt werden und somit die Ausbildung interpartikulärer Wechselwirkungen verhindert wird.

Bereich B: Auch in Bereich B unterscheiden sich die einzelnen Ansätze wie in Bereich A deutlich voneinander. Die Strukturbildungsgeschwindigkeit ist in Bereich B bei allen Ansätzen deutlich geringer als in Bereich A und nimmt mit zunehmendem S8-Gehalt in linearer Funktion ($y = -0,4727x + 20,143$; $R^2 = 0,9905$) ab. Ursache ist, dass die Einsalzeffektbedingten Quell- und Lösevorgänge der Adaptionsphase in Bereich B nahezu beendet sind.

Bereiche C und D bei der Fermentation von Schweinefleisch in Abhängigkeit vom Fettgehalt:

Bereich C:

Der Bereich C liegt zu Beginn der Säuerung und in der kontinuierlichen Säuerungsphase. Die Abb. 54 zeigt die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

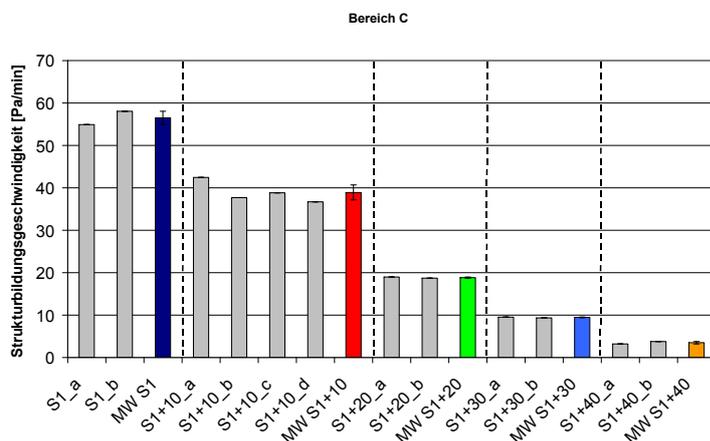


Abb. 54: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich C in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Mit zunehmendem Fettgehalt im Fleischbrät nimmt die Strukturbildungsgeschwindigkeit in linearer Funktion ($y = -1,3544x + 52,527$; $R^2 = 0,9524$) ab. Die Säuerungsgeschwindigkeit wird aber vom Fettgehalt nicht wesentlich beeinflusst (Abb. 44). Der pH-Wert-Abfall bewirkt eine Säuredenaturation der myofibrillären Proteine und damit die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels. Durch steigenden Fettgehalt wird die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels behindert. Die Muskelproteine werden durch das zugesetzte fettreiche S8-Material an der Ausbildung von neuen, vorwiegend wohl kovalenten Bindungen sowie Verhakungen und Verschlaufungen gehindert. Das Fett umhüllt zunehmend die Fleischproteine und verhindert somit eine Protein-Protein-Wechselwirkung, die maßgeblich für die Ausbildung des schnittfesten Partikelgels bzw. für die Gelbildung im interpartikulären Raum verantwortlich ist. Die Unterschiede sind für den Bereich C deutlich signifikant von Konzentrationsstufe zu Konzentrationsstufe (Abb. 54).

Bereich D: Dieser Bereich befindet sich bei allen Ansätzen in der Phase der kontinuierlichen Säuerung. Die folgende Abb. 55 stellt die Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Fettgehalt dar.

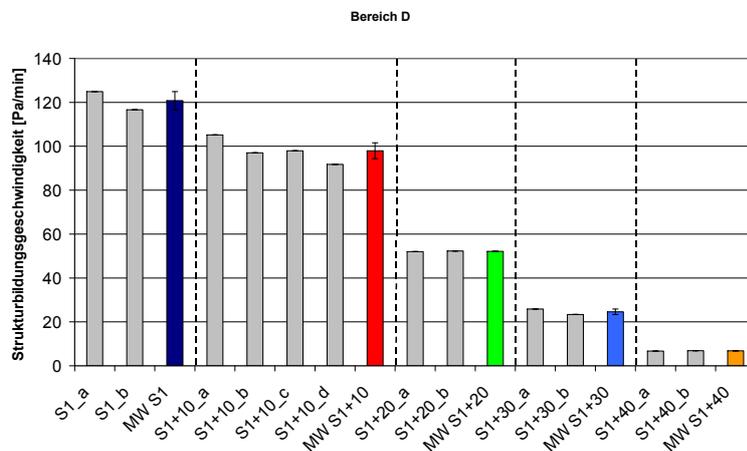


Abb. 55: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich D in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Mit Übergang von Bereich C in den Bereich D wird für jeden Ansatz der Anstieg des Speichermoduls G' bei fortlaufend kontinuierlicher Säuerung größer. Das in Bereich C ausgebildete Partikelgel verfestigt sich unter fortlaufender Säuerung.

Mit zunehmendem Fettgehalt nimmt die Strukturbildungsgeschwindigkeit in linearer Funktion ab ($y = -3,0127x + 120,71$; $R^2 = 0,9784$). Die hier festgestellten Unterschiede sind von Konzentrationsstufe zu Konzentrationsstufe sehr deutlich (Abb. 55). Das zugesetzte Fett verhindert mit zunehmender Konzentration eine Protein-Protein-Wechselwirkung und damit die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels. Dies ist insbesondere ab einem Zusatz von 30 % und mehr S8-Material zum Fleischbrät (S1+30 und S1+40) der Fall. Die Protein-Protein-Interaktion (v. a. der myofibrillären Proteine, Muskelproteine) wird durch Umhüllung der Fleischproteine so stark behindert, dass es nicht mehr zur Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels kommen kann, da interpartikuläre Wechselwirkungen durch den Einsalzeffekt mit zunehmender Fettkonzentration verhindert werden (Bereiche A und B). Das wird durch einen sehr schwachen Anstieg des Speichermoduls G' sowohl in Bereich C als auch in Bereich D der Fermentation angezeigt (Abb. 54, Abb. 55 und Tab. 14).

Tab. 14: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich C und D in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Probe	v_{Str} [Pa/min] Bereich C	MAW Bereich C	v_{Str} [Pa/min] Bereich D	MAW Bereich D
MW S1	56,49	1,57	120,77	4,13
MW S1+10	38,91	1,77	97,97	3,60
MW S1+20	18,84	0,13	52,14	0,13
MW S1+30	9,46	0,08	24,60	1,24
MW S1+40	3,49	0,28	6,82	0,09

6.3.5. Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Fettgehalt

6.3.5.1. Amplitudensweep vor der Fermentation

In Abb. 56 ist der Speichermodul G' und der Verlustfaktor $\tan \delta$ im Amplitudensweep vor der Fermentation der Proben in Abhängigkeit vom Fettgehalt dargestellt.

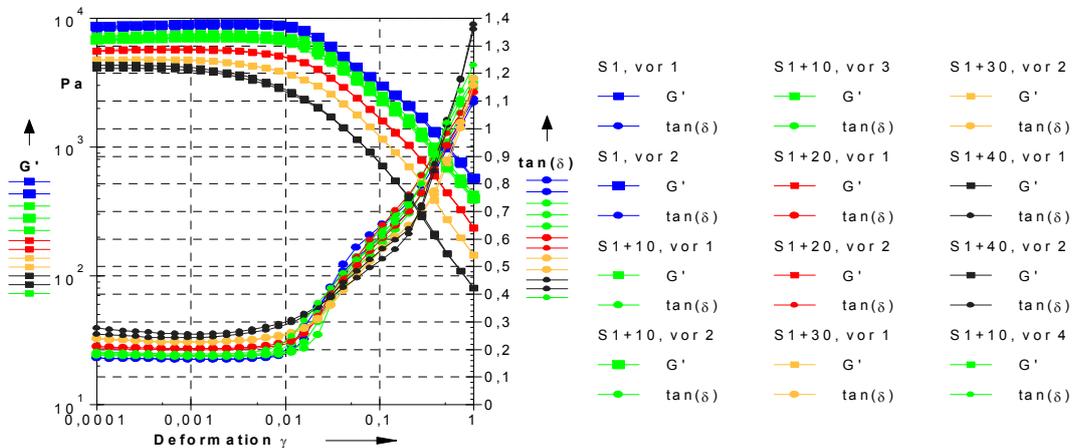


Abb. 56: $G'(\gamma)$ und Verlustfaktor $\tan \delta (\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Anhand Abb. 56 kann man erkennen, dass im lvB des Amplitudensweeps die Level der Speichermodule G' mit zunehmendem Fettgehalt abnehmen. Ursache hierfür ist offenbar ein zunehmender Einschluss der Fleischproteine durch das immer dominanter in der kontinuierlichen Phase des Brätes vorliegenden Fett. Im lvB der Messung weist der Verlustfaktor $\tan \delta$ bei den Ansätzen S1 die niedrigsten Level auf, d. h. hier haben sich die stabilsten Strukturen ausgebildet. Mit zunehmendem Fettgehalt nimmt der Verlustfaktor zu, die viskosen Eigenschaften steigen. Dennoch ist die Dominanz der Festkörpereigenschaften, gekennzeichnet durch $\tan \delta < 1$, bei jedem Ansatz im lvB vorhanden. Beim Verlassen des lvB ist bei großen Deformationen für alle Ansätze der Verlustfaktor $\tan \delta > 1$, d. h. es liegen fließfähige Bräte vor. Diese Bräte machen jede Formänderung mit, was in der Technologie z.B. für Füll- und Formprozesse von Bedeutung ist [10, 11, 71, 129, 130].

Die folgende Abb. 57 zeigt die Verlustmodule G'' im Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Fettgehalt vor der Fermentation.

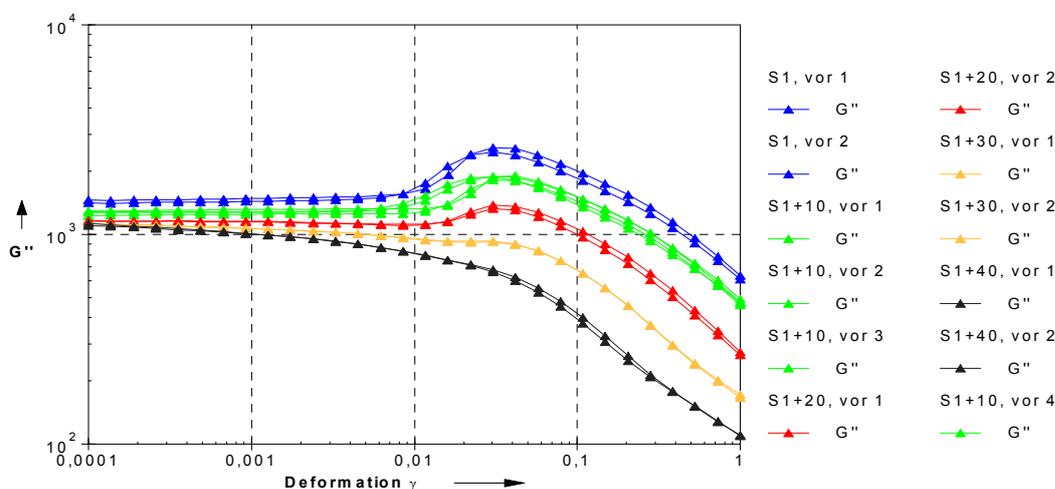


Abb. 57: $G''(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Mit zunehmenden Fettgehalt nehmen die Level der Verlustmodule G'' ab. Charakteristisch für Standardansätze wie S1 vor der Fermentation ist die Ausbildung eines Peaks der Verlustmodulkurve (G''_{\max} bei $\gamma = 0,03$) beim Verlassen des lvB. Als Ursache hierfür kann ein Abpressen bzw. Abscheren der Hydrathülle gesehen werden. Durch den Einsalzeffekt werden die Proteine aufgefalt, bilden ein dreidimensionales Netzwerk aus, wo Wasser immobilisiert wird und gelöste Proteine Wasser als Hydrathülle binden. Dieses Wasser wird offenbar bei Deformationen außerhalb des lvB abgesichert, was durch die Ausbildung des Peaks gekennzeichnet ist. Ein Kurvenanstieg der G'' -Kurve außerhalb des lvB zeigt, dass vor dem endgültigen Zusammenbrechen der internen Struktur ein erhöhter Anteil an Deformationsenergie als „Strukturveränderungsarbeit“ verbraucht wird. Der Verlustmodul G'' entspricht der verlorenen, dissipierten Deformationsenergie.

Deutliche Peaks des G'' sind nur bei den Ansätzen S1, S1+10 und S1+20 zu erkennen. Bei S1+30 und S1+40 sind diese Peaks nicht mehr ausgebildet. Das könnte bedeuten, dass ab einer Konzentration von 30 % S8 der Einsalzeffekt, d.h. Quellung und Lösung der myofibrillären Proteine und damit die Ausbildung einer neuen dreidimensionalen Proteinnetzwerkstruktur nicht bzw. nur sehr eingeschränkt möglich ist. Der Fettanteil ist offenbar so hoch, dass das Fett die Fleischproteine umhüllt und damit den Einsalzeffekt mindert, da die Ausbildung eines kontinuierlichen dreidimensionalen Netzwerkes durch die interpartikuläre Wechselwirkung der myofibrillären Proteine behindert bzw. verhindert wird. Das führt dann dazu, dass beim Verlassen des lvB kein Wasser, welches sich im Wesentlichen in den kapillaren Hohlräumen des Proteinnetzwerkes befindet, abgepresst wird. Die Dominanz des Fettanteils in der kontinuierlichen Phase der Bräte S1+30 und S1+40 führt dann dazu, dass dieses Fett beim Verlassen des lvB als Schmierfilm wirkt (Wandgleiteneffekt) und hier jetzt die kontinuierliche Phase darstellt (Abb. 57).

6.3.5.2. Amplitudensweep nach der Fermentation

Die Abb. 58 zeigt den Verlauf $G'(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

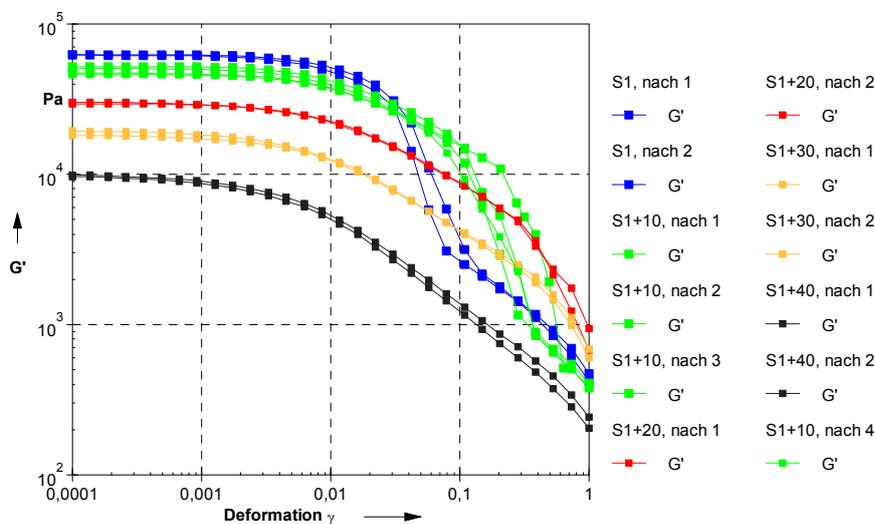


Abb. 58: $G'(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Nach der Fermentation nehmen die Level der Speichermodule G' mit zunehmendem Fettgehalt ab (Abb. 58). Die Ansätze S1 und S1+10 zeigen eine Zunahme des Speichermoduls von etwa 350 %, S1+20 etwa 250 %, S1+30 etwa 150 % und S1+40 etwa 75 %. Fett wirkt sich hier also als störend auf die Strukturbildung während der Fermentation aus.

Beim Verlassen des lvB fallen insbesondere bei den Ansätzen S1 und S1+10 die jeweiligen Speichermodule G' mit steigender mechanischer Belastung steil ab, d.h. der Festkörperverband wird zerstört bzw. zerrissen und somit fallen die Festkörpereigenschaften, repräsentiert durch den Speichermodul G' , steil ab. Beim Verlassen des lvB fallen die G' -Kurven bei den Ansätzen S1+30 und S1+40 verhältnismäßig flach ab. Das bedeutet, dass auch hier die fehlende Netzwerkausbildung, verursacht durch die kontinuierliche Fettphase, zu geringeren Festkörpereigenschaften führt.

Die Ansätze S1+20 nehmen eine Art Zwischenstellung ein, da sich hier jeweils noch schnittfeste Partikelgele ausbilden konnten, d. h. es kommt noch zu ausreichenden Protein-Protein-Wechselwirkungen der Muskelproteine, die für die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels verantwortlich sind. Dieses weist aber aufgrund seines schon recht hohen Fettanteils nicht sehr hohe Festkörpereigenschaften auf.

In der folgenden Abb. 59 ist der Verlustmodul G'' im Amplitudensweep nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt dargestellt.

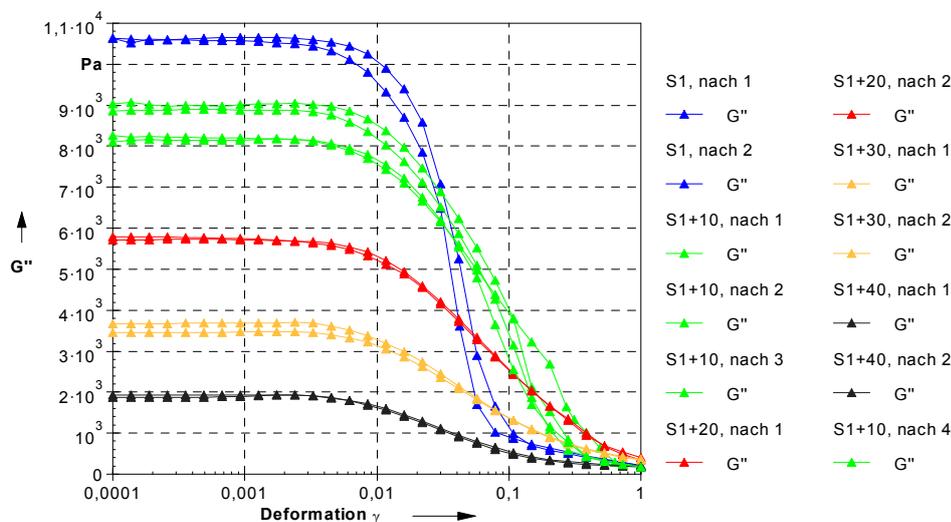


Abb. 59: $G''(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Nach der Fermentation liegt die gleiche Rangfolge in den Leveln der G'' -Werte vor wie vor der Fermentation. Die charakteristischen, durch den Einsalzeffekt hervorgerufenen, Peaks in den G'' -Kurven beim Verlassen des lvB sind nach der Fermentation nicht mehr vorhanden. Dies deutet darauf hin, dass das Wasser, welches überwiegend als Hydrathülle bzw. über permanente Dipol-Dipol-Wechselwirkungen im Brät relativ locker eingebunden wurde nun nicht mehr abgepresst bzw. abgeschert werden kann sondern vielmehr fester in das durch Säuredenaturierung der myofibrillären Proteine ausgebildete schnittfeste Partikelgel immobilisiert bzw. eingebunden wird. Bei den Ansätzen mit S1+30 und S1+40 tritt dieser Peak der G'' -Kurve auch vor der Fermentation, wie bereits schon anhand Abb. 57 diskutiert, nicht auf.

Zusätzlich verschiebt sich der Bereich des Zusammenbruches in Richtung kleinerer Deformationen. Die Matrix ist durch die Säuredenaturation der Muskelfleischproteine fester, steifer und spröder geworden. Es kommt zu einem Partikelbruch an großen Einheiten. Größere Regionen sind partikuliert und es findet ein Brechen der „Sollbruchstelle“ statt, die bei S1+30 und S1+40 kaum bzw. nicht vorhanden ist.

6.3.6. Frequenzsweep in Abhängigkeit vom Fettgehalt

6.3.6.1. Frequenzsweep-Messungen vor der Fermentation

Die Abb. 60 zeigt einen Vergleich der Speicher- und Verlustmodule der Proben S1 im Frequenzsweep der Rohbräte (S1, roh), der Bräte vor der Fermentation (S1, vor) und der Bräte nach der Fermentation (S1, nach).

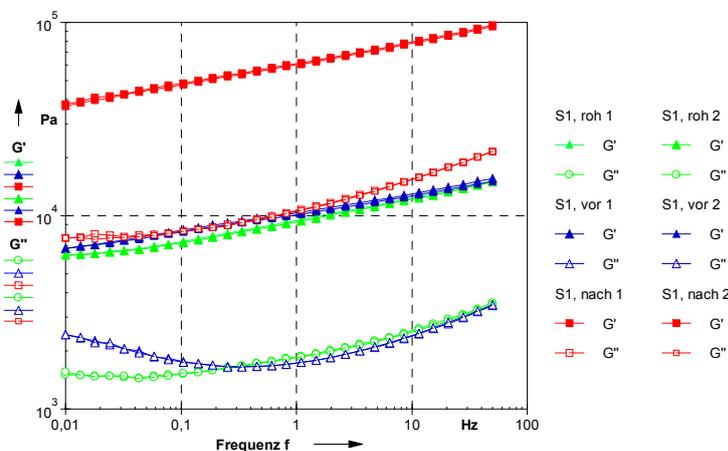


Abb. 60: $G'(f)$ und $G''(f)$ der Proben S1 roh, S1 vor und S1 nach

Bei den Rohbräten, den Bräten mit Zusätzen vor der Fermentation und bei den Bräten nach der Fermentation handelt es sich jeweils um disperse Systeme auf Partikelbasis. Dies ist prinzipiell auch bei den Bräten mit steigendem Fettgehalt der Fall. Die Abb. 60 zeigt das typische Verhalten im Frequenzsweep exemplarisch am Beispiel der Ansätze S1.

Die Rohbräte sowie die Bräte vor und nach der Fermentation zeigen im lvB dominante Festkörpereigenschaften. Die Bräte vor der Fermentation (S1, vor mit Zutaten versetzt) weisen über das gesamte Frequenzband etwas höhere Speichermodule G' auf als die Rohbräte. Die Speichermodule der Rohbräte und der Proben mit Zusätzen vor der Fermentation im Frequenzsweep erlauben jedoch nur eine geringe Differenzierung. Da die Bräte unmittelbar nach der Präparation vermessen wurden, waren die aus dem Timesweep ermittelten Quellfekte nicht bestimmbar.

Interessant ist, dass bei Frequenzen von $f < 0,2$ Hz der Verlustmodul G'' bei den Bräten mit Zutaten vor der Fermentation (S1, vor) zunimmt. Im Vergleich dazu nimmt der Verlustmodul G'' des Rohbrätes (S1, ohne Zutaten) weiter bis auf einen konstanten Level ab. Dieser Effekt spiegelt sich auch im Verlauf der Verlustfaktorkurven wider (Abb. 61). Bei Frequenzen von

$f < 0,1$ Hz nimmt $\tan \delta$ bei den Proben vor der Fermentation (S1, vor) im Vergleich zu den Rohbräten (S1, roh) stark zu. Die Ursache ist hier vermutlich auf das zugesetzte Kochsalz zum Brät und damit auf Einsalzeffekt-bedingte Strukturänderungen zurückzuführen. Durch den Einsalzeffekt gehen die myofibrillären Proteine in Lösung und besitzen eine verstärkte Quellfähigkeit. Dies hat eine Auffaltung und damit Neustrukturierung der Proteinketten zur Folge. Die hier beobachteten Effekte indizieren, dass der Vernetzungsgrad der Proteinmoleküle durch den Einsalzeffekt verringert wird. Wasser wird sowohl als Hydrathülle als auch in den kapillaren Hohlräumen der Proteinfäden gebunden und fungiert dort einerseits als Platzhalter andererseits aber auch als Verbindungsglied zwischen den Proteinfäden und stellt damit auch interpartikuläre Interaktionen sicher. Ursache ist die Wechselwirkung der Wasserdipole mit den Ionen des dissoziierten Kochsalzes (im Wesentlichen Na^+ und Cl^-) und den Ladungen der Proteinfäden. Dadurch wird die molekulare Flexibilität erhöht und damit der Vernetzungsgrad verringert, da das eingelagerte Wasser hier als eine Art „Schmierschicht“ zwischen den Proteinfäden wirkt. Nach der Fermentation fallen die Verlustmodule wieder mit abnehmenden Frequenzen ab (Abb. 60) und die Verlustfaktoren $\tan \delta$ steigen nach der Fermentation auch nicht mehr so stark an wie vor der Fermentation (Abb. 61). Die Vernetzungsstärke hat nach der Fermentation zugenommen und somit hat auch die molekulare Flexibilität abgenommen. Der Speichermodul weist nach der Fermentation etwa 3,5-fach höhere Level auf als vor der Fermentation. Es haben sich schnittfeste Partikelgele ausgebildet (Abb. 60).

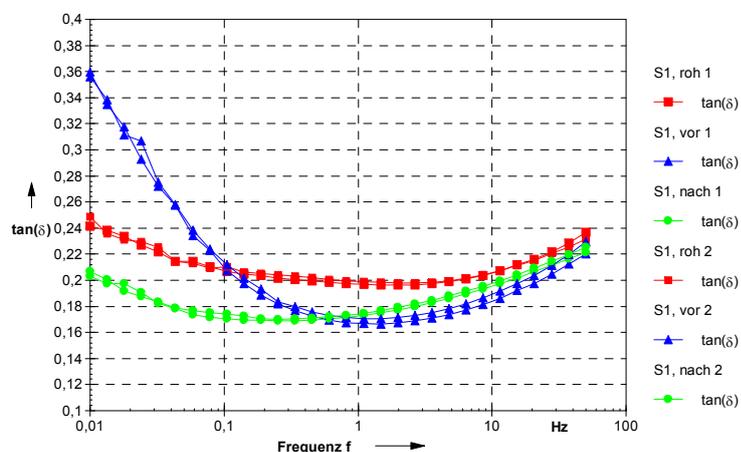


Abb. 61: $\tan \delta(f)$ der Proben S1 roh, S1 vor und S1 nach

Auch beim Zusatz von Fett bleibt die Dominanz der Festkörpereigenschaften im Frequenzband sowohl bei den Rohbräten als auch bei den Bräten mit Zutaten vor und nach der Fermentation erhalten.

Die Abb. 126 im Anhang zeigt einen Vergleich der Verlustmodule der Schweinefleischbräte mit Zutaten vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

Bei den Proben S1, S1+10 und S1+20 ist der bereits diskutierte Anstieg des Verlustmoduls G'' bei Frequenzen $f < 0,2$ Hz gut zu erkennen. Bei S1+30 und S1+40 ist dieser kaum oder gar nicht mehr zu erkennen. Der Einsalzeffekt ist durch die steigende Fettzugabe gestört.

Die Auflockerung der Struktur durch den Einsalzeffekt wird vermutlich durch die in den Proben S1+30 und S1+40 schon kontinuierlich vorliegende Fettphase verhindert. Die Ionen des Salzes können nicht mehr so gut in die kapillaren Hohlräume der fadenförmigen Proteinmoleküle dringen. Die Ausbildung eines neuen Proteinnetzwerkes durch Wasserstoffbrückenbindungen permanenter Dipole wird durch Vorliegen einer partiell kontinuierlichen Fettphase weitestgehend verhindert. Das hat zur Folge, dass die molekulare Flexibilität des Brätes mit Zutaten vor der Fermentation nicht oder nur in einem sehr geringen Ausmaß durch Protein-Wasser-Salz-Wechselwirkungen bestimmt wird, sondern dass hierfür die im komplexen dispersen System als partiell kontinuierliche Fettphase vorliegende Fettkomponente verantwortlich ist. Die Auflockerung bzw. Neustrukturierung der Muskelproteine ist jedoch für die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels verantwortlich. Bei S1+20 ist die Muskelproteinkomponente teilweise noch nicht ganz von der Fettkomponente umhüllt bzw. es liegen größere Bezirke im Brät vor, wo eine interpartikuläre Protein-Protein-Wechselwirkung möglich ist und somit noch eine ausreichende Neustrukturierung gewährleistet wird. Daher ist hier noch eine Teilchenbindung nach der Fermentation, d.h. die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels, erfolgt.

6.3.6.2. Frequenzweep-Messungen nach der Fermentation

Abb. 127 im Anhang zeigt den Verlauf $G''(f)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt. Alle Verlustmodule fallen mit abnehmender Frequenz ab. Die Vernetzungsstärke hat bei den Proben S1, S1+10 und S1+20 zugenommen und damit hat auch die molekulare Flexibilität abgenommen.

Der Verlauf $\tan \delta(f)$ zeigt, dass nach der Fermentation im lvB eine Dominanz der Festkörpereigenschaften aller Ansätze vorliegt (Abb. 128 im Anhang).

Die Abb. 62 zeigt einen Vergleich des Verlaufes $G'(f)$ vor und nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

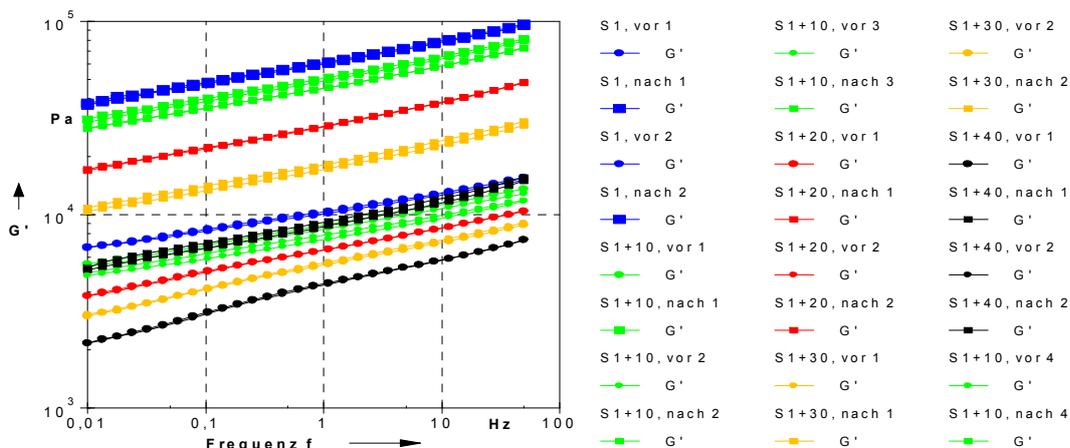


Abb. 62: Vergleich $G'(f)$ vor und nach der Fermentation der Bräte in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Die folgende Abb. 63 zeigt den Verlauf von $G'(f)$ und $G''(f)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.

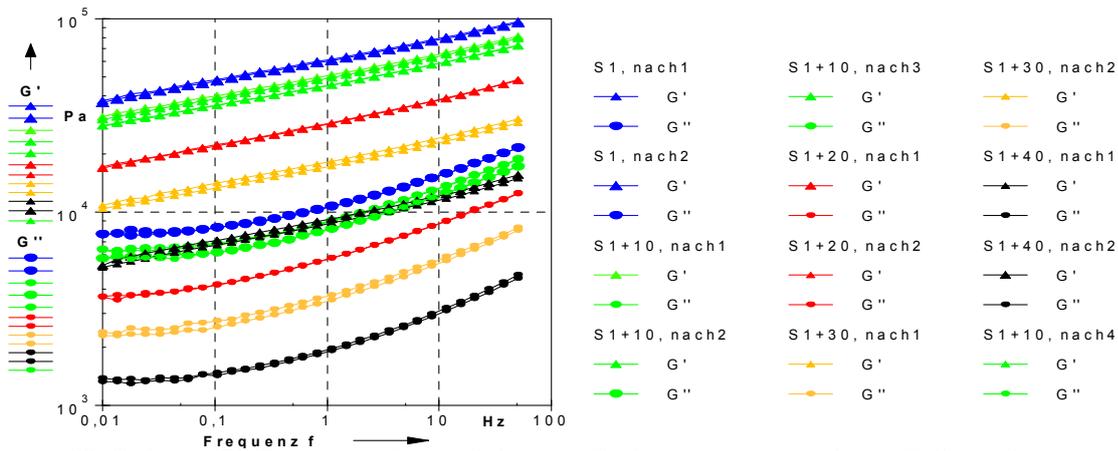


Abb. 63: $G'(f)$ und $G''(f)$ nach der Fermentation der Bräte in Abhängigkeit vom Fettgehalt

Der Speichermodul G' nimmt bei allen Proben aufgrund der Säuredenaturation zu). Der Speichermodul G' der Probe S1+40 weist nach der Fermentation sogar noch niedrigere Level auf als der Standardansatz S1 vor der Fermentation (Abb. 62).

Die Abb. 63 indiziert eine Dominanz der Festkörpereigenschaften im lvB aller Ansätze nach der Fermentation. Für jeden Ansatz werden sowohl vor als auch nach der Fermentation Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis nachgewiesen (Abb. 62 und Abb. 63).

6.3.7. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Anhand einer anderen Grundgesamtheit der verwendeten Rohstoffe wurden Einzelmessungen durchgeführt. Diese Einzelmessungen mit den gleichen Mischungsansätzen wie in Kap. 6.3. bestätigen die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchungen. Der pH-Verlauf in Abhängigkeit vom Fettgehalt zeigt ähnliche Charakteristika wie in Kap. 6.3. Die Verläufe von Speichermodul (Abb. 64) und Verlustfaktor (Abb. 65) in Abhängigkeit vom Fettgehalt sind sehr ähnlich. Die jeweiligen Strukturbildungsgeschwindigkeiten nehmen in den Bereichen A, B, C und D mit zunehmendem Fettgehalt ab. Die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels nach der Fermentation wird auch hier ab S8-Gehalten von 30 % und mehr verhindert.

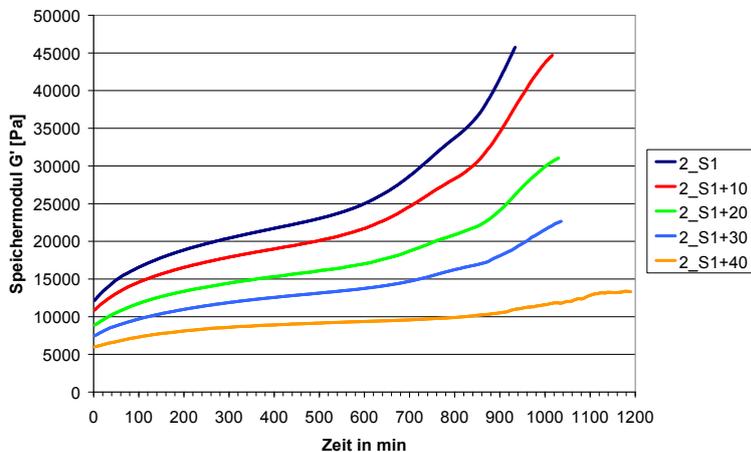


Abb. 64: $G'(t)$ während der Fermentation der zweiten Serie in Abhängigkeit vom Fettgehalt

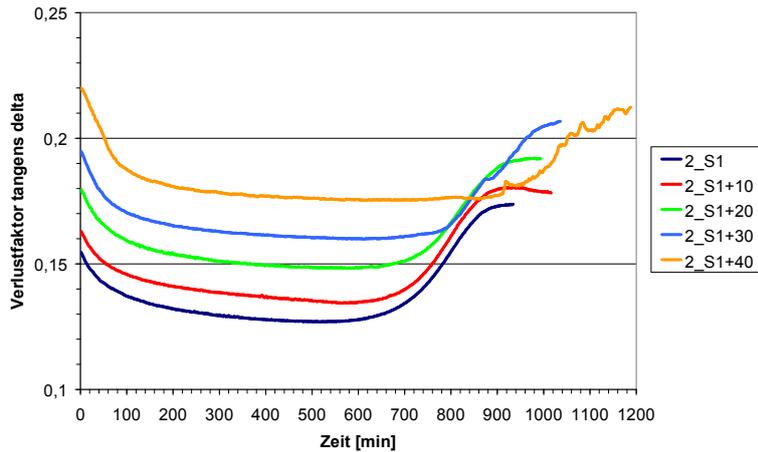


Abb. 65: $\tan \delta (t)$ während der Fermentation der zweiten Serie in Abhängigkeit vom Fettgehalt

6.4. Einfluss von Ca-Lactat auf den Fermentationsverlauf

Die nachfolgenden Untersuchungen dienen dazu, den Einfluss des Säureregulators Ca-Lactat auf die ablaufenden Strukturbildungsvorgänge bei der Fermentation von Schweinefleisch zu untersuchen. [156]

6.4.1. Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die folgende Abb. 66 zeigt die pH-Wert-Verläufe während der Fermentation von Schweinefleisch in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Bei jeder Probe schließt sich an eine Adaptionsphase eine kontinuierliche Säuerungsphase an.

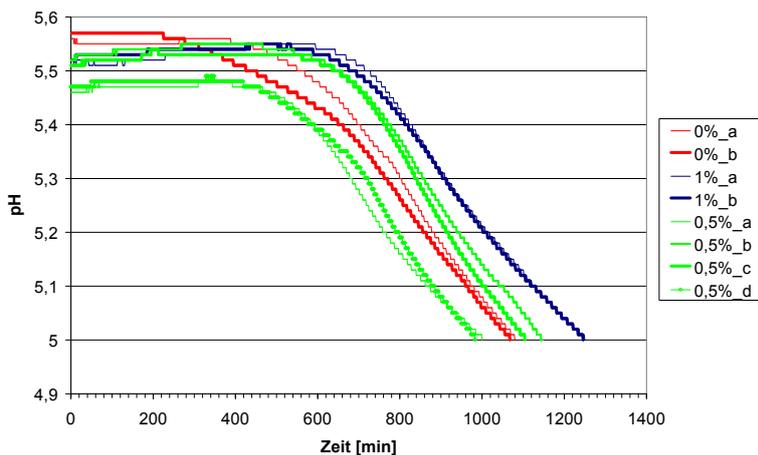


Abb. 66: pH-Wert-Verlauf während der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

6.4.1.1. Fermentationszeiten bis pH 5 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die folgende Tab. 15 und die Abb. 67 zeigen die Fermentationszeiten bei verschiedenen Ca-Lactat-Konzentrationen bis zum Erreichen eines pH-Wertes von 5,0.

Tab. 15: Fermentationszeiten bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Probe	Zeit [min]	MAW
MW 0 %	1074	6
MW 0,5 %	1059	67
MW 1 %	1248	2

Die Fermentationszeit bis zum Erreichen eines pH-Wertes von 5,0 ist bei 1 % Ca-Lactat um bis zu 3,5 h länger als bei dem Ansatz ohne Ca-Lactat-Zugabe. Bei 0,5 % Ca-Lactat-Zugabe schwanken die Fermentationszeiten recht stark. Diese Proben nehmen eine Zwischenstellung zwischen den Ansätzen mit 1 % und 0 % Ca-Lactat-Gehalt ein.

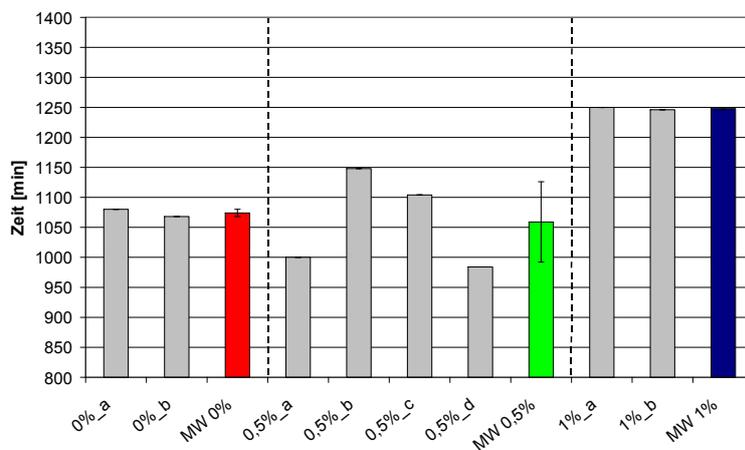


Abb. 67: Dauer der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

6.4.1.2. Startlevel der pH-Werte in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die Startlevel der pH-Werte bei der Fermentation der Ansätze mit unterschiedlichen Mengen an zugesetztem Ca-Lactat sind in Tab. 16 dargestellt.

Tab. 16: Startlevel der pH-Werte der verschiedenen Ansätze zu Beginn der Fermentation

Ca-Lactat Konz.	pH	
	0 %	a) 5,56
0,5 %	a) 5,46	b) 5,52
	d) 5,47	c) 5,51
1 %	a) 5,51	b) 5,52

Die höchsten pH-Werte (pH: 5,56 ... 5,57) beim Start der Fermentation liegen bei dem Ansatz ohne Calciumlactat-Zugabe vor (Tab. 16 und Abb. 66).

Die Zugabe von Ca-Lactat bewirkt tendenziell eine Absenkung des Brät pH-Wertes zu Beginn der Fermentation. Sowohl bei 1 %_a und 1%_b als auch bei 0,5%_b und 0,5%_c liegt der pH-Wert bei 5,51 ... 5,52. Die Proben 0,5%_a und 0,5%_d zeigen mit noch niedrigeren pH-Werten von 5,46 ... 5,47 das große Ereignisfeld auf.

Dementsprechend sind auch 0,5 %_a und 0,5 %_d nach 984 ... 1000 min bei einem pH-Wert von 5,0 und 0,5 %_b und 0,5 %_c erst nach 1104 ... 1148 min bei einem pH-Wert von 5,0 und damit bis zu 164 min später als die Ansätze 0,5 %_a und 0,5 %_d. (Abb. 66)

Die großen Schwankungen in den Startleveln der pH-Werte bei 0,5 % Ca-Lactat-Zusatz sind offenbar auf eine nicht zu determinierende Pufferwirkung der zugesetzten Calcium- und Lactationen zurückzuführen.

6.4.1.3. Adaptionsphase in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

In Tab. 17 ist die ermittelte Dauer der Adaptionsphase für die einzelnen Ansätze dargestellt.

Tab. 17: Ermittelte Dauer der Adaptionsphasen

Ca-Lactat Konz.	Dauer der Adaptionsphase [min]	
0 %	a) 444	b) 232
0,5 %	a) 470 d) 466	b) 590 c) 620
1 %	a) 650	b) 652

Tendenziell ist durch eine steigende Ca-Lactat-Zugabe eine Verlängerung der Adaptionszeit zu erkennen. Diese ist bei Betrachtung der Proben mit 1 % Ca-Lactat-Zusatz am deutlichsten zu erkennen.

Bei den Ansätzen mit 0,5 % Ca-Lactat ist keine eindeutige Tendenz bezüglich der Dauer der Adaptionsphase zu erkennen. Die Ansätze 0,5 %_b und 0,5 %_c zeigen im Vergleich zu den Standardansätzen (0 % Ca-Lactat) eine Verlängerung der Adaptionsphase von 146 bis 388 min (Tab. 17). Die Ansätze 0,5 %_b und 0,5 %_c liegen jedoch mit ihren pH-Werten zu Beginn der Fermentation um 0,05 ... 0,06 pH-Einheiten niedriger als die Ansätze ohne Zusatz von Ca-Lactat, d.h. hier scheint der Zusatz von Ca-Lactat die zugesetzten Starterkulturen zunächst am Stoffwechsel zu behindern.

Die Ansätze 0,5 %_a und 0,5 %_d zeigen ein anderes Verhalten in der Adaptionsphase auf. Hier ist die Dauer der Adaptionsphase nicht deutlich länger als bei den Ansätzen ohne Zugabe von Ca-Lactat (bis auf Ansatz 0%_b), jedoch um 120 ... 150 min kürzer als bei den Ansätzen 0,5%_b und 0,5%_c. Der pH-Wert zu Beginn der Fermentation liegt bei 0,5%_a und 0,5%_d jedoch mit 5,46 und 5,47 niedriger als bei den 0 % Ansätzen mit 5,56 und 5,57. Das hat entsprechend zur Folge, dass die Ansätze 0,5 %_a und 0,5 %_d kürzere Fermentationszeiten haben als 0,5 %_b und 0,5 %_c und als die Ansätze mit 0 % und 1 % Ca-Lactat-Zugabe. Dies ist jedoch hauptsächlich durch den niedrigeren pH-Wert zu Beginn der Fermentation bei den Ansätzen 0,5 %_a und 0,5 %_d verursacht. Die großen Unterschiede in der Dauer der Adaptionsphasen bei 0,5 % Ca-Lactat werden offenbar durch eine Pufferwirkung verursacht.

6.4.1.4. Säuerungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die Säuerungsgeschwindigkeit in der kontinuierlichen Säuerungsphase ist bei allen Ansätzen ähnlich. Das Verlassen der Adaptionsphase und damit die Säuerungsgeschwindigkeit zu

Beginn der Säuerungsphase ist von Ansatz zu Ansatz unterschiedlich und scheint keiner Gesetzmäßigkeit zu folgen (Abb. 66).

6.4.2. Verlustfaktor im Timesweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die folgende Abb. 68 zeigt den Verlauf der Verlustfaktoren bei der Fermentation von Schweinefleischbrät mit unterschiedlichen Ca-Lactat-Gehalten im Timesweep.

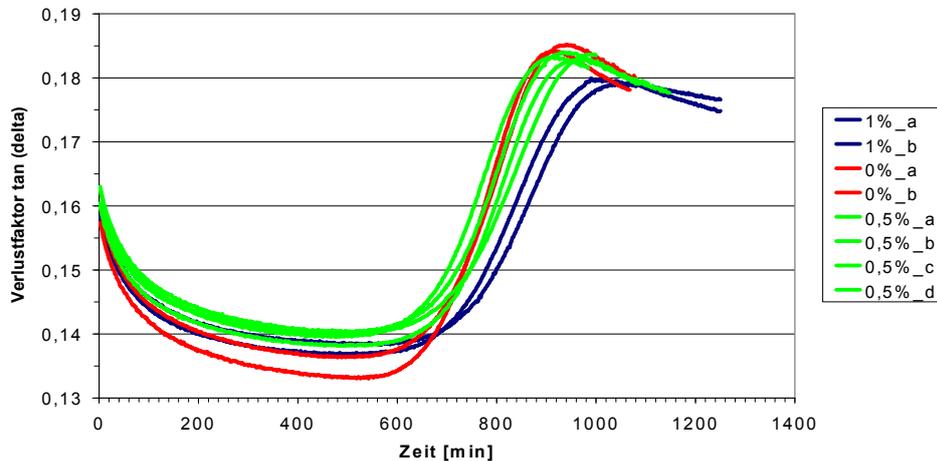


Abb. 68: $\tan \delta$ im Timesweep der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Es sind keine deutlichen Unterschiede zwischen den Leveln der Verlustfaktoren in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt zu erkennen und es liegen im lvB für alle Ansätze dominante Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$ ist. Die prinzipiellen Verläufe der Verlustfaktoren $\tan \delta$ im Timesweep der Fermentation sind denen aus Kap. 6.2. und 6.3. ähnlich.

6.4.3. Speichermodul im Timesweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die Abb. 69 zeigt den Verlauf der Speichermodule G' bei der Fermentation von Schweinefleischbrät mit unterschiedlichen Ca-Lactat-Gehalten im Timesweep.

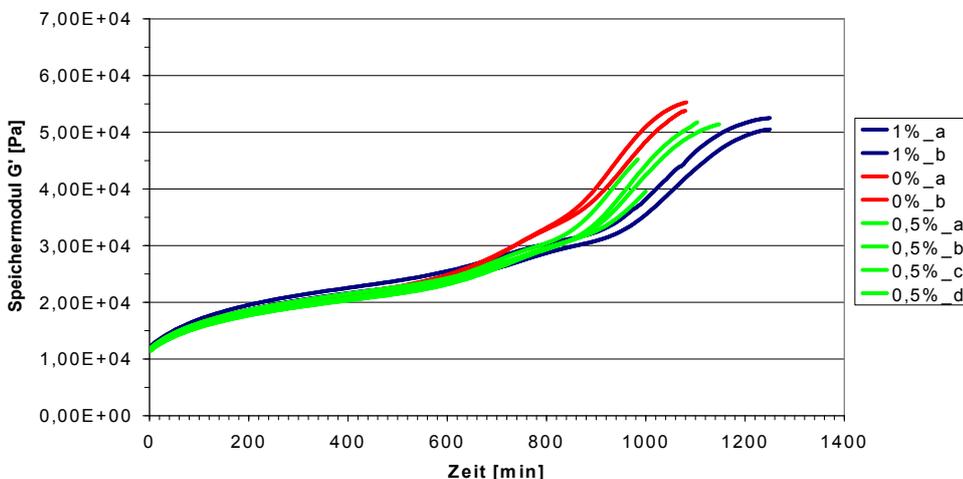


Abb. 69: $G'(t)$ während der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die prinzipiellen Verläufe der Speichermodule G' im Timesweep der Fermentation sind denen aus Kap. 6.2. und 6.3. ähnlich. In folgender Tab. 18 sind absoluten Werte des Speichermoduls G' zum Anfang und zum Ende der Fermentation aufgeführt

Tab. 18: G' zum Anfang und zum Ende der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Probe	G' [Pa] Anfang	MAW	G' [Pa] Ende	MAW
0 % MW	11836	132	54512	755
0,5 % MW	11648	207	46991	4588
1 % MW	11979	295	51513	1000

Der Zusatz von Ca-Lactat beeinflusst die Werte der Speichermodule zu Fermentationsbeginn nicht.

Die Abb. 70 zeigt den Speichermodul G' zu Fermentationsende bei einem pH-Wert von 5,0.

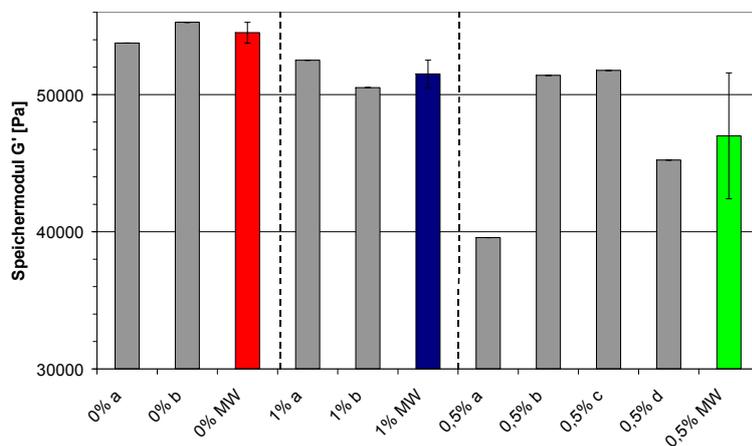


Abb. 70: Speichermodul G' am Ende der Fermentation bei einem pH-Wert von 5,0

Man kann feststellen, dass durch eine Ca-Lactat-Zugabe zum Fleischbrät die G' -Werte zum Fermentationsende gesenkt werden. Ohne die Zugabe von Ca-Lactat werden die höchsten absoluten Werte des Speichermoduls G' erreicht. Durch die Zugabe von 1 % Ca-Lactat werden diese Werte leicht gesenkt. Die Zugabe von nur 0,5 % Ca-Lactat zeigt kein eindeutiges Erscheinungsbild. Die Ansätze 0,5 %_b und 0,5 %_c liegen etwa auf einem Level mit den Werten der Ansätze mit 1 % Ca-Lactat-Zusatz. Durch die Ansätze 0,5 %_a und 0,5 %_d, die weitaus niedrigere Werte des Speichermoduls G' aufweisen als alle anderen Ansätze, wird die entsprechende Spannweite bei 0,5 % Ca-Lactat-Zusatz sehr groß. Der prinzipielle Einfluss von Ca-Lactat wird durch die Proben mit einem Zusatz von 1 % deutlich. Die großen Schwankungen der Proben mit einem Zusatz von 0,5 % Ca-Lactat sind vermutlich auf nicht determinierbare, konzentrationsabhängige Pufferwirkungen zurückzuführen.

Die Fermentationszeit bis zum Erreichen eines pH von 5,0 ist bei einem Zusatz von 1 % Ca-Lactat um bis zu 3,5 h länger als bei dem Ansatz ohne Calciumlactat-Zugabe (Tab. 15 und Abb. 66). Resultat ist jedoch nicht ein höherer Speichermodul G' . Ursache hierfür ist offenbar die hohe Ca-Lactat-Zugabe bzw. die Anwesenheit einer größeren Menge von Ca^{2+} -Ionen die

aus dem Milchsäuresalz durch Dissoziation im Fleischbrät vorliegen. Ca^{2+} -Ionen scheinen die Ausbildung von interpartikulären „Haftzonen“ in diesem Proteingel eher zu behindern. Ca^{2+} -Ionen setzen das Wasserbindungsvermögen und damit auch die Quellfähigkeit der Fleischproteine herab [46-48]. Dies hat zur Folge, dass interpartikuläre Wechselwirkungen geringer werden und geringere Festkörpereigenschaften beim ausgebildeten Partikelgel nach der Fermentation resultieren.

Weiterhin ist zu beobachten, dass die Ansätze 0,5 %_a und 0,5 %_d niedrigere Level des Speichermoduls G' nach der Fermentation bei einem pH-Wert von 5,0 aufweisen als dies bei den Ansätzen 0,5 %_b und 0,5 %_c der Fall ist (Abb. 70). Ursache könnten hier die kürzeren Fermentationszeiten sein, da eine geordnete Netzwerksorganisation und somit höhere Festigkeiten (in Form des elastischen Anteils G' der Probe) identischer Proben eher durch längere Fermentationszeiten verursacht werden.

6.4.4. Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A, B, C und D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Aufgrund des charakteristischen Verlaufes der Parameter der Timesweep-Messungen bei der Fermentation wurde die Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des Speichermoduls G' in die Bereiche A, B, C und D und die Ableitung der jeweiligen Strukturbildungsgeschwindigkeiten analog nach dem in Abb. 33 dargestellten Prinzip durchgeführt und diskutiert.

Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt:

Bereich A: In der folgenden Abb. 71 sind die Strukturbildungsgeschwindigkeiten für den Bereich A in Abhängigkeit von der Ca-Lactat-Konzentration dargestellt.

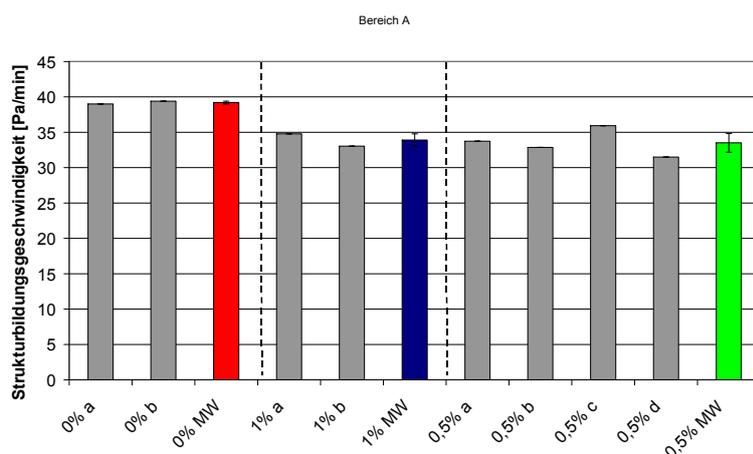


Abb. 71: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Die Zugabe von Ca-Lactat zum Fleischbrät führt zu einer leichten Herabsetzung der Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A des Fermentationsverlaufes in der Adaptionphase. Die stärksten Schwankungen liegen hier wieder bei 0,5 % Ca-Lactat-Zusatz vor. Wieder kann man den prinzipiellen Trend nur bei Vergleich von 1 % mit 0 % erkennen. Die Ansätze

mit 0,5 % Ca-Lactat-Zusatz nehmen durch ihr nicht eindeutiges Verhalten wieder eine Art Zwischenstellung zwischen 0 % und 1 % ein, wobei die Strukturbildungsgeschwindigkeiten der 0,5 % Ansätze näher bei den 1 % Ansätzen als bei den 0 % Ansätzen liegen.

Bereich B: In der folgenden Abb. 72 sind die Strukturbildungsgeschwindigkeiten in der Adaptionphase des Bereiches B dargestellt.

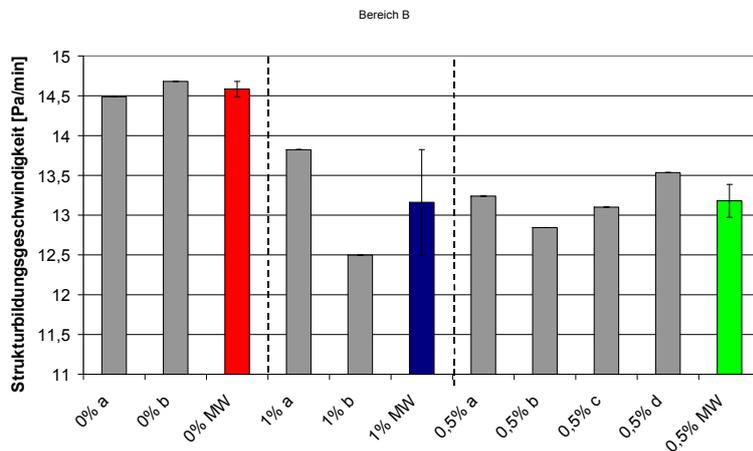


Abb. 72: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich B in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Auch hier ist die Tendenz zu beobachten, dass die Zugabe von Ca-Lactat eine geringere Strukturbildungsgeschwindigkeit zur Folge hat.

Durch das Ca-Lactat werden offenbar die Löse- und Quellvorgänge der Fleischproteine, d. h. die Immobilisierung des Wassers durch den Einsalzeffekt behindert bzw. vermindert. Das dreidimensionale Proteinnetzwerk, welches durch Einsalzeffekt-bedingte Quell- und Lösevorgänge gebildet wird, kann sich aufgrund der Ca-Lactat-Zugabe nicht in dem Maße ausbilden, wie es ohne Ca-Lactat Zugabe der Fall ist. Ca^{2+} -Ionen könnten Interaktionen mit den Carboxylionen zweier Proteinfäden eingehen, diese näher zusammenlagern und somit die durch den Einsalzeffekt bedingte Auffaltung durch Immobilisierung von Wasser im Netzwerk verhindern bzw. abschwächen. Dies könnte dann zu einer Abschwächung bzw. Verminderung auch interpartikulärer Wechselwirkungen führen. Die Zugabe von Ca-Lactat setzt das Wasserbindungsvermögen, in diesem Falle also das Quellvermögen, herab. Dies ist insbesondere durch die höhere Konzentration an Ca^{2+} -Ionen bedingt. Die Herabsetzung des Wasserbindungsvermögens durch zweiwertige Kationen wurde auch schon von Hamm festgestellt [46].

In Tab. 19 sind die Mittelwerte der Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt dargestellt.

Tab. 19: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Probe	v_{Str} [Pa/min]		v_{Str} [Pa/min]	
	Bereich A	MAW	Bereich B	MAW
0 % MW	39,20	0,20	14,58	0,10
0,5 % MW	33,51	1,33	13,18	0,21
1 % MW	33,90	0,87	13,16	0,66

Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt:

Tab. 20 zeigt die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D in der Säuerungsphase der Fermentation. Des Weiteren sind dort die dazugehörigen pH-Bereiche für die Bereiche C und D der jeweiligen Proben dargestellt.

Tab. 20: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt und die dazugehörigen pH-Bereiche

Probe	Bereich C			Bereich D		
	v_{Str} [Pa/min]	MAW	pH	v_{Str} [Pa/min]	MAW	pH
0 % a	42,51		5,48-5,2	96,10		5,2-5,03
0 % b	48,16		5,42-5,2	105,65		5,2-5,05
0 % MW	45,34	2,83		100,88	4,77	
1 % a	23,26		5,54-5,29	77,53		5,29-5,08
1 % b	24,26		5,53-5,25	76,29		5,25-5,07
1 % MW	23,76	0,50		76,91	0,62	
0,5 % a	28,00		5,41-5,07	74,25		5,06-5,0
0,5 % b	31,15		5,52-5,27	91,36		5,26-5,09
0,5 % c	32,69		5,52-5,25	100,45		5,24-5,06
0,5 % d	33,02		5,41-5,13	99,62		5,12-5,0
0,5 % MW	31,21	1,64		91,42	8,61	

Die folgende Abb. 73 zeigt die Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.

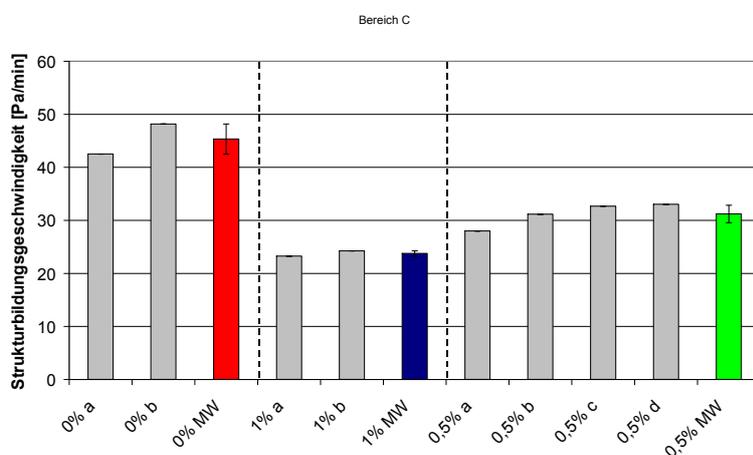


Abb. 73: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Bereich C: Hier beginnt die Ausbildung des schnittfesten Partikelgels durch Säuredenaturation der Fleischproteine. Die Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C sind höher als in den Bereichen A und B. Abb. 73 zeigt deutliche Unterschiede aller Varianten zueinander. Mit steigender Konzentration an Ca-Lactat in den Proben nehmen die jeweiligen Strukturbildungsgeschwindigkeiten in diesem Bereich ab. Die Verknüpfung/ Verschlaufung/ Verhakung der fadenförmigen Proteinmoleküle durch einsetzende Säuredenaturation wird durch die steigende Zugabe von Ca-Lactat behindert. Ursache hierfür könnte der schwächere Quellungsstatus der Ca-Lactat enthaltenen Proben in Bereich A und B sein (Abb. 71 und Abb. 72). Zum Ende von Bereich C beim Übergang in den Bereich D ist die Ausbildung des

schnitffesten Partikelgels weitestgehend abgeschlossen. Die folgende Tab. 21 enthält die pH-Werte für alle Proben beim Übergang von Bereich C zu D.

Tab. 21: pH-Werte beim Übergang von Bereich C zu D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Ca-Lactat Konz.	pH	
0 %	a) 5,20	b) 5,20
0,5 %	a) 5,07 d) 5,13	b) 5,27 c) 5,25
1 %	a) 5,29	b) 5,25

Diese Werte könnten die pH-Werte für eine weitgehend abgeschlossene Gelbildung sein. Die Zugabe von Ca-Lactat führt tendenziell zu einer leichten Verschiebung des „Gelbildungspunktes“ zu höheren pH-Werten hin. Dabei besitzen Proben mit 0,5 % Ca-Lactat-Zusatz ein sehr großes Ereignisfeld, da es bei geringerer Ca-Lactat-Zugabe zu nicht genau determinierbaren Interaktionen mit anderen Zusatzstoffen, wie z.B. Ascorbinsäure oder Natriumacetat, kommen könnte.

Bereich D: In der folgenden Abb. 74 sind die Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt dargestellt.

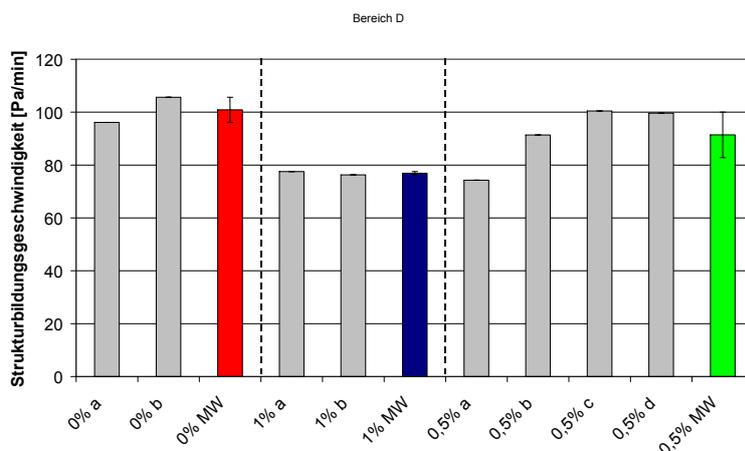


Abb. 74: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

Auch in Bereich D bewirkt eine Ca-Lactat-Zugabe eine Verringerung der Strukturbildungsgeschwindigkeit. Der Unterschied von 0 % zu 1 % ist hier am stärksten ausgeprägt. Die Unterschiede von 0 % zu 0,5 % sind allerdings nicht deutlich ausgeprägt, da die Ansätze 0,5 %_b und 0,5 %_c durchaus hohe Strukturbildungsgeschwindigkeiten aufweisen. Durch den Ansatz 0,5 %_a (sehr geringe Strukturbildungsgeschwindigkeit im Vergleich zu den anderen Ansätzen b, c, d) ist der Unterschied zu den Proben mit 1 % Ca-Lactat-Zugabe nur sehr gering. Auch hier wird das sehr große Ereignisfeld der Ansätze mit 0,5 % Ca-Lactat-Zugabe im Wesentlichen durch 0,5 %_a verursacht. Die Ansätze mit einem Zusatz von 0,5 % Ca-Lactat nehmen eine Art Zwischenstellung ein.

Die Zugabe von Ca-Lactat (Abb. 74) scheint die durch den pH-Wert-Abfall bedingte Proteindenaturierung und damit Verknüpfung/ Verhakung/ Verschlaufung der fadenförmigen Pro-

teine bzw. der myofibrillären Proteine zu behindern und nach einem anderen Strukturierungsmechanismus ablaufen zu lassen. Dies ist am deutlichsten bei beiden Ansätzen mit 1 % Ca-Lactat-Zusatz gegenüber den Ansätzen ohne Zusatz von Ca-Lactat zu erkennen.

Die Ansätze mit 0,5 % Ca-Lactat-Zusatz zeigen weniger deutliche Trends und weisen ein sehr großes Ereignisfeld des komplexen Systems Fleisch auf. Bei niedrigeren Konzentrationen wie 0,5 % ist der offenbar störende Effekt des Ca-Lactats auf ablaufende Strukturierungsvorgänge sehr indifferent ausgeprägt.

Offenbar sind die zugeführten Ca^{2+} -Ionen störender Hauptfaktor bezüglich ablaufender Strukturierungen.

6.4.5. Amplitudensweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

6.4.5.1. Amplitudensweep-Messungen vor der Fermentation (Ca-Lactat)

Die Abb. 129 im Anhang zeigt den Verlauf $\tan \delta (\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Die Verläufe der Verlustfaktorkurven unterscheiden sich vor der Fermentation sowohl im als auch außerhalb des lvB nicht deutlich voneinander. Alle Ansätze besitzen vor der Fermentation außerhalb des lvB Fließeigenschaften, da bei allen Proben bei Deformationen $\gamma > 0,3$ der $\tan \delta > 1$ ist.

Die Abb. 130 im Anhang zeigt den Verlauf der $G' (\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Es zeigen sich keine deutlichen Einflüsse der Ca-Lactat-Konzentration auf den Verlauf des Speichermoduls im Amplitudensweep vor der Fermentation.

Die Abb. 131 im Anhang zeigt den Verlauf $G'' (\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Es zeigt sich für alle Ansätze folgendes typisches Erscheinungsbild:

Im lvB liegt nahezu keine Änderung des Verlustmoduls in Abhängigkeit von der Deformation vor. Ab einer Deformation von 0,008 nehmen die Verlustmodule zu und bilden einen charakteristischen Peak aus (G''_{\max} bei $\gamma \approx 0,03$). Dieser ist offenbar nicht von der Ca-Lactat Konzentration abhängig, d.h. die Größe des Peaks folgt keiner Gesetzmäßigkeit. Es liegt eine Struktur in der Struktur vor. Daher muss vor dem endgültigen Zusammenbrechen der internen Struktur ein erhöhter Anteil an Deformationsenergie als „Strukturveränderungsarbeit“ verbraucht werden. Der Verlustmodul G'' entspricht der verlorenen, dissipierten Deformationsenergie. Das Verhalten der Bräte im Amplitudensweep vor der Fermentation ist prinzipiell mit dem bereits in den Kap. 6.2.7. und 6.3.5.1. diskutierten Verhalten vergleichbar.

6.4.5.2. Amplitudensweep nach der Fermentation (Ca-Lactat)

Die Abb. 132 im Anhang zeigt den Verlauf $G' (\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Die höchsten Level G' im lvB liegen bei den Proben ohne Zusatz von Ca-Lactat vor. Beim Verlassen des lvB unterscheiden sich die Proben nicht mehr deutlich voneinander.

Die Abb. 133 im Anhang zeigt den Verlauf $G'' (\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.

Das höchste Level G'' im lvB liegt bei den Proben ohne Zusatz von Ca-Lactat vor. Mit einer Ca-Lactat-Zugabe sinken die entsprechenden Level, wobei die Ansätze mit 0,5 % Ca-Lactat das größte Ereignisfeld aufweisen und sich nicht deutlich von den Ansätzen mit 1 % Ca-Lactat unterscheiden. Beim Verlassen des lvB unterscheiden sich die Proben nicht mehr deutlich voneinander. Der charakteristische Peak, der bei den mit Zutaten versetzten Bräten vor der Fermentation immer auftritt, ist nach der Fermentation analog Kap. 6.3.5.2. nicht mehr vorhanden. Das in den Hohlräumen immobilisierte Wasser ist nun fester eingeschlossen und nicht mehr über Wasserstoffbrückenbindungen permanenter Dipole als so genannte Schmierschicht und Abstandhalter zwischen den Proteinmolekülen immobilisiert. Es kommt zu einem Sprödbbruch großer Aggregate, d. h. zu einem Bruch an der Sollbruchstelle, die dann ohne Zusammenhang sind. Außerhalb des lvB kommt es zu einem generellen Strukturbruch ($0,01 < \gamma < 0,1$).

Die Abb. 134 im Anhang zeigt den Verlauf $\tan \delta (\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Die Verlustfaktoren unterscheiden sich über den gesamten Messbereich in Abhängigkeit von der Ca-Lactat-Konzentration nicht deutlich voneinander. Bei allen Ansätzen liegen über den gesamten Messbereich dominant Festkörpereigenschaften vor. Auch bei Deformationen außerhalb des lvB bleibt die Dominanz der elastischen Eigenschaften, d. h. der Festkörpereigenschaften, erhalten, da $\tan \delta < 1$ ist. Bei allen Ansätzen hat sich durch die Fermentation – unabhängig von der Calciumlactat-Konzentration – ein Partikelgel ausgebildet. Das diskutierte Verhalten der Bräte im Amplitudensweep nach der Fermentation ist mit dem Verhalten der Standardansätze aus Kap. 6.3.5.2. vergleichbar.

6.4.6. Frequenzsweep in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

6.4.6.1. Frequenzsweep-Messung vor der Fermentation (Ca-Lactat)

Die Abb. 135 im Anhang zeigt den Verlauf $G' (f)$ und $G'' (f)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Betrachtet man die Verlustmodule vor der Fermentation) so kann man feststellen, dass vor der Fermentation bei Frequenzen $f < 0,3$ Hz der Verlustmodul zunimmt. Dies ist analog zu den in Kap. 6.2.8. und 6.3.6.1. diskutierten Strukturierungsmechanismus aufgrund des Einsalzeffektes zurückzuführen. Bei den Bräten vor der Fermentation liegen im lvB dominante Festkörpereigenschaften vor, da $G' > G''$ ist. Die lineare Abnahme des Speichermoduls sowie die „Schüsselbildung“ der G'' -Kurve im doppelt-log. Diagramm ist typisch für ein disperses Partikelsystem. Vor der Fermentation gibt es keinen Einfluss der Ca-Lactat-Konzentration auf die Parameter des Frequenzsweeps.

6.4.6.2. Frequenzsweep-Messung nach der Fermentation (Ca-Lactat)

Die Abb. 136 im Anhang zeigt den Verlauf $G' (f)$ und $G'' (f)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt. Es liegt bei allen Proben nach der Fermentation im lvB eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $G' > G''$ ist. Man kann feststellen, dass die Ansätze ohne Ca-Lactat die höchsten Level G' aufweisen. Mit zunehmender Ca-Lactat-Konzentration nehmen die Level ab, wobei sich die Ansätze mit 1 % Ca-Lactat nicht sehr

deutlich von den Ansätzen mit 0,5 % Ca-Lactat unterscheiden. Es haben sich Partikelgele ausgebildet. Nach der Fermentation nehmen die Verlustmodule nicht mehr bei Frequenzen $f < 0,3$ Hz zu (Abb. 135 im Anhang), sondern ab. Die sog. „Schüssel“ der Verlustmodulkurve verschiebt sich also in Richtung kleinerer Frequenzen im Frequenzband und der Speichermodul steigt mit zunehmender Frequenz im doppelt-log. Maßstab an. Aufgrund dieses charakteristischen Verhaltens im Frequenzsweep können die Bräte nach der Fermentation als disperse Systeme auf Partikelbasis charakterisiert werden. Sie werden daher als schnittfeste Partikelgele bezeichnet. Es liegen analoge Strukturierungsmechanismen wie bereits in Kap. 6.2.8. und 6.3.6.2. diskutiert vor. Der Vernetzungsgrad der Proteinmoleküle nimmt zu und die molekulare Flexibilität nimmt ab.

Der bereits in den Kapiteln 6.2.8. und 6.3.6.2. diskutierte Strukturierungsmechanismus der Standardansätze wird wiedergefunden.

6.4.7. Zusammenfassende Wertung Ca-Lactat-Untersuchungen

Bei der Fermentation bilden sich – unabhängig von der Ca-Lactat-Konzentration – schnittfeste Partikelgele aus. Es wurden die Strukturierungszustände der Proben vor und nach der Fermentation mittels Amplituden- und Frequenzsweepmessungen charakterisiert. Der prinzipielle Strukturierungszustand der Proben vor und nach der Fermentation wird bis auf die Level der Parameter der Oszillationsmessungen nicht durch Ca-Lactat beeinflusst. Bei allen Proben werden vor und nach der Fermentation Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis detektiert. Demnach bildeten sich aus Partikel-Systemen durch Fermentation Partikel-Gel-Systeme aus. Das zugesetzte Ca-Lactat beeinflusst die gesamte Fermentationsdauer bis zum Erreichen eines End-pH-Wertes von 5,0 vor allem durch die Verlängerung der Adaptionphase. Die Ansätze 0,5 %_a und 0,5 %_d stellen mit deutlich kürzeren Fermentationszeiten bzw. Adaptionphasen (aufgrund niedrigerer pH-Ausgangslevel) das große Ereignisfeld für die Proben mit 0,5 % Ca-Lactat dar. Die Geschwindigkeit des pH-Abfalls in der kontinuierlichen Säuerungsphase wird durch Ca-Lactat nicht beeinflusst. Durch Ca-Lactat werden im Wesentlichen die Strukturbildungsgeschwindigkeiten herabgesetzt. Das hat zur Folge, dass zum Ende des Fermentationsprozesses die Proben mit Ca-Lactat zwar schnittfeste Partikelgele ausbilden, jedoch nicht so hohe Festkörpereigenschaften aufweisen wie die Proben ohne Ca-Lactat.

In der Adaptionphase, d.h. in den Bereichen A und B bewirkt Ca-Lactat eine Herabsetzung der Strukturbildungsgeschwindigkeit. Das bedeutet, dass durch Ca-Lactat die Quellfähigkeit der Fleischproteine herabgesetzt wird. Die Ausbildung interpartikulärer Wechselwirkungen durch den Einsalzeffekt wird somit vermindert bzw. gestört. Trotz kaum unterschiedlicher Säuerungsgeschwindigkeiten in der kontinuierlichen Säuerungsphase der Fermentation ist die Strukturbildungsgeschwindigkeit mit zunehmender Ca-Lactat-Konzentration sowohl in Bereich C (Abb. 73) als auch in Bereich D (Abb. 74) deutlich verringert. Diese geringeren Strukturbildungsgeschwindigkeiten verursachen somit niedrigere Endlevel G' im Vergleich zum Standardansatz.

Die Ansätze mit 0,5 % Ca-Lactat stellen ein großes Ereignisfeld des sehr komplexen Systems Fleischbrät dar. Bei niedrigeren Konzentrationen wie 0,5 % ist der offenbar störende Effekt des Ca-Lactats auf ablaufende Strukturierungsvorgänge sehr indifferent ausgeprägt. Bei einer Zugabe von 1 % Ca-Lactat zum Fleischbrät sind die störenden Effekte hinsichtlich der Strukturbildung sehr deutlich. Offenbar sind die zugeführten Ca^{2+} -Ionen störender Hauptfaktor bezüglich ablaufender Strukturierungen. Eine mögliche Ursache könnten hier Wechselwirkungen der Proteine und des Wassers mit den Ca^{2+} -Ionen sowie Wechselwirkungseffekte mit den Na^+ - und Cl^- -Ionen des Kochsalzes mit den eingebrachten Ca^{2+} -Ionen sein.

7. Strukturbildung Karpfenfermentation

In dieser Versuchsserie wurden die Filets von zweijährigen Karpfen (K2) und dreijährigen Karpfen (K3) hinsichtlich ihrer Strukturbildungscharakteristika bei der Fermentation untersucht.

7.1. Chemisch-physikalische Kennwerte Karpfen

Trockensubstanzgehalt

Die TS-Gehalte zeigt die folgende Tab. 22 zeigt die TS-Gehalte der untersuchten Proben K3 und K2. Die TS-Gehalte der Proben liegen zwischen 24 % und 32 %.

Tab. 22: Trockensubstanzgehalte der untersuchten Karpfenproben

Probe	MW	MAW	Probe	MW	MAW
K3_a	32,67	0,92	K2_a	25,11	0,22
K3_b	29,12	0,77	K2_b	23,85	0,28
K3_c	24,55	0,15	K2_c	26,91	0,28
K3_d	26,46	0,24	K2_d	26,23	0,22
K3_e	24,28	0,16	K2_e	25,31	0,17
MW K3	27,42	3,51	MW K2	25,48	1,17
MW K3/K2	26,45	2,67			

Zwischen den Einzelproben K3 und K2 liegt ein großes Ereignisfeld vor, welches durch natürliche Rohstoffschwankungen verursacht wird. Aufgrund der geringen Probenanzahl können keine prinzipiellen Unterschiede festgestellt werden.

Die Proben K3_a, K3_b, K2_c, K2_d und K2_e waren beim Vermischen mit den Zutaten leicht fettig. Diese Proben hatten mitunter höhere TS-Gehalte, was ein Hinweis auf höhere Fettgehalte in diesen Proben sein könnte. Durchgeführte Fettgehaltsanalysen (Ultra X) zeigten keine reproduzierbaren Ergebnisse.

pH-Werte der Rohbräte

Die folgende Tab. 23 zeigt die pH-Werte der Proben aus K3 und K2.

Tab. 23: pH-Werte der Rohbräte aus K3 und K2

Probe	MW	MAW bzw. Stabw	Probe	MW	MAW bzw. Stabw
K3_a	6,24	0,00	K2_a	6,38	0,01
K3_b	6,17	0,01	K2_b	6,33	0,01
K3_c	6,19	0,00	K2_c	6,31	0,00
K3_d	6,41	0,00	K2_d	6,30	0,01
K3_e	6,38	0,01	K2_e	6,43	0,00
MW K3	6,28	0,10	MW K2	6,35	0,05
MW K3/K2	6,31	0,09			

Die pH-Werte der Rohbräte aus K3 und K2 sind recht ähnlich. Unterschiede können natürlichen Schwankungen zugeordnet werden.

7.2. Charakterisierung des pH-Wert-Verlaufes von K3 und K2

In Analogie zu den Fermentationen von Rind- und Schweinefleisch wird zunächst der pH-Wert-Verlauf charakterisiert.

7.2.1. Fermentationszeiten bis pH 5 bei Karpfen

In Abb. 75 ist der pH-Verlauf der Proben K2 und K3 während der Fermentation dargestellt.

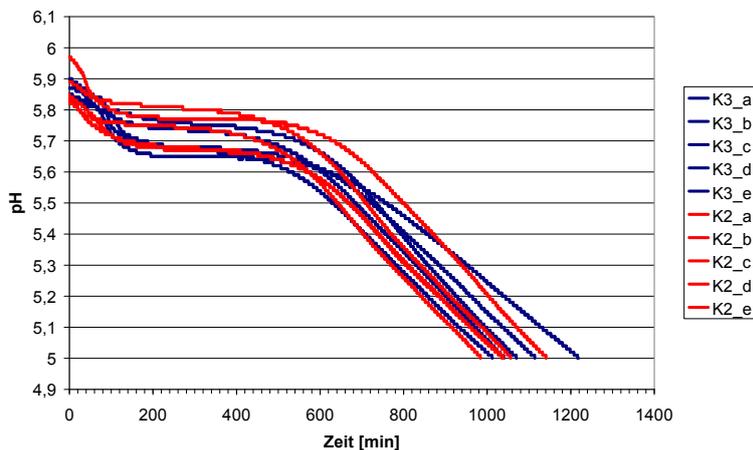


Abb. 75: pH-Verlauf während der Fermentation der Proben K2 und K3

Die Abb. 76 zeigt die Fermentationszeiten bis zu einem pH-Wert von 5,0 für die Proben K2 und K3.

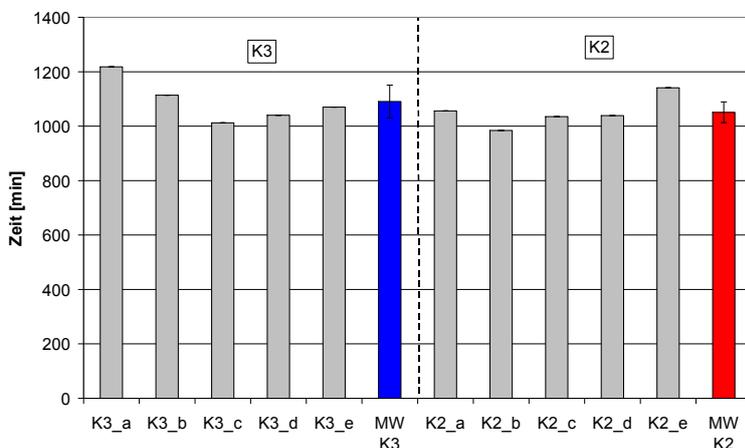


Abb. 76: Dauer der Fermentation der Proben K3 und K2 bis pH 5,0

Man kann erkennen, dass sich die prinzipiellen pH-Wert-Verläufe sowohl innerhalb der Gruppen als auch zwischen den Gruppen kaum unterscheiden. Auch die Säuerungsgeschwindigkeiten in der kontinuierlichen Säuerungsphase sind sehr ähnlich, d. h. es gibt keine deutlichen Unterschiede zwischen K3 und K2. Die Fermentationszeiten bis zu einem pH-Wert von 5,0 (Abb. 76) sind auch relativ stark schwankend innerhalb der einzelnen Gruppen K2 und K3. Große Rohstoffschwankungen liegen vor, da bei jeder Untersuchung ein anderes Individuum präpariert werden musste. Damit können keine deutlichen Unterschiede in den

Fermentationszeiten zwischen K3 und K2 ausgemacht werden, da sie im Mittel aufgrund der großen Schwankungen ähnlich sind (Abb. 76).

7.2.2. Startlevel der pH-Werte Karpfen

Auch die pH-Werte zu Fermentationsbeginn sind relativ stark schwankend und es sind keine deutlichen Unterschiede zwischen K3 (5,83 bis 5,9) und K2 (5,82 bis 5,97) auszumachen (Abb. 77). Die Unterschiede bzw. das große Ereignisfeld in den pH-Werten innerhalb der Gruppen K2 bzw. K3 ist auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen.

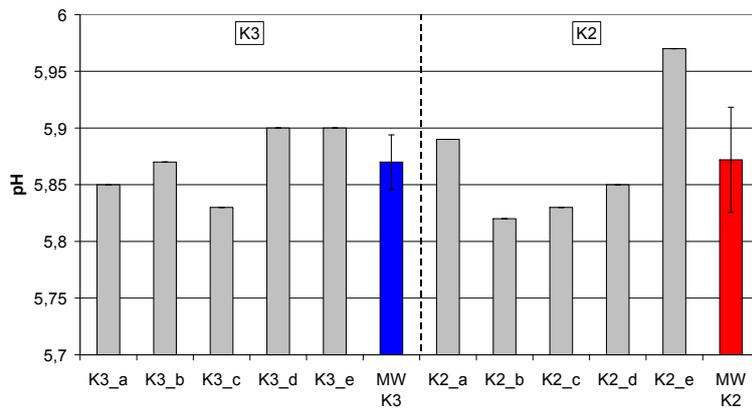


Abb. 77 : pH-Werte zu Fermentationsbeginn der Proben K3 und K2

7.2.3. Adaptionphasen Karpfen

Die Abb. 78 zeigt die Dauer der Adaptionphasen für die Proben aus K3 und K2.

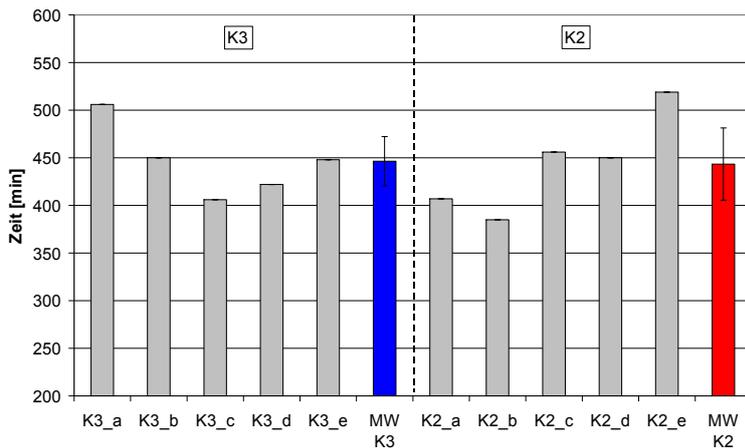


Abb. 78: Adaptionzeiten bei der Fermentation der Proben K3 und K2

Man kann erkennen, dass zwischen K3 und K2 keine eindeutigen Unterschiede auszumachen sind. Die Schwankungen in den Adaptionzeiten innerhalb der Gruppen K3 bzw. K2 sind im Wesentlichen auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückzuführen.

7.3. Speichermodulverlauf im Timesweep von K3 und K2

In Abb. 79 ist der Verlauf der Speichermodule der Proben K3 und K2 während der Fermentation dargestellt.

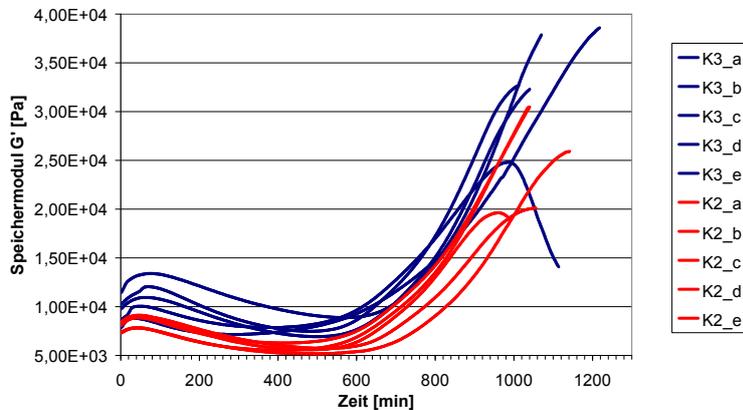


Abb. 79: $G'(t)$ während der Fermentation der Proben K3 und K2 bis zu einem pH-Wert von 5,0

Vom prinzipiellen Kurvenverlauf unterscheiden sich die Proben nicht deutlich voneinander. Innerhalb der Gruppen K3 und K2 sind die Unterschiede der Level auf die natürlichen Rohstoffschwankungen zurückzuführen.

Die Abb. 80 zeigt die Werte der Speichermodule G' der Proben K3 und K2 zu Fermentationsbeginn.

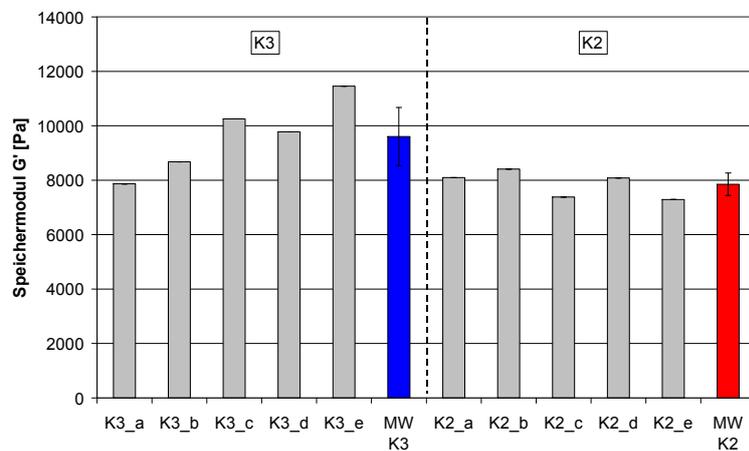


Abb. 80: Speichermodul G' zu Beginn der Fermentation der Proben K3 und K2

Die Werte der Speichermodule unterscheiden sich zu Beginn der Fermentation nicht wesentlich. Es kann eine leichte Tendenz zu niedrigeren Leveln G' bei den Proben K2 ausgemacht werden. Diese sind jedoch nicht sehr deutlich.

Die Abb. 81 zeigt die Level der Speichermodule für die Proben K3 und K2 zu Fermentationsende bei einem pH-Wert von 5,0.

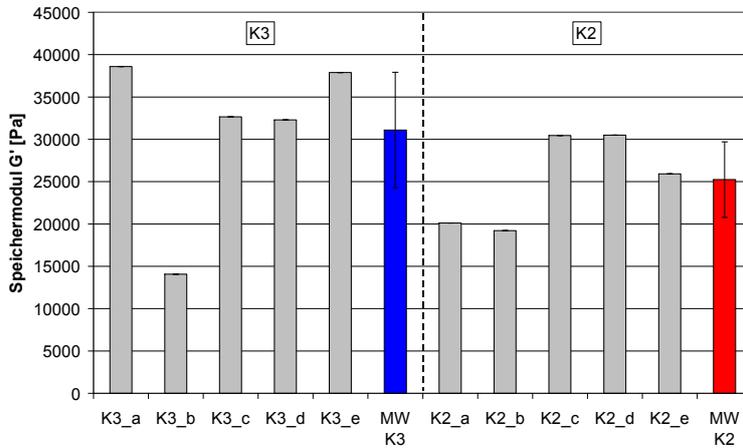


Abb. 81: Speichermodul G' zu Fermentationsende der Proben K3 und K2

Innerhalb der Gruppen gibt es sehr große Unterschiede in den jeweiligen Leveln. Diese müssen auf natürliche Rohstoffschwankungen zurückgeführt werden, da jede Untersuchung jeweils mit einer anderen Stichprobe durchgeführt wurde und somit die Proben nicht aus einer Grundgesamtheit stammen. Es sind auch hier keine deutlichen Unterschiede zwischen K2 und K3 erkennbar.

7.4. Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ im Timesweep von K3 und K2

Die folgende Abb. 82 zeigt die Verläufe der Verlustfaktoren $\tan \delta$ im Timesweep der Fermentation der Proben K3 und K2.

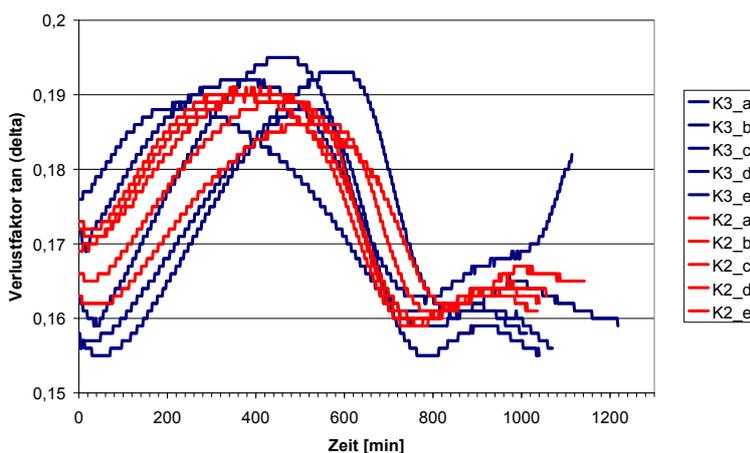


Abb. 82: $\tan \delta$ (t) während der Fermentation der Proben K3 und K2 bis zu einem pH-Wert von 5,0

Der prinzipielle Verlauf der Verlustfaktorkurven ist ähnlich. Für alle untersuchten Proben liegt während der Fermentation eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$. Es liegen jedoch innerhalb der Gruppen K3 und K2 große Schwankungen vor.

Der Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ während der Fermentation ist unterschiedlich zu den prinzipiellen Verläufen bei der Fermentation von Schweinefleisch und Rindfleisch.

7.5. Einteilung des Fermentationsverlaufes von Karpfen anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$

In der folgenden Abb. 83 und der Abb. 84 ist die prinzipielle Einteilung des Fermentationsverlaufes von K3 und K2 anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ als scharfes Trennkriterium dargestellt.

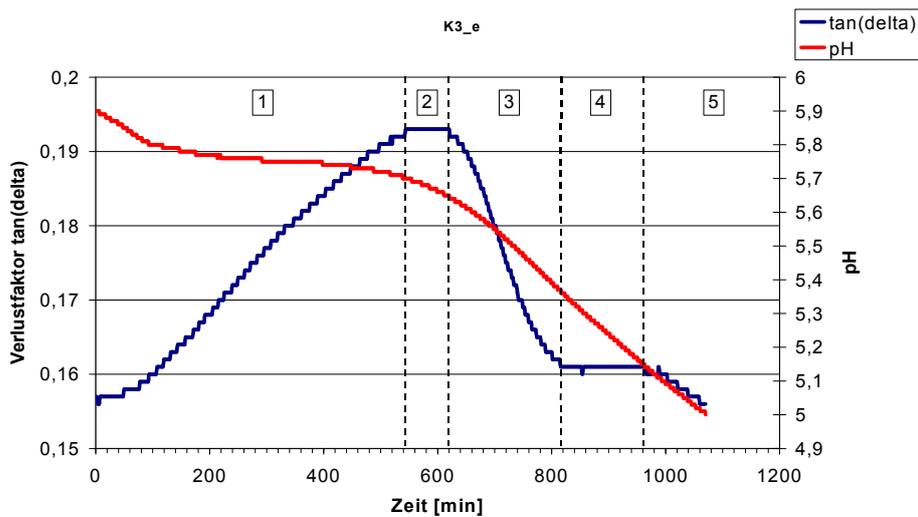


Abb. 83: $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation im Timesweep der Probe K3_e und prinzipielle Einteilung des Fermentationsprozesses in verschiedene Abschnitte anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$

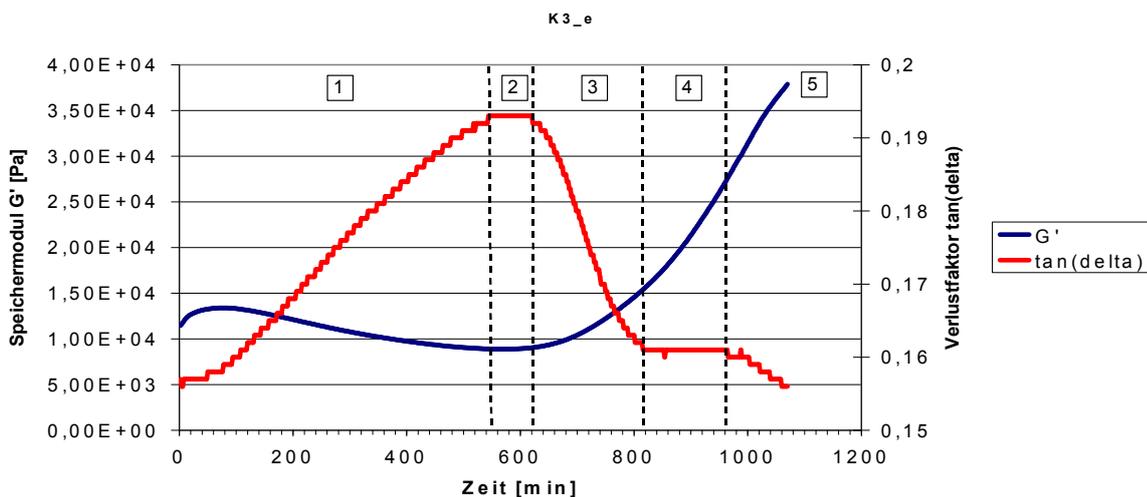


Abb. 84: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation im Timesweep der Probe K3_e und prinzipielle Einteilung des Fermentationsprozesses in verschiedene Abschnitte anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$

Ablaufende Strukturierungen bei der Fermentation von Filets aus Karpfen – unabhängig ob K2 oder K3 – können anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ prinzipiell in 5 Abschnitte eingeteilt werden.

Im **1. Abschnitt** (Dauer 375 ± 109 min; 36 ± 11 % der Gesamtprozesszeit) ist zunächst wesentlich, dass der Verlustfaktor $\tan \delta$ hier in diesem Bereich ansteigt (um $13,5 \pm 4,9$ %). Es gibt auch Proben wo $\tan \delta$ zunächst innerhalb eines kurzen Zeitraumes in Abschnitt 1 zunächst abfällt um dann wieder anzusteigen (Abb. 82). Der pH-Wert nimmt in diesem Abschnitt zunächst stärker bis auf einen konstanten Level (von $5,87 \pm 0,05$ auf $5,7 \pm 0,04$), der Adaptionsphase, ab. Der recht starke Abfall des pH-Wertes zu Fermentationsbeginn hat seine Ursachen vermutlich in einer Pufferwirkung zwischen den Muskelproteinen und den zugesetzten Genusssäuresalzen wie Calciumlactat und Natriumacetat und ist somit offenbar nicht mikrobiologischen Ursprungs. Ein ähnlicher pH-Abfall zu Beginn der Fermentation konnte auch bei der Fermentation von Schweinefleischbräten mit den gleichen technologischen Zutaten beobachtet werden (Abb. 137 im Anhang). Dieser recht starke pH-Abfall zu Fermentationsbeginn bleibt bei der Fermentation von Schweinefleischbräten bei gleichzeitiger Zugabe von Ascorbinsäure aus, was ein weiterer Hinweis auf eine Art Pufferwirkung ist, da bei den Karpfenbräten standardmäßig keine Ascorbinsäure zugegeben wurde. Wie schon erwähnt nimmt der Verlustfaktor $\tan \delta$ in dieser Phase zu, d.h. die Probenmatrix wird viskoser. Dies kann wie folgt erklärt werden:

Bei Salzzugabe findet auch beim Karpfenfilethomogenat ein Einsalzeffekt statt, d. h. die myofibrillären Proteine gehen in Lösung und quellen verstärkt durch Protein-Salzionen-Wasser-Wechselwirkung. Es kann angenommen werden, dass Quellungs- und Lösungsvorgänge zeitlich nebeneinander ablaufen. Bei den hier untersuchten Karpfenfilethomogenaten kann es nun sein, dass verstärkt im 1. Abschnitt Lösungsvorgänge der Muskelproteine stattfinden, d. h. es sammeln sich vermehrt myofibrilläre Proteine in der wässrigen Phase des Systems an. Dies hat dann offenbar die Zunahme der viskosen Eigenschaften und auch den Abfall des Speichermoduls G' in Abschnitt 1 zur Folge (Abb. 84). Der 1. Abschnitt nimmt ca. 36 ± 11 % der gesamten Fermentationszeit bis zu einem pH-Wert von 5,0 ein.

Im **2. Abschnitt** (Dauer: 106 ± 28 min; 10 ± 2 % der Gesamtprozesszeit) nimmt der Verlustfaktor $\tan \delta$ ein Maximum an und ändert sich nicht mehr wesentlich. In diesem Abschnitt ist auch die Adaptionsphase und teilweise auch schon der Säuerungsbeginn bzw. die kontinuierliche Säuerungsphase lokalisiert. Der Speichermodul G' nimmt ein Minimum an und der Verlustfaktor $\tan \delta$ ein Maximum. Dies ist ein Hinweis auf abgeschlossene Strukturierung aufgrund des Einsalzeffektes, der offenbar im Wesentlichen durch Lösungsvorgänge dominiert wird, die jedoch auch zeitlich überlagert mit Quellvorgängen einhergehen.

Im **3. Abschnitt** (Dauer: 278 ± 83 min; 26 ± 6 % der Gesamtprozesszeit) kommt es zur Ausbildung der kontinuierlichen Säuerungsphase aufgrund einsetzender mikrobieller Milchsäureproduktion. In dieser Phase der kontinuierlichen Säuerung kommt es zu einem Abfall des Verlustfaktors $\tan \delta$ und zu einem starken Anstieg des Speichermoduls G' , d. h. die Festkörpereigenschaften nehmen zu und eine Strukturänderung wird angezeigt. Durch den

pH-Abfall kommt es zur Säuredenaturation der myofibrillären Proteine und damit zur Ausbildung eines Partikelgels in diesem Abschnitt.

Im **4. Abschnitt** (Dauer: 160 ± 35 min; 15 ± 3 % der Gesamtprozesszeit) nimmt der Verlustfaktor $\tan \delta$ ein Minimum an und verändert sich in diesem Abschnitt nicht mehr wesentlich, d. h. die Umstrukturierung zu einem viskoelastischen Partikelgelnetzwerk der myofibrillären Proteine ist weitestgehend abgeschlossen. Der pH-Wert fällt weiterhin kontinuierlich ab und der Speichermodul G' nimmt unter fortlaufender kontinuierlicher Säurebildung zu. Der pH-Wert liegt im 4. Abschnitt im Bereich von $5,42 \pm 0,06$ bis $5,2 \pm 0,05$. Das liegt in guter Übereinstimmung mit den in der Literatur angegebenen Gelbildungsbereichen [10, 11, 21, 105, 131-133] und könnte ein Hinweis auf weitestgehend abgeschlossene Gelbildung sein. Das erreichte Minimum des Verlustfaktors $\tan \delta$ in diesem pH-Bereich ist auch ein guter Indiz für das Erreichen des sogenannten Gelbildungsbereiches.

Im **5. Abschnitt** (Dauer: 153 ± 45 min; 14 ± 3 % der Gesamtprozesszeit) ändert sich der Verlustfaktor nicht mehr wesentlich. Je nach Probe sind u. U. leichte Ab- oder Zunahmen zu verzeichnen. Interessanter ist viel mehr, dass der pH-Wert weiter kontinuierlich abfällt und der Speichermodul in diesem Abschnitt weiterhin sehr stark (exponentiell) zunimmt. Bei der Probe K3_b ist ein recht starker Abfall des Speichermoduls G' und ein Anstieg von $\tan \delta$ in diesem Abschnitt (bei einem pH-Wert im Bereich von 5,16) zu finden. Die Ursache für dieses Verhalten könnte ein Messartefakt sein.

7.6. Amplitudensweep von Karpfen

7.6.1. Amplitudensweep der Rohbräte vor der Fermentation

Die Abb. 138 im Anhang zeigt den Verlauf von $G'(\gamma)$ und $G''(\gamma)$ der Rohbräte K3 und K2. Die hergestellten Karpfenfilethomogenate weisen ein sehr großes Ereignisfeld auf. Prinzipiell zeigen alle Proben ähnliches Verhalten im Amplitudensweep. Im lvB liegt eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $G' > G''$ ist.

Die Abb. 139 im Anhang zeigt den Verlauf $\tan \delta(\gamma)$ der Rohbräte K3 und K2. Die Dominanz der Festkörpereigenschaften im lvB wird bestätigt. Wesentliche Unterschiede im lvB der Proben K3 und K2 liegen nicht vor. Beim Verlassen des lvB steigen bei allen Proben die viskosen Eigenschaften und der Verlustfaktor nimmt Werte > 1 an, d.h. die Proben beginnen zu fließen.

7.6.2. Amplitudensweep der Bräte K3 und K2 vor der Fermentation

Die Abb. 140 im Anhang zeigt den Verlauf $G'(\gamma)$ und $G''(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation. Es liegt eine Dominanz der Festkörpereigenschaften im lvB vor, da $G' > G''$. Deutliche Unterschiede zwischen den Proben K3 und K2 können nicht ausgemacht werden.

Die Abb. 141 im Anhang zeigt den Verlauf $G''(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation. Charakteristisch für die Bräte vor der Fermentation ist die Ausbildung eines Peaks bei Deformationen außerhalb des lvB ($\gamma > 0,01$), dessen Ursache auf den Einsalzef-

fekt zurückgeführt werden kann. Bei den Rohbräten tritt dieser Peak nicht auf. Die Ausbildung eines Peaks außerhalb des lvB wurde auch bei den Modellbräten aus Schweinefleisch vor der Fermentation festgestellt und bereits diskutiert (Kap. 6.2.7., 6.3.5.1. und 6.4.5.1.).

Die Abb. 142 (Anhang) zeigt den Verlauf $\tan \delta (\gamma)$ für die Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation. Die Dominanz der Festkörpereigenschaften im lvB wird bestätigt ($\tan \delta < 1$). Beim Verlassen des lvB steigen die Verlustfaktoren auf über 1, d.h. die viskosen Eigenschaften überwiegen bei großen Deformationen außerhalb des lvB. Das bedeutet, dass alle Bräte fließfähig sind. Analoges Verhalten zeigen die Verlustfaktoren $\tan \delta (\gamma)$, $G' (\gamma)$ und $G'' (\gamma)$ der Modellbräte aus Schweinefleisch vor der Fermentation.

7.6.3. Amplitudensweep der Bräte K3 und K2 nach der Fermentation:

Die Abb. 143 im Anhang zeigt den Verlauf von $G' (\gamma)$ und $G'' (\gamma)$ der Proben K3 und K2 nach der Fermentation. Im lvB liegt für alle Proben dominantes Festkörperverhalten vor ($G' > G''$). Der charakteristische Peak des Verlustmoduls G'' vor der Fermentation ist nach der Fermentation nicht mehr zu erkennen. Außerhalb des lvB fällt G' steiler ab als vor der Fermentation. Es kommt zum Bruch der Struktur des Partikelgels.

Die Abb. 144 im Anhang zeigt einen Vergleich von $\tan \delta (\gamma)$ der Proben K3 und K2 vor und nach der Fermentation. Deutliche Unterschiede zwischen den Proben K3 und K2 liegen nicht vor, da die natürlichen Rohstoffschwankungen und damit das Ereignisfeld zu groß sind. Nach der Fermentation liegt bei allen Proben kein fließfähiges Brät mehr vor, da $\tan \delta < 1$ auch bei großen Deformationen außerhalb des lvB, was ein Hinweis auf die Bildung eines Partikelgels ist. Das Verhältnis von viskosen zu elastischen Eigenschaften im lvB ändert sich nach der Fermentation nicht wesentlich und ist ähnlich dem Verhältnis vor der Fermentation. Die gebildeten Strukturen sind analog denen der Schweinefleischfermentation und wurden bereits unter Kap. 6 diskutiert.

7.7. Frequenzsweep von Karpfen

7.7.1. Frequenzsweep-Messungen der Rohbräte K3 und K2

Die Abb. 145 im Anhang zeigt den Verlauf $G' (f)$ und $G'' (f)$ der Rohbräte K3 und K2 ohne Zutaten. Die jeweiligen Verläufe der Speicher- und Verlustmodule indizieren, dass die Rohbräte ein disperses System auf Partikelbasis darstellen. Über das gesamte Frequenzband liegen dominante Festkörpereigenschaften vor.

Die Abb. 85 zeigt exemplarisch einen Vergleich der jeweiligen Verlustfaktoren im Frequenzsweep der Rohbräte aus K3_e und der Bräte mit Zutaten vor der Fermentation (K3_e, vor). Der prinzipielle Verlauf ist bei den anderen untersuchten Proben aus K3 und K2 ähnlich (Abb. 146 im Anhang).

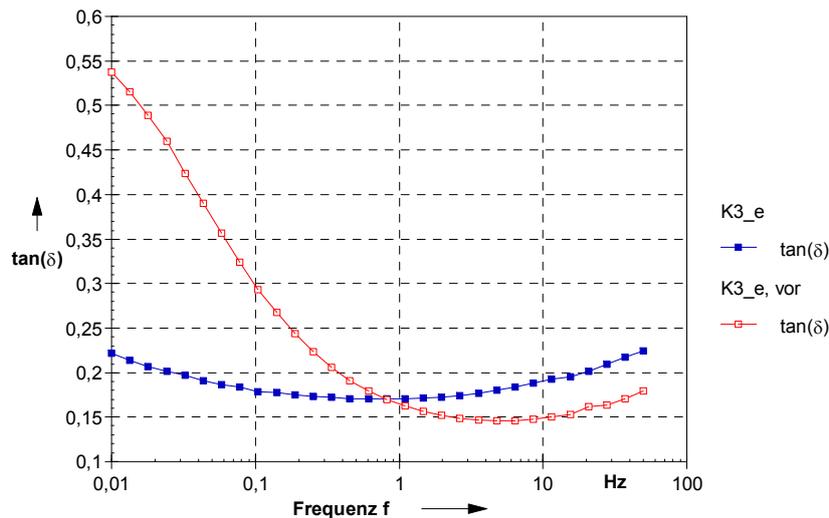


Abb. 85 : Vergleich $\tan \delta (f)$ des Rohbrätes der Probe K3_e und der Probe K3_e vor der Fermentation mit Zutaten im Frequenzsweep

Die Abb. 85 zeigt, dass bei Frequenzen $f > 1$ Hz bei den Proben vor der Fermentation mit Zutaten die jeweiligen Verlustfaktoren jeweils niedriger liegen als bei den Rohbrätproben, die keinerlei Zutaten enthalten. Das heißt, dass die mit Zutaten versetzten Proben vor der Fermentation bei hohen Frequenzen die eingetragene Energie besser speichern können als die jeweiligen Rohbräte (ohne Zutaten). Bei Frequenzen $f < 1$ Hz ist jedoch zu beobachten, dass die Verlustfaktorkurven bei den Bräten vor der Fermentation stark ansteigen, d. h. die eingetragene Energie wird bei den Proben vor der Fermentation bei Frequenzen $f < 1$ Hz in viel stärkerem Maße als bei den Rohbräten dissipiert. Ursache hierfür ist offenbar der Einsalzefekt, der vor allem an den myofibrillären Proteinen wirkt. Die beobachteten Effekte sind ähnlich denen der Schweinefleischfermentation.

Die Abb. 86 zeigt exemplarisch einen Vergleich der Verläufe der Speicher- und Verlustmodule im Frequenzsweep des Rohbrätes sowie des Brätes mit Zutaten vor der Fermentation der Probe K3_e, anhand derer beispielhaft diskutiert wird.

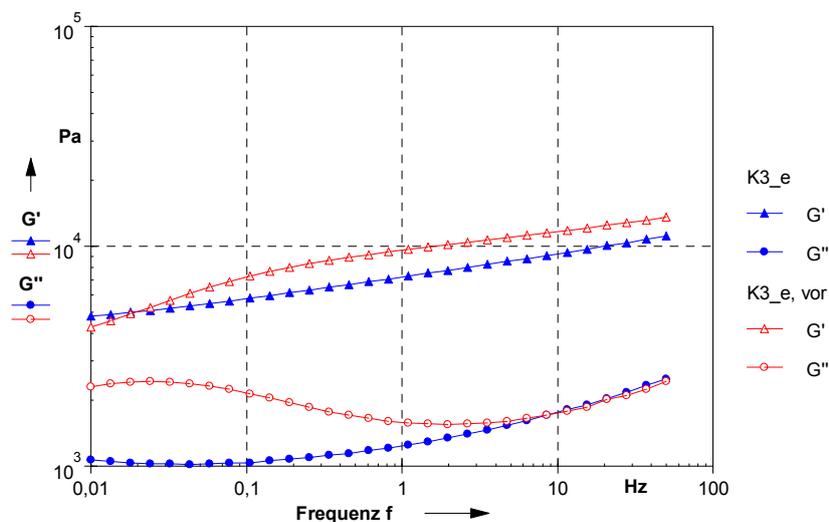


Abb. 86 : Vergleich $G'(f)$ und $G''(f)$ des Rohbrätes der Probe K3_e und der Probe K3_e vor der Fermentation mit Zutaten im Frequenzsweep

Der Verlauf der Parameter G' und G'' ist bei den anderen Ansätzen ähnlich (Abb. 147 bis Abb. 155 im Anhang). Man kann erkennen, dass bei dem Brät mit Zutaten vor der Fermentation (K3_e, vor) bei Frequenzen $f < 0,1$ Hz der Speichermodul G' steiler abfällt als beim Rohbrät ohne Zutaten (K3_e). Der Verlustmodul G'' nimmt ab einer Frequenz von etwa $f < 1$ Hz bei der Probe vor der Fermentation (K3_e, vor) zu. Beim Rohbrät (K3_e) ist in diesem Bereich eine weitere Abnahme des Verlustmoduls zu verzeichnen. Erst bei Frequenzen $f < 0,03$ Hz ist ein ganz leichter Anstieg des Verlustmoduls beim Rohbrät zu verzeichnen. Der steilere Abfall des Speichermoduls mit abnehmender Frequenz ($f < 0,1$ Hz) sowie der Anstieg des Verlustmoduls G'' bei Frequenzen $f < 1$ Hz indiziert, dass durch den Einsalzeffekt der Vernetzungsgrad im Brät gegenüber des Rohbrätes (ohne Zutaten) herabgesetzt wird und die molekulare Flexibilität ansteigt. Die eingetragene Energie wird nun in verstärktem Maße dissipiert.

Es handelt sich bei den Proben vor der Fermentation mit Zutaten offenbar um schwach vernetzte disperse Systeme. Durch den Einsalzeffekt werden einige intermolekulare Wechselwirkungen zwischen den Proteinketten (Verhakungen, Verschlaufungen oder andersartige Assoziationen/ Aggregationen) gelöst, da Wasser in den kapillaren Hohlräumen eingelagert wird und die Proteine in Lösung gehen und quellen. Die molekulare Flexibilität nimmt durch den Einsalzeffekt bei niedrigeren Frequenzen im Vergleich zu den Rohbrätproben zu. Die Dominanz der Festkörpereigenschaften bleibt über das gesamte Frequenzband erhalten. Die Moleküle werden aufgefalted und neu strukturiert. Ähnliche Effekte wurden auch bei den Frequenzsweep-Messungen der Schweinefleischbräte beobachtet. Es bildet sich analog der festgestellten Mechanismen bei Schweinefleisch ein Proteinnetzwerk aus.

7.7.2. Frequenzsweep vor und nach der Fermentation

Die Abb. 156 im Anhang zeigt einen Vergleich von G' (f) der Proben K2 und K3 vor und nach der Fermentation. Nach der Fermentation liegen im Durchschnitt etwa die 3-fachen Speichermodulwerte vor, d.h. die Festkörpereigenschaften haben zugenommen.

Die Abb. 157 im Anhang zeigt einen Vergleich von $\tan \delta$ (f) der Proben K3 und K2 vor und nach der Fermentation. Ab einer Frequenz von etwa $f < 2$ Hz steigen die Verlustfaktorkurven der Bräte vor der Fermentation im Vergleich zu den Bräten nach der Fermentation stark an. Nach der Fermentation zeigt sich, dass die molekulare Flexibilität des Systems herabgesetzt wurde, was sich in dem vergleichsweise sehr schwachen Anstieg des Verlustfaktors bei Frequenzen $f < 2$ Hz widerspiegelt. Durch den pH-Abfall während der Fermentation kommt es zur Säuredenaturation der Muskelproteine (myofibrillären Proteine). Aus dem Partikel-System hat sich ein Partikel-Gel-System gebildet. Es liegen komplexe Dispersionsstrukturen vor. Es liegen keine deutlichen Unterschiede zwischen K3 und K2 vor.

Ähnliche Effekte bei den Frequenzsweep-Messungen wurden auch beim Schweinefleischbrät festgestellt.

7.8. Zusammenfassende Wertung der Fermentation von Karpfen

Mittels Timesweep-Messungen wurde ein typisches Strukturierungsverhalten bei der Fermentation von Karpfen gefunden, welches anhand des $\tan \delta$ in fünf verschiedene Abschnitte eingeteilt werden konnte. Die detektierten Mechanismen unterscheiden sich von denen der Rind- und Schweinefleischfermentation. Als Ursache können Unterschiede in der Beschaffenheit des Fischmuskeltgewebes im Vergleich zum Säugetiermuskel angesehen werden. Mittels Frequenz- und Amplitudensweep-Messungen konnten jeweils Dispersionsstrukturen detektiert werden. Der detektierte Strukturzustand der Karpfenbräte ist mit den Bräten der Schweinefleischfermentation vergleichbar.

Die Mechanismen sowie die detektierten Strukturen sind bei den Proben K3 und K2 prinzipiell ähnlich. Aufgrund des großen Ereignisfeldes bzw. der hohen Variabilität der Rohstoffe hinsichtlich der Verarbeitungseignung und der geringen Probenmenge sind kaum Unterschiede zwischen den Strukturbildungscharakteristika von K2 und K3 auszumachen. Schwankungen innerhalb der Proben K2 und K3 werden durch das große Ereignisfeld bedingt. Es sollte versucht werden, die Rohstoffproduktion noch mehr zu standardisieren sowie innerhalb der Produktion über die Herstellung von Mischchargen das Ereignisfeld gering zu halten, damit man Endprodukte mit gleichbleibender Qualität erzeugen kann.

8. Fleischbindesysteme auf Alginatbasis

Nachstehend werden vier Fleischbindesysteme auf ihre strukturierenden Eigenschaften untersucht und bewertet. Die Funktionalität der Bindesysteme wird mit Hilfe von Timesweep-Messungen erfasst.

8.1. Timesweep Einkomponentensystem Raps

In der nachfolgenden Abb. 87 sind die Versuchsergebnisse am Beispiel von 3 Versuchsanstellungen mit dem Einkomponentensystem der Fa. Raps dargestellt.

Die Entwicklung des Speichermoduls G' , des Verlustmoduls G'' sowie des $\tan \delta$ werden bei konstanter Temperatur von 2 °C über der Zeit von 20 h aufgetragen.

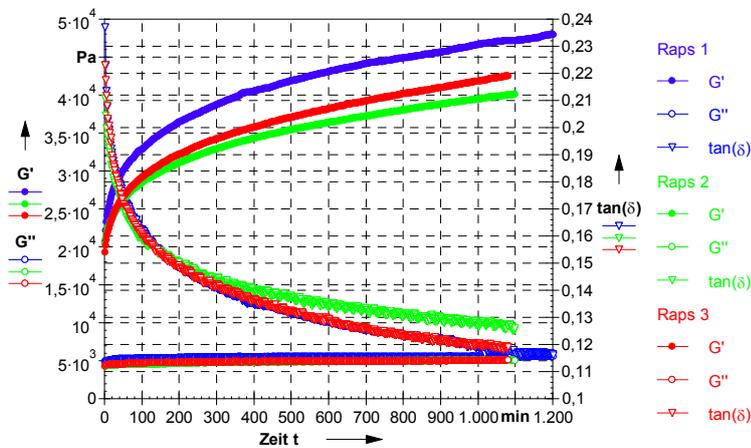


Abb. 87: G' (t), G'' (t) und $\tan \delta$ (t) des Einkomponentensystems Raps

Aufgrund großer Unterschiede in der Speichermodulentwicklung wurde eine Dreifachbestimmung durchgeführt.

Über den gesamten Messverlauf liegt eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$ ist. Es wird mindestens eine Verdopplung des Speichermoduls G' bei allen Versuchen bezogen auf das Ausgangslevel nachgewiesen (von 20101 Pa \pm 544 auf 43524 Pa \pm 2970).

Unmittelbar nach Zumischung des Bindesystems tritt mit hoher Dynamik die Strukturierungsreaktion in Gang und das halbe Endlevel des Speichermoduls wird erreicht (entscheidender Gradient unmittelbar nach Beginn der Startreaktion, $t < 200$ min). Eine klassische Sigmoide bildet sich als degressiver Verlauf der Strukturierungsgeschwindigkeit mit der Zeit aus. Die Restzeit beträgt ca. 1000 min für einen gleichen Levelaufbau. Auch der Verlustfaktor fällt in den ersten 200 min stark ab (von etwa 0,22 auf 0,12). Anhand der bestimmten $\tan \delta$ -Level kann von einer stabilen intakten Festkörperstruktur ausgegangen werden.

Es ist nahezu keine Veränderung des Verlustmoduls G'' (t) bei allen drei Proben festzustellen. Die viskoelastische Relation verändert sich während des Strukturausbildungsvorganges nur in Richtung der Erhöhung des Anteiles der elastischen Komponente auf hohem Strukturlevel. Eine gewisse Sprödigkeit der Matrix dürfte resultieren.

Die unterschiedlichen Startpunkte der Gelbildungsreaktion der Einzelversuche am Beispiel von G' und $\tan \delta$ sind präparationsbedingt und scheinen keinen großen Einfluss auf die Messergebnisse zu haben. Visuell können bei Einsatz des Einkomponentensystems (Raps) Partikel des hydrophoben Verkapselungsmaterials (Ca-Lactat-Basis) erkannt werden.

8.2. Timesweep Zweikomponentensystem ISP MT 200/ MT230

In der nachfolgenden Abb. 88 sind die Versuchsergebnisse am Beispiel von 2 Versuchsanstellungen mit dem Zweikomponentensystem der Fa. ISP MT 200/ MT 230 dargestellt.

Die Entwicklung des Speichermoduls G' , des Verlustmoduls G'' sowie des $\tan \delta$ werden bei konstanter Temperatur von 2 °C über der Zeit von 19 h aufgetragen.

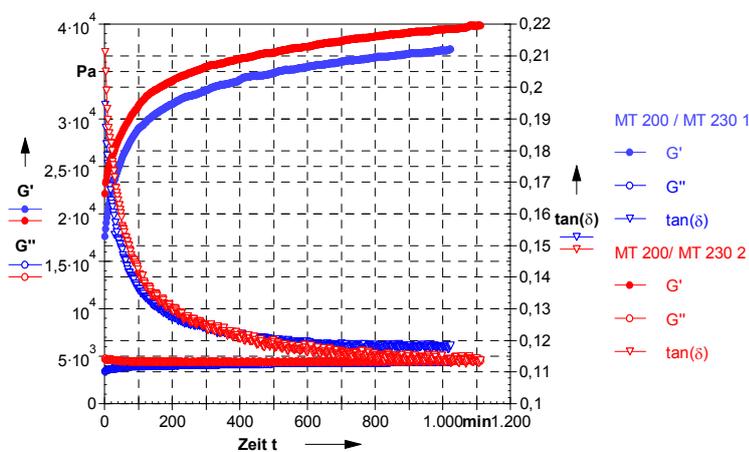


Abb. 88 : $G'(t)$, $G''(t)$ und $\tan \delta(t)$ des Zweikomponentensystems Fa. ISP MT 200/ MT 230

Aufgrund des relativ analogen Verlaufs der Messkurven wurde lediglich eine Doppelbestimmung durchgeführt.

Auch hier liegt über den gesamten Messverlauf eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$ ist. Es wird in etwa eine Verdopplung des Speichermoduls G' bei beiden Proben vom Ausgangswert ermittelt (von $19900 \text{ Pa} \pm 2276$ auf $38431 \text{ Pa} \pm 1083$). Unmittelbar zu Beginn der Gelbildungsreaktion in den ersten 200 min tritt ein entscheidender Gradient der Strukturausbildung ein. Wieder bildet sich eine klassische Sigmoidale als Verlaufsfom des $G'(t)$ analog zu Kap. 8.1. aus, woraus ein degressiver Verlauf der Strukturierungsgeschwindigkeit resultiert.

Der Verlustfaktor $\tan \delta$ nimmt bei beiden Proben innerhalb der ersten 200 min stark ab (von etwa 0,2 auf 0,13). Der Verlustmodul $G''(t)$ erfährt nahezu keinerlei Veränderung. Die viskoelastische Relation verändert sich während des Strukturausbildungsvorganges nur in Richtung der Erhöhung des Anteiles der elastischen Komponente. Eine gewisse Sprödigkeit der Matrix dürfte resultieren.

Die Ursache für die leichten Unterschiede im zeitabhängigen Verlauf der Parameter der Oszillationsmessungen liegen in der für diese Versuchsanstellung üblichen Schwankungsbreite und resultieren aus der Probenpräparation.

Die Alginatkomponente MT 200 zeigt eine sehr gute Verteilung und Lösung im Brät. Die Komponente MT 230 (Ca-Lactat) löst sich bedingt durch hydrophobe Verkapselung nur sehr unvollständig bzw. verzögert.

8.3. Timesweep Zweikomponentensystem Hansen INNO 20/INNO 30

In der nachfolgenden Abb. 89 sind die Versuchsergebnisse am Beispiel von 3 Versuchsanstellungen mit dem Zweikomponentensystem der Chr. Hansen GmbH INNO 20 und INNO 30 dargestellt.

Die Entwicklung des Speichermoduls G' , des Verlustmoduls G'' sowie des $\tan \delta$ werden bei konstanter Temperatur von 2 °C über der Zeit von ca. 19 h aufgetragen.

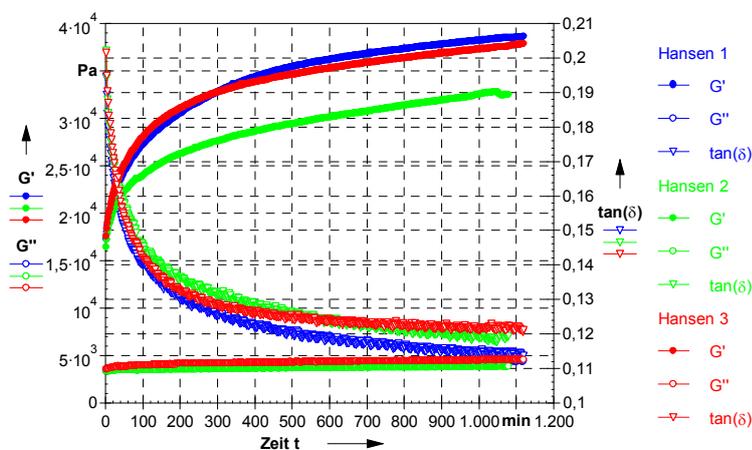


Abb. 89: G' (t), G'' (t) und $\tan \delta$ (t) des Zweikomponentensystems Hansen INNO 20 und INNO 30

Aufgrund großer Unterschiede in den Messkurven 1, 2, 3 wurde eine Dreifachbestimmung durchgeführt. Über den gesamten Messverlauf liegt eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$ ist. Es wird mindestens eine Verdopplung des Speichermoduls G' bei allen drei Versuchsdurchführungen ermittelt (von $17101 \text{ Pa} \pm 426$ auf $36197 \text{ Pa} \pm 2453$). Die Strukturbildungsreaktion startet unmittelbar nach Zugabe beider Komponenten. Ein entscheidender Gradient wird unmittelbar nach Zugabe mit ca. 100 min festgestellt. Eine klassische Sigmoide von G' (t) liegt bei Prozesszeiten $t > 100 \text{ min}$ vor und indiziert einen degressiven Verlauf der Strukturierungsgeschwindigkeit. Der Verlustfaktor $\tan \delta$ nimmt bei allen drei Varianten ab (von 0,2 auf 0,12).

Der Verlustmodul G'' (t) ändert sich bei allen drei Versuchen kaum.

Die unterschiedlichen Startpunkte der Gelbildungsreaktion üben keinen großen Einfluss auf die Messergebnisse aus und sind eine Folge der Probenpräparation. Die detektierten Strukturierungsmechanismen mittels Timesweep-Messung sind beim Zwei-Komponenten-System Hansen ähnlich wie beim Zwei-Komponentensystem ISP MT 200/MT 230 sowie beim Ein-Komponenten-System Raps. Die Alginatkomponente INNO 20 zeigt eine sehr gute Verteilung und Lösung im Brät. Die Komponente INNO 30 (Ca-Lactat) löst sich bedingt durch hydrophobe Verkapselung nur sehr unvollständig bzw. verzögert. Weiße Partikel bleiben nach dem Mischvorgang im Brät zurück (analog Kap. 8.2.).

8.4. Timesweep Einkomponentensystem ISP MT 624

In der nachfolgenden Abb. 90 sind die Versuchsergebnisse am Beispiel von 2 Versuchsanstellungen mit dem Einkomponentensystem der Fa. ISP MT 624 dargestellt.

Die Entwicklung des Speichermoduls G' , des Verlustmoduls G'' sowie des $\tan \delta$ werden bei konstanter Temperatur von 2 °C über der Zeit von 18 h aufgetragen.

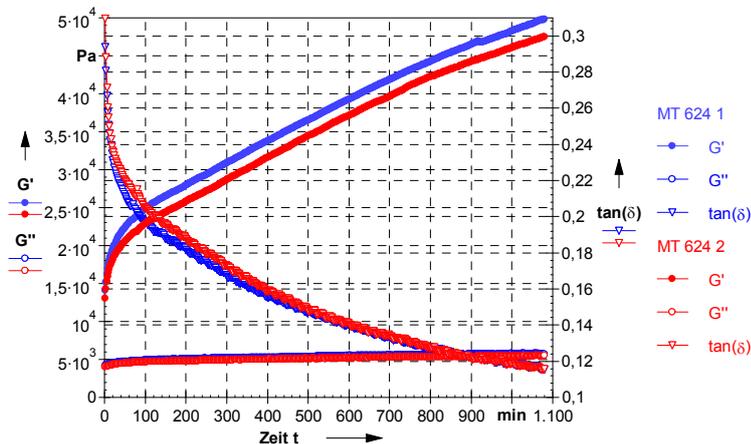


Abb. 90 : $G'(t)$, $G''(t)$ und $\tan \delta(t)$ des Einkomponentensystems ISP MT 624

Über den gesamten Messverlauf liegt eine Dominanz der Festkörpereigenschaften vor, da $\tan \delta < 1$ ist. Es wird mehr als eine Verdreifachung des Speichermoduls G' bei beiden Proben vom Ausgangswert festgestellt (von $13545 \text{ Pa} \pm 531$ auf $48646 \text{ Pa} \pm 1171$). Nach dem Start der Gelbildungsreaktion ist ein entscheidender Gradient der Strukturausbildung in den ersten 100 min zu erkennen. Nach den ersten 100 min bildet sich der $G'(t)$ -Verlauf als nahezu lineare Funktion aus, was das Bindesystem ISP MT 624 deutlich von den anderen Bindesystemen unterscheidet. Bei beiden Ansätzen nimmt der Verlustfaktor $\tan \delta$ deutlich ab (von etwa 0,3 auf etwa 0,12).

Auch hier ändert sich der zeitliche Verlauf des Verlustmoduls G'' kaum. Die viskoelastische Relation verändert sich während des Strukturausbildungsvorganges nur in Richtung der Erhöhung des Anteiles der elastischen Komponente. Eine gewisse Sprödigkeit der Matrix dürfte resultieren. Die unterschiedlichen Startpunkte für die Gelbildungsreaktion liegen in der für diese Versuchsanstellung üblichen Schwankungsbreite und resultieren aus der Probenpräparation. Das Einkomponentensystem ISP MT 624 zeigt bessere Lösungs- und damit auch bessere Verteilungseigenschaften im Fleischbrät. Dies ist im Wesentlichen auf den im Vergleich zu den anderen Bindesystemen hydrophileren Einschluss der Alginat- und vor allem der Ca-Quelle zurückzuführen. Dies ist auch die Hauptursache des unterschiedlichen Strukturierungsverhaltens.

8.5. Zusammenfassende Wertung der Timesweepmessungen

In der Abb. 91 sind am Beispiel des Speichermodulverlaufes $G'(t)$ alle Versuchsergebnisse zusammenfassend dargestellt.

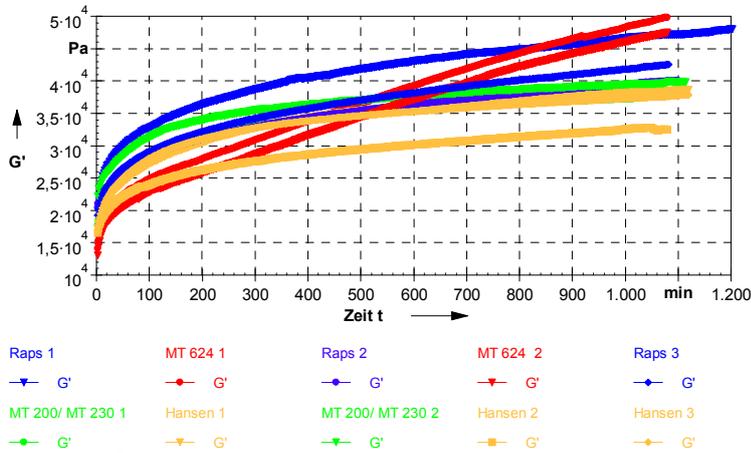


Abb. 91: $G'(t)$ aller Alginatproben im Timesweep

In Abb. 91 ist das gesamte Ereignisfeld der Versuchsergebnisse dargestellt. Klassenbildungen sind am Beispiel des Strukturierungsverlaufes und des Strukturierungslevels erkennbar. Da die Darstellung nur eines dynamischen Modulis keine kennzeichnende materialwissenschaftliche Analyse darstellt, wird zugehörig der Verlauf des $\tan \delta(t)$ in Abb. 92 dargestellt.

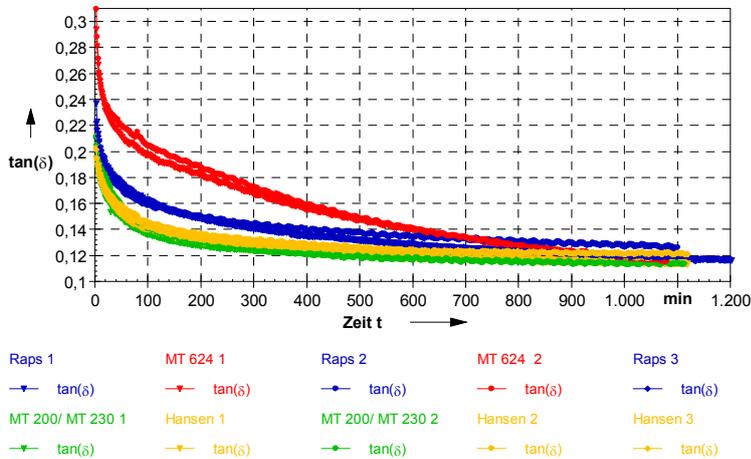


Abb. 92: Verlustfaktor $\tan \delta$ aller Alginatproben im Timesweep

Das Einkomponentensystem ISP MT 624 zeigt in den Timesweep-Messungen ein deutlich abweichendes Strukturierungsverhalten im Vergleich zu den anderen Fleischbindesystemen. Im Gegensatz zum degressiven Verlauf des Speichermoduls $G'(t)$ der anderen Alginatproben nimmt $G'(t)$ beim Einkomponentensystem ISP MT 624 nahezu linear zu und erreicht zum Ende höchste Level.

Der anders ablaufende Mechanismus des Einkomponentensystems ISP MT 624 wird deutlich differenziert dargestellt.

Die Umwandlung in einen höheren Strukturierungszustand verläuft verlangsamt, aber stetig. Folgende Untersetzungen zur Funktionalität des Compounds sind möglich:

1. Tetranatriumdiphosphat (E 450 (iii)) hat die Funktion eines Verzögerers. Damit erfolgt die Bindereaktion kontrolliert, langsamer und gradientenfrei (höhere Löslichkeit) in der Brätmatrix. Die Ca-Quelle (Calciumsulfat (Gips) E 516) zur Gelbildungsreaktion ist – im Gegensatz zu den anderen Bindesystemen – hydrophiler verkapselt und somit kann Ca^{2+} besser freigesetzt werden.

2. Aus klassischen Technologieabläufen der Lebensmittelindustrie bei der Herstellung von Gelen ist bekannt, dass eine langsamere Gelierung zu stabileren Gelstrukturen führt, da höhere Ordnungszustände im Strukturaufbau (kovalente Bindungen) eingehalten werden können.

Das Fleischbindesystem ISP MT 624 hebt sich aufgrund seines unterschiedlichen Strukturierungsverhaltens von den anderen Bindesystemen ab.

8.6. Bewertung der realisierten Strukturierungsmechanismen

Durch die Fleischbindemittel können Gelstrukturen, Partikelgelstrukturen bzw. konventionelle Dispersionsstrukturen ausgebildet werden. Aus diesem Grunde wurden Frequenzsweepmessungen zur Bewertung des Strukturierungszustandes nach Beendigung des Gelbildungsprozesses durchgeführt (Abb. 158 bis Abb. 161 im Anhang). Nach den Gelierungsreaktionen liegen Partikelsysteme als Partikelgelsysteme vor. Nur die Klebestellen sind geliert. Es kommt bei allen Bindesystemen zu einem erheblichen Strukturanstieg infolge Verklebung. Die Verläufe $G' (f)$ und $G'' (f)$ der vier Bindesysteme sind prinzipiell ähnlich.

8.7. Visuelle und texturale Bewertung der erhaltenen Produkte

In den Abb. 93, Abb. 94, Abb. 95 und Abb. 96 wird nach Durchführung der Gelbildungsreaktion eine unter gleichen Bedingungen wie im Timesweep geführte Probe mit ihren Texturereigenschaften visuell dargestellt.

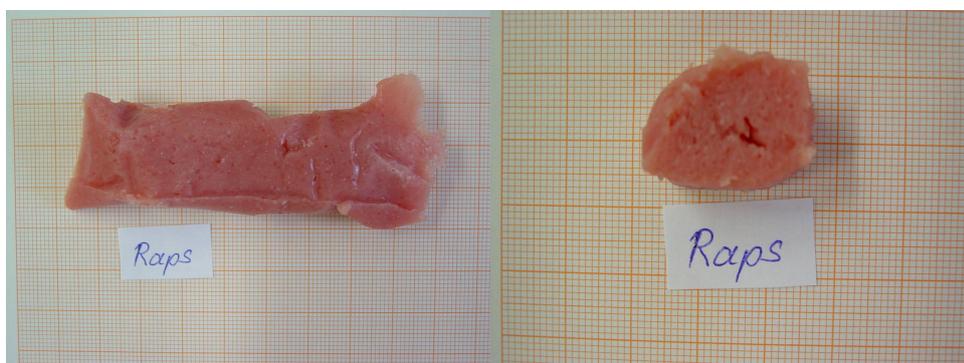


Abb. 93: Einkomponentensystem Firma Raps, rechte Seite: Anschnitt

Das Einkomponentensystem Raps zeigt eine sehr inhomogene Struktur. Auf der rechten Seite der Abb. 93 ist die Probe im Anschnitt dargestellt. Es sind deutliche Lücken in der Fleischbrätstruktur zu erkennen, die auf Inhomogenitäten im Klebeverhalten der Gesamtma-

trix hinweisen. Zudem ist die Probe nur bedingt schnittfähig. Die Ursache dafür ist offenbar eine sehr inhomogene Gelbildung dieses Einkomponentensystems im Fleischbrät durch unvollständiges, nicht gradientenfreies Dispergier- bzw. Lösungsverhalten der Alginatkomponente und somit auch die ungleichmäßige Verteilung in der Fleischmatrix aufgrund der hydrophoben Verkapselung des Ca-Lactates (E 327) am Beispiel stochastischer lokaler Konzentrationen mit eher hydrophoben Komponenten (Monoglyceride von Speisefettsäuren E 471, pflanzliches Fett, teilweise gehärtet). Dieses kann dann nur lokal eine Gelausbildung bewirken.

Abb. 94 enthält Fotos nach Einsatz des Fleischbindesystems Hansen INNO 20/ INNO 30.

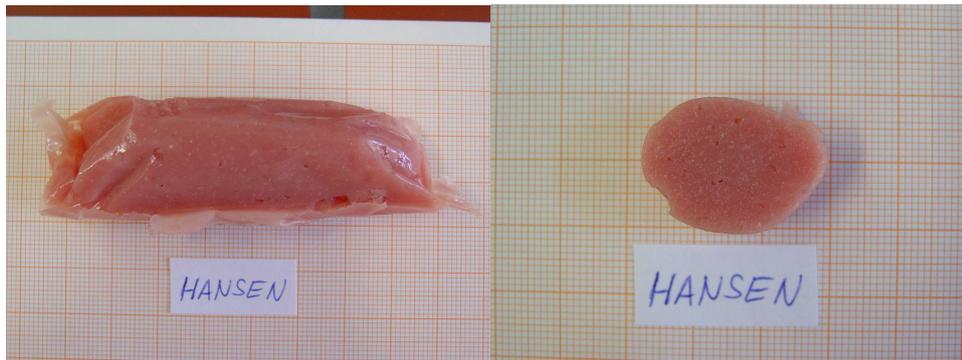


Abb. 94: Zweikomponentensystem Hansen INNO 20/ INNO 30, rechte Seite: Anschnitt

Abb. 95 enthält Fotos nach Einsatz des Fleischbindesystems ISP MT 200/ MT 230.

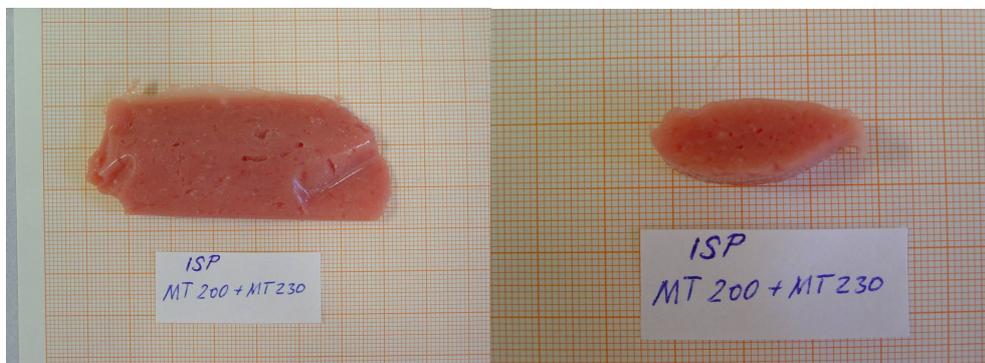


Abb. 95: Zweikomponentensystem ISP MT 200/ MT 230, rechte Seite: Anschnitt

Die Zweikomponentensysteme Hansen INNO 20/ INNO 30 (Abb. 94) und ISP MT 200/ MT 230 (Abb. 95) sind bezüglich ihrer Strukturbildungscharakteristika und Zusammensetzung recht ähnlich und werden somit gemeinsam diskutiert.

Auch hier ist die Ca-Lactat-Komponente mit Monoglyceriden und teilweise gehärteten Pflanzenfetten verkapselt. In diesen Systemen ist jedoch eine gleichmäßigere Lösung und Verteilung der Alginat-Komponente gewährleistet. Dies führt somit auch zu einer homogeneren Gelbildung im System als das beim Einkomponentensystem Raps der Fall ist. Die Proben zeigen eine relativ homogene Ausbildung des Partikelgels und sind auch relativ gut schnittfähig.

Abb. 96 enthält Fotos nach Einsatz des Fleischbindesystems ISP MT 624.

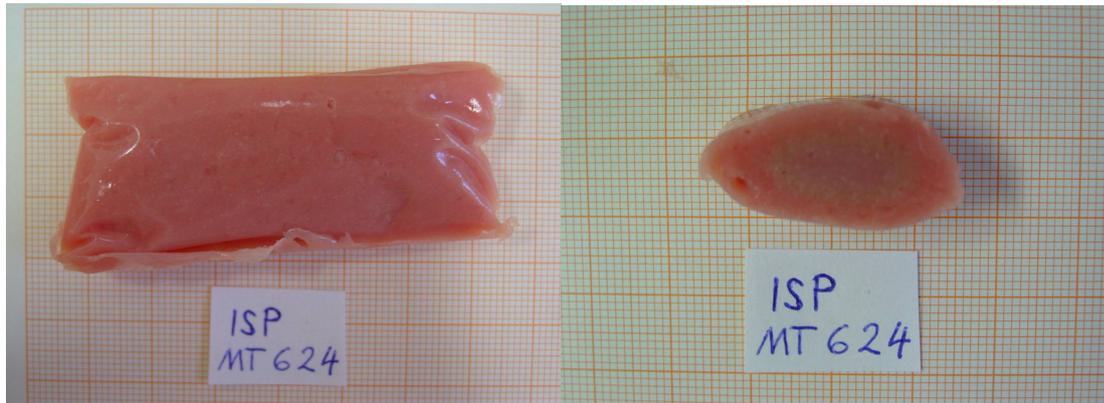


Abb. 96: Einkomponentensystem Firma ISP MT 624, rechte Seite: Anschnitt

Das Einkomponentensystem ISP MT 624 (Abb. 96) zeigt die homogenste Gelausbildung und weist auch die beste Schnitffestigkeit aller untersuchten Proben auf. Ursache hierfür ist der eher amphiphile Charakter der Inhaltsstoffe (Träger- bzw. Verkapselungsmaterialien: Calciumsulfat (Gips) E 516, Tetranatriumdiphosphat E 450 (iii)), die zum einen eine sehr gute Verteilung und Lösung der Inhaltsstoffe im Fleischbrät gewährleistet und zum anderen auch eine gleichmäßige Gelbildung durch kontinuierliche Freisetzung der Ca^{2+} -Ionen bedingt. Tetranatriumdiphosphat wirkt verzögernd auf die Gelbildung. Calciumsulfat ist ein nicht ganz so gut wasserlösliches Calciumsalz.

8.8. Zusammenfassende Wertung der Fleischbindesysteme auf Alginatbasis

Das Einkomponentensystem ISP MT 624 unterscheidet sich hinsichtlich seines Strukturierungsverhaltens deutlich von den anderen Bindesystemen.

Das Startlevel G' beim ISP MT 624 ist am geringsten, jedoch stellen die Endlevel die Maxima der untersuchten Fleischbindemittel dar. Während der untersuchten Prozesszeit findet eine stetige Ausbildung von Haftzonen im Material statt.

Der gleichmäßige lineare Anstieg des Einkomponentensystems ISP MT 624 (1 bis 1,5 h nach Messbeginn) deutet auf eine sehr homogene Gelbildung im interpartikulären Raum hin, was dann vermutlich auch die hohen Level G' zum Messende zur Folge hat.

Die anderen Fleischklebersysteme zeigen über den gesamten Messverlauf eine nicht-lineare Zunahme des Speichermoduls G' . Die Strukturierungsgeschwindigkeit verläuft mit zunehmender Prozesszeit degressiv.

Betrachtet man die Fotos der einzelnen Proben so kann man feststellen, dass das Einkomponentensystem ISP MT 624 (Abb. 96) das homogenste Partikelgel mit einer sehr guten Schnitffestigkeit ausgebildet hat. Dieses System scheint die beste Teilchenbindung aller untersuchten Proben zu bewirken.

Das Einkomponentensystem Raps (Abb. 93) weist eine sehr inhomogene Struktur auf. Das Gel wird nicht gleichmäßig im gesamten Brät gebildet, d. h. es würde mit diesem System keine gute Bindung der Fleischpartikel erfolgen.

Die Zweikomponentensysteme (Abb. 94 und Abb. 95) zeigen beide relativ homogene Gele. Diese sind relativ gut schnittfähig und unterscheiden sich kaum voneinander.

Das Einkomponentensystem ISP MT 624 wird als bestes Fleischbindesystem hinsichtlich des Strukturungsverhaltens bewertet und unterscheidet sich im Messverlauf von allen anderen Proben deutlich (Abb. 91).

Von den Applikationseigenschaften her wurde dieses Fleischbindesystem ebenfalls preferiert.

9. Hinweise für weiterführende Arbeiten

Zum Komplex der Fermentationen ergeben sich folgende Hinweise:

1. Da sich im Rahmen dieser Arbeit rohstoffspezifische charakteristische Messkurven bei den Fermentationsuntersuchungen im Timesweep ergaben, sollte das Rohstoffspektrum im Rahmen fortführender Untersuchungen erweitert werden (z. B. Geflügelfleisch).
2. Es wird vorgeschlagen, die konzentrationsabhängige Wirkung des Ca-Lactates (speziell 0,5 % Ca-Lactat-Zugabe) bei der Fermentation von Schweinefleisch und hier insbesondere den Einfluss zweiwertiger Kationen auf die Strukturbildungsprozesse durch den Einsatz von Lactaten mit einwertigen Kationen und gleichzeitiger Variation der Einsatzmenge von Ascorbinsäure und Na-Acetat näher zu untersuchen.
3. Weiterhin sollte der Einfluss der Temperatur im technologisch relevanten Bereich von 18 bis 30 °C auf die Säuerung und damit auf die Strukturausbildung während der Fermentation näher untersucht werden.
4. Ein weiterer interessanter Aspekt wäre die Variation von Kohlenhydratmenge und –art und deren Einfluss auf den Säuerungsverlauf und damit auf die Strukturausbildung während der Fermentation.
5. In weiteren Arbeiten sollten Untersuchungen angestellt werden, inwieweit die rheologischen Daten mit Erkenntnissen aus sensorischen Tests übereinstimmen. Es sollten neben objektiven sensorischen Tests mittels einer geschulten Prüfergruppe auch geeignete, objektive Texturmessungen mittels Materialprüfmaschinen durchgeführt werden. Dies soll dazu dienen, Beziehungen zwischen Oszillationsmessungen, sensorischen und instrumentellen Texturuntersuchungen herzustellen. Darüberhinaus sollte eine Kopplung von materialwissenschaftlichen Untersuchungen mit realen Produktionsprozessen hergestellt werden. Es sollte geklärt werden, ob man mittels der aus den Timesweep-Messungen gewonnenen rheologischen Messdaten ein Abbruchkriterium für den Fermentationsprozess ableiten kann, welches auch sensorischen Aspekten, wie z. B. dem Geschmack, gerecht wird.

Hinsichtlich der Untersuchungen der Strukturbildungsvorgänge der Fleischbindesysteme auf Alginatebasis wäre die Abhängigkeit der Strukturausbildung vom verwendeten Rohstoff ein interessanter Aspekt. Eine Kopplung mit realen Produktionsprozessen, sowie sensorischen und instrumentellen Texturuntersuchungen wären weitere Aufgaben. Es sollte zudem eine Untersuchung des Einflusses der Fleischpartikelgröße auf die Strukturbildung vorgenommen werden, was jedoch – bei Verwendung größerer Fleischpartikel – die Entwicklung einer neuen Messmethode nach sich zieht.

Zur kontinuierlichen Qualitätsüberwachung im Produktionsbetrieb ist ein empfindliches Oszillationsrheometer mit Luftlager aus gegenwärtiger Sicht nicht geeignet.

10. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden erstmals die komplexen zeit- und pH-abhängigen Strukturbildungsprozesse bei der Fermentation von Rindfleisch, Schweinefleisch und Karpfenfilet anhand von Modellbräten durch inline-online Messungen analysiert und bewertet. Zusätzlich wurden vier Fleischbindesysteme auf Alginatbasis bezüglich ihrer Strukturbildungseigenschaften in Modellbräten untersucht.

Oszillationsmessungen im Timesweep-Modus waren dazu geeignet, die während der Fermentation ablaufenden Strukturierungsprozesse in der Mikrostrukturebene, d. h. die Umwandlung eines Partikel-Systems in ein Partikel-Gel-System für die Rohstoffe Rindfleisch, Schweinefleisch und Karpfenfilet im lvB quasi zerstörungsfrei zu detektieren. Dabei wurde in der Ebene der „Kittsubstanz“ gemessen. Die während des Fermentationsprozesses ermittelten rheologischen Daten wurden mit dem pH-Wert-Verlauf in Beziehung gesetzt und diskutiert.

Für alle untersuchten Rohstoffe ergaben sich während des gesamten Fermentationsprozesses dominante Festkörpereigenschaften, da der Verlustfaktor $\tan \delta < 1$, d. h. $G' > G''$ war.

Es zeigte sich, dass der Verlauf des Verlustfaktors aus den Timesweep-Messungen dazu geeignet ist, den Fermentationsprozess in verschiedene Strukturierungsabschnitte einzuteilen. So konnte der Fermentationsverlauf von Rind- und Schweinefleisch anhand der Standardansätze in die folgenden vier Abschnitte differenziert werden:

1. Quellen und Lösen der Fleischproteine in der Adaptionphase
2. Ende der Adaptionphase
3. Gelierprozess, Ausbildung des Partikel-Gel-Systems
4. Gelierprozess mit konstantem Verhältnis zwischen Elastizität und Viskosität des Partikel-Gel-Systems, Zunahme der Festigkeit bei fortlaufender Säuerung

In Rindfleischfermentationen wurde der Einfluss des Salzzusatzes, des Starterkulturzusatzes und des Starterkulturpräparates untersucht. Wird dem Brät kein Salz zugesetzt, so bleibt die Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels aus, da die durch den Einsalzeffekt bedingten Vorstrukturierungsprozesse (Quellung und Lösung der Fleischeiweiße) nicht stattfinden können. Die Ausbildung eines neuartigen dreidimensionalen Proteinnetzwerkes, welches die interpartikulären Wechselwirkungen sicherstellt, bleibt aus. Trotz kontinuierlicher Säurebildung bildet sich kein schnittfestes Partikelgel aus.

Bleibt die mikrobielle Säurebildung durch fehlende Starterkultur aus, kommt es nicht zur Säuredenaturation der myofibrillären Proteine und damit nicht zur Ausbildung eines schnittfesten Partikelgels. Die Komplexität des Fermentationsprozesses wurde nachgewiesen.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Säuerungsleistung des verwendeten Starterkulturpräparates einen Einfluss auf die Ausbildung des Partikel-Gel-Systems hat (Säuerungskinetik und Strukturlevel). Niedrigere Säuerungsgeschwindigkeiten in der kontinuierlichen Säue-

erungsphase führen zur Ausbildung geordneterer Partikel-Gel-Netzwerke, was am Level des Speichermoduls G' zu Fermentationsende bei einem pH von 5 festgestellt werden kann.

Bei den Schweinefleischfermentationen konnte durch Einteilung des Fermentationsverlaufes in die Bereiche A, B, C und D mittels der G' -Kurve die Strukturbildungsgeschwindigkeit v_{Str} durch lineare Approximation der Teilbereiche ermittelt und zur quantitativen Bewertung ablaufender Strukturierungsprozesse herangezogen werden.

Es zeigte sich, dass ein höherer Fremdwassergehalt die relativen viskoelastischen Eigenschaften nicht beeinflusst, was ein Hinweis darauf ist, dass die höhere Menge an Fremdwasser in der Proteinmatrix immobilisiert wurde. Die Level der Speichermodule G' (Festkörpereigenschaften) zu Fermentationsbeginn und -ende lagen jedoch bei einem Fremdwassergehalt von 20 % niedriger als bei einem Fremdwassergehalt von 6 %. Ebenso sind die ermittelten Strukturbildungsgeschwindigkeiten v_{Str} bei 20 % Fremdwasserzusatz geringer. Der pH-Wert-Verlauf wird bei den gewählten Versuchsansätzen nicht wesentlich durch den Fremdwassergehalt beeinflusst.

Der Einfluss des Fettgehaltes wurde in den Stufen 0, 10, 20, 30 und 40 % S8-Anteil im Modellbrät untersucht. Tendenziell war eine Verlängerung der Fermentation durch längere Adaptionszeiten, nicht aber durch geringere Säuerungsgeschwindigkeiten in der kontinuierlichen Säuerungsphase durch einen höheren Fettgehalt festzustellen. Es konnte anhand des Verlaufes der Verlustfaktoren $\tan \delta$ festgestellt werden, dass die viskosen Eigenschaften mit zunehmendem Fettgehalt zunehmen. Die Start- und Endlevel der Speichermodule G' sowie die Strukturbildungsgeschwindigkeiten in den Bereichen A, B, C und D nahmen mit zunehmendem Fettgehalt in linearer Funktion ab. Die Proben S1+30 und S1+40 bildeten kein schnittfestes Partikelgel aus. Hier wurde die interpartikuläre Wechselwirkung der Fleischproteine durch Umhüllung mit Fett behindert bzw. verhindert.

Der Einfluss des Ca-Lactat-Gehaltes auf die Strukturierungsprozesse während der Fermentation von Schweinefleisch wurde in den Stufen 0, 0,5 und 1 % untersucht. Es konnte – insbesondere durch die Zugabe von 1 % Ca-Lactat – die Tendenz festgestellt werden, dass durch Ca-Lactat-Zusatz die Fermentationszeit bis zum Erreichen des End-pH-Wertes verlängert wird. Die Ursache liegt in längeren Adaptionsphasen durch Hemmung der Starterkulturen. Die Säuerungsgeschwindigkeiten in der kontinuierlichen Säuerungsphase werden durch Ca-Lactat-Zusatz nicht beeinflusst. Es wurde festgestellt, dass Ca-Lactat bzw. das dadurch eingebrachte Ca^{2+} -Ion die Quellfähigkeit der Muskelproteine und damit die Ausbildung eines interpartikulären Proteinnetzwerkes durch den Einsalzeffekt leicht behindert. Indiz hierfür ist eine niedrigere Strukturbildungsgeschwindigkeit in den Bereichen A und B. Dies hat zur Folge, dass es bei der anschließenden Säuredenaturation der Proteine im weiteren Fermentationsverlauf zur Ausbildung eines schwächeren Partikelgels kommt. Indiz hierfür sind geringere Strukturbildungsgeschwindigkeiten – trotz vergleichbarer Säuerungsgeschwindigkeiten – in den Bereichen C und D der kontinuierlichen Säuerungsphase sowie niedrigere Level der Speichermodule G' zu Fermentationsende.

Mittels Oszillationsmessungen im Timesweep-Modus konnte der Fermentationsverlauf von Karpfen anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$ in die folgenden 5 Abschnitte eingeteilt werden:

1. Quellen und Lösen der Proteine in der Adaptionphase
2. Ende der Adaptionphase
3. Säuerungsphase, Beginn der Proteindenaturierung
4. Ausbildung des Partikelgels
5. weitere Verfestigung des Partikelgels, fortlaufende Säuerung

Neben der Einteilung des Fermentationsverlaufes in fünf Abschnitte, gegenüber vier Abschnitten bei der Rind- und Schweinefleischfermentation, unterscheidet sich der prinzipielle Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ und des Speichermoduls G' bei der Karpfenfermentation von der Rind- und Schweinefleischfermentation. In der Adaptionphase scheinen bei der Karpfenfermentation die Löseprozesse gegenüber den Quellprozessen zu überwiegen (Zunahme des Verlustfaktors in der Adaptionphase). Als Ursache hierfür könnte der geringere Bindegewebsgehalt (Sarkolemm) des Fischmuskels sowie der niedrigere Vernetzungsgrad der kontraktilen Proteine angesehen werden.

Es konnten keine prinzipiellen Unterschiede in der Strukturausbildung während der Fermentation von K3 und K2 festgestellt werden, da die untersuchten Proben ein sehr großes Ereignisfeld aufwiesen.

Mittels Frequenzsweep-Messungen konnten die Modellbräte vor und nach der Fermentation als Dispersionsstrukturen auf Partikelbasis charakterisiert werden.

Mittels Oszillationsmessungen im Timesweep-Modus wurden vier unterschiedliche Fleischbindesysteme auf Alginatbasis hinsichtlich ihrer Strukturbildungseigenschaften innerhalb eines Modellbrätsystems untersucht. Es ergaben sich – je nach eingesetztem Fleischbindesystem – unterschiedliche Mechanismen der Strukturausbildung, die mittels Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' beschrieben werden konnten. Das homogenste Partikelgel bildete das Fleischbindesystem ISP MT 624 aus, was durch einen nahezu linearen Anstieg des Speichermoduls während der ablaufenden Gelbildungsreaktionen gekennzeichnet war. Die hydrophilere/ amphiphilere Verkapselung des Ca-Lactates führt zu einer besseren Verteilung und Freisetzung innerhalb der Fleischbrätmatrix, was zu einer homogeneren Gelbildung führt.

Die durchgeführten materialwissenschaftlichen Untersuchungen ermöglichen neuartige objektive Aussagen über den Mechanismus der Strukturausbildung bei der Fermentation und Rekonstitution von Fleisch und Fisch. Bei Produktentwicklungen können diese Untersuchungen zur Abschätzung der Auswirkungen von neuen Zutaten, technologischen Parametern und Rohstoffen hinsichtlich der Strukturausbildung in der Mikrostrukturebene mit herangezogen werden.

11. Literaturverzeichnis

1. Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e. V. (2008): http://www.bvdf.de/aktuell/umsatzanteile_tabelle/ (Zugriff: 28.08.2008).
2. Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e. V. (2008): <http://www.bvdf.de/presse/fleischverzehr/2007-1/> (Zugriff: 28.08.2008).
3. Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e. V. (2008): http://www.bvdf.de/tabelle_popup/in_zahlen/tab_07/ (Zugriff: 28.08.2008).
4. I. Seuß-Baum (2007): *Ernährungsphysiologische Bedeutung von Fleisch und Fleischzerzeugnissen.*, in: *Qualität von Fleisch und Fleischwaren.*, W. Branscheid, K. O. Honikel, G. Von Lengerken und K. Troeger (Hrsg.) Auflage, Deutscher Fachverlag: Frankfurt am Main. S. 755-778.
5. D. Weipert (1993): *Einführung.*, in: *Rheologie der Lebensmittel.*, D. Weipert, H. D. Tscheuschner und E. Windhab (Hrsg.) Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 21-25.
6. M. C. Bourne (2002): *Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement.* 2. Auflage, London, San Diego: Academic Press.
7. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. (2003): Entwicklung neuer Vermarktungsformen für Karpfen (*Cyprinus carpio*) - Abschlussbericht. http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/download/Abschlussbericht_FKP.pdf (Zugriff: 29.08.2008).
8. L. Kotter, G. Terplan und C. Gervasini (1962): *Physikalisch-chemische Vorgänge bei der Fabrikation schnittfester Rohwürste. 2. Mitteilung.* Fleischwirtschaft. **42**(3): 175-180.
9. L. Kotter und O. Prändl (1958): *Physikalisch-chemische Vorgänge bei der Fabrikation schnittfester Rohwürste. 1. Mitteilung.* Fleischwirtschaft. **38**(1): 26-28.
10. K. Katsaras (1992): *Microstructure of Fermented Sausage.* Meat Science. **31**: 121-134.
11. K. Katsaras (1991): *Morphologische Grundlagen der Qualität von Wurstwaren.* Fleischwirtschaft. **71**(3): 254-264.
12. H. Pergande (2004): *Thermostabiles Bindungssystem. Zusammenfügen von Fleischabschnitten mittels eines Alginat-Calcium-Systems.* Fleischwirtschaft. **84**(4): 150-151.
13. Cheftel (1992): *6. Die wichtigsten Proteinsysteme in Lebensmitteln.*, in: *Lebensmittelproteine*, Cheftel (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 159-182.
14. H.-D. Belitz, W. Grosch und P. Schieberle (2001): *Lehrbuch der Lebensmittelchemie.* 5. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
15. K. O. Honikel (1986): *Muskelstruktur und Fleischqualität.*, in: *Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 18-38.
16. F. Schwägele (2003): *Struktur und Funktion des Muskels.*, in: *Chemie des Lebensmittels Fleisch.*, K. Bundesanstalt für Fleischforschung (Hrsg.), 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 39-56.
17. F. Schwägele (2004): *Struktur und Funktion des Muskels.* Fleischwirtschaft. **84**(4): 171.
18. R. Hamm (1981): *Struktur und Funktion des Muskels.*, in: *Beiträge zur Chemie und Physik des Fleisches.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 57-73.
19. F. Schwägele (1998): *Kühlung, Kühlung und Fleischreifung - chemische und physikalische Grundlagen.*, in: *Kühlen, Zerlegen, Kühlung, Reifung. Einfluß auf die Fleischqualität.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 7-34.
20. R. Hamm (1972): *II. Struktur und Zusammensetzung des Muskels.*, in: *Kolloidchemie des Fleisches. Das Wasserbindungsvermögen des Muskelweißes in Theorie und Praxis.*, R. Hamm (Hrsg.), 1. Auflage, Paul Parey Verlag: Berlin und Hamburg. S. 14-25.

21. K. Katsaras und P. Peetz (1988): *Elektronenmikroskopische Darstellung der Funktion von Fetten in Wurstwaren*. Fleischwirtschaft. **68**(9): 1187-1192.
22. J. Ude und M. Koch (2002): *Die Zelle: Atlas der Ultrastruktur*. 3. Auflage, Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
23. A. Fischer (1989): *Eigenschaften und Anforderungen an das Fettgewebe des Schweines: Die Verarbeitung von Schlachttierfetten*. Die Fleischerei, (4): 383-389.
24. K. Katsaras, P. Peetz und R. Schneider (1984): *Darstellung von Fettgewebe mit dem Raster-Elektronenmikroskop*. Fleischwirtschaft. **64**(2): 200-202.
25. K. Potthast (1981): *Chemie der Fette und Fettbegleitstoffe.*, in: *Beiträge zur Chemie und Physik des Fleisches*. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 19-37.
26. F. Wirth (1972): *Die technologische Funktion der Fette in feinzerkleinerten Fleischwaren*. Fleischwirtschaft. **52**(5): 605-609.
27. H. Sielaff (1996): *Zusammensetzung von Tierkörperteilen.*, in: *Fleischtechnologie.*, H. Sielaff (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 49-85.
28. R. Kraemer und L. Schröder (1981): *Anatomie der Haustiere*. 3. Auflage, Leipzig: S. Hirzel Verlag.
29. M. Wicke, S. Maak, C. Rehfeldt und G. von Lengerken (2007): *Anatomisch-physiologische Grundlagen der Fleischqualität*, in: *Qualität von Fleisch und Fleischwaren.*, W. Branscheid, K. O. Honikel, G. von Lengerken und K. Troeger (Hrsg.), 2. Auflage, Deutscher Fachverlag GmbH: Frankfurt am Main. S. 689-726.
30. S. Münch (2004): *Chemie von Fetten und Fettbegleitstoffen*. Fleischwirtschaft. **84**(4): 163-167.
31. K. O. Honikel (1986): *Wasserbindungsvermögen von Fleisch.*, in: *Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 67-88.
32. G. Offer und J. Trinick (1983): *On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils*. Meat Science. **8**: 245-281.
33. W. Ternes (1998): *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung*. 2. Auflage, Hamburg: Behr's Verlag.
34. E. Huff-Lonergan und S. M. Lonergan (2005): *Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes*. Meat Science. **71**: 194-204.
35. C. Fischer (1981): *Veränderungen im Muskel nach dem Schlachten.*, in: *Beiträge zur Chemie und Physik des Fleisches.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 74-88.
36. K. O. Honikel (1983): *Water binding and "fat emulsification" during the processing of Brühwurst mixtures*. Fleischwirtschaft. **63**(7): 1179-1182.
37. K. O. Honikel (1981): *Wasserbindung und Fettemulgierung bei der Fleischverarbeitung.*, in: *Beiträge zur Chemie und Physik des Fleisches.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 89-105.
38. R. Hamm (1973): *Die Bedeutung des Wasserbindungsvermögens des Fleisches bei der Brühwurstherstellung*. Fleischwirtschaft. **53**(1): 73-81.
39. H.-D. Belitz, W. Grosch und P. Schieberle (2001): *Aminosäuren, Peptide, Proteine.*, in: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, 5. Auflage, Springer Verlag: Berlin, Heidelberg, New York. S. 8-87.
40. K. O. Honikel (2004): *Vom Fleisch zum Produkt. Reifen - Erhitzen - Zerkleinern - Salzen*. Fleischwirtschaft. **84**(5): 228-234.
41. H. W. Ockerman und F. Leon Crespo (1982): *Physicochemical changes occurring during storage of precured beef blends at different temperatures and two levels of salt*. Journal of food science. **47**: 849-851, 857.
42. P. Oelker und R. Dehmlow (1988): *Elektronenoptische Beobachtungen über ultrastrukturelle Bedingungen der Fettemulgierung und Wasserbindung in Brühwurstbrät*. 3. *Zur Theorie der Wasserbindung, Fettemulgierung und Ultrastrukturbildung*. Fleischwirtschaft. **68**(4): 502-507.

43. P. Oelker (1988): *Elektronenoptische Beobachtungen über ultrastrukturelle Bedingungen der Fettemulgierung und Wasserbindung in Brühwurstbrät. 2. Untersuchungen über die ultrastrukturellen Bedingungen der Wasserbindung.* Fleischwirtschaft. **68**(1): 116-119.
44. P. Oelker (1987): *Elektronenoptische Beobachtungen über ultrastrukturelle Bedingungen der Fettemulgierung und Wasserbindung in Brühwurstbrät. 1. Untersuchungen über die ultrastrukturellen Bedingungen der Fettemulgierung.* Fleischwirtschaft. **67**(11): 1405-1409.
45. K. O. Honikel (2003): *Vom Fleisch zum Produkt - Reifen, Erhitzen, Zerkleinern, Salzen.*, in: *Chemie des Lebensmittels Fleisch.*, K. Bundesanstalt für Fleischforschung (Hrsg.), 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung.: Kulmbach. S. 70-94.
46. R. Hamm (1972): *V. Intermolekulare Wechselwirkung und ihre Bedeutung für das Wasserbindungsvermögen des Muskeleiweißes.*, in: *Kolloidchemie des Fleisches. Das Wasserbindungsvermögen des Muskeleiweißes in Theorie und Praxis.*, R. Hamm (Hrsg.), 1. Auflage, Paul Parey Verlag: Berlin und Hamburg. S. 56-91.
47. H. Peters und H. Sielaff (1996): *Chemisch-physikalische, sensorische und funktionelle Eigenschaften.*, in: *Fleischtechnologie.*, H. Sielaff (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 133-163.
48. P. Oelker (1996): *Brühwurstherstellung - Verfahren, Erzeugnisse und ausgewählte Ausrüstungen der Fleischgewinnung, -bearbeitung und -verarbeitung.*, in: *Fleischtechnologie.*, H. Sielaff (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 397-425.
49. H.-J. Raeuber (1993): *Fleisch, Fisch und deren Produkte.*, in: *Rheologie der Lebensmittel.*, D. Weipert, H. D. Tscheuschner und E. Windhab (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 471-501.
50. W. Ludorff und V. Meyer (1973): *Fische und Fischerzeugnisse.* 2. Auflage, Berlin und Hamburg: Paul Parey Verlag.
51. E. Dunajski (1979): *Texture of fish muscle.* Journal of Texture Studies. **10**: 301-318.
52. S. S. H. Rizvi (1981): *Rheological properties of comminuted meat systems.* Food Technology. **35**(5): 238-243.
53. M. Sadowska und Z. E. Sikorski (1977): *Evaluation of technological suitability of fish meat by rheological measurements.* Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie. **10**: 239-245.
54. Autorenkollektiv (1980): *Strukturmechanische Eigenschaften von Fleisch und Fleischprodukten.*, in: *Fleischgewinnung und -verarbeitung. Technologische Grundlagen.* Auflage, VEB Fachbuchverlag: Leipzig. S. 112-163.
55. A. V. Gorbатов und V. M. Gorbатов (1974): *Advances in sausage meat rheology.* Journal of Texture Studies. **4**: 406-437.
56. A. W. Gorbатов und W. M. Gorbатов (1970): *Die Fließigenschaften des rohen Fleischbrätes.* Fleischwirtschaft. **50**(3): 297-311.
57. W. M. Gorbатов, E. T. Spirin und A. W. Gorbатов (1971): *Einige Aspekte über die Theorie der Adhäsion von zerkleinertem Fleisch.* Fleischwirtschaft. **51**(3): 309-312.
58. G. F. Hammer und S. Stoyanov (2004): *Viskosität von Brätmassen.* Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung: 152-153.
59. N. N. Payne und S. S. H. Rizvi (1988): *Rheological behavior of comminuted meat batters.* Journal of food science. **53**(1): 70-73, 87.
60. S. Barbut und G. S. Mittal (1988): *Rheological and gelation properties of meat batters prepared with three chloride salts.* Journal of food science. **53**(5): 1296-1299, 1311.
61. G. S. Mittal und S. Barbut (1989): *Effects of salt reduction on the rheological and gelation properties of white and dark poultry meat batters.* Journal of Texture Studies. **20**: 209-222.
62. M. A. Bianchi, A. M. R. Pilosof und G. B. Bartholomai (1987): *Influence of soy protein and NaCl on the rheological properties of beef, pork or chicken muscle homogenates.* Journal of food science. **52**(4): 890-892.
63. T. Nakayama und P. Haugen (1977): *Dynamic and steady shear rate aspects of minced meat 'setting'.* Journal of Texture Studies. **8**: 81-92.

64. T. Nakayama, E. Niwa, I. Hamada und C. Shin (1979): *Viscosity changes in carp actomyosin solutions*. Journal of food science. **44**: 1106-1109.
65. G. F. Hammer (1999): *Rheologische Untersuchungen an Bräten. - Rheological examinations of cooked sausage-batters*. Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung: 38-39.
66. R. Toledo, J. Cabot und D. Brown (1977): *Relationship between composition, stability and rheological properties of raw comminuted meat batters*. Journal of food science. **42**(3): 725-727.
67. T. Nakayama, E. Niwa und I. Hamada (1980): *Pipe transportation of minced fish paste*. Journal of food science. **45**: 844-847.
68. P. Pipek und V. Sinevic (1992): *Rheologische Eigenschaften grobzerkleinerten Fleisches*. Fleischwirtschaft. **72**(4): 507-510.
69. P. Pipek, V. Sinevic und S. Sojkova (1991): *Zusammenhang zwischen den rheologischen Eigenschaften von grobzerkleinertem Fleisch und dem Gehalt an freiem Wasser*. Die Nahrung. **35**(7): 701-704.
70. I. Kießling und H.-J. Raeuber (1981): *Struktur und strukturmechanische Eigenschaften von Brät frischer Rohwurst (II)*. Fleisch. **35**(12): 236-238.
71. I. Kießling (1982): *Struktur und strukturmechanische Eigenschaften frischer Rohwurst*. Dissertation Ing. Technische Universität Dresden
72. S. Barbut und G. S. Mittal (1989): *Effects of salt reduction on the rheological and gelation properties of beef, pork and poultry meat batters*. Meat Science. **26**: 177-191.
73. R. Hamm (1975): *On the rheology of minced meat*. Journal of Texture Studies. **6**: 281-296.
74. R. Hamm und R. Rede (1975): *Zur Rheologie des Fleisches. VII. Einfluß des Fettgehaltes und der Temperatur auf das Fließverhalten von Bräten*. Fleischwirtschaft. **55**(1): 99-102.
75. R. Rede und R. Hamm (1973): *Zur Rheologie des Fleisches. VI. Das thixotrope Verhalten von Modellbräten*. Fleischwirtschaft. **53**(9): 1279-1285.
76. R. Hamm und R. Rede (1972): *Zur Rheologie des Fleisches. V. Wirkung von Kochsalz und Diphosphat auf die rheologischen Eigenschaften von Rindermuskel-Homogenaten zu verschiedenen Zeitpunkten post mortem*. Fleischwirtschaft. **52**(3): 331-336.
77. R. Hamm (1972): *XII. Wasserbindungsvermögen und Fließverhalten.*, in: *Kolloidchemie des Fleisches. Das Wasserbindungsvermögen des Muskelweißes in Theorie und Praxis.*, R. Hamm (Hrsg.), 1. Auflage, Paul Parey Verlag: Berlin und Hamburg. S. 208-213.
78. L. Toth und R. Hamm (1969): *Zur Rheologie des Fleisches. IV. Veränderung der rheologischen Eigenschaften des Fleisches nach dem Schlachten*. Fleischwirtschaft. **49**(5): 637-642.
79. L. Toth und R. Hamm (1968): *Zur Rheologie des Fleisches. III. Messung der Fließgrenze und der Viskosität von Modellbräten mit dem Rotationsviskosimeter*. Fleischwirtschaft. **48**(12): 1651-1660.
80. R. Hamm und K. Riesner (1968): *Zur Rheologie des Fleisches. II. Das Fließverhalten von Modellbräten und seine Beziehung zum Wasserbindungsvermögen des Fleisches*. Fleischwirtschaft. **48**(2): 192-201.
81. R. Hamm und K. Riesner (1967): *Zur Rheologie des Fleisches. I. Messung der Fließeigenschaften von Muskelhomogenaten mit dem Rotationsviskosimeter*. Fleischwirtschaft. **47**(10): 1122-1128.
82. R. Erdmann, S. Wenzel, M. Kießling, M. Bottlinger und E. Windhab (1994): *Rheometrische Analyse des Fließverhaltens von Brühwurstbrät*. Fleischwirtschaft. **74**(10): 1089-1092.
83. G. F. Hammer und S. Höpfl (2000): *Rheologische Untersuchungen an Bräten*. Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung: 38-40.
84. G. F. Hammer, G. Haller und S. Höpfl (2001): *Einfluss einer Temperaturerhöhung auf rheologische Eigenschaften von Brühwurstbrät*. Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung: 48-49.

85. H. Fukushima, E. Okazaki, Y. Fukuda und S. Watabe (2007): *Rheological properties of selected fish paste at selected temperature pertaining to shaping of surimi-based products*. Journal of food engineering. **81**: 492-499.
86. T. Lesiow und Y. L. Xiong (2003): *Chicken muscle homogenate gelation properties: effect of pH and muscle fiber type*. Meat Science. **64**: 399-403.
87. T. Lesiow und Y. L. Xiong (2001): *Gelation properties of poultry myofibrillar proteins and comminuted poultry meat. Effect of protein concentration, pH and muscle type*. Fleischwirtschaft, (4): 39-44.
88. A. D. Westphalen, J. L. Briggs und S. M. Lonergan (2006): *Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat-induced gelation*. Meat Science. **72**: 697-703.
89. A. D. Westphalen, J. L. Briggs und S. M. Lonergan (2005): *Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation*. Meat Science. **70**: 293-299.
90. D. R. Doerscher, J. L. Briggs und S. M. Lonergan (2003): *Effects of pork collagen on thermal and viscoelastic properties of purified porcine myofibrillar protein gels*. Meat Science. **66**: 181-188.
91. Niinivaara (1994): *Geschichtliche Entwicklung des Einsatzes von Starterkulturen in der Fleischwirtschaft.*, in: *Beiträge vom 1. Stuttgarter Rohwurstforum*, H. J. Buckenhüskes (Hrsg.), 1. Auflage, Gewürzmüller GmbH: Stuttgart. S. 9-20.
92. K. Katsaras und L. Leistner (1988): *Topographie der Bakterien in der Rohwurst*. Fleischwirtschaft. **68**(10): 1295-1298.
93. S. Barbut (2005): *Effects of chemical acidification and microbial fermentation on the rheological properties of meat products*. Meat Science. **71**: 397-401.
94. L. ten Cate (1960): *Das Schwitzen von Rohwurst*. Fleischwirtschaft. **40**(12): 1038-1041.
95. S. Barbut (2006): *Fermentation and chemical acidification of salami-type products - effect on yield, texture and microstructure*. Journal of Muscle Foods. **17**: 34-42.
96. J. Krämer (1992): *Lebensmittel-Mikrobiologie*. 2. Auflage, Stuttgart: Ulmer Verlag.
97. F.-K. Lücke (2000): *Review: Utilization of microbes to process and preserve meat*. Meat Science. **56**: 105-115.
98. R. Geisen, F.-K. Lücke und L. Kröckel (1991): *Starter- und Schutzkulturen für Fleisch und Fleischerzeugnisse*. Fleischwirtschaft. **71**(9): 969-981.
99. M. S. Ammor und B. Mayo (2007): *Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: An update*. Meat Science. **76**: 138-146.
100. F.-K. Lücke und H. Hechelmann (1985): *Starterkulturen für Rohwurst und Rohschinken. Zusammensetzung und Wirkung.*, in: *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 193-218.
101. A. Landvogt und A. Fischer (1990): *Rohwurstreifung. Gezielte Steuerung der Säuerungsleistung von Starterkulturen*. Fleischwirtschaft. **70**(10): 1134-1140.
102. P. A. Baumgartner, P.-G. Klettner und W. Rödel (1980): *The influence of temperature on some parameters for dry sausage during ripening*. Meat Science. **4**: 191-201.
103. A. Landvogt und A. Fischer (1991): *Rohwurstreifung. Gezielte Steuerung der Säuerungsleistung von Starterkulturen, 2. Teil*. Fleischwirtschaft. **71**(1): 32-35.
104. H. Knauf (1998): *Wissenswertes über Starterkulturen für die Fleischwarenherstellung. 2. Bedeutung von Starter- und Schutzkulturen für die Fleischwarenindustrie*. Fleischwirtschaft. **78**(4): 312-314.
105. H. Knauf (1997): *Wissenswertes über Starterkulturen für die Fleischwarenherstellung. 1. Entwicklung und Eigenschaften von Starterkulturen*. Fleischwirtschaft. **77**(12): 1099-1102.
106. W. P. Hammes (1994): *Starterkulturen - Standort und Ausblick.*, in: *Beiträge vom 1. Stuttgarter Rohwurstforum.*, H. J. Buckenhüskes (Hrsg.), 1. Auflage, Gewürzmüller GmbH: Stuttgart. S. 45-64.

107. M. Metz (1994): *Industrielle Herstellung von Starterkulturen für die Fleischwirtschaft.*, in: *Beiträge vom 1. Stuttgarter Rohwurstforum.*, H. J. Buckenhüskes (Hrsg.), 1. Auflage, Gewürzmüller GmbH: Stuttgart. S. 163-178.
108. F.-K. Lücke (1994): *Fermented meat products.* Food Research International. **27**: 299-307.
109. H. Weber (1994): *Dry sausage manufacture. The importance of protective cultures and their metabolic products.* Fleischwirtschaft. **74**(3): 278-282.
110. W. P. Hammes und H. J. Knauf (1994): *Starters in the processing of meat products.* Meat Science. **36**: 155-168.
111. W. P. Hammes und C. Hertel (1998): *New developments in meat starter cultures.* Meat Science. **49**: 125-138.
112. R. Geisen, F.-K. Lücke und L. Kröckel (1990): *Starter- und Schutzkulturen für Fleischerzeugnisse.*, in: *Sichere Produkte bei Fleisch und Fleischerzeugnissen.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 91-111.
113. H. J. Buckenhüskes (2001): *Probiotische Bakterien zur Herstellung von Rohwurst.* in *GDL-Kongress Lebensmitteltechnologie 08.-10. November.* Berlin.
114. L. De Vuyst, G. Falony und F. Leroy (2008): *Review: Probiotics in fermented sausages.* Meat Science. **80**: 75-78.
115. U. Gerhardt (1994): *Zutaten und Zusatzstoffe für die Herstellung von schnittfester und streichfähiger Rohwurst.*, in: *Beiträge vom 1. Stuttgarter Rohwurstforum.*, H. J. Buckenhüskes (Hrsg.), 1. Auflage, Gewürzmüller GmbH: Stuttgart. S. 99-114.
116. F.-K. Lücke (1986): *Mikrobiologische Vorgänge bei der Herstellung von Rohwurst und Rohschinken.* Fleischwirtschaft. **66**(3): 302-309.
117. F. Wirth (1988): *Kochsalzverminderung bei Fleischerzeugnissen. Möglichkeiten und Grenzen.* Fleischwirtschaft. **68**(8): 947-952.
118. R. Scheuer und W. Rödel (2006): *Natriumlactat als Konservierungsstoff.* Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung: 231.
119. H. Weber (2003): *Zutaten bei der Verarbeitung. - Wirkung und Wirkungsweise.*, in: *Chemie des Lebensmittels Fleisch.* Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 95-118.
120. H. Weber (2004): *Zusatzstoffe und Zutaten. Wirkung und Wirkungsweise. Stoffe, die Konsistenz, Geschmack und Farbe verändern und die Haltbarkeit erhöhen (2. Teil).* Fleischwirtschaft. **84**(8): 22-25.
121. J. de Koos und K.-E. Jansener (1995): *Laktat-Chance zur Verbesserung der Produktsicherheit bei Fleischwaren.* Fleischwirtschaft. **75**(11): 1296-1298.
122. L. Leistner (1986): *Allgemeines über Rohwurst.* Fleischwirtschaft. **66**(3): 290-300.
123. H. Sielaff (1996): *Rohwurstherstellung.*, in: *Fleischtechnologie.*, H. Sielaff (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 427-464.
124. A. Stiebing (2007): *Rohwurst*, in: *Qualität von Fleisch und Fleischwaren*, W. Branscheid, K. O. Honikel, G. Von Lengerken und K. Troeger (Hrsg.), 2. Auflage, Deutscher Fachverlag: Frankfurt am Main. S. 1056-1085.
125. F.-K. Lücke (1985): *Mikrobiologische Vorgänge bei der Herstellung von Rohwurst und Rohschinken.*, in: *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 85-102.
126. J. Flores und S. Bermell (1996): *Luftgereifte Rohwürste. Die Säuerung beeinflussende Faktoren und ihre Folgen.* Fleischwirtschaft. **76**(1): 83-86.
127. K. Katsaras und R. Stenzel (1984): *Beobachtungen der Brühwurst-Mikrostruktur mit dem Raster- und Transmissions-Elektronenmikroskop.* Fleischwirtschaft. **64**(8): 955-957.
128. P. Oelker (1986): *Elektronenoptische Beobachtungen der Ultrastruktur von Rohwurst.* Fleischwirtschaft. **66**(2): 219-224.
129. F.-K. Lücke (2000): *Fermented meats.*, in: *The microbiological safety and quality of food (Part II).* B. M. Lund, T. C. Baird-Parker und G. W. Gould (Hrsg.), 1. Auflage, Aspen Publishers Inc.: Gaithersburg, Maryland. S. 420-444.

130. D. Demeyer und L. Stahnke (2002): *Quality control of fermented meat products.*, in: *Meat processing. Improving quality.*, J. Kerry, J. Kerry und D. Ledward (Hrsg.), 1. Auflage, Woodhead Publishing Limited: Cambridge, England. S. 359-393.
131. W. Rödel (1985): *Rohwurstreifung - Klima und andere Einflußgrößen.*, in: *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken.*, 1. Auflage, Bundesanstalt für Fleischforschung: Kulmbach. S. 60-84.
132. H. J. Buckenhüskes (1994): *Grundlagen der Rohwurstherstellung.*, in: *Beiträge vom 1. Stuttgarter Rohwurstforum.*, H. J. Buckenhüskes (Hrsg.), 1. Auflage, Gewürzmüller GmbH: Stuttgart. S. 21-44.
133. K. Katsaras, W. Büsch und H. Linke (1990): *Morphologische Studien über die Veränderung der Streichfähigkeit von Rohwürsten.* Fleischwirtschaft. **70**(9): 1078-1080.
134. P.-G. Klettner, W. Rödel, K. Hofmann, G. Ott, H. Ponert, S. Wunderlich und H. Böhm (1999): *Bedeutung der minimalen Wasserbindung bei schnittfester Rohwurst. - Importance of small water binding on firm dry sausage.* Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung: 43-44.
135. F. Wirth (1988): *Technologien zur Herstellung fettverminderter Fleischwaren.* Fleischwirtschaft. **68**(2): 160-165.
136. P.-G. Klettner (1996): *Einfluß des Speckanteils, des Kutterverfahrens, der Zuckermenge und -art auf die Herstellung feinzerkleinerter, streichfähiger Rohwurst.* Fleischwirtschaft. **76**(4): 372-377.
137. F. Wirth (1990): *Fett- und Kochsalzverminderung bei Fleischwaren. Was ist möglich?* Fleischwirtschaft. **70**(6): 634-641.
138. T. Niederauer (1998): *Eigenschaften und Anwendungen von Hydrokolloiden.* Fleischwirtschaft. **78**(5): 458-462.
139. Anonym (1987): *Verdicken, Gelieren, Stabilisieren mit Hydrokolloiden.*, Auflage, Metro-Rousselot-Satia GmbH: Paris, Düsseldorf.
140. A. N. Bennett (1989): Patent EP 0345886. Alginate gels. In: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODO&IDX=EP0345886&F=3&QPN=EP0345886> (Zugriff: 03.09.2008)
141. G. R. Schmidt und W. J. Means (1986): Patent US 4603054. Process for preparing algin /calcium gel structured meat products. In: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=EP0345886&F=3&QPN=EP0345886&RPN=US4603054> (Zugriff: 03.09.2008)
142. H. D. Tscheuschner (1993): *Grundlegende rheologische Eigenschaften.*, in: *Rheologie der Lebensmittel.*, D. Weipert, H. D. Tscheuschner und E. Windhab (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 51-100.
143. P.-G. Klettner (1994): *Fleisch und Fleischerzeugnisse. Messungen der Textur oder Konsistenz mit Prüfmaschinen.* Fleischwirtschaft. **74**(4): 378-381.
144. K. O. Honikel (1998): *Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat.* Meat Science. **49**(4): 447-457.
145. K. O. Honikel (2000): *Standardisierung physikalischer Messverfahren bei Fleisch.* Fleischwirtschaft. **80**(7): 75-81.
146. J.-L. Damez und S. Clerjon (2008): *Review. Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure.* Meat Science. **80**: 132-149.
147. K. O. Honikel (2007): *Physikalische Messmethoden zur Erfassung der Fleischqualität.*, in: *Qualität von Fleisch und Fleischwaren.*, W. Branscheid, K. O. Honikel, G. Von Lengerken und K. Troeger (Hrsg.), 2. Auflage, Deutscher Fachverlag: Frankfurt am Main. S. 855-881.
148. A. S. Szczesniak (1963): *Classification of textural characteristics.* Journal of food science. **28**: 385-420.
149. F. Escher (1993): *Textureigenschaften von Lebensmitteln.*, in: *Rheologie der Lebensmittel.*, D. Weipert, H. D. Tscheuschner und E. Windhab (Hrsg.), 1. Auflage, Behr's Verlag: Hamburg. S. 151-171.
150. P.-G. Klettner (1983): *Messung der Festigkeit von Fleisch und Fleischerzeugnissen mit dem Penetrometer.* Fleischwirtschaft. **63**(3): 346-347.

151. K. Kristbergsson und H. Sigfusson (2002): *Use of Brabender^(R) Viscograph E to measure some rheological properties of minced fish muscle*. *Journal of Texture Studies*. **33**: 183-200.
152. L. O. Figura (2004): *Lebensmittelphysik. Physikalische Kenngrößen - Messung und Anwendung*. 1. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
153. B. Senge (2002): *Materialsammlung zur Vorlesung Spezielle Lebensmittelrheologie. Technische Universität Berlin: Fachgebiet Lebensmittelrheologie*.
154. T. Mezger (2000): *Das Rheologie Handbuch*. 1. Auflage, Hannover: Vincentz Verlag.
155. K.-H. Hack, A. C. Hammann, G. Hullemann und E. Staffe (1992): *Zerlegen, Standardisieren, Kalkulieren. Praxis-Handbuch der Material- und Betriebswirtschaft*. 1. Auflage, Frankfurt am Main: Deutscher Fleischer-Verband.
156. H. Kastner (2008): *Strukturierungsprozesse bei der Fermentation von Schweinefleisch*. Diplomarbeit. Technische Universität Berlin
157. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (1980): L 06.00-3
158. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (1989): L 06.00-7
159. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (1980): L 06.00-4
160. N. Hildebrandt, F. Thiemig und B. Senge (2007): *Strukturbildung bei der Fermentation von Fleisch*. *Fleischwirtschaft*. **87**(9): 104-107.
161. U. Leutz, J. Wallburg und A. Fischer (2002): *Automatisch Reifen und Trocknen. Ermittlung und Integration der optimalen Trocknungsdaten zur Rohwurstproduktion - Teil 2*. *Fleischwirtschaft*. **82**: 43-52.

12. Anhang

Tab. 24: TS-Gehalte nach ASU §35 LMBG der S1-Rohstoffe Variation Fettgehalt und Variation Ca-Lactat

Rohware	TS [%]			
	x ₁	x ₂	MW	MAW
Variation Fettgehalt (S1)	25,2	25,35	25,28	0,08
Variation Ca-Lactat (0 %)	24,95	24,8	24,88	0,07

Tab. 25: TS-Gehalte der Grundbräte Schweinefleisch

Probe	Trockensubstanz in %				
	x ₁	x ₂	x ₃	MW	MAW
6 %_a	23,1	23,34	23,52	23,32	0,15
6 %_b	22,74	22,22	22,94	22,63	0,28
20 %_a	19,07	19,17	18,76	19,00	0,16
20 %_b	19,28	19	19,17	19,15	0,10
S1_a	23,99	23,61	23,92	23,84	0,15
S1_b	23,83	23,61	23,93	23,79	0,12
S1+10_a	28,66	28,25	28,35	28,42	0,16
S1+10_b	27,98	27,75	27,86	27,86	0,08
S1+10_c	28,49	28,09	27,94	28,17	0,21
S1+10_d	28,78	28,54	28,11	28,48	0,24
S1+20_a	35,39	35,60	35,68	35,56	0,11
S1+20_b	35,80	35,48	36,36	35,88	0,32
S1+30_a	42,59	41,94	42,35	42,29	0,24
S1+30_b	41,80	41,83	43,13	42,25	0,58
S1+40_a	50,57	49,23	48,34	49,38	0,79
S1+40_b	49,95	50,00	49,52	49,82	0,20
0 %_a	22,69	22,93	22,30	22,64	0,23
0 %_b	22,61	22,60	22,49	22,57	0,05

Tab. 26: Rohproteingehalte

Probe	Rohproteingehalt [%]						
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	MW	MAW
S1 (Variation Fettgehalt)	19,89	22,30	22,20	21,41	-	21,45	0,80
S1 (Variation Ca-Lactat)	21,87	22,17	22,01	21,76	22,15	21,99	0,14
S8	2,68	2,87	2,74	-	-	2,76	0,07

Tab. 27: Aschegehalt

Probe	Aschegehalt [%]			
	x ₁	x ₂	MW	MAW
S1 (Variation Fettgehalt)	1,18	1,19	1,19	0,004
S1 (Variation Ca-Lactat)	1,21	1,24	1,23	0,014

Tab. 28: Durchschnittliche chemisch-analytische Kennwerte der Modellbräte in Abhängigkeit vom S8-Gehalt laut GEHA-Standardisierungssystem

Probe	Wasser [%]	Fett [%]	Fleischeiweiß [%]	BEFFE [%]
S1	76,42	4,72	18,87	17,92
S1+10	70,09	12,74	17,17	16,16
S1+20	63,77	20,75	15,47	14,40
S1+30	57,45	28,77	13,77	12,63
S1+40	51,13	36,79	12,08	10,87

Tab. 29: Strukturbildungsgeschwindigkeiten Variation Fremdwassergehalt

Probe	Bereich A		Bereich B		Bereich C		Bereich D	
	v _{Str} [Pa/min]	MAW						
6 % a	42,66		16,84		53,18		125,16	
6 % b	43,59		16,65		53,18		111,21	
MW 6 %	43,13	0,47	16,75	0,10	53,18	0,00	118,19	6,98
20 % a	16,46		5,86		22,96		56,48	
20 % b	18,57		6,77		24,98		49,00	
MW 20 %	17,52	1,06	6,32	0,45	23,97	1,01	52,74	3,74

Tab. 30: Strukturbildungsgeschwindigkeiten Variation Fettgehalt

Probe	Bereich A		Bereich B		Bereich C		Bereich D	
	v _{Str} [Pa/min]	MAW						
S1_a	43,55		19,54		54,92		124,89	
S1_b	46,65		21,14		58,06		116,64	
MW S1	45,10	1,55	20,34	0,80	56,49	1,57	120,77	4,13
S1+10_a	41,71		17,44		42,44		105,17	
S1+10_b	35,57		15,97		37,68		97,00	
S1+10_c	43,12		16,68		38,83		97,96	
S1+10_d	37,16		13,74		36,70		91,74	
MW S1+10	39,39	3,03	15,96	1,11	38,91	1,77	97,97	3,60
S1+20_a	22,49		10,06		18,97		52,01	
S1+20_b	21,70		9,54		18,71		52,27	
MW S1+20	22,10	0,39	9,80	0,26	18,84	0,13	52,14	0,13
S1+30_a	13,78		5,27		9,55		25,84	
S1+30_b	12,39		5,40		9,38		23,36	
MW S1+30	13,09	0,70	5,33	0,07	9,46	0,08	24,60	1,24
S1+40_a	4,89		1,92		3,21		6,72	
S1+40_b	5,47		2,12		3,78		6,91	
MW S1+40	5,18	0,29	2,02	0,10	3,49	0,28	6,82	0,09

Tab. 31: Strukturbildungsgeschwindigkeiten Variation Ca-Lactat

Probe	Bereich A		Bereich B		Bereich C		Bereich D	
	v _{Str} [Pa/min]	MAW						
0 %_a	39,00		14,49		42,51		96,10	
0 %_b	39,40		14,68		48,16		105,65	
0 % MW	39,20	0,20	14,58	0,10	45,34	2,83	100,88	4,77
1 %_a	34,77		13,82		23,26		77,53	
1 %_b	33,03		12,50		24,26		76,29	
1 % MW	33,90	0,87	13,16	0,66	23,76	0,50	76,91	0,62
0,5 %_a	33,74		13,24		28,00		74,25	
0,5 %_b	32,85		12,84		31,15		91,36	
0,5 %_c	35,94		13,10		32,69		100,45	
0,5 %_d	31,51		13,53		33,02		99,62	
0,5 % MW	33,51	1,33	13,18	0,21	31,21	1,64	91,42	8,61

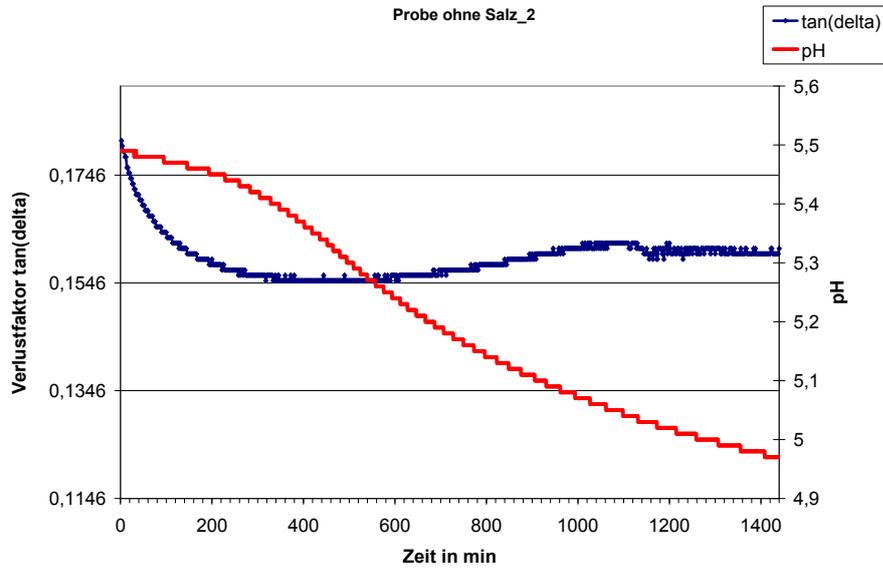


Abb. 97: $\tan \delta (t)$ und $\text{pH} (t)$, Rindfleisch ohne Salz, 2. Ansatz

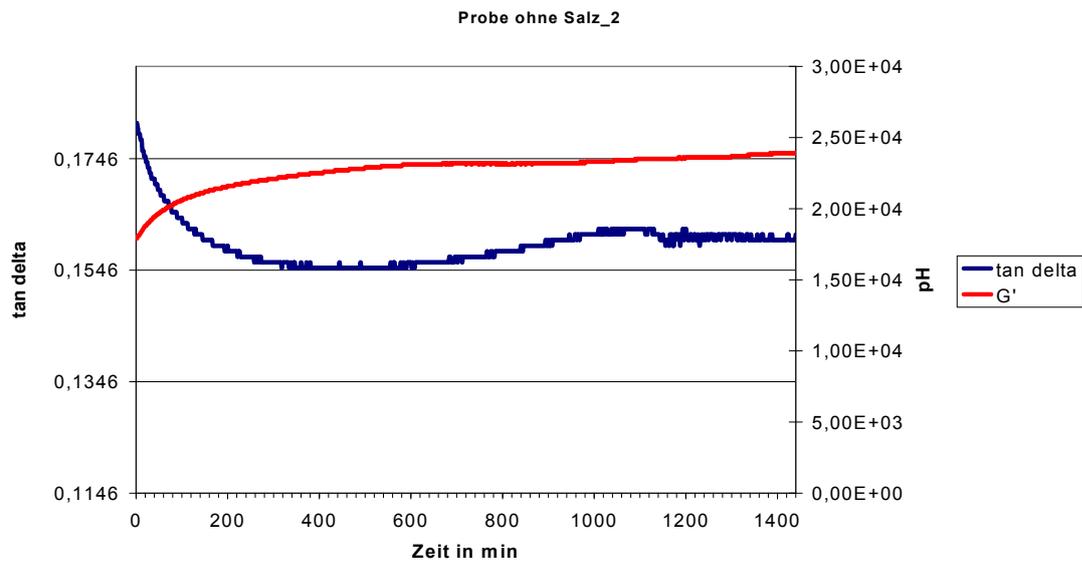


Abb. 98 $G' (t)$ und $\tan \delta (t)$, Rindfleisch ohne Salz, 2. Ansatz

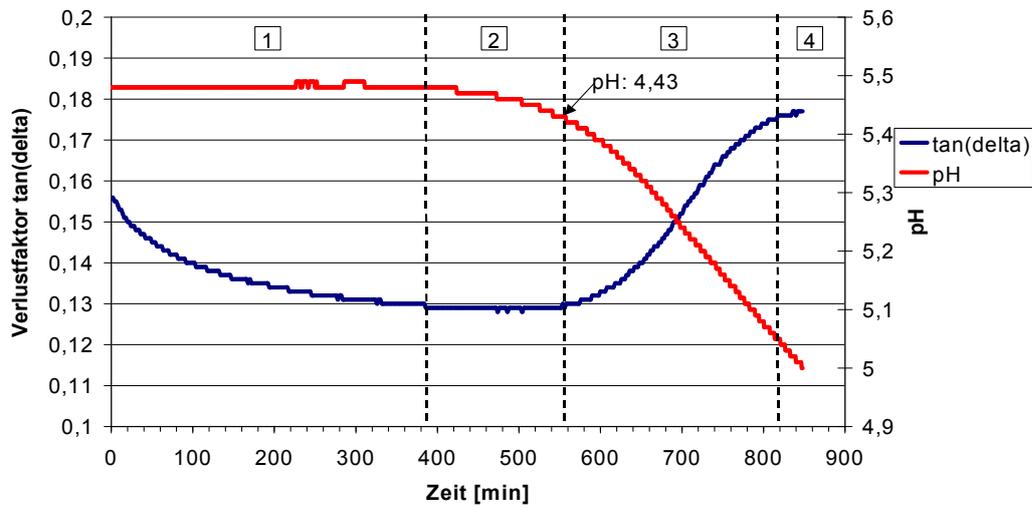


Abb. 99: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation der Probe R_S.

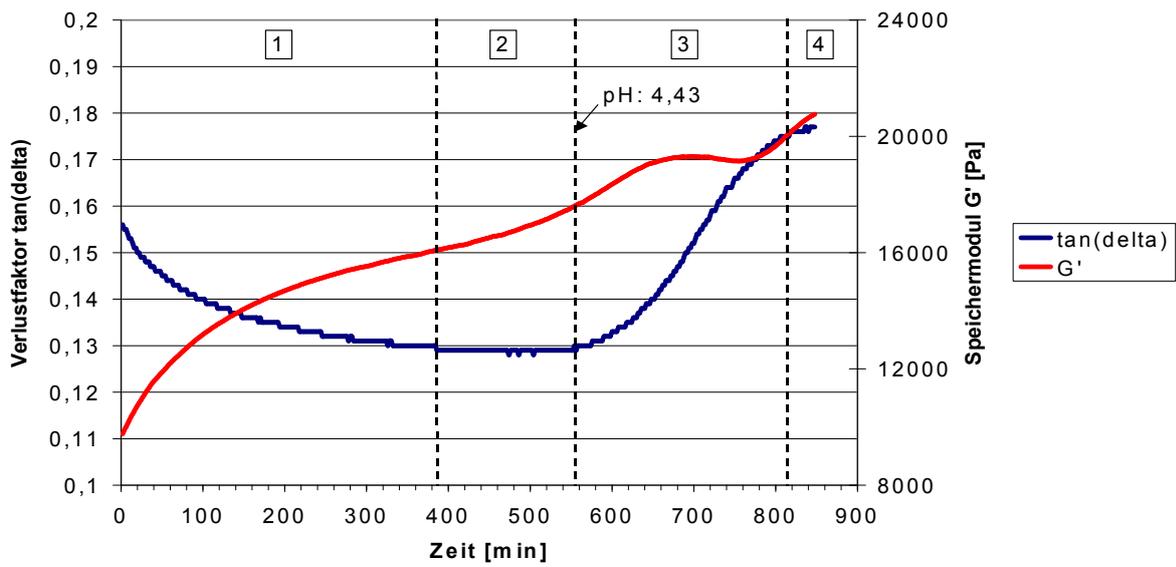


Abb. 100: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation der Probe R_S.

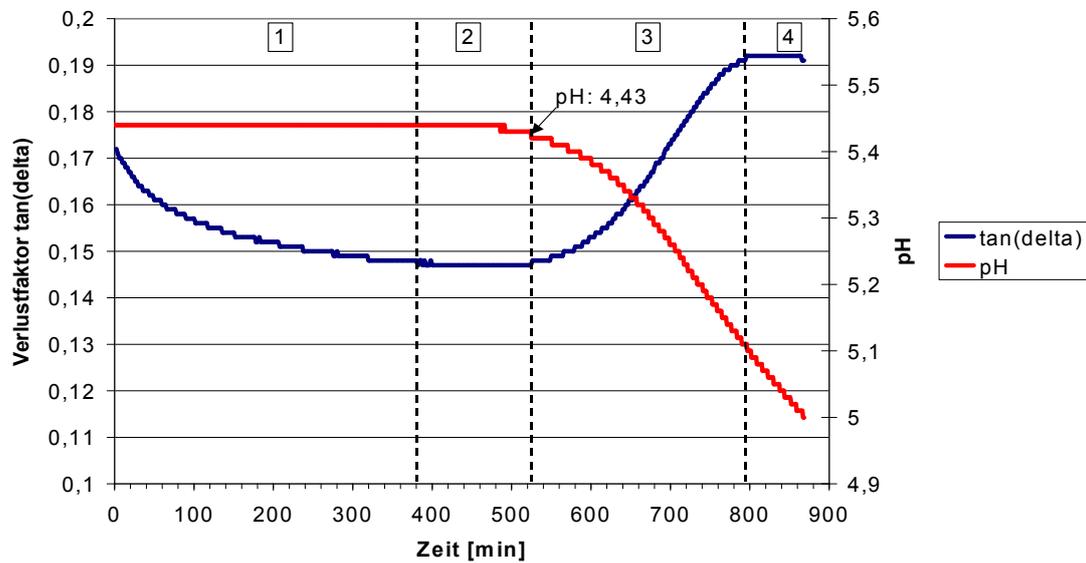


Abb. 101: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation der Probe R_o. S.

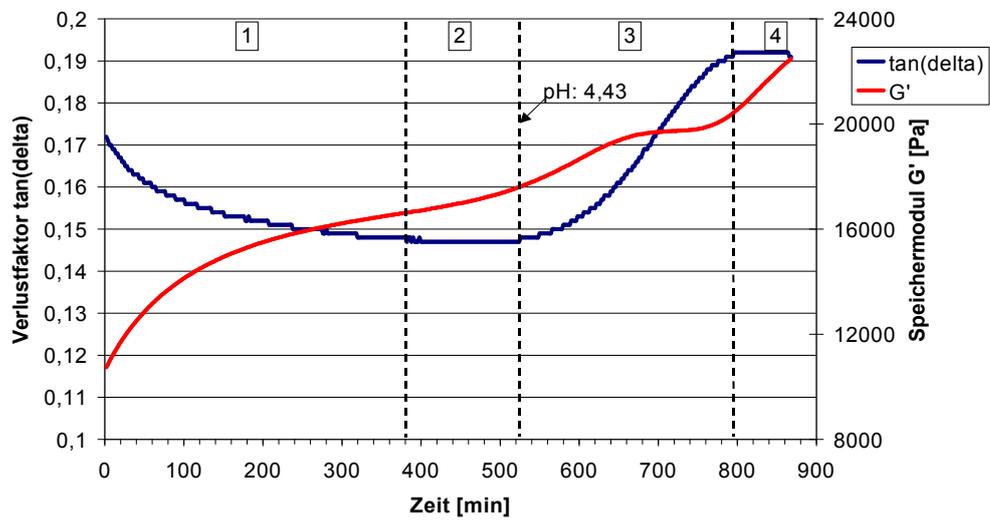


Abb. 102: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation der Probe R_o. S.

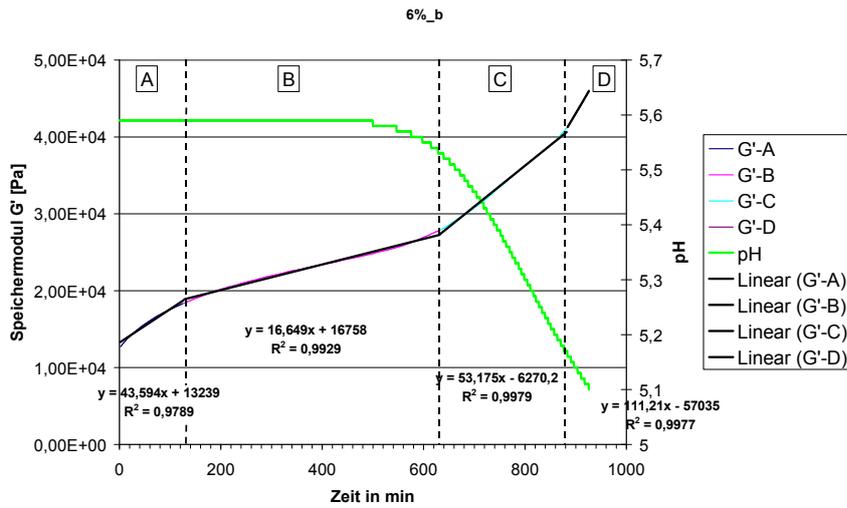


Abb. 103: Bereiche A, B, C und D der Probe 6 %_b Variation Fremdwassergehalt

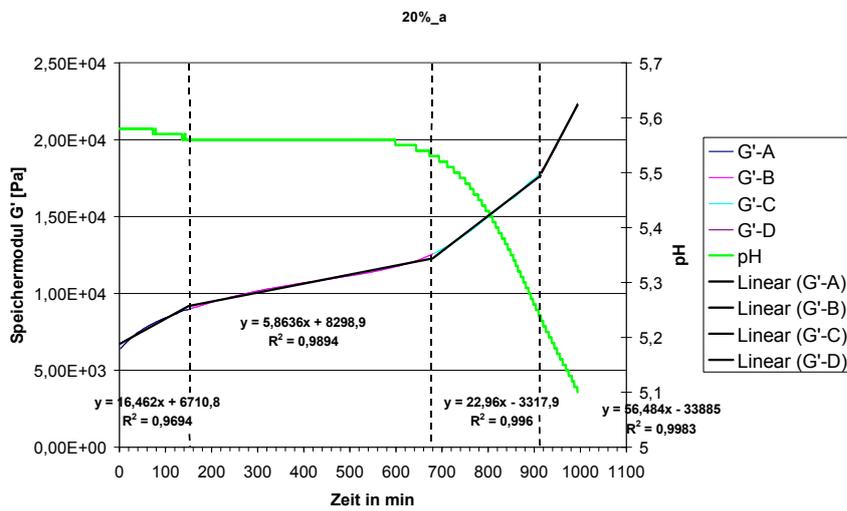


Abb. 104: Bereiche A, B, C und D der Probe 20 %_a Variation Fremdwassergehalt

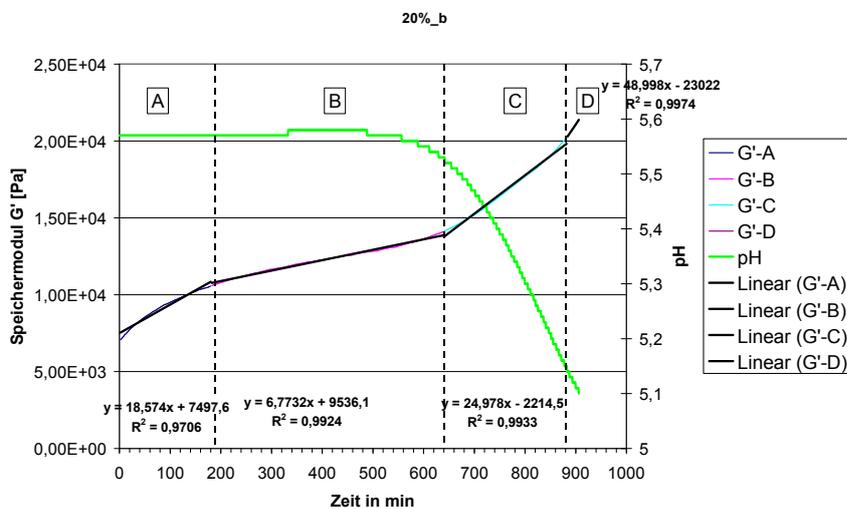


Abb. 105: Bereiche A, B, C und D der Probe 20 %_b Variation Fremdwassergehalt

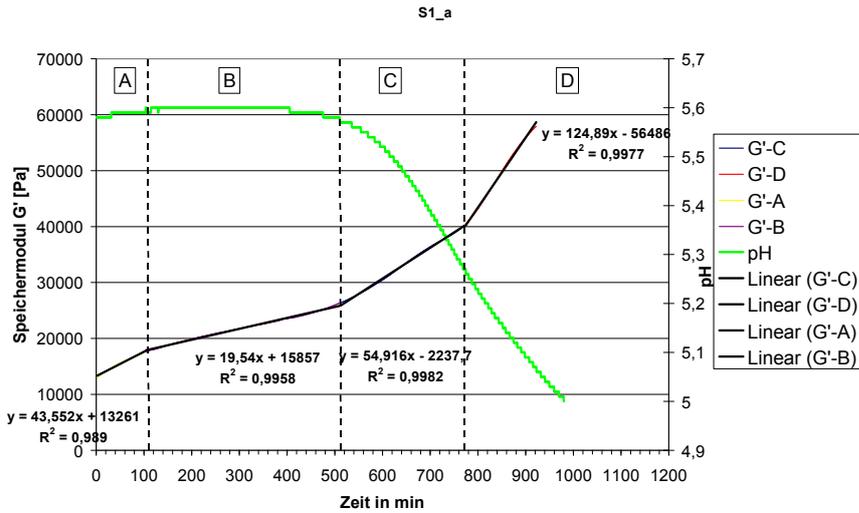


Abb. 106: Bereiche A, B, C und D der Probe S1_a, Variation Fettgehalt

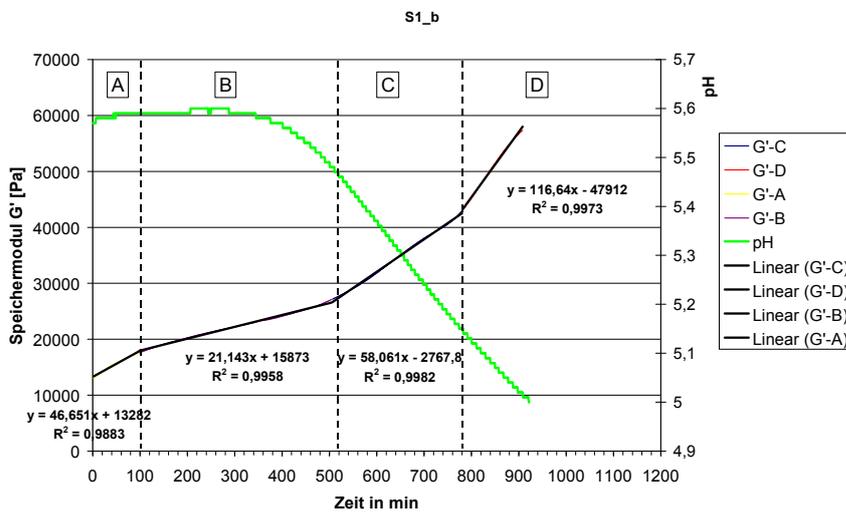


Abb. 107: Bereiche A, B, C und D der Probe S1_b, Variation Fettgehalt

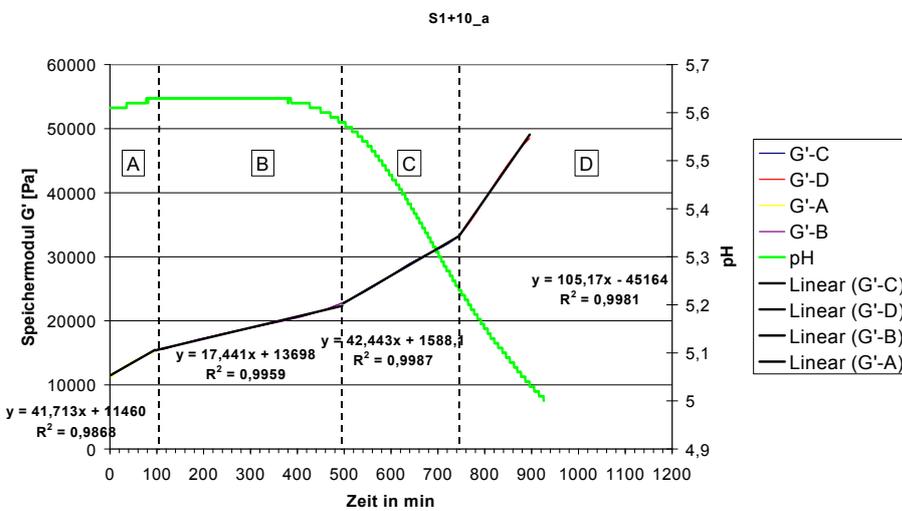


Abb. 108: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_a, Variation Fettgehalt

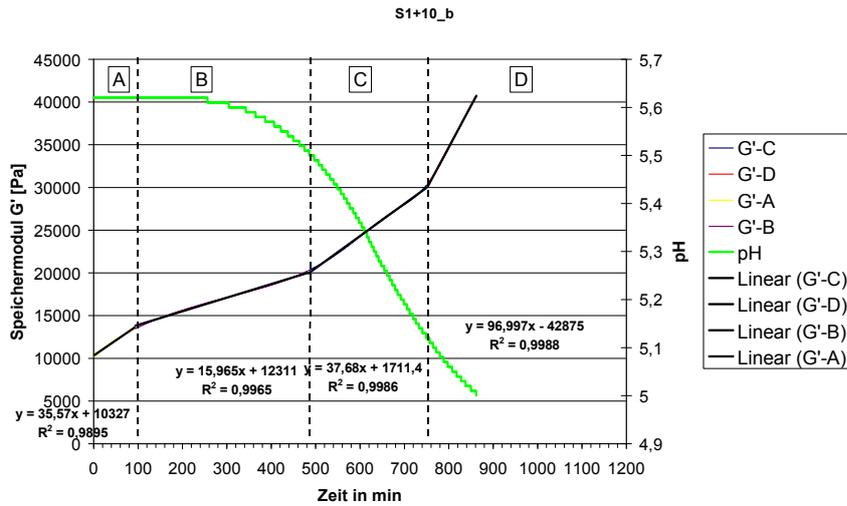


Abb. 109: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_b, Variation Fettgehalt

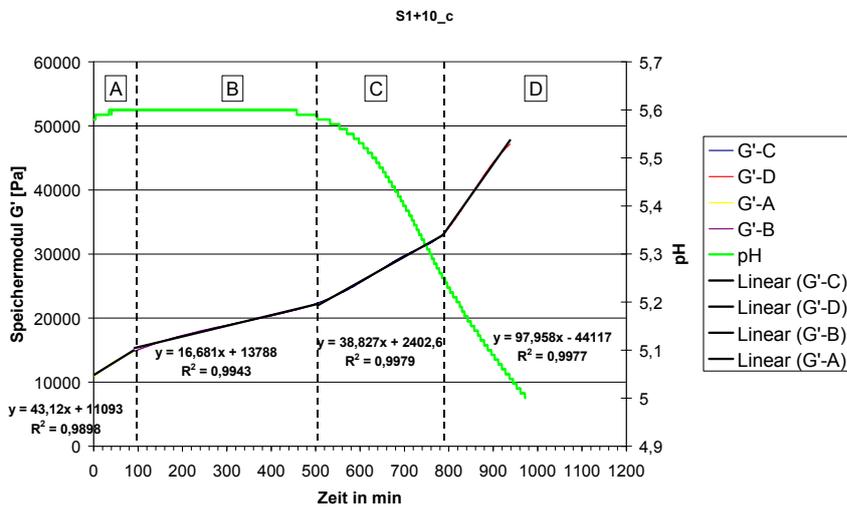


Abb. 110: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_c, Variation Fettgehalt

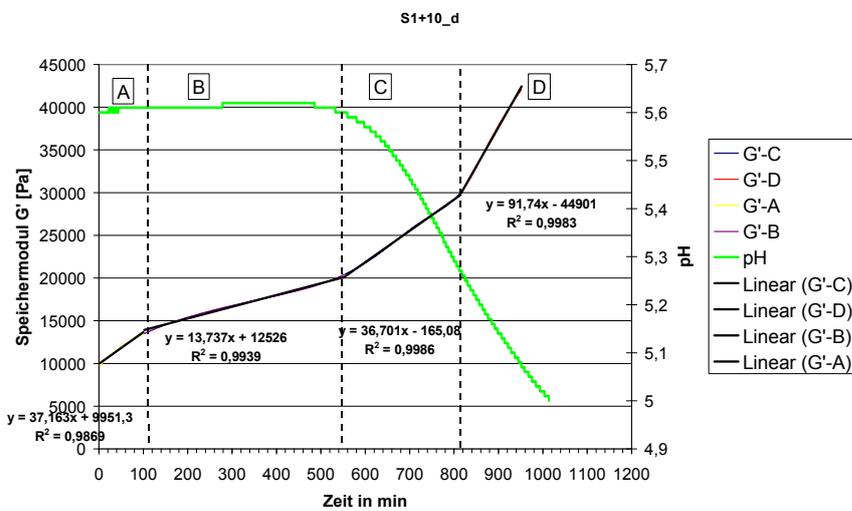


Abb. 111: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_d, Variation Fettgehalt

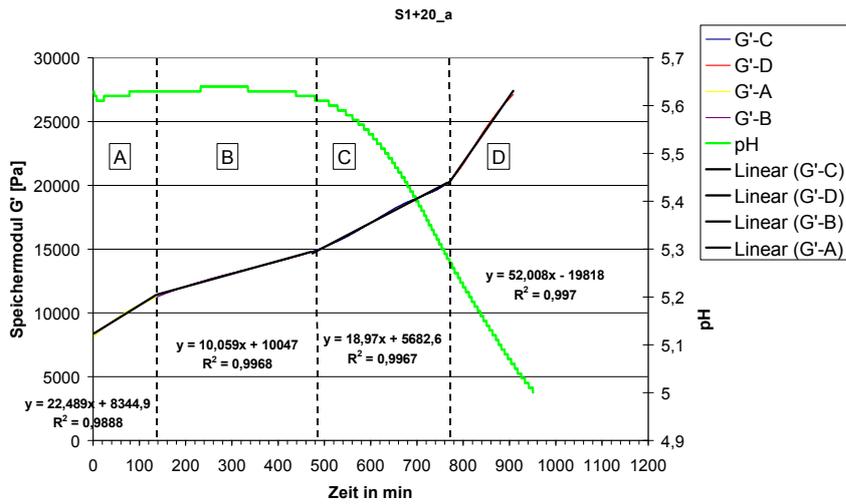


Abb. 112 Bereiche A, B, C und D der Probe S1+20_a, Variation Fettgehalt

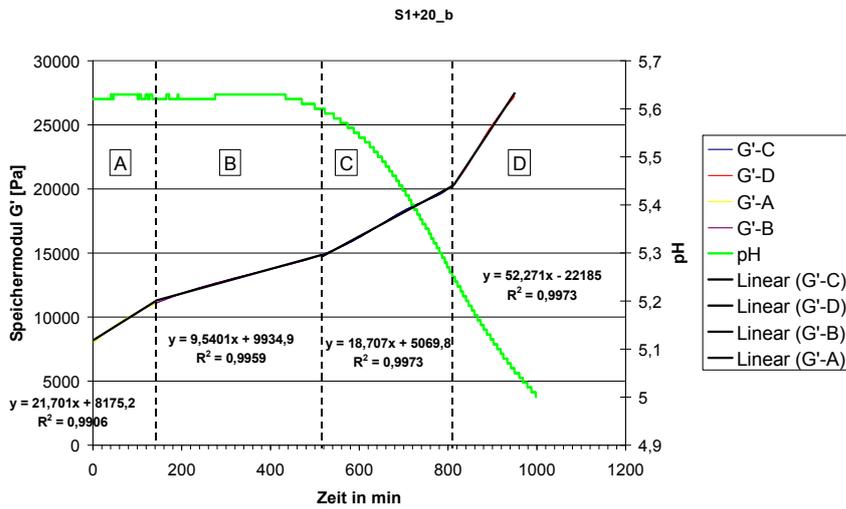


Abb. 113: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+20_b, Variation Fettgehalt

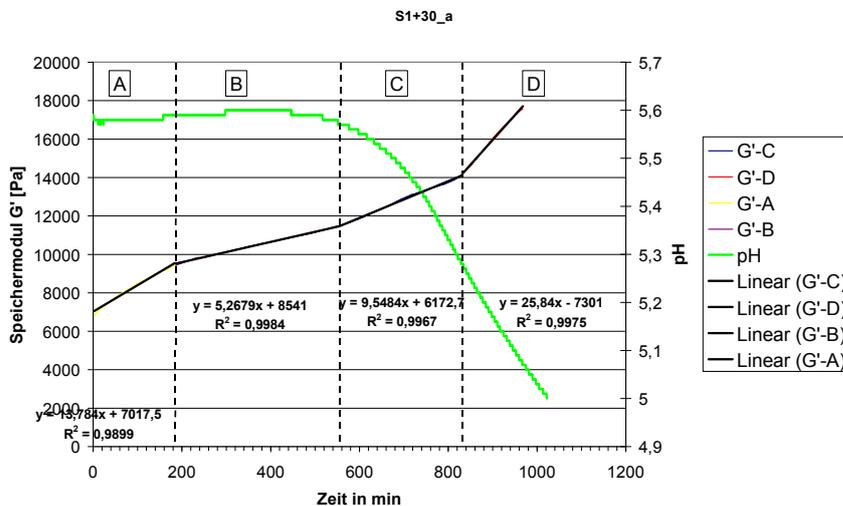


Abb. 114: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+30_a, Variation Fettgehalt

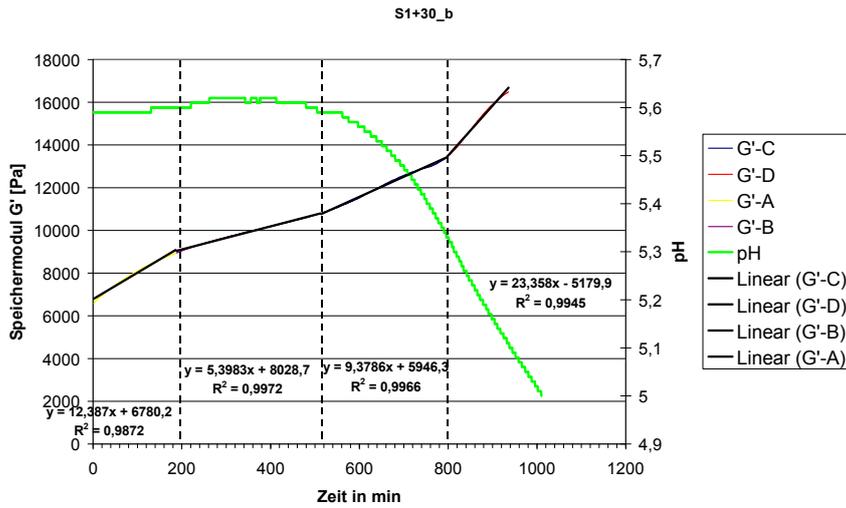


Abb. 115: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+30_b, Variation Fettgehalt

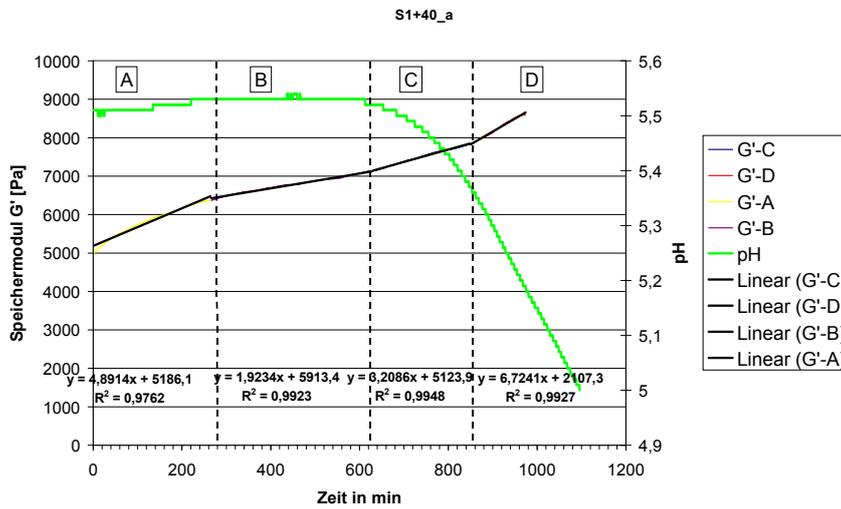


Abb. 116: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+40_a, Variation Fettgehalt

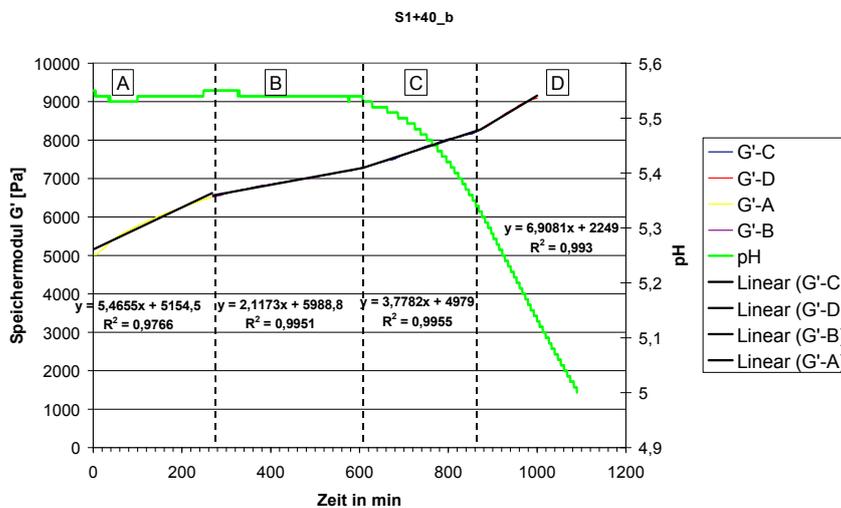


Abb. 117: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+40_b, Variation Fettgehalt

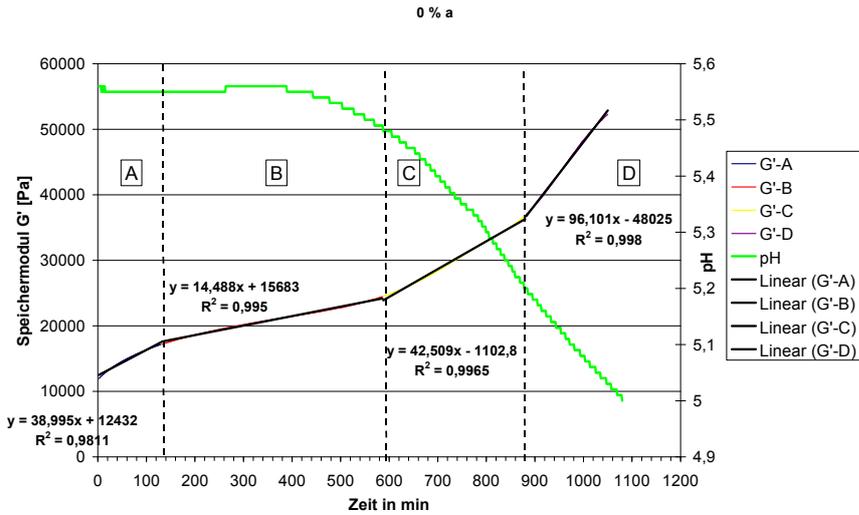


Abb. 118: Bereiche A, B, C und D der Probe 0 %_a, Variation Ca-Lactat

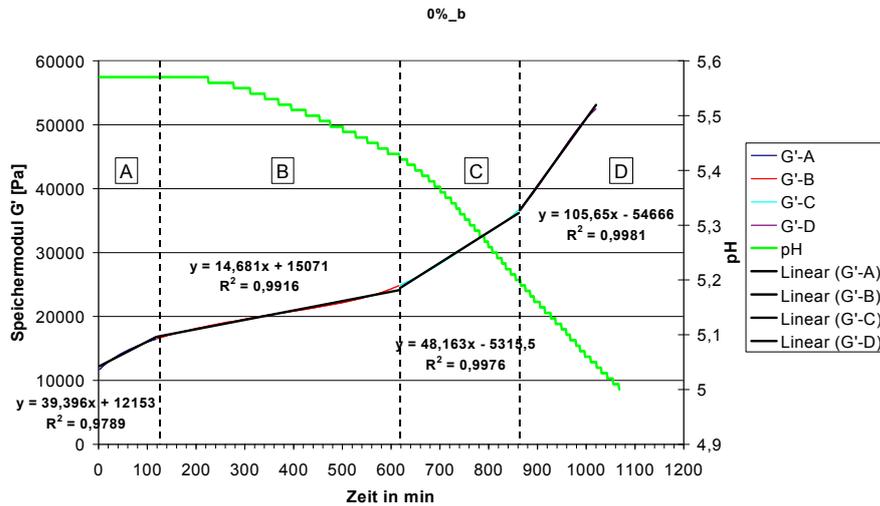


Abb. 119: Bereiche A, B, C und D der Probe 0 %_b, Variation Ca-Lactat

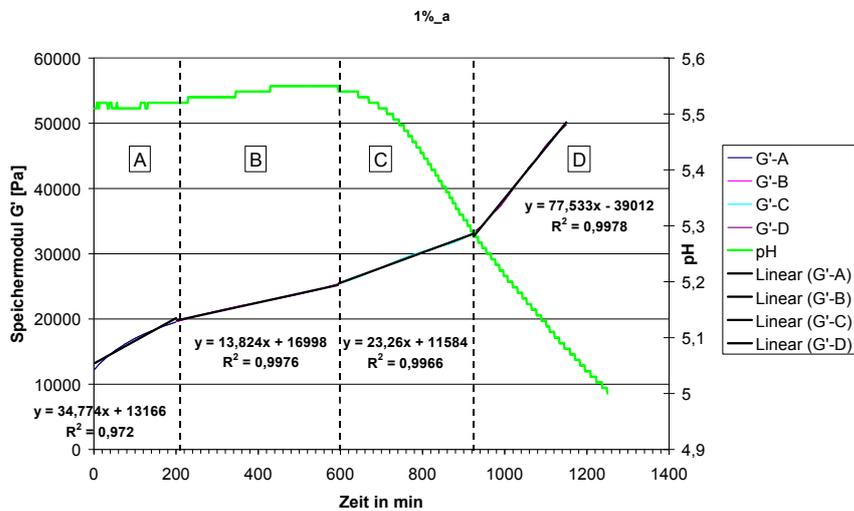


Abb. 120: Bereiche A, B, C und D der Probe 1 %_a, Variation Ca-Lactat

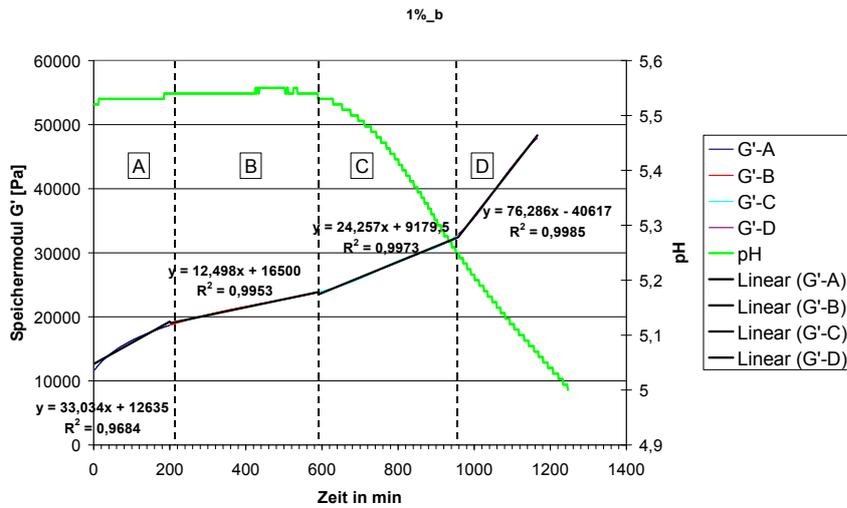


Abb. 121: Bereiche A, B, C und D der Probe 1 %_b, Variation Ca-Lactat

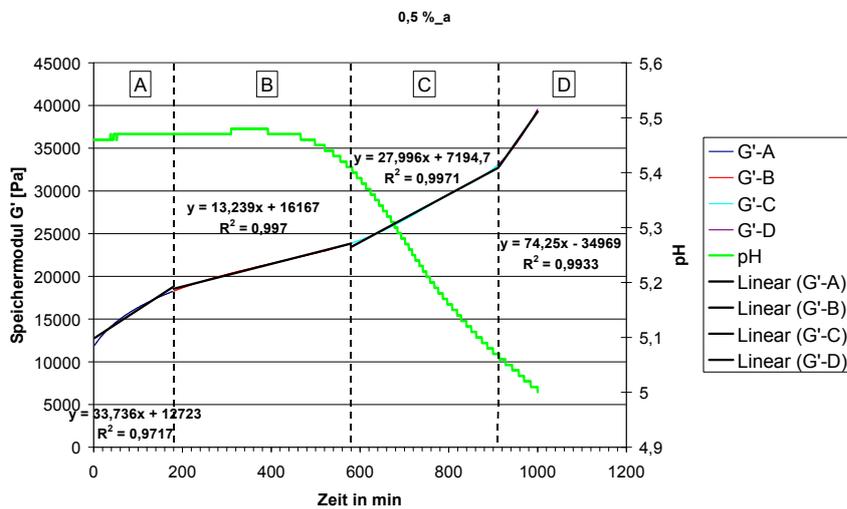


Abb. 122: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_a, Variation Ca-Lactat

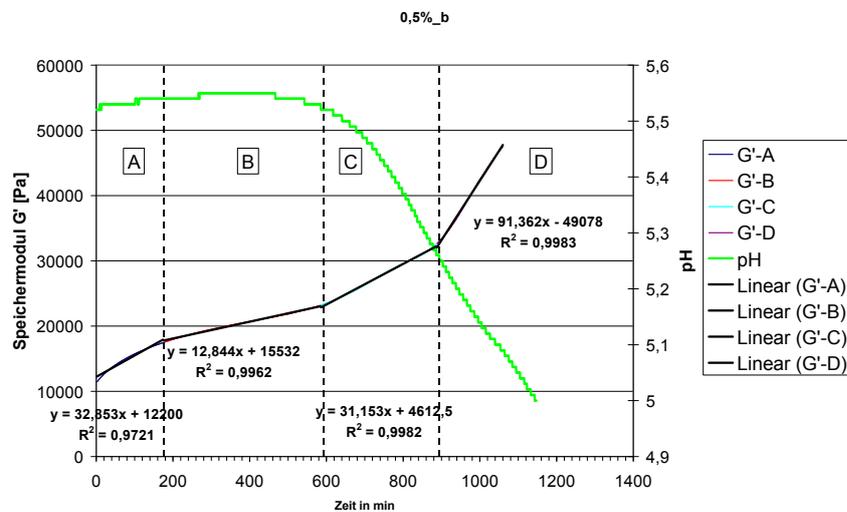


Abb. 123: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_b, Variation Ca-Lactat

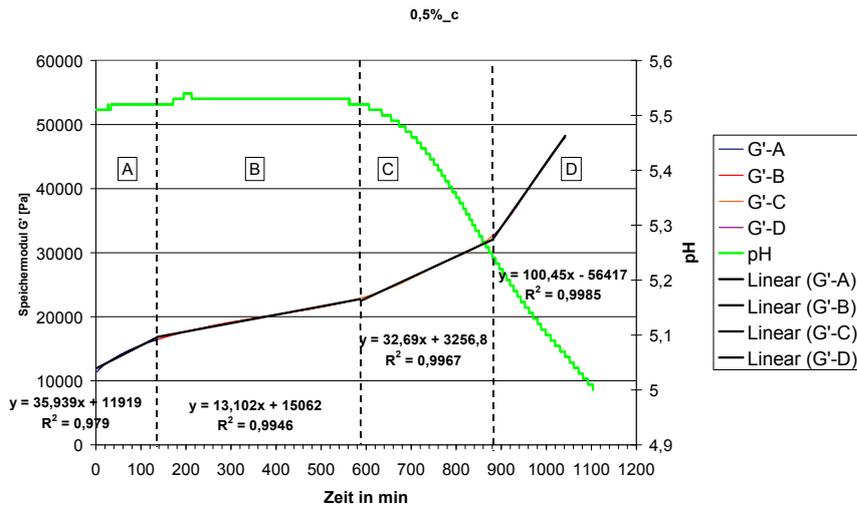


Abb. 124: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_c, Variation Ca-Lactat

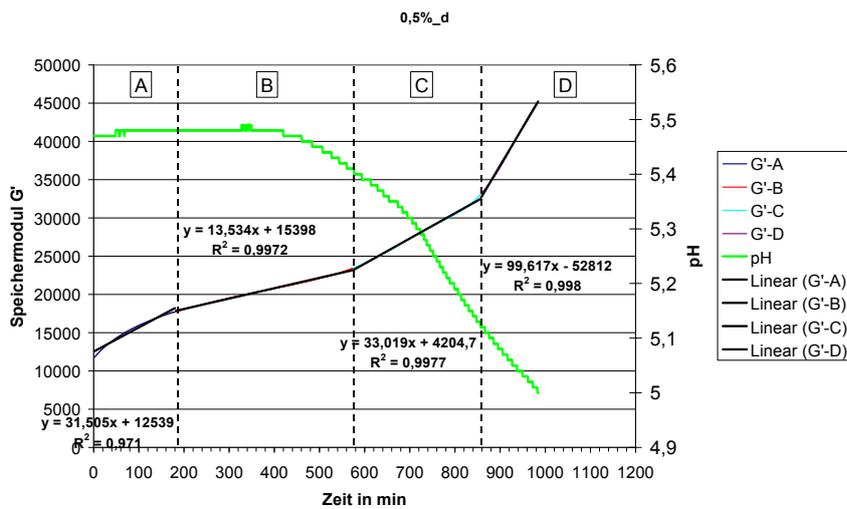
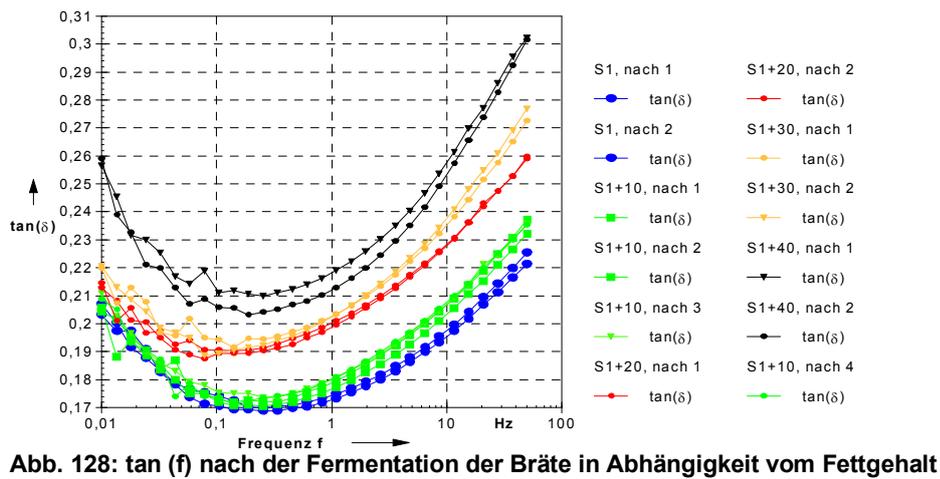
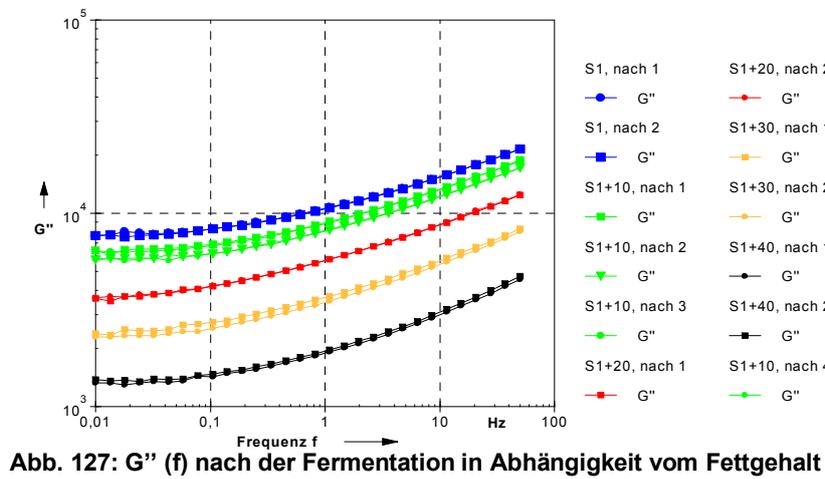
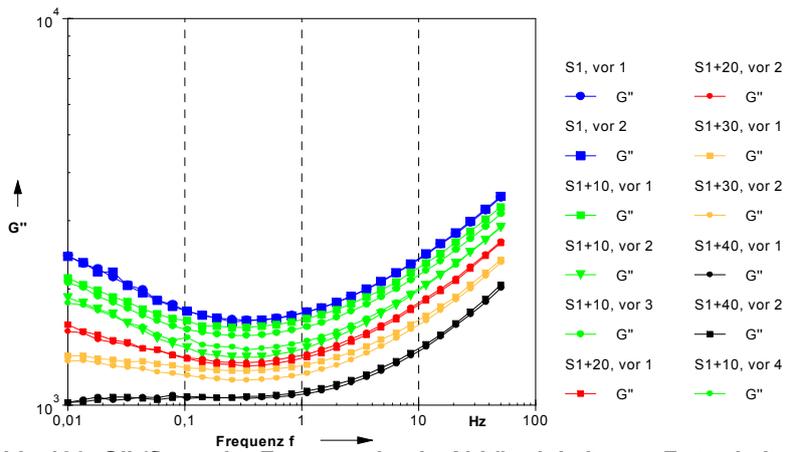


Abb. 125: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_d, Variation Ca-Lactat



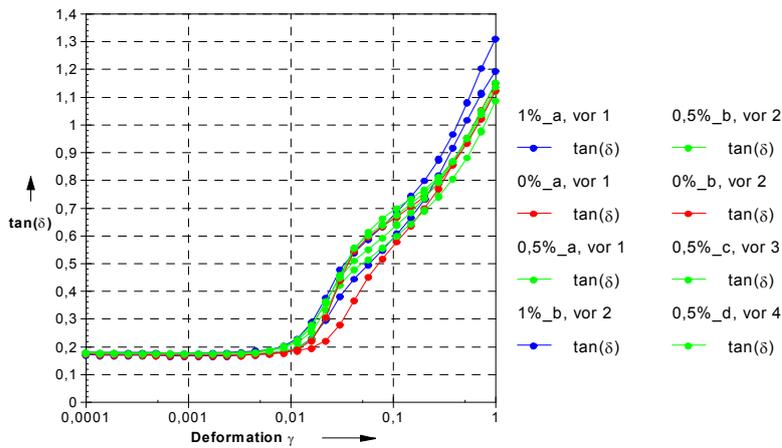


Abb. 129: $\tan(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

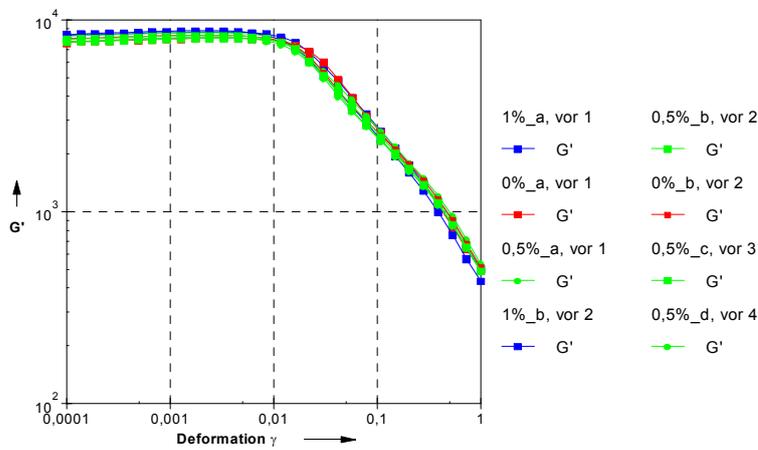


Abb. 130: $G'(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

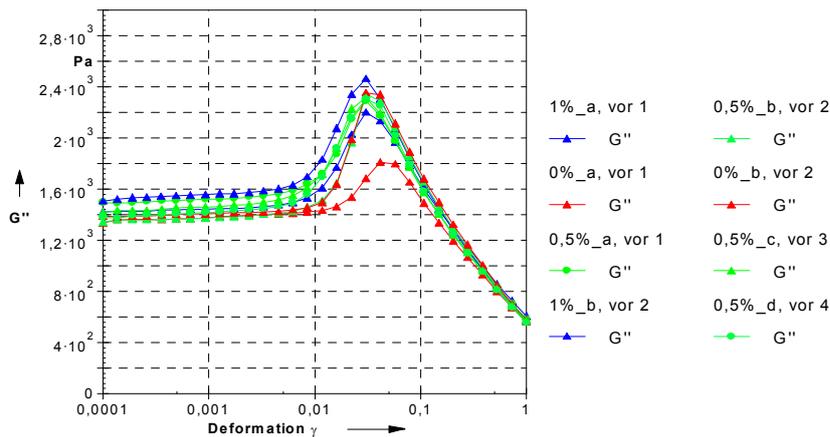


Abb. 131: $G''(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

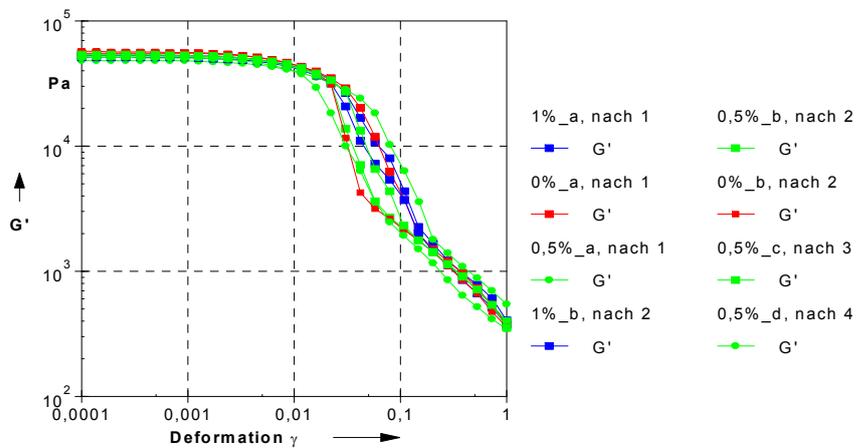


Abb. 132: $G'(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

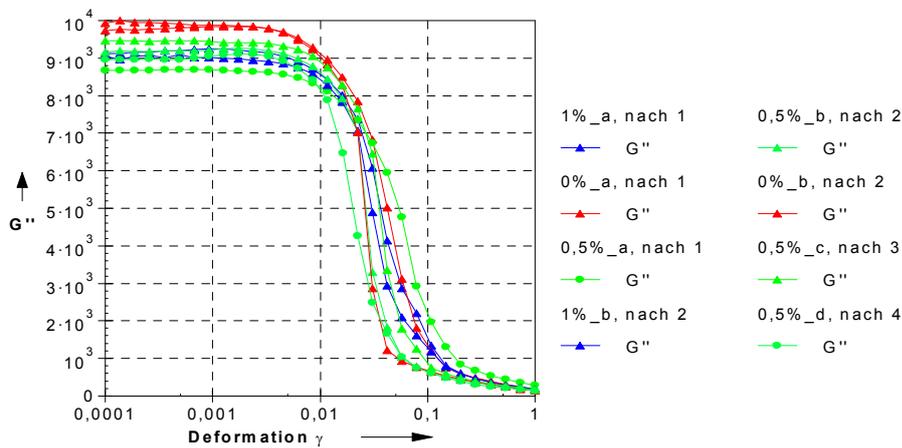


Abb. 133: $G''(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

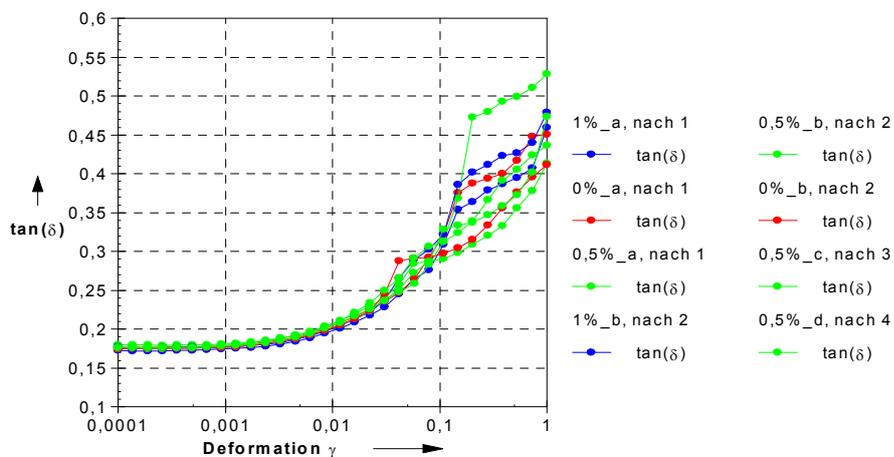


Abb. 134: $\tan \delta(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

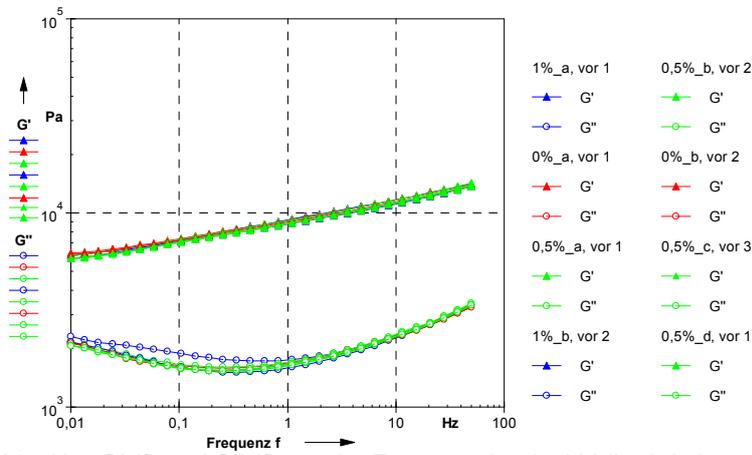


Abb. 135: G' (f) und G'' (f) vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

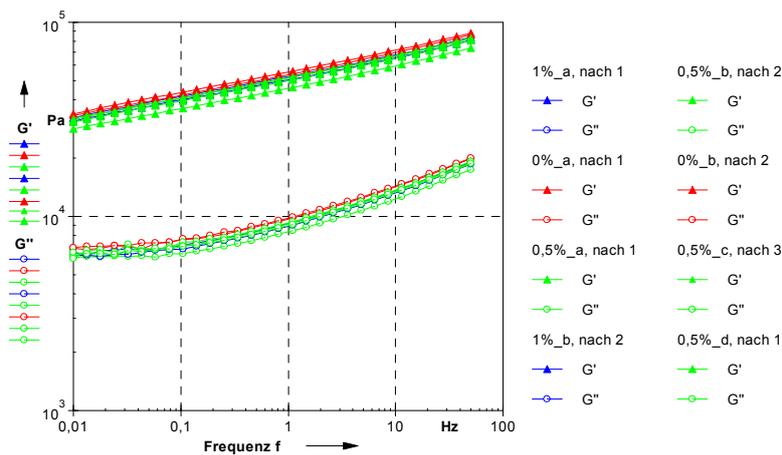


Abb. 136: G' (f) und G'' (f) nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt

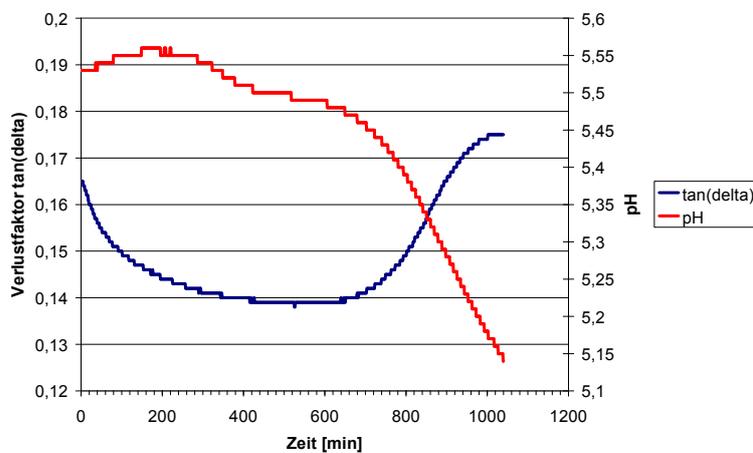


Abb. 137: Verlustfaktor $\tan(\delta)$ und pH-Verlauf im Timesweep während der Fermentation von S1-Brät mit den gleichen Zutaten wie bei den Karpfenfermentationen (ohne Ascorbinsäure, mit 1 % Ca-Lactat)

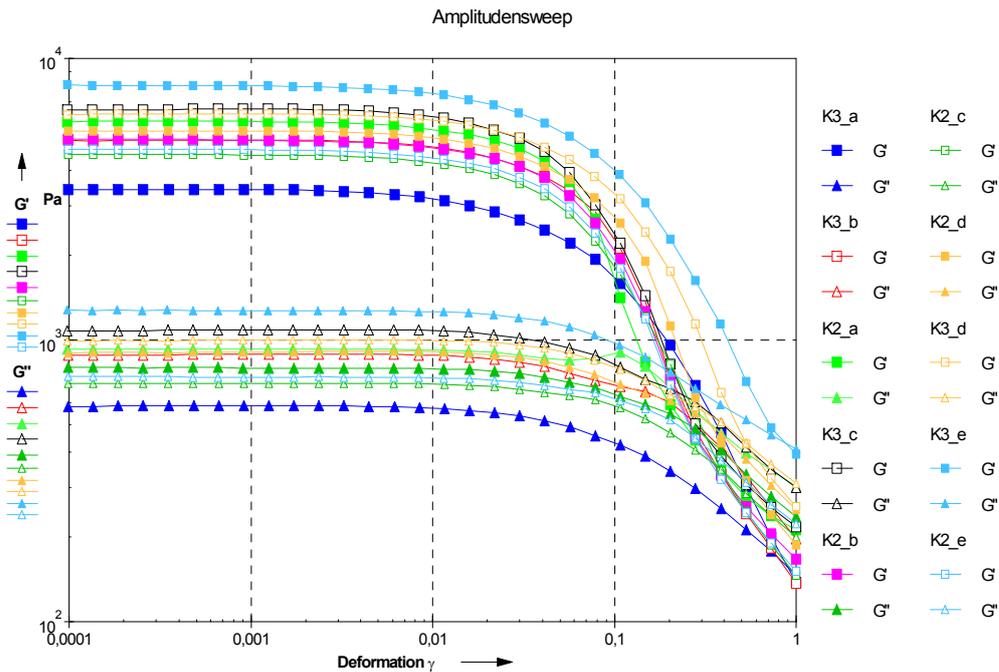


Abb. 138 : $G'(\gamma)$ und $G''(\gamma)$ der Rohbrate K3 und K2

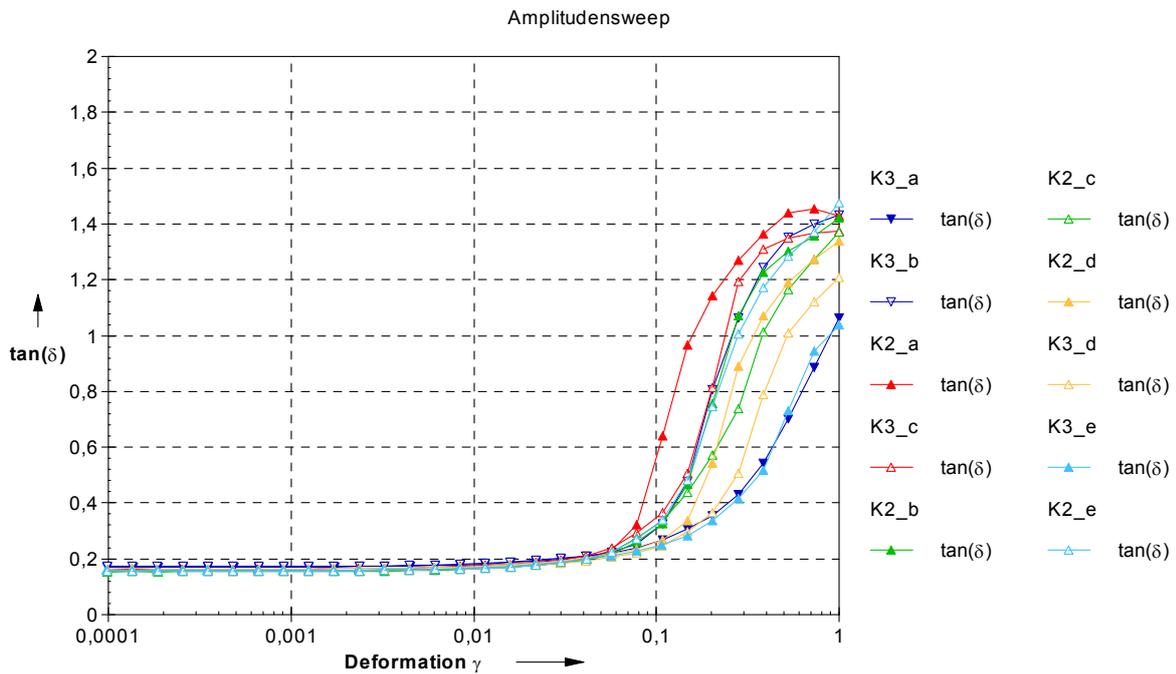


Abb. 139 : $\tan \delta(\gamma)$ der Rohbrate K3 und K2

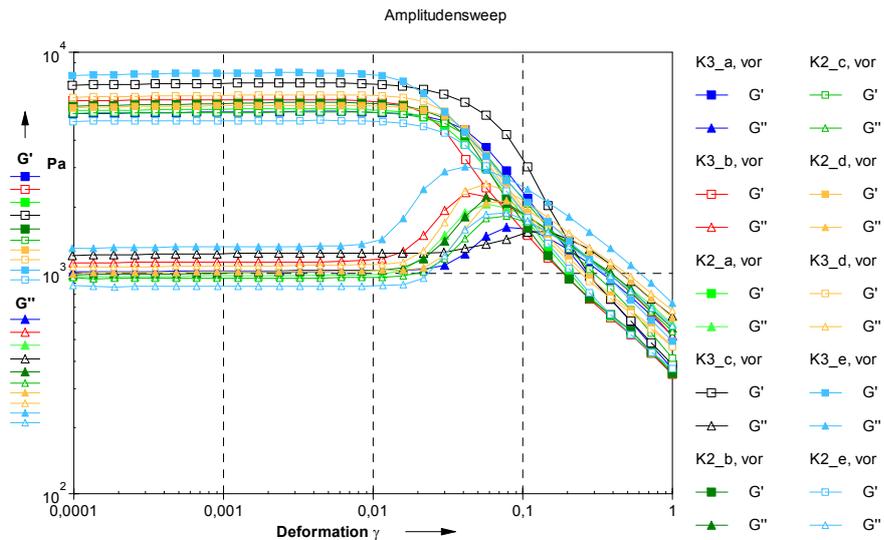


Abb. 140 : $G'(\gamma)$ und $G''(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation

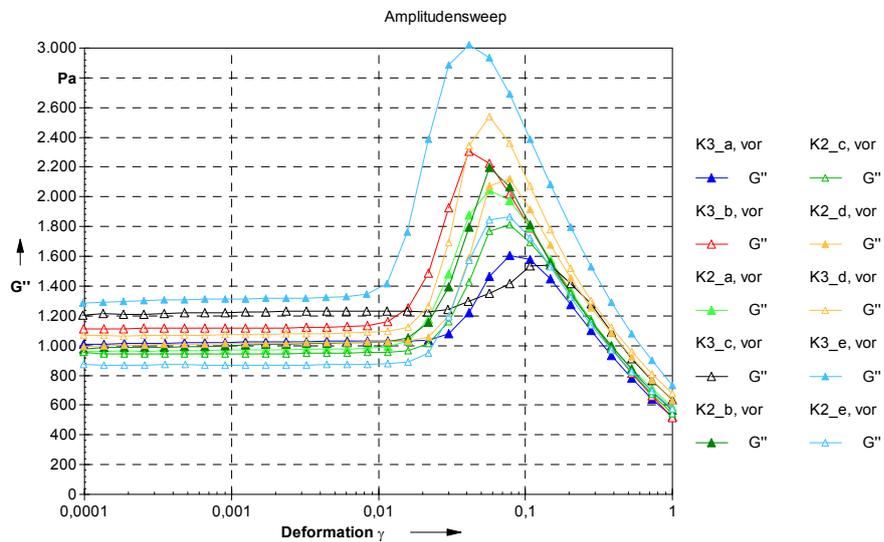


Abb. 141 : $G''(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation

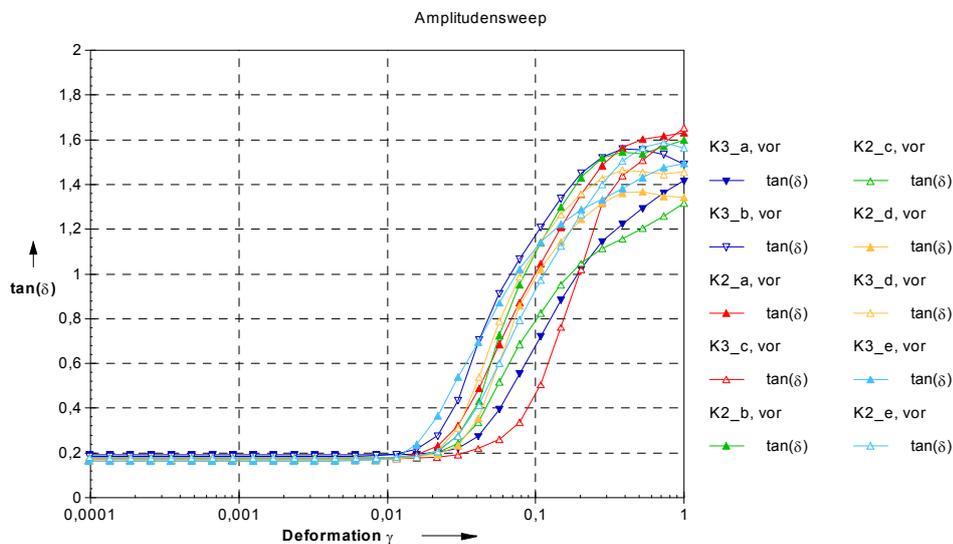


Abb. 142 : $\tan \delta(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation

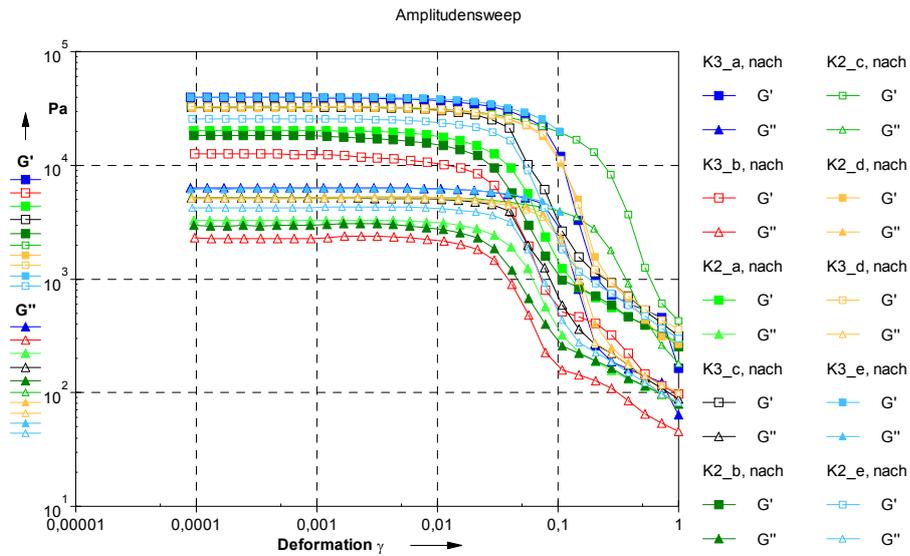


Abb. 143 : $G'(\gamma)$ und $G''(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 nach der Fermentation

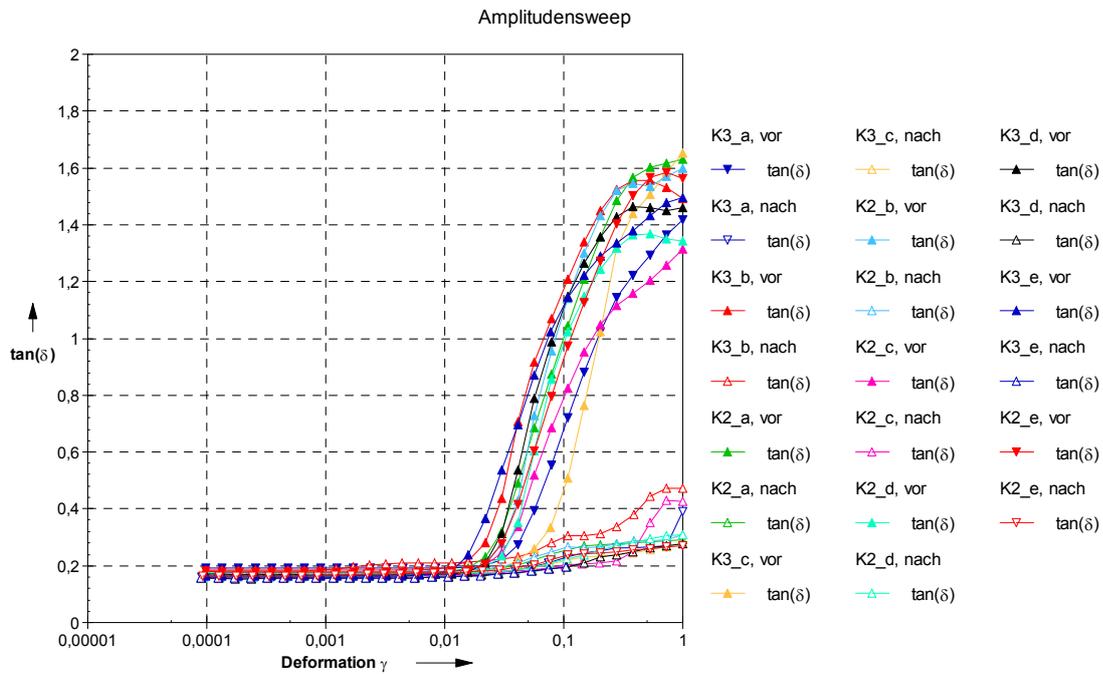


Abb. 144 : Vergleich $\tan \delta(\gamma)$ der Bräte K3 und K2 vor und nach der Fermentation

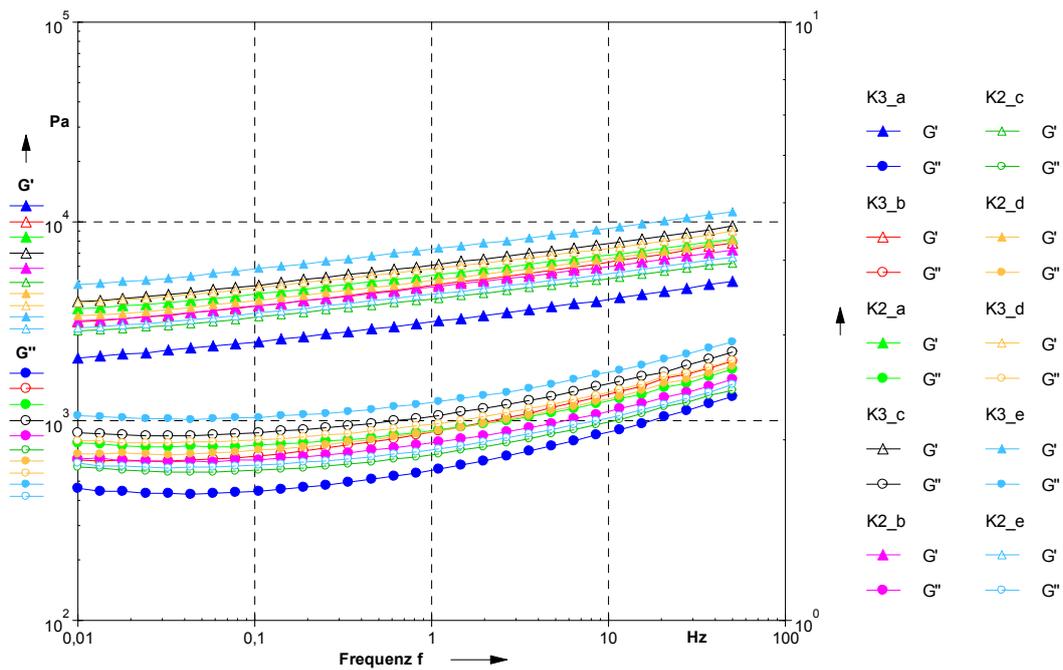


Abb. 145: G' (f) und G'' (f) der Rohbräte K3 und K2

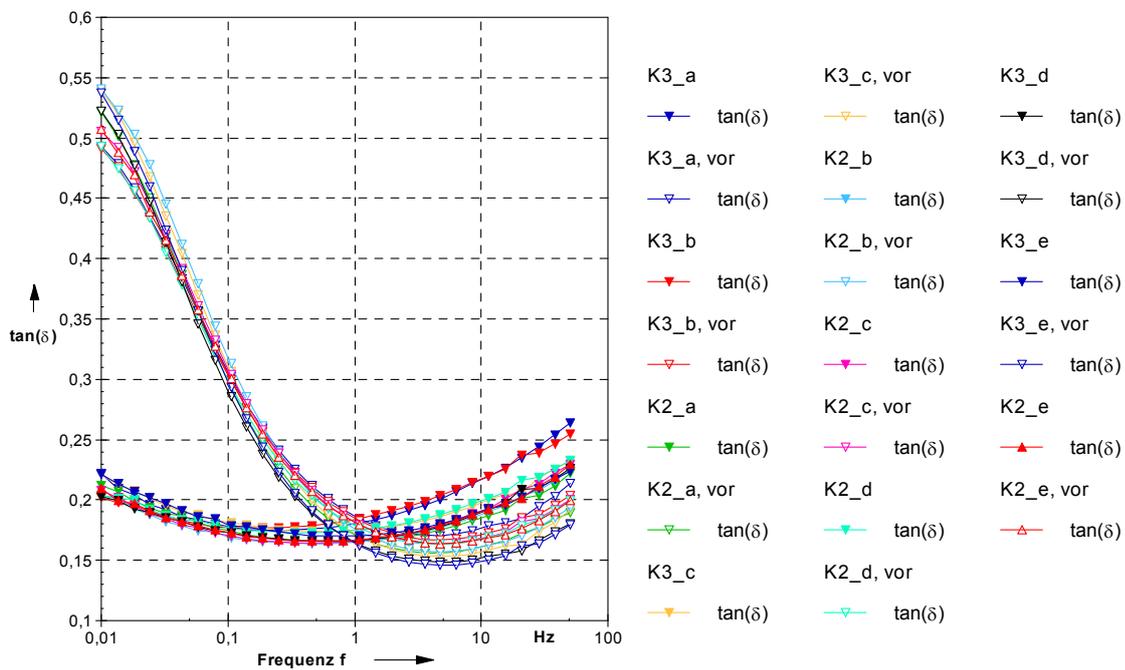


Abb. 146: Vergleich $\tan \delta$ (f) der Rohbräte und der Bräte vor der Fermentation aus K3 und K2

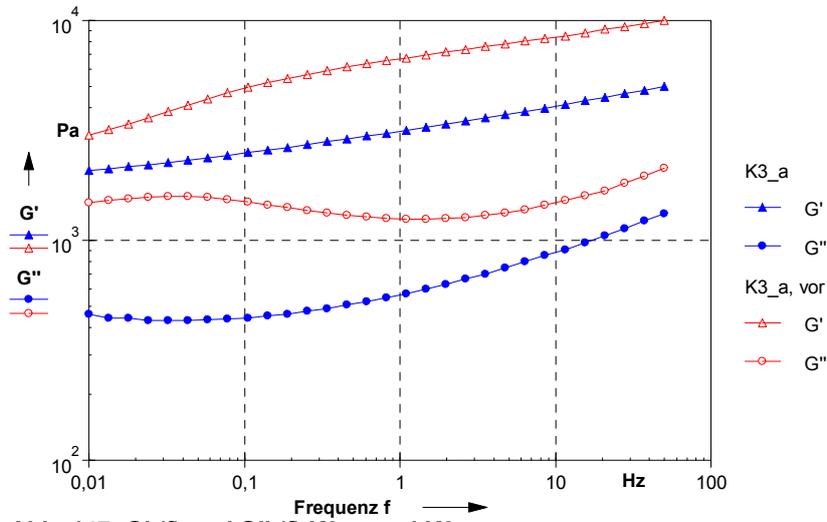


Abb. 147: G' (f) und G'' (f) K3_a und K3_a, vor

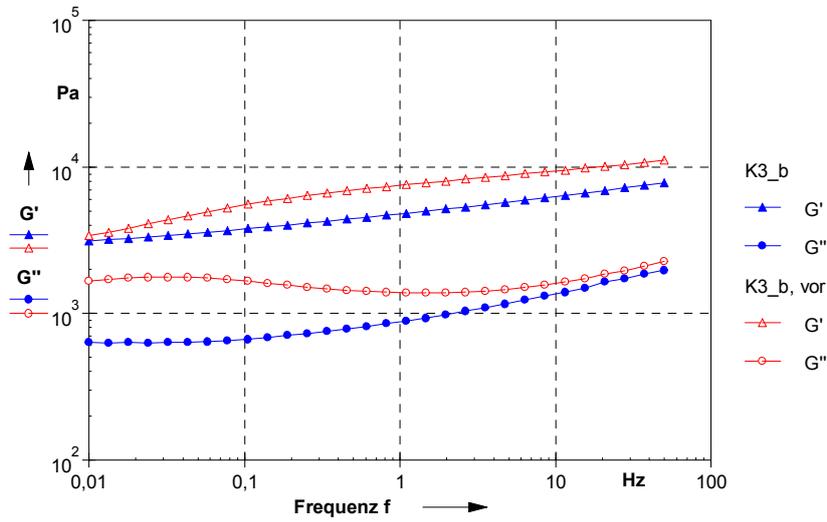


Abb. 148: G' (f) und G'' (f) K3_b und K3_b, vor

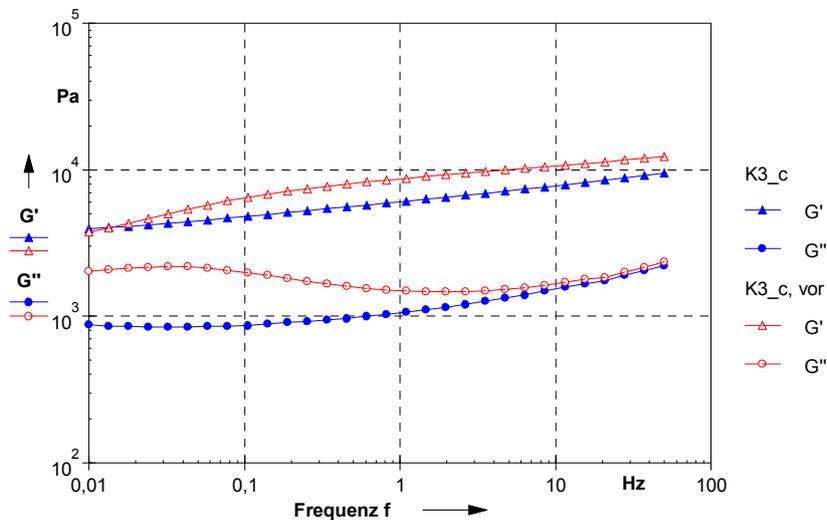


Abb. 149: G' (f) und G'' (f) K3_c und K3_c, vor

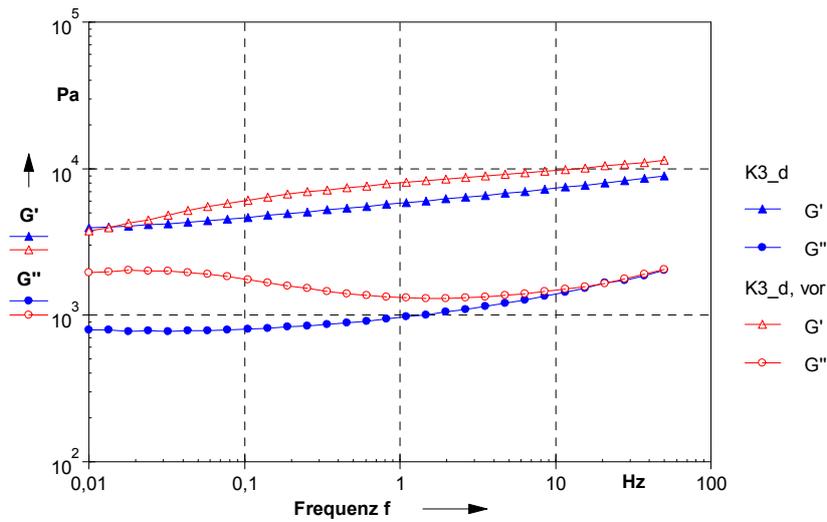


Abb. 150: $G'(f)$ und $G''(f)$ K3_d und K3_d, vor

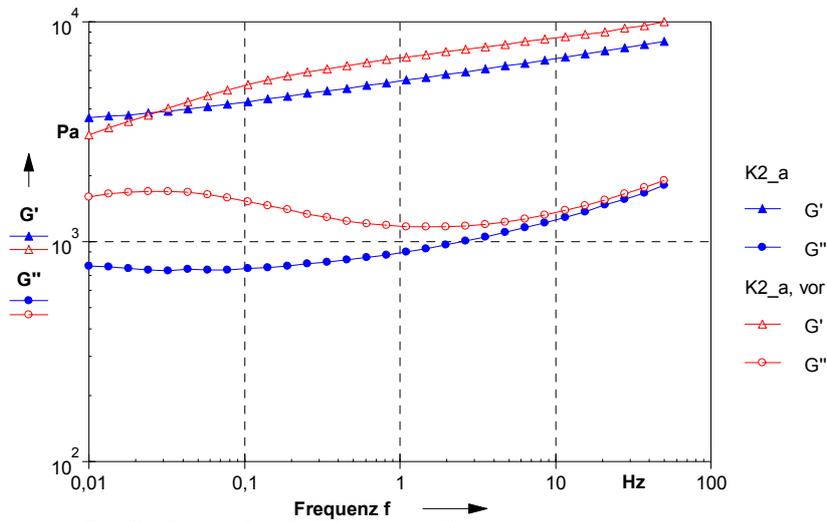


Abb. 151: $G'(f)$ und $G''(f)$ K2_a und K2_a, vor

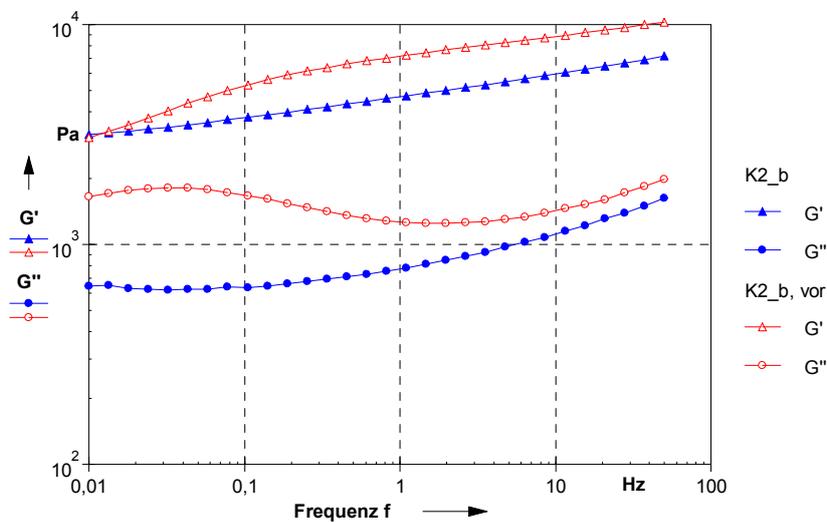


Abb. 152: $G'(f)$ und $G''(f)$ K2_b und K2_b, vor

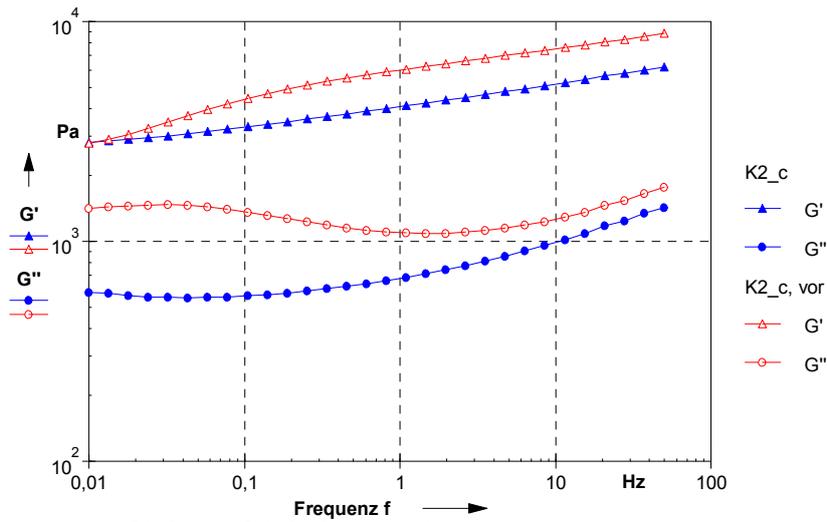


Abb. 153: $G'(f)$ und $G''(f)$ $K2_c$ und $K2_c, \text{ vor}$

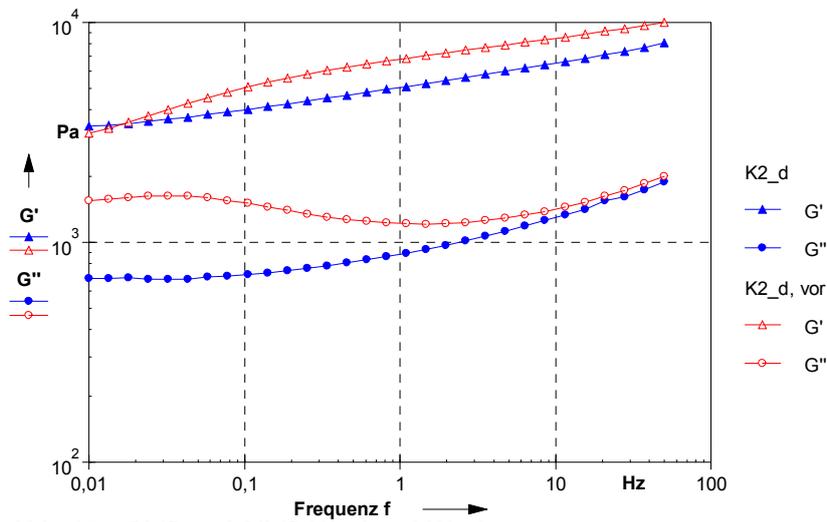


Abb. 154: $G'(f)$ und $G''(f)$ $K2_d$ und $K2_d, \text{ vor}$

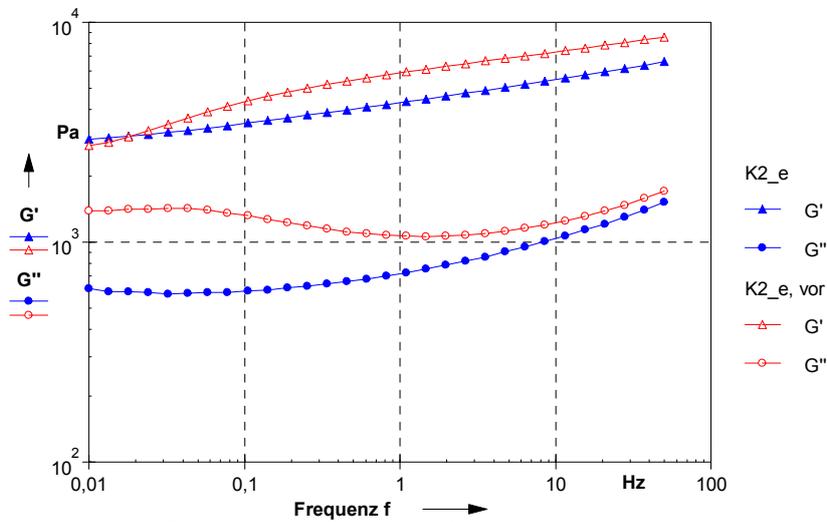


Abb. 155: $G'(f)$ und $G''(f)$ $K2_e$ und $K2_e, \text{ vor}$

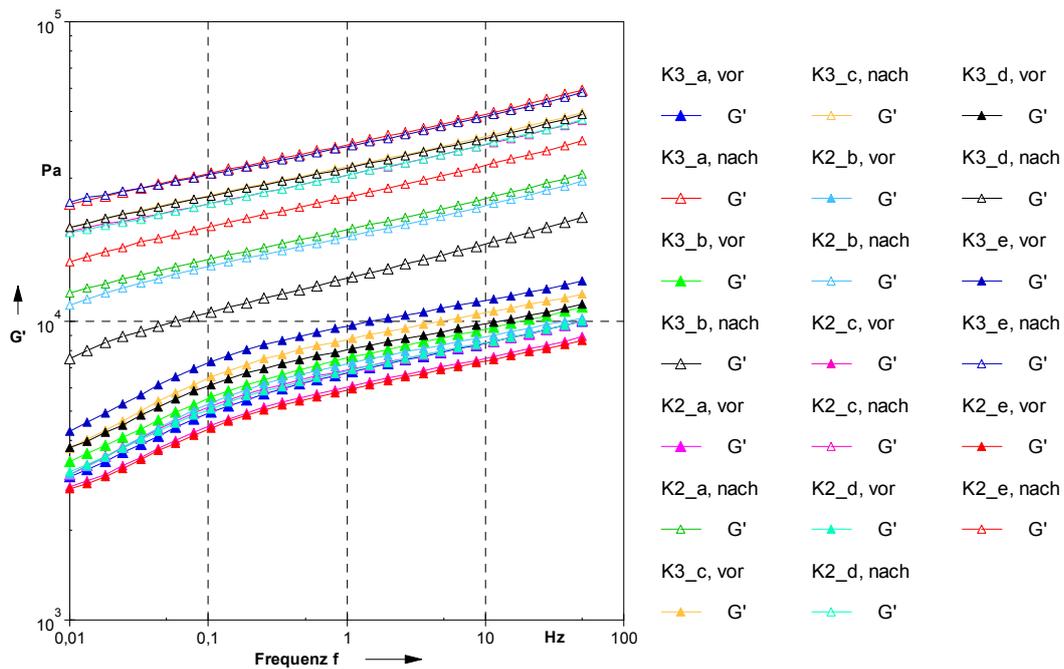


Abb. 156: Vergleich G' (f) der Proben K3 und K2 vor und nach der Fermentation

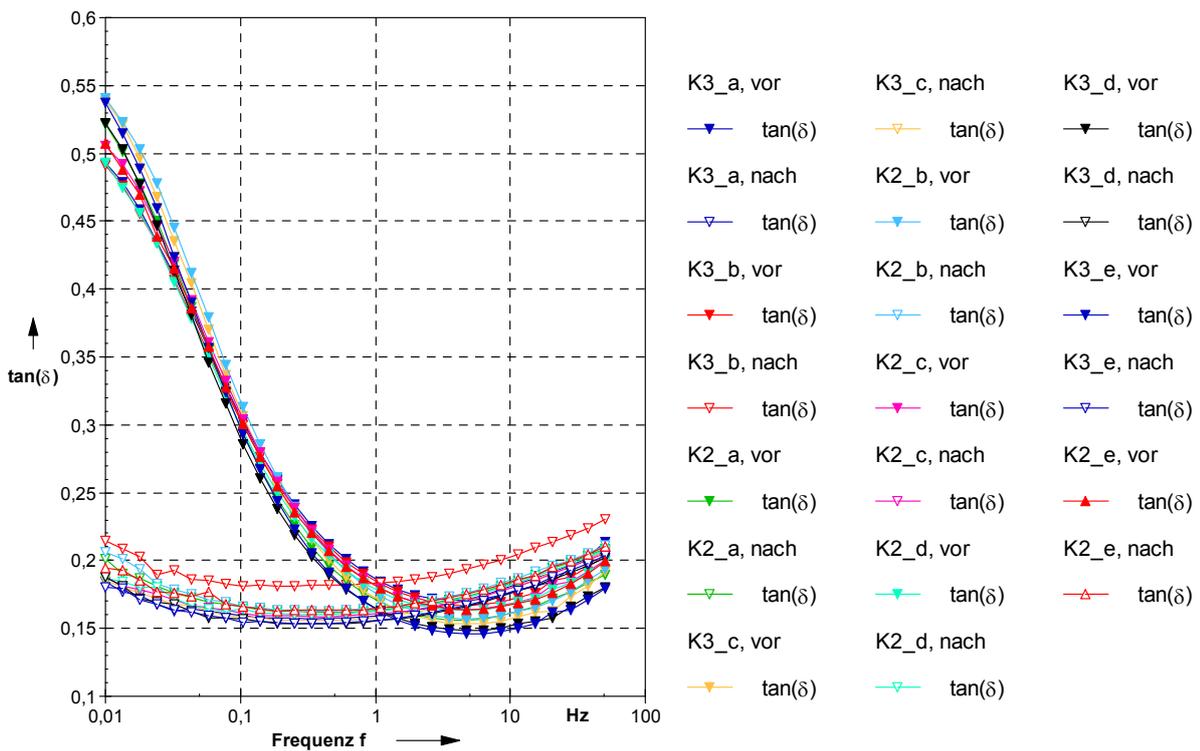


Abb. 157: Vergleich $\tan \delta$ (f) der Proben K3 und K2 vor und nach der Fermentation

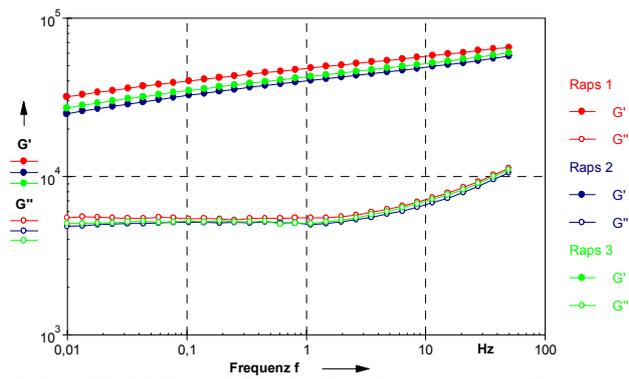


Abb. 158: G' (f) und G'' (f), Einzelmessungen Einkomponentensystem Raps

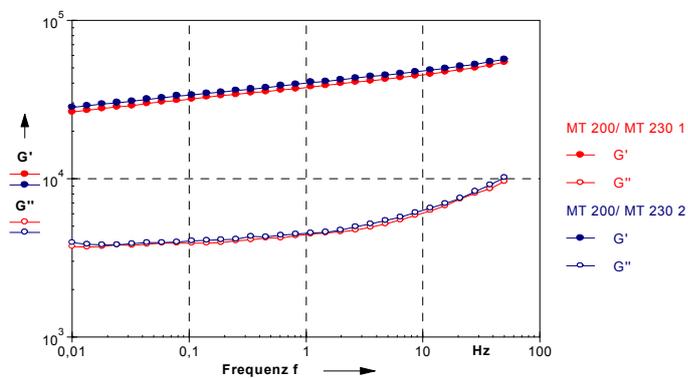


Abb. 159: G' (f) und G'' (f), Einzelmessungen Zweikomponentensystem ISP MT 200/ MT 230

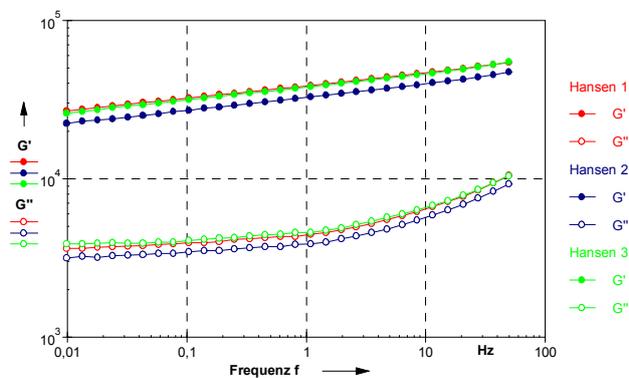


Abb. 160: G' (f) und G'' (f), Einzelmessungen Zweikomponentensystem Hansen INNO 20/ INNO 30

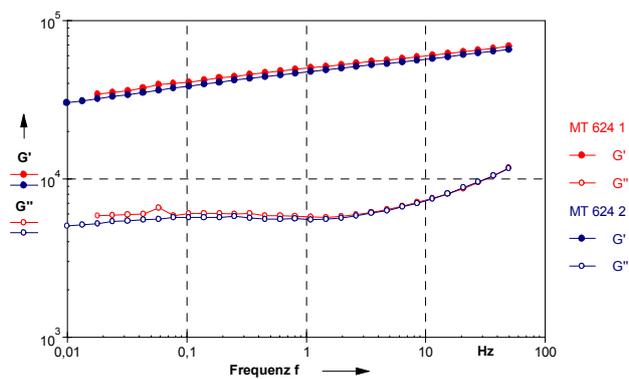


Abb. 161: G' (f) und G'' (f), Einzelmessungen Einkomponentensystem ISP MT 624

12.1 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Parameter der Oszillationsmessungen	18
Tab. 2: Zutaten für den Standardansatz der 1. Versuchsserie Rindfleisch.....	23
Tab. 3: Zutaten Modellbräte 2. Versuchsserie Rindfleisch (bezogen auf Masse Modellbrät)	25
Tab. 4: Zutaten zu den Rohbräten der 1. Versuchsserie Schweinefleisch bezogen auf die Masse Rohbrät	26
Tab. 5: Zusammensetzung der Modellbräte mit unterschiedlichem S8-Gehalt und deren Probenbezeichnung.....	27
Tab. 6: Zutaten zu den Grundbräten der 3. Versuchsserie (Ca-Lactat) bezogen auf die Masse Grundbrät	28
Tab. 7: Zutaten zu den Grundbräten aus K2 bzw. K3 bezogen auf die Masse Grundbrät.....	29
Tab. 8: Verwendete Messsysteme.....	30
Tab. 9: pH und TS-Gehalt der Rindfleischproben, 2. Versuchsserie.....	33
Tab. 10: Speichermodul G' zu Fermentationsbeginn (Start) und zu Fermentationsende (pH 5,1) in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	48
Tab. 11: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	53
Tab. 12: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt.....	55
Tab. 13: Strukturbildungsgeschwindigkeit in den Bereichen A und B in Abhängigkeit vom Fettgehalt	65
Tab. 14: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich C und D in Abhängigkeit vom Fettgehalt	67
Tab. 15: Fermentationszeiten bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	76
Tab. 16: Startlevel der pH-Werte der verschiedenen Ansätze zu Beginn der Fermentation	76
Tab. 17: Ermittelte Dauer der Adaptionsphasen	77
Tab. 18: G' zum Anfang und zum Ende der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	79
Tab. 19: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche A und B in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	81
Tab. 20: Strukturbildungsgeschwindigkeiten der Bereiche C und D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt und die dazugehörigen pH-Bereiche	82
Tab. 21: pH-Werte beim Übergang von Bereich C zu D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	83
Tab. 22: Trockensubstanzgehalte der untersuchten Karpfenproben	88
Tab. 23: pH-Werte der Rohbräte aus K3 und K2	88
Tab. 24: TS-Gehalte nach ASU §35 LMBG der S1-Rohstoffe Variation Fettgehalt und Variation Ca-Lactat.....	121
Tab. 25: TS-Gehalte der Grundbräte Schweinefleisch.....	121
Tab. 26: Rohproteingehalte	121
Tab. 27: Aschegehalt.....	121
Tab. 28: Durchschnittliche chemisch-analytische Kennwerte der Modellbräte in Abhängigkeit vom S8-Gehalt laut GEHA-Standardisierungssystem.....	121
Tab. 29: Strukturbildungsgeschwindigkeiten Variation Fremdwassergehalt.....	122
Tab. 30: Strukturbildungsgeschwindigkeiten Variation Fettgehalt	122
Tab. 31: Strukturbildungsgeschwindigkeiten Variation Ca-Lactat	122

12.2. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Links: vorgegebene Sinuskurve (γ -Regelung), rechts: resultierende, phasenverschobene Sinuskurve (τ -Kurve), aus [154]	18
Abb. 2: Amplitudensweep: links: Vorgabe der variablen Deformationsamplitude; rechts: $G'(\gamma)$, $G''(\gamma)$ und γ_L , aus [154]	19
Abb. 3: Vorgabe der variablen Frequenz beim Frequenzsweep (γ -Regelung), aus [154]	19
Abb. 4: Fließschema zur Bearbeitung der Rohstoffe [156]	21
Abb. 5: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte aus Rindfleisch mit den unterschiedlichen Präparationsverfahren der 2. Versuchsserie	24
Abb. 6: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte mit unterschiedlichem Fremdwassergehalt	25
Abb. 7: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte mit unterschiedlichem Fettgehalt, nach [156]	26
Abb. 8: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Modellbräte der Ca-Lactat-Serie, nach [156]	27
Abb. 9: Vereinfachtes Fließschema zur Herstellung der Grundbräte aus K3 und K2 Filets	29
Abb. 10: Übersicht über durchgeführte rheologische Untersuchungen zu ablaufenden Strukturierungsprozessen bei der Fermentation der unterschiedlichen Versuchsserien, nach [156]	31
Abb. 11: Einteilung des Fermentationsverlaufes anhand des pH-Wertes in Phasen	34
Abb. 12: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation des Standardansatzes	34
Abb. 13: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation des Standardansatzes	34
Abb. 14: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation ohne Salzzugabe	36
Abb. 15: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation ohne Salzzugabe	36
Abb. 16: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation ohne Starterkulturzugabe	37
Abb. 17: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation ohne Starterkulturzugabe	37
Abb. 18: Relative Zunahmen des Speichermoduls G' und relative Abnahme des Verlustfaktors $\tan \delta$ im 1. Abschnitt der Fermentation für die drei verschiedenen Ansätze	38
Abb. 19: Relative Zunahmen des Verlustfaktors $\tan \delta$ im 3. Abschnitt der Fermentation für die drei verschiedenen Ansätze	38
Abb. 20: Vergleich der pH-Verläufe der Proben R_S. und R_o. S. während der Fermentation	40
Abb. 21: Verlustfaktor $\tan \delta$ der Proben R_S. und R_o. S. während der Fermentation im Timesweep	40
Abb. 22: Speichermodul G' der Proben R_S. und R_o. S. während der Fermentation im Timesweep	41
Abb. 23: pH-Wert-Verlauf während der Fermentation der Rindfleischproben mit Lc1 und mit RW	42
Abb. 24: Verlustfaktor $\tan \delta$ während der Fermentation der Rindfleischproben mit LC1 und RW	43
Abb. 25: Speichermodul G' während der Fermentation der Rindfleischproben mit Lc1 und mit RW	43
Abb. 26: pH-Verlauf während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	46
Abb. 27: Fermentationsdauer bis pH 5,1 in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	46
Abb. 28: Dauer der Adaptionphasen in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	47
Abb. 29: $G'(t)$ während der Fermentation bis pH 5,1 in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	47
Abb. 30: $\tan \delta(t)$ während der Fermentation bis pH 5,1 in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	48
Abb. 31: $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation von Schweinefleisch am Beispiel der Probe 6 %_a	49
Abb. 32: $\tan \delta$ und G' während der Fermentation von Schweinefleisch am Beispiel der Probe 6 %_a	49
Abb. 33: Verlauf des Speichermoduls G' und des pH-Wertes im Timesweep während der Fermentation der Probe 6 %_a und prinzipielle Einteilung des Fermentationsverlaufes in die Bereiche A, B, C und D	51
Abb. 34: Verlauf von Speichermodul G' und Verlustfaktor $\tan \delta$ im Timesweep während der Fermentation des Ansatzes 6 %_a und Einteilung in die Bereiche A, B, C und D anhand der G' -Kurve	51
Abb. 35: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	53
Abb. 36: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich B in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	53
Abb. 37: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	54
Abb. 38: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	55
Abb. 39: $G'(\gamma)$ und $\tan \delta(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	56
Abb. 40: $G''(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	56
Abb. 41: $G'(f)$ und $G''(f)$ im Frequenzsweep vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	57

Abb. 42: $G'(f)$ und $G''(f)$ im Frequenzsweep nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	57
Abb. 43: $\tan \delta (f)$ im Frequenzsweep vor und nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fremdwassergehalt	58
Abb. 44: pH-Verlauf während der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt	59
Abb. 45: Fermentationsdauer bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt	60
Abb. 46: Mittelwerte der pH-Startlevel in Abhängigkeit vom Fettgehalt	60
Abb. 47: Dauer der Adaptionphasen in Abhängigkeit vom Fettgehalt	61
Abb. 48: Verlustfaktor $\tan \delta$ im Timesweep der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt	62
Abb. 49: Speichermodul G' im Timesweep der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Fettgehalt	62
Abb. 50: MW der Speichermodule G' in Abhängigkeit vom Fettgehalt beim Start der Fermentation	63
Abb. 51: MW der Speichermodule G' in Abhängigkeit vom Fettgehalt bei Fermentationsende (pH 5,0)	63
Abb. 52: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Fettgehalt	64
Abb. 53: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich B in Abhängigkeit vom Fettgehalt	65
Abb. 54: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich C in Abhängigkeit vom Fettgehalt	66
Abb. 55: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich D in Abhängigkeit vom Fettgehalt	67
Abb. 56: $G'(\gamma)$ und Verlustfaktor $\tan \delta (\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt	68
Abb. 57: $G''(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt	68
Abb. 58: $G'(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt	69
Abb. 59: $G''(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt	70
Abb. 60: $G'(f)$ und $G''(f)$ der Proben S1 roh, S1 vor und S1 nach	71
Abb. 61: $\tan \delta (f)$ der Proben S1 roh, S1 vor und S1 nach	72
Abb. 62: Vergleich $G'(f)$ vor und nach der Fermentation der Bräte in Abhängigkeit vom Fettgehalt	73
Abb. 63: $G'(f)$ und $G''(f)$ nach der Fermentation der Bräte in Abhängigkeit vom Fettgehalt	74
Abb. 64: $G'(t)$ während der Fermentation der zweiten Serie in Abhängigkeit vom Fettgehalt	74
Abb. 65: $\tan \delta (t)$ während der Fermentation der zweiten Serie in Abhängigkeit vom Fettgehalt	75
Abb. 66: pH-Wert-Verlauf während der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	75
Abb. 67: Dauer der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	76
Abb. 68: $\tan \delta$ im Timesweep der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	78
Abb. 69: $G'(t)$ während der Fermentation bis pH 5,0 in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	78
Abb. 70: Speichermodul G' am Ende der Fermentation bei einem pH-Wert von 5,0	79
Abb. 71: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich A in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	80
Abb. 72: Strukturbildungsgeschwindigkeit in Bereich B in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	81
Abb. 73: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich C in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	82
Abb. 74: Strukturbildungsgeschwindigkeiten in Bereich D in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	83
Abb. 75: pH-Verlauf während der Fermentation der Proben K2 und K3	89
Abb. 76: Dauer der Fermentation der Proben K3 und K2 bis pH 5,0	89
Abb. 77 : pH-Werte zu Fermentationsbeginn der Proben K3 und K2	90
Abb. 78: Adaptionzeiten bei der Fermentation der Proben K3 und K2	90
Abb. 79: $G'(t)$ während der Fermentation der Proben K3 und K2 bis zu einem pH-Wert von 5,0	91
Abb. 80: Speichermodul G' zu Beginn der Fermentation der Proben K3 und K2	91
Abb. 81: Speichermodul G' zu Fermentationsende der Proben K3 und K2	92
Abb. 82: $\tan \delta (t)$ während der Fermentation der Proben K3 und K2 bis zu einem pH-Wert von 5,0	92
Abb. 83: $\tan \delta$ und pH-Wert während der Fermentation im Timesweep der Probe K3_e und prinzipielle Einteilung des Fermentationsprozesses in verschiedene Abschnitte anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$	93
Abb. 84: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation im Timesweep der Probe K3_e und prinzipielle Einteilung des Fermentationsprozesses in verschiedene Abschnitte anhand des Verlustfaktors $\tan \delta$	93
Abb. 85 : Vergleich $\tan \delta (f)$ des Rohbrätes der Probe K3_e und der Probe K3_e vor der Fermentation mit Zutaten im Frequenzsweep	97

Abb. 86 : Vergleich $G'(f)$ und $G''(f)$ des Rohbrätes der Probe K3_e und der Probe K3_e vor der Fermentation mit Zutaten im Frequenzsweep	97
Abb. 87: $G'(t)$, $G''(t)$ und $\tan \delta(t)$ des Einkomponentensystems Raps.....	100
Abb. 88 : $G'(t)$, $G''(t)$ und $\tan \delta(t)$ des Zweikomponentensystems Fa. ISP MT 200/ MT 230	101
Abb. 89: $G'(t)$, $G''(t)$ und $\tan \delta(t)$ des Zweikomponentensystems Hansen INNO 20 und INNO 30	102
Abb. 90 : $G'(t)$, $G''(t)$ und $\tan \delta(t)$ des Einkomponentensystems ISP MT 624	103
Abb. 91: $G'(t)$ aller Alginatproben im Timesweep	104
Abb. 92: Verlustfaktor $\tan \delta$ aller Alginatproben im Timesweep	104
Abb. 93: Einkomponentensystem Firma Raps, rechte Seite: Anschnitt	105
Abb. 94: Zweikomponentensystem Hansen INNO 20/ INNO 30, rechte Seite: Anschnitt	106
Abb. 95: Zweikomponentensystem ISP MT 200/ MT 230, rechte Seite: Anschnitt.....	106
Abb. 96: Einkomponentensystem Firma ISP MT 624, rechte Seite: Anschnitt	107
Abb. 97: $\tan \delta(t)$ und $\text{pH}(t)$, Rindfleisch ohne Salz, 2. Ansatz.....	123
Abb. 98 $G'(t)$ und $\tan \delta(t)$, Rindfleisch ohne Salz, 2. Ansatz.....	123
Abb. 99: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH -Wert während der Fermentation der Probe R_S.	124
Abb. 100: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation der Probe R_S.	124
Abb. 101: Verlustfaktor $\tan \delta$ und pH -Wert während der Fermentation der Probe R_o. S.	125
Abb. 102: Verlustfaktor $\tan \delta$ und Speichermodul G' während der Fermentation der Probe R_o. S.	125
Abb. 103: Bereiche A, B, C und D der Probe 6 %_b Variation Fremdwassergehalt.....	126
Abb. 104: Bereiche A, B, C und D der Probe 20 %_a Variation Fremdwassergehalt.....	126
Abb. 105: Bereiche A, B, C und D der Probe 20 %_b Variation Fremdwassergehalt.....	126
Abb. 106: Bereiche A, B, C und D der Probe S1_a, Variation Fettgehalt	127
Abb. 107: Bereiche A, B, C und D der Probe S1_b, Variation Fettgehalt	127
Abb. 108: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_a, Variation Fettgehalt	127
Abb. 109: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_b, Variation Fettgehalt	128
Abb. 110: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_c, Variation Fettgehalt	128
Abb. 111: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+10_d, Variation Fettgehalt	128
Abb. 112 Bereiche A, B, C und D der Probe S1+20_a, Variation Fettgehalt	129
Abb. 113: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+20_b, Variation Fettgehalt	129
Abb. 114: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+30_a, Variation Fettgehalt	129
Abb. 115: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+30_b, Variation Fettgehalt	130
Abb. 116: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+40_a, Variation Fettgehalt	130
Abb. 117: Bereiche A, B, C und D der Probe S1+40_b, Variation Fettgehalt	130
Abb. 118: Bereiche A, B, C und D der Probe 0 %_a, Variation Ca-Lactat	131
Abb. 119: Bereiche A, B, C und D der Probe 0 %_b, Variation Ca-Lactat.....	131
Abb. 120: Bereiche A, B, C und D der Probe 1 %_a, Variation Ca-Lactat	131
Abb. 121: Bereiche A, B, C und D der Probe 1 %_b, Variation Ca-Lactat.....	132
Abb. 122: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_a, Variation Ca-Lactat	132
Abb. 123: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_b, Variation Ca-Lactat.....	132
Abb. 124: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_c, Variation Ca-Lactat	133
Abb. 125: Bereiche A, B, C und D der Probe 0,5 %_d, Variation Ca-Lactat.....	133
Abb. 126: $G''(f)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	134
Abb. 127: $G''(f)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	134
Abb. 128: $\tan(f)$ nach der Fermentation der Bräte in Abhängigkeit vom Fettgehalt.....	134
Abb. 129: $\tan(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt.....	135
Abb. 130: $G'(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	135
Abb. 131: $G''(\gamma)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	135
Abb. 132: $G'(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	136

Abb. 133: $G''(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	136
Abb. 134: $\tan \delta(\gamma)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	136
Abb. 135: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ vor der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	137
Abb. 136: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ nach der Fermentation in Abhängigkeit vom Ca-Lactat-Gehalt	137
Abb. 137: Verlustfaktor $\tan(\delta)$ und pH-Verlauf im Timesweep während der Fermentation von S1-Brät mit den gleichen Zutaten wie bei den Karpfenfermentationen (ohne Ascorbinsäure, mit 1 % Ca-Lactat)	137
Abb. 138 : $G'(\gamma)$ und $G''(\gamma)$ der Rohbräte K3 und K2	138
Abb. 139 : $\tan \delta(\gamma)$ der Rohbräte K3 und K2	138
Abb. 140 : $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation	139
Abb. 141 : $G''(\omega)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation	139
Abb. 142 : $\tan \delta(\omega)$ der Bräte K3 und K2 mit Zutaten vor der Fermentation	139
Abb. 143 : $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ der Bräte K3 und K2 nach der Fermentation	140
Abb. 144 : Vergleich $\tan \delta(\omega)$ der Bräte K3 und K2 vor und nach der Fermentation	140
Abb. 145: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ der Rohbräte K3 und K2	141
Abb. 146: Vergleich $\tan \delta(\omega)$ der Rohbräte und der Bräte vor der Fermentation aus K3 und K2	141
Abb. 147: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K3_a und K3_a, vor	142
Abb. 148: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K3_b und K3_b, vor	142
Abb. 149: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K3_c und K3_c, vor	142
Abb. 150: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K3_d und K3_d, vor	143
Abb. 151: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K2_a und K2_a, vor	143
Abb. 152: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K2_b und K2_b, vor	143
Abb. 153: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K2_c und K2_c, vor	144
Abb. 154: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K2_d und K2_d, vor	144
Abb. 155: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$ K2_e und K2_e, vor	144
Abb. 156: Vergleich $G'(\omega)$ der Proben K3 und K2 vor und nach der Fermentation	145
Abb. 157: Vergleich $\tan \delta(\omega)$ der Proben K3 und K2 vor und nach der Fermentation	145
Abb. 158: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$, Einzelmessungen Einkomponentensystem Raps	146
Abb. 159: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$, Einzelmessungen Zweikomponentensystem ISP MT 200/ MT 230	146
Abb. 160: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$, Einzelmessungen Zweikomponentensystem Hansen INNO 20/ INNO 30	146
Abb. 161: $G'(\omega)$ und $G''(\omega)$, Einzelmessungen Einkomponentensystem ISP MT 624	146

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Senge und Herrn Prof. Dr. Thiemig für die Betreuung der Arbeit bedanken. Insbesondere die wertvollen Diskussionen und Hinweise haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Bei Herrn Prof. Dr. Wagner möchte ich mich an dieser Stelle für die Übernahme des Vorsitzes im Promotionsausschuss bedanken.

Ein ganz besonderer Dank geht auch an meine Kolleginnen und Kollegen in den Fachgebieten Lebensmittelrheologie und Technologie proteinreicher Lebensmittel, die mir in den vergangenen Jahren hilfreich zur Seite gestanden haben.

Vielen Dank an Herrn Dr. Blochwitz, Frau Dipl.-Ing. Monika Brückner-Gühmann, Frau Dipl.-Ing. Hanna Kastner, Herrn Christoph Karpinski, Frau Pharm.-Ing. Steglich, Frau Dipl.-Ing. Reimold und Frau Dr. Pfaffe.

Ein herzliches Dankeschön auch an die Kolleginnen des Fachgebietes Lebensmittelqualität und Materialwissenschaft: Frau Dipl.-Ing. Kern, Frau Kliegel, Frau Haesner und Frau Dr. Einhorn-Stoll.

Bei meinen Eltern, meiner Schwester und Familie möchte ich mich ganz besonders herzlich für die stetige Unterstützung in allen Lebenslagen bedanken.

Liste von Veröffentlichungen, Vorträgen und Präsentationen

Veröffentlichungen:

Hildebrandt, N.; Senge, B. (2005): Strukturuntersuchungen von Schweine- und Gänseschmalz sowie streichfähiger Rohwurst. Fleischwirtschaft, 85 (7): S. 91-96.

Hildebrandt, N.; Thiemig, F.; Senge, B. (2007): Strukturbildung bei der Fermentation von Fleisch. Fleischwirtschaft, 87 (9): S. 104-107.

Hildebrandt, N.; Kastner, K.; Senge, B. (2009): Einfluss des Fettgehaltes auf die Strukturbildung bei der Fermentation von Brät aus Schweinefleisch. Fleischwirtschaft, 89 (7): S. 91-94.

Vorträge und Präsentationen:

Hildebrandt, N.; Senge, B.: Rheologische Untersuchungen von Schweine- und Gänseschmalz. Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologe n e.V.; GDL-Kongress Lebensmitteltechnologie 2005 Dresden.

Hildebrandt, N.; Senge, B.: Materialwissenschaftliche Untersuchungen zur Fermentation von Fleisch. Innofood 2006, 2.-3.11.2006 Hochschule Anhalt.

Hildebrandt, N.; Senge, B.: Materialwissenschaftliche Untersuchungen zur Fermentation von Fleisch. Deutsche Rheologische Gesellschaft (DRG) e.V., Rheologentagung 2007: 22.-23. März 2007, Berlin.

Hildebrandt, N.; Senge, B.: Charakterisierung der Strukturbildungsmechanismen bei der milchsäuren Fermentation von Fleisch. GDL-Kongress Lebensmitteltechnologie 11.-13.10.2007 Hamburg-Harburg.

Hildebrandt, N.; Senge, B.: Complex rheological investigations into lard, goose dripping and selected spreadable sausages (Posterpräsentation). The International Symposium on Food Rheology and Structure (ISFRS) ETH Zurich 2006.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass die vorliegende Dissertation in allen Teilen von mir selbstständig und unter ausschließlicher Nutzung der darin angegebenen Quellen angefertigt wurde.

Berlin, 17.11.2008

Nico Hildebrandt