

**Untersuchungen zur  
mikrobiologischen Stabilität von Putenhackfleisch  
unter Schutzatmosphäre**

Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades Doktorin der Naturwissenschaften  
Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation  
von

Dipl.-Berufspäd. Kerstin Koch  
geboren am 28.05.1980 in Cuxhaven

2010

Referentin: Prof. Dr. Brita Maria Watkinson

Korreferent: Prof. Dr. Bernhard Nowak

Tag der Promotion: 22. Oktober 2010





## **Untersuchungen zur mikrobiologischen Stabilität von Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre**

Putenhackfleisch ist in Deutschland seit 2006 mit Inkrafttreten der lebensmittelrechtlichen Verordnungen der EU (VO EG 178/2002, VO EG 853/2004, VO EG 2073/2005, VO EG 1441/2007) als neues Frische-Convenience-Produkt im SB-Segment des Handels erhältlich. Es stellt aufgrund zahlreicher Faktoren ein Lebensmittel mit einem erhöhten Verderbspotential dar. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, in vier Untersuchungsabschnitten neben einer umfassenden Analyse der Produktbeschaffenheit (Status quo) und des Herstellungsprozesses, ein über den Zeitraum des Verbrauchsdatums für Produzenten und Verbraucher mikrobiologisch stabiles Produkt unter Bewahrung der Produktqualität gewährleisten zu können. Zu diesem Zweck wurde Putenhackfleisch in einer industriellen Produktionslinie hergestellt und ohne oder mit einer zusätzlichen Hürde (Citronensäure, Gewürzmischung) unter Schutzatmosphäre (70 Vol. % O<sub>2</sub>, 30 Vol. % CO<sub>2</sub>) verpackt. In zehntägigen Lagerungsversuchen, die sich dem Herstellungsprozess anschlossen, wurde die mikrobiologische Stabilität untersucht. Ausgewählte chemische und physikalische Qualitätsparameter (chemische Vollanalyse, Farbe, pH- und a<sub>w</sub>-Werte, Gasanalysen) wurden ergänzend bestimmt. Die Untersuchungen fanden am Tag der Herstellung sowie am dritten, fünften, siebten und zehnten Lagerungstag statt. Während der Prozessschrittanalyse wurden zusätzlich die einzelnen Herstellungsstufen zur Beurteilung der Produktions- und Produktqualität mikrobiologisch überprüft. Um den Einfluss des Verbraucherverhaltens zu erfassen, wurden eine Kühlkettenunterbrechung und erhöhte Lagerungstemperaturen in das Versuchsdesign integriert. Die geringe mikrobiologische Stabilität des Produktes über die zehntägige Lagerung, insbesondere bei erhöhten Lagerungstemperaturen, wurde im Rahmen der Status quo-Untersuchungen durch signifikante Keimzahlanstiege verdeutlicht. Die Prozessschrittanalyse zeigte, dass der Herstellungsprozess keinen signifikanten Einfluss auf die Keimbelastung von Putenhackfleisch nimmt. Unter Berücksichtigung bestimmter Qualitätsparameter (Farbe, pH-Wert) schien der Einsatz von Citronensäure (CS) in Form eines Sprühnebels in Vorversuchen trotz einer geringeren antimikrobiellen Wirksamkeit im Vergleich zur Applikation als Pulver oder Lösung besser geeignet zu sein. In den Hauptversuchen konnte die antimikrobielle Wirksamkeit der sprühvernebelten CS nur partiell bestätigt werden. Die Zugabe der Gewürzmischung verhinderte signifikante Anstiege der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ) über die zehntägige Lagerung infolge des keimzahlreduzierenden Einflusses des in ihr enthaltenden Kochsalzes (NaCl). Dieser Effekt wurde jedoch durch steigende Temperaturen reduziert. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass es sich bei Putenhackfleisch um ein leicht verderbliches Lebensmittel handelt. In allen Untersuchungsabschnitten kam es grundsätzlich mit zunehmender Lagerungsdauer zu einer Erhöhung der mikrobiologischen Belastung, die sich in steigenden Keimzahlen, insbesondere beim simulierten Verbraucherverhalten, manifestierte. Es konnte jedoch bei einer niedrigen Ausgangskeimbelastung und einer konsequenten Kühlung (+2 °C) eine mikrobiologische Stabilität mit einer maximalen Lagerungsdauer von sieben Tagen erreicht werden. Der Einsatz der Gewürzmischung als zusätzliche Hürde bewirkte unter den gleichen Kühlbedingungen über die zehntägige Lagerung ein mikrobiologisch stabiles Produkt. Dies verdeutlicht, dass der Einsatz qualitativ hochwertiger Rohstoffe und die konsequente Kühlung (≤ +2 °C) die Grundvoraussetzungen für die mikrobiologische Stabilität von Putenhackfleisch sind. Der Einsatz mikrobiologischer Hürden kann, in Abhängigkeit von der jeweiligen Hürde, zur Erhöhung dieser, unter Bewahrung der Produktqualität, beitragen.

**Schlüsselwörter:** Putenhackfleisch, mikrobiologische Stabilität, Schutzatmosphäre

**Study of the microbiological stability of turkey minced meat under modified atmosphere**

New EC Regulations (Reg. EC 178/2002, Reg. EC 853/2004, Reg. EC 2073/2005, Reg. EC 1441/2007) make turkey minced meat distribution as fresh convenience product through the retail market since their introduction in 2006 in Germany possible. Fresh turkey minced meat is a microbiologically sensitive product due to several reasons. The present study was conducted to assure and maintain microbiological stability and product quality of freshed minced meat for producers and consumers. Therefore the study was divided in four sections. Beside the analyses of the product quality of the turkey minced meat (status quo) and the production process, fresh miced meat was packaged under modified atmosphere (70 % O<sub>2</sub>, 30% CO<sub>2</sub> by volume) without and with microbiological hurdles (citric acid or mixed herbs). Ten day storage examinations directly following the production process, aimed to further determine the microbiological stability of the product. The microbiological examinations were complemented by selected chemical and physical quality parameters (total chemical analyses, colour, pH-values, water activity, gas analyses). The storage examinations were carried out on the production day as well as on storage day three, five, seven and ten. During processing step analysis, each processing step was microbiologically tested. In order to test consumer influence on the product quality, simulated consumer use was examined including cold chain interruption and increased storage temperatures. Within the frame of the 'status quo' examinations, the high perishableness of the product could be proven, particularly at high temperatures. The processing step analysis showed that the production process does not have a significant influence on the microbial contamination of the product. The application of citric acid in the form of atomized spray showed to be the best alternative with regard to the maintenance of quality parameters (colour, pH-values), although showing lower antimicrobial efficacy when compared to powder and solution. However, the antimicrobial efficacy could only be proven partially during storage examination. Addition of mixed herbs prevents a significant increase in total aerobic plate count during the ten days of storage because of the antimicrobial effects of the contained sodium chloride (NaCl). The effect was reduced by increasing storage temperatures. The present results show that turkey minced meat is a perishable product. Storage leads to increasing microbial spoilage and negatively influences other quality parameters in all sections. This is especially obvious during simulated consumer use, i. e. cold chain interruption and increased storage temperatures. Under consequent cooling conditions and when the materials' microbial contamination is low, the maximum storage of minced meat is seven days without the use of additional microbiological hurdles. The application of mixed herbs under coexistent cooling conditions resulted in a higher microbiological stability during storage. This demonstrates that high quality raw materials and consequent cooling represent the basis for microbiological stability maintenance. The application of microbiological hurdles can be supportive for microbiological stability and product quality.

**Keywords:** turkey minced meat, microbiological stability, modified atmosphere

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung .....	1
1.2	Problemstellung .....	1
1.3	Zielsetzung.....	2
<b>2</b>	<b>WISSENSCHAFTLICHES SCHRIFTTUM .....</b>	<b>4</b>
2.1	Warenkundliche und rechtliche Grundlagen .....	4
2.1.1	Geflügel und Geflügelfleisch .....	4
2.1.2	Verkehrsbezeichnungen und Angebotszustände von Geflügelfleisch ....	4
2.1.3	Bedeutung von Geflügelfleisch und Hackfleisch für den SB-Markt.....	5
2.1.4	Rechtliche Grundlagen zur Herstellung von frischem Putenhackfleisch.	6
2.1.5	Mikrobiologische Normen und Kriterien für Putenhackfleisch.....	7
2.2	Herstellung und Vermarktung.....	9
2.2.1	Transport und Geflügelfleischgewinnung .....	9
2.2.2	Kühlung .....	10
2.2.3	Zerlegung .....	11
2.2.4	Weiterverarbeitung .....	11
2.2.5	Verpackung .....	11
2.3	Aspekte der Geflügelfleischqualität .....	12
2.3.1	Anatomisch-physiologische Grundlagen .....	13
2.3.1.1	Aufbau der Skelettmuskulatur .....	13
2.3.1.2	Biochemische Veränderungen der Skelettmuskulatur post mortem .....	15
2.3.2	Inhaltsstoffe und ernährungsphysiologische Grundlagen.....	16
2.3.3	Bedeutung chemisch-physikalischer Parameter .....	18
2.3.3.1	Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert).....	18
2.3.3.2	pH-Wert.....	18
2.3.3.3	Fleischfehler .....	19
2.3.4	Sensorische Qualität .....	19
2.3.4.1	Fleischfarbe.....	19

## INHALTSVERZEICHNIS

---

2.3.4.2	Geruch und Geschmack .....	24
2.3.5	Mikrobiologische Qualität.....	24
2.3.5.1	Schlachtgeflügel als Träger und Überträger von Mikroorganismen .....	24
2.3.5.2	Mikrobiologie des Geflügelfleisches .....	26
2.4	Mikrobiologische Qualität von Putenhackfleisch .....	26
2.4.1	Einfluss strukturbedingter Besonderheiten.....	26
2.4.2	Herkunft und Wachstum der Mikroflora.....	26
2.4.2.1	Wichtige Verderbniserreger .....	27
2.4.2.2	Wichtige human-pathogene Mikroorganismen .....	28
2.4.2.3	Kontaminationsquellen .....	30
2.4.3	Beeinflussung des mikrobiellen Wachstums .....	32
2.4.3.1	Intrinsische Faktoren .....	33
2.4.3.2	Implizite Faktoren .....	33
2.4.3.3	Extrinsische Faktoren .....	33
2.4.3.4	Prozessfaktoren.....	34
2.4.4	Qualitätsveränderungen durch mikrobiellen Verderb .....	34
2.5	Haltbarkeitsverlängerung durch Integration von Hürden.....	35
2.5.1	Hürdentechnologie nach L. Leistner .....	35
2.5.2	Schutzgasverpackung (MAP-Verpackung) .....	37
2.5.2.1	Sauerstoff (O <sub>2</sub> ).....	40
2.5.2.2	Stickstoff (N <sub>2</sub> ).....	40
2.5.2.3	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) .....	40
2.5.2.4	Kohlenmonoxid (CO) .....	43
2.5.3	Kühlen .....	43
2.5.4	Gewürze .....	43
2.5.5	Natriumchlorid (NaCl) .....	44
2.5.6	Genusssäuren .....	45
2.6	Citronensäure (CS) .....	48
2.6.1	Chemischer Aufbau und Gewinnung .....	48



## INHALTSVERZEICHNIS

---

2.6.2	Einsatz im Lebensmittel.....	49
2.6.3	Antimikrobielle Eigenschaften.....	49
2.6.4	Einsatz als antimikrobieller Wirkstoff in Fleisch und Fleischerzeugnissen .....	51
2.6.5	Beeinflussung der antimikrobiellen Wirksamkeit .....	54
2.6.6	Rechtliche Grundlagen .....	55
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>56</b>
3.1	Allgemeines .....	56
3.1.1	Untersuchungsmaterial.....	56
3.1.1.1	Herstellung .....	57
3.1.1.2	Verpackung .....	57
3.1.1.3	Transport.....	58
3.1.1.4	Lagerung .....	58
3.1.2	Ermittlung der Untersuchungsparameter .....	58
3.1.2.1	Chemische Untersuchungsmethoden .....	58
3.1.2.2	Physikalische Untersuchungsmethoden .....	61
3.1.2.3	Mikrobiologische Untersuchungsmethoden .....	63
3.1.3	Analysematerial.....	67
3.1.3.1	Eingesetzte Chemikalien .....	67
3.1.3.2	Technische Geräte .....	67
3.1.3.3	Verwendete Nährmedien .....	67
3.1.4	Statistische Verfahren .....	68
3.2	Untersuchungsabschnitt I - Mikrobiologischer Status quo bei industriell hergestelltem Putenhackfleisch .....	70
3.2.1	Versuchsdesign.....	70
3.2.1.1	Erhobene Parameter .....	70
3.3	Untersuchungsabschnitt II: Qualitätsverbesserung durch Prozessschrittanalyse....	71
3.3.1	Versuchsdesign.....	71
3.3.2	Erhobene Parameter .....	72

3.4	Untersuchungsabschnitt III - Qualitätsverbesserung durch Zusatz von Citronensäure (CS) .....	72
3.4.1	Vorversuche .....	72
3.4.1.1	Versuchsdesign .....	72
3.4.1.2	Erhobene Parameter .....	74
3.4.2	Hauptversuche .....	74
3.4.2.1	Versuchsdesign .....	74
3.4.2.2	Erhobene Parameter .....	76
3.5	Untersuchungsabschnitt IV: Qualitätsverbesserung durch Zugabe einer Gewürzmischung.....	77
3.5.1	Versuchsdesign.....	77
3.5.2	Erhobene Parameter .....	78
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>79</b>
4.1	Mikrobiologischer Status quo bei industriell hergestelltem Putenhackfleisch .....	80
4.1.1	Chemische Untersuchungen .....	80
4.1.2	Physikalische Untersuchungen.....	80
4.1.2.1	Gasanalysen.....	80
4.1.2.2	L*a*b*-Farbwerte .....	81
4.1.2.3	pH- und a <sub>w</sub> -Werte .....	85
4.1.3	Mikrobiologische Untersuchungen.....	86
4.1.3.1	Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ).....	86
4.1.3.2	<i>Pseudomonas</i> spp.....	87
4.1.3.3	<i>Brochothrix thermosphacta</i> .....	88
4.1.3.4	<i>Enterobacteriaceae</i> .....	89
4.1.4	Zusammenfassung der Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes I ...	90
4.2	Qualitätsverbesserung durch Prozessschrittanalyse .....	91
4.2.1	Stufenkontrolle .....	91
4.2.2	Lagerungsversuche .....	92
4.2.2.1	Chemische Untersuchungen.....	92
4.2.2.2	Physikalische Untersuchungen.....	93

## INHALTSVERZEICHNIS

---

4.2.2.2.1	Gasanalysen .....	93
4.2.2.2.2	L*a*b*-Farbwerte .....	94
4.2.2.2.3	pH- und a <sub>w</sub> -Werte .....	98
4.2.2.3	Mikrobiologische Untersuchungen .....	98
4.2.2.3.1	Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ).....	99
4.2.2.3.2	<i>Pseudomonas</i> spp.....	100
4.2.2.3.3	<i>Brochothrix thermosphacta</i> .....	101
4.2.2.3.4	<i>Enterobacteriaceae</i> .....	102
4.2.2.3.5	Qualitative Bestimmung von <i>Salmonella</i> spp., <i>Listeria monocytogenes</i> und thermophile <i>Campylobacter</i> .....	103
4.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes II	103
4.3	Qualitätsverbesserung durch Zusatz von Citronensäure (CS) .....	105
4.3.1	Vorversuche .....	105
4.3.1.1	Einfluss auf den pH-Wert.....	105
4.3.1.1.1	Applikation als Pulver .....	105
4.3.1.1.2	Applikation als Lösung.....	106
4.3.1.1.3	Applikation als Sprühnebel .....	107
4.3.1.2	Einfluss auf die Entwicklung der Gesamtkeimzahl (GKZ).....	107
4.3.1.2.1	Applikation als Pulver .....	108
4.3.1.2.2	Applikation als Lösung.....	109
4.3.1.2.3	Applikation als Sprühnebel .....	110
4.3.2	Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorversuche des Untersuchungsabschnittes III .....	111
4.3.3	Hauptversuche .....	112
4.3.3.1	Chemische Untersuchungen.....	112
4.3.3.2	Physikalische Untersuchungen.....	113
4.3.3.2.1	Gasanalysen .....	113
4.3.3.2.2	L*a*b*-Farbwerte .....	115
4.3.3.2.3	pH- und a <sub>w</sub> -Werte .....	123
4.3.3.3	Mikrobiologische Untersuchungen .....	125

## INHALTSVERZEICHNIS

---

4.3.3.3.1	Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ).....	126
4.3.3.3.2	<i>Pseudomonas</i> spp.....	128
4.3.3.3.3	<i>Brochothrix thermosphacta</i> .....	130
4.3.3.3.4	<i>Enterobacteriaceae</i> .....	132
4.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der Hauptversuche des Untersuchungsabschnittes III .....	133
4.4	Qualitätsverbesserung durch Zugabe einer Gewürzmischung.....	135
4.4.1	Chemische Untersuchungen .....	135
4.4.2	Physikalische Untersuchungen.....	136
4.4.2.1	Gasanalysen.....	136
4.4.2.2	L*a*b*-Farbwerte .....	137
4.4.2.3	pH- und a <sub>w</sub> -Werte .....	140
4.4.3	Mikrobiologische Untersuchungen.....	140
4.4.3.1	Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ).....	141
4.4.3.2	<i>Pseudomonas</i> spp.....	142
4.4.3.3	<i>Brochothrix thermosphacta</i> .....	143
4.4.3.4	<i>Enterobacteriaceae</i> .....	144
4.4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes IV .....	145
4.5	Gruppenvergleiche.....	145
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>146</b>
5.1	Einführung.....	146
5.2	Diskussion von Material und Methode.....	146
5.2.1	Herstellung der Proben.....	146
5.2.2	Prozessschrittanalyse.....	146
5.2.3	Zusatzstoffe.....	147
5.2.4	Verpackung .....	148
5.2.5	Transport.....	148
5.2.6	Lagerung .....	148
5.2.7	Untersuchungsparameter .....	149

5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	151
5.3.1	Chemische Untersuchungen .....	151
5.3.2	Physikalische Untersuchungen.....	152
5.3.2.1	Entwicklung der Schutzatmosphären.....	152
5.3.2.1.1	Lagerungsversuche bei +2 °C (T1).....	152
5.3.2.1.2	Simulation eines Verbraucherverhaltens (T2) .....	153
5.3.2.2	L*a*b*-Farbwerte .....	154
5.3.2.2.1	Lagerungsversuche bei +2 °C (T1).....	154
	Helligkeitswerte (L*-Werte).....	155
	Rotwerte (a*-Werte) .....	156
	Gelbwerte (b*-Werte) .....	158
5.3.2.2.2	Simulation eines Verbraucherverhaltens (T2) .....	159
5.3.2.3	Messung der pH-Werte.....	161
5.3.2.3.1	Lagerungsversuche bei +2 °C (T1).....	161
5.3.2.3.2	Simulation eines Verbraucherverhaltens (T2) .....	163
5.3.2.4	Messung der a <sub>w</sub> -Werte.....	163
5.3.3	Mikrobiologische Untersuchungen.....	164
5.3.3.1	Lagerungsversuche bei +2 °C (T1) .....	164
5.3.3.2	Simulation eines Verbraucherverhaltens (T2) .....	180
5.3.4	Schlussfolgerungen .....	187
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>190</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>197</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>222</b>
8.1	Abbildungs- und Tabellenanhang.....	222
8.1.1	Ergebnisse .....	222
8.1.2	Tabellen und Abbildungen nach Aufbringung von 4 ml CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (Untersuchungsabschnitt III) .....	233
8.1.2.1	Physikalische Untersuchungen.....	233
8.1.2.2	Mikrobiologische Untersuchungen.....	236

## INHALTSVERZEICHNIS

---

8.1.3	Gruppenvergleiche .....	240
8.2	Eingesetzte Chemikalien .....	251
8.3	Technische Geräte und Verbrauchsmaterialien .....	251
8.3.1	Produktspezifikationen der Verpackungsanlage .....	252
8.4	Verwendete Nährmedien .....	253
8.4.1	Rezepturen der verwendeten Selektivnährmedien .....	254
8.4.1.1	Feste Medien .....	254
8.4.1.2	Flüssige Medien .....	256
8.5	Produktspezifikationen der Gewürzmischung .....	259

**VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN**

Abbildung 1: Aufbau der Skelettmuskulatur .....14

Abbildung 2: Veränderung der Fleischfarbe .....20

Abbildung 3: Räumliche Darstellung des L\*a\*b\*-Farbraumes.....23

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Gasaustauschvorgänge in der MAP-Verpackung  
.....38

Abbildung 5: Schematische Darstellung der antimikrobiellen Aktivität schwacher organischer  
Säuren .....47

Abbildung 6: Strukturformel von Citronensäure .....48

Abbildung 7: Grundprinzip der instrumentellen Farbmessung mit dem Spektrophotometer  
„CM 2002“ der Fa. Konica Minolta .....62

Abbildung 8: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt I – Mikrobiologischer Status quo bei  
industriell hergestelltem Putenhackfleisch (sechs Chargen: H1-H6, n = 108) .70

Abbildung 9: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt II – Qualitätsverbesserung durch  
Prozessschrittanalyse (sechs Chargen: HP1-HP6; n = 210) .....71

Abbildung 10: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt III – Vorversuche (drei Chargen; n =  
240) .....73

Abbildung 11: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt III – Untersuchungen zum Einsatz  
sprühvernebelter Citronensäure (sechs Chargen für Kontrolle und  
Aufbringungsmenge 2 ml: CH1A-CH6A; vier Chargen für Aufbringungsmenge  
4 ml: CH1B-CH4B; n = 576) .....75

Abbildung 12: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt IV – Qualitätsverbesserung durch  
Zugabe einer Gewürzmischung (sechs Chargen: HZ1-HZ6; n = 108).....77

Abbildung 13: Entwicklung der L\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während  
der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2  
Proben). .....82

Abbildung 14: Entwicklung der a\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während  
der Lagerung über zehn Tage bei T1 und (sechs Chargen; n = 108; je 2  
Proben). .....83

Abbildung 15: Entwicklung der b\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während  
der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 108; je 2  
Proben). .....84

Abbildung 16: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log<sub>10</sub> KbE/g) in  
frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1  
und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). .....86

Abbildung 17: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. (Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). .....	87
Abbildung 18: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben).. .....	88
Abbildung 19: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). .....	89
Abbildung 20: Quantitativer Nachweis der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ), <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Bro), <i>Pseudomonas</i> spp. (Ps) und <i>Enterobacteriaceae</i> (Ent) (Log KbE/g, MW ± SD) von vier Probeentnahmestellen (R1-R4) während der Herstellung von frischem Putenhackfleisch (sechs Chargen, n = 48, jeweils 2 Proben).....	91
Abbildung 21: Entwicklung der L*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). .....	95
Abbildung 22: Entwicklung der a*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). .....	96
Abbildung 23: Entwicklung der b*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). .....	97
Abbildung 24: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 156, je 3 Proben). .....	99
Abbildung 25: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. (Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 156, je 3 Proben). .....	100
Abbildung 26: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 156, je 3 Proben). .....	101
Abbildung 27: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 156, je 3 Proben). .....	102
Abbildung 28: Wachstumsverläufe der aeroben mesophilen GKZ der mit CS-Pulver in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1P), 1 % (C1P) und 3 % (C3P) behandelten	



Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben). .....	108
Abbildung 29: Wachstumsverläufe der aeroben mesophilen GKZ der mit CS-Lösung in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1L), 1 % (C1L) und 3 % (C3L) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben). .....	109
Abbildung 30: Wachstumsverläufe der aeroben mesophilen GKZ der mit aufgesprüheter CS (2 ml) in den Konzentrationen 5 % (C5N), 10 % (C10N) und 50 % (C50N) behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96). .....	110
Abbildung 31: Entwicklung der L*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	116
Abbildung 32: Entwicklung der L*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	117
Abbildung 33: Entwicklung der a*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	118
Abbildung 34: Entwicklung der a*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	119
Abbildung 35: Entwicklung der a*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 360, je 2 Proben).....	120
Abbildung 36: Entwicklung der a*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 360, je 2 Proben).....	120
Abbildung 37: Entwicklung der b*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	121
Abbildung 38: Entwicklung der b*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	122
Abbildung 39: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml)	

im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	126
Abbildung 40: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	127
Abbildung 41: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	128
Abbildung 42: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	129
Abbildung 43: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	130
Abbildung 44: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	131
Abbildung 45: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	132
Abbildung 46: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432).	133
Abbildung 47: Entwicklung der L*-Werte (MW ± SD) in zubereitetem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben).	137
Abbildung 48: Entwicklung der a*-Werte (MW ± SD) in zubereitetem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben).	138

Abbildung 49: Entwicklung der $b^*$ -Werte ( $MW \pm SD$ ) in zubereitetem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, $n = 108$ ; je 2 Proben).....	139
Abbildung 50: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; $\text{Log}_{10}$ KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, $n = 108$ , je 2 Proben).....	141
Abbildung 51: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. ( $\text{Log}_{10}$ KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, $n = 108$ , je 2 Proben). ....	142
Abbildung 52: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> ( $\text{Log}_{10}$ KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, $n = 108$ , je 2 Proben). ....	143
Abbildung 53: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> ( $\text{Log}_{10}$ KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, $n = 108$ , je 2 Proben).. ....	144
Abbildung 54: Entwicklung der $L^*$ -Werte in den mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, $n = 360$ ; je 2 Proben).....	234
Abbildung 55: Entwicklung der $L^*$ -Werte in den mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, $n = 360$ ; je 2 Proben).....	234
Abbildung 56: Entwicklung der $b^*$ -Werte in den mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Lagerungszeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, $n = 360$ ; je 2 Proben). ....	235
Abbildung 57: Entwicklung der $b^*$ -Werte in den mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Lagerungszeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, $n = 360$ ; je 2 Proben).....	235
Abbildung 58: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; $\text{Log}_{10}$ KbE/g; $MW \pm SD$ ) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, $n = 360$ ; je 2 Proben). ....	236
Abbildung 59: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; $\text{Log}_{10}$ KbE/g; $MW \pm SD$ ) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, $n = 360$ ; je 2 Proben).....	236
Abbildung 60: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. ( $\text{Log}_{10}$ KbE/g; $MW \pm SD$ ) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über	

eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben).....	237
Abbildung 61: Verlauf der Keimzahlen von <i>Pseudomonas</i> spp. (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben).....	237
Abbildung 62: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben).....	238
Abbildung 63: Verlauf der Keimzahlen von <i>Brochothrix thermosphacta</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben).....	238
Abbildung 64: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben).....	239
Abbildung 65: Verlauf der Keimzahlen der <i>Enterobacteriaceae</i> (Log <sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben).....	239

**VERZEICHNIS DER TABELLEN**

Tabelle 1: Vermarktungsbezeichnungen für Geflügel .....	4
Tabelle 2: Mikrobiologische Lebensmittelsicherheits- und Prozesshygienekriterien für Hackfleisch nach VO (EG) 2073/2005 und 1441/2007 .....	8
Tabelle 3: Methoden zur Verminderung der mikrobiellen Belastung von Frischfleisch .....	37
Tabelle 4: Vor- und Nachteile der MAP-Technologie .....	39
Tabelle 5: Aufgaben der Schutzgase .....	42
Tabelle 6: Einflussfaktoren der Säuredekontamination .....	51
Tabelle 7: Beispiele für den Einsatz von Citronensäure (CS) zur Dekontamination von Fleisch und Fleischerzeugnissen .....	53
Tabelle 8: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungsabschnitte .....	56
Tabelle 9: Normwerte für die Gasdurchlässigkeiten der Verbundfolie.....	57
Tabelle 10: Eingesetzte Nährböden und Bouillon zur Bakterienanzucht.....	68
Tabelle 11: Übersicht über die verwendeten Testverfahren zur Hypothesenprüfung und deren Voraussetzungen .....	69
Tabelle 12: Eingesetzte Citronensäureapplikationen und -konzentrationen in Untersuchungs- abschnitt III.....	76
Tabelle 13: Bedeutung der verwendeten Symbole in den Abbildungen und Tabellen.....	79
Tabelle 14: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des frischen Hackfleisches aus dem Putenflügel aus sechs Chargen (in %) (Mittelwert ± Standardabweichung, MW ± SD).....	80
Tabelle 15: Entwicklung der Anteile von O <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> (in Vol. %) im Verlauf der zehntägigen Lagerung bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). .....	81
Tabelle 16: Errechnete Gesamtfarbdifferenzen (MW ± SD) der Status quo-Proben für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108).....	85
Tabelle 17: Gemessene pH-Werte des frischen Putenhackfleisches unter Schutzatmosphäre während der zehntägigen Lagerung (sechs Chargen: T1: n = 60, T2: n = 48) ....	85
Tabelle 18: Anteil (in %) positiver Proben mit Nachweis pathogener Erreger ( <i>Campylobacter</i> <i>spp.</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> ) an der Gesamtzahl untersuchter Putenfleischproben (Stufenkontrolle) (sechs Chargen; n = 48, jeweils 2 Proben) .....	92
Tabelle 19: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des frischen Hackfleisches aus dem Putenflügel) (in %) (Mittelwert ± Standardabweichung, MW ± SD) .....	93
Tabelle 20: Entwicklung der Anteile von O <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> (in Vol. %) im Verlauf der zehntägigen Lagerung bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). .....	93

## TABELLENVERZEICHNIS

---

Tabelle 21: Ermittelte Gesamtfarbdifferenzen für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 162).....	97
Tabelle 22: Gemessene pH-Werte des frischen Putenhackfleischs während der zehntägigen Lagerung für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 156).....	98
Tabelle 23: Anteil (%) positiver Proben mit Nachweis pathogener Erreger ( <i>Campylobacter</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., <i>Listeria monocytogenes</i> ) an der Gesamtzahl untersuchter Putenhackfleischproben (Lagerungsversuche) (n = 90, jeweils 3 Proben).....	103
Tabelle 24: Gemessene pH-Werte der Kontrolle (K) und der CS-Pulver in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1P), 1 % (C1P) und 3 % (C3P) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben) .....	105
Tabelle 25: Gemessene pH-Werte der Kontrolle (K) und der mit CS-Lösung in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1L), 1 % (C1L) und 3 % (C3L) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben) .....	106
Tabelle 26: Gemessene pH-Werte der Kontrolle (K) und der mit aufgesprühter CS (2 ml) in den Konzentrationen 5 % (C5N), 10 % (C10N) und 50 % (C50N) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben). .....	107
Tabelle 27: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des unbehandelten Hackfleischs aus dem Putenflügel (in %) (Mittelwert ± Standardabweichung, MW ± SD).....	112
Tabelle 28: Entwicklung des O <sub>2</sub> -Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	113
Tabelle 29: Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).....	114
Tabelle 30: Errechnete Gesamtfarbdifferenzen (MW ± SD) für die Kontrolle und die mit CS behandelten Proben (5 %, 10 %; 2 ml bzw. 4 ml) für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 576).....	122
Tabelle 31: pH-Werte der Kontrolle (K) und der Proben nach Zugabe von CS (5 % bzw. 10 %; 2 ml) über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 oder T2 .....	123
Tabelle 32: pH-Werte der Kontrolle (K) und der Proben nach Zugabe von CS (5 % bzw. 10 %; 4 ml) über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 oder T2 .....	124
Tabelle 33: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des zubereiteten Hackfleischs aus dem Putenflügel (in %) (Mittelwert ± Standardabweichung, MW ± SD).....	135

## TABELLENVERZEICHNIS

---

Tabelle 34: Entwicklung der Anteile von O <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> (in Vol. %) im Verlauf der zehntägigen Lagerung in zubereitetem Putenhackfleisch bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben).....	136
Tabelle 35: Ermittelte Gesamtfarbdifferenzen für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108).....	139
Tabelle 36: Gemessene pH-Werte des zubereiteten Putenhackfleisches während der zehntägigen Lagerung für T1 und T2 (sechs Chargen; n = 108).....	140
Tabelle 37: Einzelergebnisse (MW) aus den Chargen der Untersuchungsabschnitte I bis IV (T1).....	223
Tabelle 38: Einzelergebnisse (MW) aus den Chargen der Untersuchungsabschnitte I bis IV (T2).....	229
Tabelle 39: Entwicklung des O <sub>2</sub> -Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) (vier Chargen, n = 360, je 2 Proben).....	233
Tabelle 40: Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) (vier Chargen, n = 360, je 2 Proben).....	233
Tabelle 41: Gruppenvergleich O <sub>2</sub> -Gehalte T1.....	240
Tabelle 42: Gruppenvergleich O <sub>2</sub> -Gehalte T2.....	240
Tabelle 43: Gruppenvergleich CO <sub>2</sub> -Gehalte T1.....	241
Tabelle 44: Gruppenvergleich CO <sub>2</sub> -Gehalte T2.....	241
Tabelle 45: Gruppenvergleich L*-Werte T1.....	242
Tabelle 46: Gruppenvergleich L*-Werte T2.....	242
Tabelle 47: Gruppenvergleich a*-Werte T1.....	243
Tabelle 48: Gruppenvergleich a*-Werte T2.....	243
Tabelle 49: Gruppenvergleich b*-Werte T1.....	244
Tabelle 50: Gruppenvergleich b*-Werte T2.....	244
Tabelle 51: Gruppenvergleiche pH-Werte T1.....	245
Tabelle 52: Gruppenvergleich pH-Werte T2.....	245
Tabelle 53: Gruppenvergleich aerobe mesophile GKZ T1.....	246
Tabelle 54: Gruppenvergleich aerobe mesophile GKZ T2.....	246
Tabelle 55: Gruppenvergleich <i>Pseudomonas</i> spp. T1.....	247
Tabelle 56: Gruppenvergleich <i>Pseudomonas</i> spp. T2.....	247
Tabelle 57: Gruppenvergleich <i>Brochothrix thermosphacta</i> T1.....	248
Tabelle 58: Gruppenvergleich <i>Brochothrix thermosphacta</i> T1.....	248
Tabelle 59: Gruppenvergleich <i>Enterobacteriaceae</i> T1.....	249
Tabelle 60: Gruppenvergleich <i>Enterobacteriaceae</i> T2.....	249
Tabelle 61: Verzeichnis der in den Gruppenvergleichen eingesetzten Abkürzungen.....	250

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADP	Adenosin-Diphosphat
ATP	Adenosin-Triphosphat
$a_w$	Activity of Water/Wasseraktivität
a*-Wert	Rot-/Grün-Wert
<i>B.</i>	<i>Brochothrix</i>
BE	Bindegewebeseiweiß
BEFFE	Bindegewebeseiweißfreies Fleischeiweiß
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
b*-Wert	Blau-/Gelb-Wert
c	Anzahl der Probeeinheiten, deren Werte über m oder zwischen m und M liegen dürfen
°C	Grad Celcius
Ca	Calcium
ca.	circa
ccDA	Charcoal Cefoperazone Deoxycholate Agar
CH	Hauptversuch Citronensäure
CIE	Comission Internationale de l'Eclaire
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
cm <sup>3</sup>	Kubikcentimeter
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CoA	Coenzym A
CS	Citronensäure
CV	Vorversuch Citronensäure
d	Tag
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
dest.	destilliert
DFD	Dark Firm Dry
d. h.	das heißt
DNA	Desoxyribonukleinsäure
EFSA	European Food Safety Authority



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

EG	Europäische Gemeinschaft
$E_h$	Redoxpotential
et al.	et alii (und andere)
EU	Europäische Union
EVOH	Ethyl-Vinyl-Alkohol
EVPP	Ethyl-Vinyl-Polypropylen
evtl.	eventuell
Fa.	Firma
Fe	Eisen
FE	Fleischeiweiß
g	Gramm
GE	Gesamteiweiß
GKZ	Gesamtkeimzahl
GSP	Glutamate Starch Phenol Red
H <sub>2</sub> O	Wasser
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Kohlensäure
HP	Hydroxyprolin
inkl.	inklusive
ISO	International Organisation for Standardization
K	Kalium, Kontrolle
KbE	Kolonie-bildende Einheit
kg	Kilogramm
L.	<i>Listeria</i>
LFGB	Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch
Log <sub>10</sub>	Logarithmus zur Basis 10
L*-Wert	Helligkeitswert
M	Molarität, Grenzwert
m	Meter, Grenzwert
M.	Musculus
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MAP	Modified Atmosphere Packaging
mbar	Millibar
Mb	Deoxymyoglobin
MbCO	Carboxymyoglobin
MbO <sub>2</sub>	Oxymyoglobin
MMB	Metmyoglobin
mg	Milligramm

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

Min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Mm.	Musculi
MO	Mikroorganismen
Mol	Stoffmenge
MW	arithmetischer Mittelwert
µm	Mikrometer
µmol	Mikromol
n	Anzahl der Proben
N <sub>2</sub>	Stickstoff
Na	Natrium
NaCl	Natriumchlorid
NADH	reduziertes Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid
nm	Nanometer
NVS II	Nationale Verzehrsstudie II
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OCLA	Oxid Chromogenic Listeria Agar
ONF	Organisches Nichtfett
p	Wasserdampfdruck über dem Lebensmittel, Irrtumswahrscheinlichkeit
p <sub>0</sub>	Wasserdampfdruck des reinen Wassers
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenenterephthalat
pH	pondus Hydrogenii
PP	Polypropylen
PSE	Pale Soft Exudative
RKI	Robert Koch-Institut
RL	Richtlinie
S.	<i>Salmonella</i>
s.	siehe
SB	Selbstbedienung
SD	Standardabweichung
SIN	Streptomycin-Inosit-Neutralrot
spp.	Spezies (Plural)
SSO	Specific Spoilage Organism
subsp.	Subspezies
syn.	synonym

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

Tab.	Tabelle
TS	Trockensubstanz
u. a.	unter anderem
USDA	United States Department of Agriculture
v. a.	vor allem
vgl.	Vergleiche
VO	Verordnung
Vol. %	Volumenprozent
VRBD	Violet Red Bile Dextrose
w/v	weight/volume
v/v	volume/volume
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
ZzulV	Zusatzstoff-Zulassungsverordnung



# **1 EINFÜHRUNG**

## **1.1 EINLEITUNG**

In Deutschland ist der Verbrauch an Geflügelfleisch in den letzten zehn Jahren um über 30 Prozent gestiegen (RISTIC et al. 2008). Infolge der zunehmenden Prävalenz von Adipositas kommt solchen fettarmen, energiereduzierten, ernährungsphysiologisch jedoch hochwertigen Lebensmitteln eine besondere Bedeutung zu. Im SB-Segment Frischfleisch machten schutzgasverpackte Lebensmittel im Jahr 2009 einen Marktanteil von 64,1 % aus (ELEKTRON. PUB. 2009).

Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre ist ein neues Frische-Convenience-Produkt in SB-Verpackungen, das eine leicht verdauliche und fettarme Alternative zu Zerkleinertem aus Schweine- und Rinderfleisch darstellt. In Deutschland ist es auf der Grundlage der neuen lebensmittelrechtlichen Verordnungen der Europäischen Union (EU) (VO EG 178/2002, VO EG 853/2004, VO EG 2073/2005, VO EG 1441/2007) erst seit dem 01. Januar 2006 für zugelassene Betriebe erlaubt, frisches Putenhackfleisch herzustellen und unter Kühlbedingungen (+2 °C) zu vermarkten. Bis zu diesem Zeitpunkt war es aufgrund des besonderen hygienischen Risikos durch die nationale Gesetzgebung (Hackfleisch-VO 1976; zum 15.08.2007 außer Kraft getreten) nicht zulässig, dieses Produkt in den Handel zu bringen. Die Gesetzesänderung bietet dem Hersteller gute Möglichkeiten, seine Produktpalette zu erweitern und die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Die Erhaltung der mikrobiologischen Qualität während des Inverkehrbringens sowie der anschließenden Lagerung durch den Verbraucher ist aufgrund des mikrobiologischen Risikos und des erhöhten Verderbspotentials von Putenhackfleisch eine besondere Herausforderung. Der Einsatz mikrobiologischer Hürden stellt hierbei eine Möglichkeit dar, ein für Produzenten und Verbraucher über die Zeit des am Markt erforderlichen Verbrauchsdatums mikrobiologisch stabiles Produkt zu gewährleisten.

## **1.2 PROBLEMSTELLUNG**

Infolge der gesetzlichen Veränderungen ist es seit dem 01. Januar 2006 erlaubt, frisches Putenhackfleisch herzustellen und unter Kühlbedingungen zu vermarkten (+2 °C). Nach dem derzeitigen Stand wird vom Handel für dieses Produkt ein Verbrauchsdatum von bis zu zehn Tagen gefordert. Die mikrobiologische Sensibilität dieses Produktes, d. h. eine mögliche Belastung mit pathogenen Keimen ebenso wie eine hohe Verderbnisanfälligkeit (AKPOLAT et al. 2004; BAJAJ et al. 2003; JIMÉNEZ et al. 1999; MAYRHOFER et al. 2004; WEISE 2003; ZHAO

und DOYLE 2006), stellt dabei ein großes Problem dar. Während im lebenden Tier Bereiche, wie die äußere Haut, bereits mit Keimen infiziert sein können, erfolgt die weitere mikrobielle Kontamination hauptsächlich während des Schlacht- und Zerlegeprozesses. Bei der Herstellung von Putenhackfleisch wird die Oberfläche zusätzlich vergrößert und die Voraussetzungen als optimales Substrat für das Wachstum von Keimen weiter verbessert. Bei verpackten, schutzgasbefüllten Lebensmitteln muss zudem mit einer Rekontamination des Produktes vor dem Verpacken gerechnet werden.

Die mikrobiologische Stabilität wird auch nach dem Herstellungs- und Verpackungsprozess durch zahlreiche Faktoren determiniert. Hierbei rückt insbesondere der Einfluss des Verbrauchers (Lagerung, Verarbeitung, etc.) in den Mittelpunkt. Bestimmte Bedingungen, wie die Unterbrechung der Kühlkette oder die anschließende Lagerung des Putenhackfleisches bei erhöhten Temperaturen im Verbraucherhaushalt, können bereits früh zu einem vermehrten Keimanstieg führen. Untersuchungen haben gezeigt, dass nach einer Entnahme der SB-Verpackung aus dem Kühlregal durch den Verbraucher die Kühlkette für ca. 45 Minuten, bei einer durchschnittlichen Umgebungstemperatur von +25 °C, unterbrochen wird (NAUTA et al. 2003). Hinzu kommt, dass die Kühlschränke der Verbraucher in der Regel nicht die vom Hersteller in Verbindung mit dem Verbrauchsdatum geforderten Temperaturen von  $\leq +2$  °C aufweisen. In den meisten Fällen liegen die Temperaturen weit über diesen Angaben (bei ca. +7 °C) (NAUTA et al. 2003). Somit erscheint es sinnvoll, weitere mikrobiologische Hürden zu integrieren, um die Stabilität des Produktes auch über den Zeitraum des Verbrauchsdatums sicher gewährleisten zu können.

### **1.3 ZIELSETZUNG**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, unter spezieller Berücksichtigung der beschriebenen Problemstellung, eine umfassende Analyse der Beschaffenheit des neuen Produktes durchzuführen und die Eignung zusätzlicher mikrobiologischer Hürden zu überprüfen, um die mikrobiologische Stabilität des Produktes bis zum Ende des angegebenen Verbrauchsdatums für Produzenten und Verbraucher sicher gewährleisten zu können. Dazu wurde in einem ersten Schritt der mikrobiologische Status quo von frischem Putenhackfleisch erfasst und im Rahmen einer Prozessschrittanalyse der Einfluss des Herstellungsprozesses auf die mikrobiologische Stabilität untersucht. In weiteren Schritten wurde die Eignung mikrobiologischer Hürden (Citronensäure, Gewürzmischung) zur Erhöhung dieser unter gleichzeitiger Erhaltung der mikrobiologischen Produktqualität analysiert.

Als zentrales Element der beschriebenen Untersuchungsabschnitte wurden zehntägige Lagerungsversuche integriert. Da das Verbraucherverhalten, wie bereits beschrieben, die mikrobiologische Stabilität stark beeinflusst, wurde in allen Untersuchungsabschnitten modellhaft ein Verbraucherverhalten mit Kühlkettenunterbrechung und erhöhten Lagerungstemperaturen simuliert.

Die Produktion von Hackfleisch aus frischem Putenfleisch stellt in Deutschland ein neues Technologiegebiet dar. Da frisches Putenhackfleisch in Deutschland erst seit 2006 zugelassen ist, liegen nach dem derzeitigen Stand über dieses neue Frische-Convenience-Produkt bisher wenig vergleichbare Studien im wissenschaftlichen Schrifttum des deutschsprachigen Raumes vor. Von besonderer Bedeutung der vorliegenden Arbeit ist die mikrobiologische Stabilität dieses Produktes über einen Lagerungszeitraum von zehn Tagen. In Deutschland wurden bisher ebenso wenige Studien beschrieben, in denen die Integration von zusätzlichen mikrobiologischen Hürden zu diesem erfolgte, um die mikrobiologische Stabilität zu erhöhen. Insbesondere der Einsatz von Citronensäure in sprühvernebelter Form auf die Probenoberfläche stellt eine bisher wenig gebräuchliche Applikationsmethode dar. Zur Verlängerung der Haltbarkeit von frischem Putenhackfleisch wurde diese bisher noch nicht angewendet.

## 2 WISSENSCHAFTLICHES SCHRIFTTUM

### 2.1 WARENKUNDLICHE UND RECHTLICHE GRUNDLAGEN

#### 2.1.1 GEFLÜGEL UND GEFLÜGELFLEISCH

Nach der VO (EG) 853/2004 werden zu dem Begriff „Fleisch“ alle genießbaren Teile von geschlachteten oder erlegten warmblütigen Tieren, wie Huftiere (z. B. Rind, Schaf, Schwein, Ziege), Geflügel, Hasentiere und Wild verstanden. Hierzu zählen nicht nur die Skelettmuskulatur mit anhaftendem Fett- und Bindegewebe, sondern ebenso Blut und Innereien.

Der Begriff „Geflügel“ umfasst Farmgeflügel, einschließlich der Tiere, die nicht als Haustiere gelten, aber wie solche aufgezogen werden, mit der Ausnahme von Laufvögeln (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION). Hierzu zählen Hühner, Truthühner (Puten), Enten sowie Gänse, Perlhühner, Tauben, Wachteln und Fasane (PINGEL et al. 2007). Die wichtigsten Geflügelarten sind Jungmasthühner (Hähnchen) und Puten/Truthühner (BRANSCHIED 2007). Puten gelten als das fleischreichste und schwerste Mastgeflügel (FEHLHABER 2001a).

#### 2.1.2 VERKEHRSBEZEICHNUNGEN UND ANGEBOTSZUSTÄNDE VON GEFLÜGELFLEISCH

In der EU werden für Hühner, Enten, Gänse, Puten/Truthühner und Perlhühner Vermarktungsnormen vorgegeben (FEHLHABER 2001b) (Tab. 1).

**Tabelle 1: Vermarktungsbezeichnungen für Geflügel (FEHLHABER 2001b)**

<b>Hühner</b> ( <i>Gallus domesticus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hähnchen (syn. Broiler, Brathähnchen, Hendl, Poulet)</li> <li>• Kapaun</li> <li>• Suppenhuhn</li> <li>• Stubenküken</li> </ul>
<b>Puten/Truthühner</b> ( <i>Meleagris gallopavo domesticus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junge Pute/junger Truthahn</li> <li>• Pute/Truthahn</li> </ul>
<b>Enten</b> ( <i>Anas platyrhynchos domestica</i> , <i>Cairina moschata</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühmastente/junge Ente/junge Flugente (Barbarieente)/ junge Mulardente</li> <li>• Ente/Barbarieente/Mulardente</li> </ul>
<b>Gänse</b> ( <i>Anser anser domesticus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühmastgans/junge Gans</li> <li>• Gans</li> </ul>
<b>Perlhühner</b> ( <i>Numida meleagris domesticus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junges Perlhuhn</li> <li>• Perlhuhn</li> </ul>
<b>Sonstige</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haustaube (<i>Columba domestica</i>)</li> <li>• Wachteln (<i>Coturnix coturnix</i>)</li> <li>• Strauß (<i>Struthio camelus</i>)</li> </ul>



Die VO (EG) 543/2008 vom 16. Juni 2008 enthält die „Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 1234/2007 des Rates hinsichtlich der Vermarktungsnormen für Geflügelfleisch“ (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION). Mit Hilfe der Verkehrsbezeichnung werden Geflügelteilstücke in verschiedene Kategorien eingeteilt. Beim Angebotszustand wird gemäß VO (EG) 1234/2007 zwischen frisch (-2 bis +4 °C; Erstarrung durch Kälte nicht zulässig), gefroren (-12 °C) und tiefgefroren (-18 °C) unterschieden (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION; MATHES et al. 1997). Die Handelsklasse garantiert dem Verbraucher eine bestimmte Qualität. Die Einteilung erfolgt nach Beschaffenheit und Aussehen der Schlachtkörper bzw. ihrer Teilstücke in die Handelsklasse „A“ oder „B“ (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION; MATHES et al. 1997).

### **2.1.3 BEDEUTUNG VON GEFLÜGELFLEISCH UND HACKFLEISCH FÜR DEN SB-MARKT**

Geflügelfleischprodukte, wie Hähnchen oder Pute, gelten als gesunde und fettreduzierte Alternative zu Produkten aus rotem Fleisch (MCKEE 2007a). Eine deutliche Zunahme des Verbrauches an Geflügelfleisch auf Basis der Agrarstatistik zur Beschreibung der Ernährungssituation in Deutschland von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) zeigt, dass sich dieses im Zeitraum von 1950 bis 2006 zunehmender Beliebtheit erfreut. Der Verbrauch von Geflügelfleisch ist innerhalb dieses Zeitraumes signifikant um durchschnittlich ca. 220 g pro Kopf und Jahr angestiegen (ERNÄHRUNGSBERICHT 2008). Das Huhn (insbesondere Hähnchen) ist die am häufigsten verzehrte Geflügelart, dicht gefolgt von der Pute (FEHLHABER 2005). Auch im Jahr 2009 hat nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in Deutschland die Produktion von Geflügelfleisch deutlich zugenommen und betrug 17,3 % an der gesamten gewerblichen Fleischerzeugung (ELEKTRON. PUB 2009). Nach RISTIC et al. (2008) ist in Deutschland der Verbrauch an Geflügelfleisch in den letzten zehn Jahren um über 30 Prozent angestiegen.

Die Nationale Verzehrsstudie II (NVS II), die in den Jahren 2005 bis 2006 im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durchgeführt wurde, zeigt, dass durchschnittlich 68 % der erwachsenen Männer und etwa 50 % der erwachsenen Frauen (18 bis 80 Jahre) in Deutschland übergewichtig (BMI  $\geq$  25) sind (ERNÄHRUNGSBERICHT 2008). Die DGE empfiehlt eine fettarme Ernährungsweise. Aufgrund der Zunahme der Häufigkeit von Präadipositas und Adipositas kommt somit fettarmen, energiereduzierten Lebensmitteln, wie Geflügelfleisch, daher eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere Geflügelarten wie Huhn, Pute, Taube, Perlhuhn oder Fasan gelten als besonders fettarm (FEHLHABER 2005). Weitere Vorteile von Geflügelfleisch sind nach FEHLHABER (2007) die vielseitigen Verarbeitungsmöglichkeiten zu Fleischerzeugnissen. Das Angebot an Geflügel in Form von Teilstücken, die in Deutschland einen Anteil von 80 %

besitzen und an leicht zuzubereitenden Gerichten, dem sogenannten Convenience-Food, steigt stetig an (FEHLHABER 2005). Aufgrund veränderter Lebensgewohnheiten gehen die Trends dahin, Geflügelfleisch garfertig in portionierter, geschnittener, zerkleinerter, gewürzter, marinierter oder gekochter Form zu verzehren. Viele dieser Produkte werden unter Schutzgas verpackt. Nach MÜLLER et al. (2009) stellt schutzgasverpacktes Frischfleisch in Deutschland einen stark wachsenden Bereich im SB-Marksegment des Einzelhandels dar. Frisches Hackfleisch unter Schutzatmosphäre (MAP) macht hierbei eine feste Größe aus. Auf Basis der Marktbilanz der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) entwickelte sich der Absatzanteil von SB-verpacktem Frischfleisch von 61,3 % in 2004 auf 64,1 % in 2006. Im Jahr 2009 konnte sich dieser Absatzanteil weiter auf 67,1 % erhöhen (ELEKTRON. PUB 2009). Es ist nach Prognosen der am Markt beteiligten Firmen davon auszugehen, dass bis zum Jahr 2010 50 % des SB-Frischfleischangebotes auf Hackfleisch fallen werden.

#### **2.1.4 RECHTLICHE GRUNDLAGEN ZUR HERSTELLUNG VON FRISCHEM PUTENHACKFLEISCH**

Auf Grundlage der neuen lebensmittelrechtlichen Verordnungen der Europäischen Union (EU) vom 01. Januar 2006 (VO EG 178/2002: *Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit* ; VO EG 853/2004: *Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs* ; VO EG 2073/2005: *Verordnung der Kommission vom 15. November 2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel*) ist es in Deutschland zugelassenen Betrieben erlaubt, frisches Hackfleisch aus Geflügelfleisch herzustellen und unter Kühlbedingungen (+2 °C) zu vermarkten.

Zuvor war es durch die bis dahin gültige Hackfleisch-Verordnung (1976; zum 15.08.2007 außer Kraft getreten) aufgrund des gesundheitlichen Risikos für den Verbraucher verboten, Hackfleisch aus Geflügelfleisch in den Verkehr zu bringen (WEISE 2003). Die VO (EG) 853/2004 definiert Hackfleisch als entbeintes Fleisch, das durch Hacken zerkleinert wurde und weniger als 1 % Salz enthält. Erfolgt eine Zugabe von Lebensmittelzutaten, Würzstoffen oder Zusatzstoffen zum frischen bzw. zerkleinertem Fleisch, wird dieses als Fleischzubereitung bezeichnet. Für die Herstellung von Hackfleisch dürfen die Lebensmittelproduzenten gemäß der Verordnung nur Rohstoffe einsetzen, die die Anforderungen für frisches Fleisch erfüllen und zudem aus der Skelettmuskulatur, einschließlich anhaftendem Fettgewebe, stammen. Folgende Rohstoffe sind zur Herstellung

von Hackfleisch nicht erlaubt: Fleischabschnitte aus der Zerlegung, mit Ausnahme ganzer Muskelstücke, Separatorenfleisch, Fleisch, das Knochensplinter oder Hautreste enthält, Kopffleisch mit Ausnahme der Kaumuskeln, die nicht muskulären Teile der *Linea alba*, Hand- und Fußwurzelbereich, Knochenputz sowie die Muskeln des Zwerchfells. Während der Bearbeitung darf das verwendete Geflügelfleisch eine Temperatur von +4 °C nicht überschreiten. Erfolgt die Herstellung von Hackfleisch aus gekühltem Geflügelfleisch, so muss dieses innerhalb von drei Tagen nach der Schlachtung erfolgen.

Nach der Herstellung muss das Hackfleisch umhüllt oder verpackt werden und entweder auf eine Kerntemperatur von  $\leq +2$  °C gekühlt oder  $\leq -18$  °C gefroren werden. Verpackungen, die für eine Abgabe an den Endverbraucher vorgesehen sind und Hackfleisch vom Geflügel enthalten, müssen den Hinweis „Vor dem Verzehr durchgaren“ enthalten (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION).

### **2.1.5 MIKROBIOLOGISCHE NORMEN UND KRITERIEN FÜR PUTENHACKFLEISCH**

Die VO (EG) 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel und die VO (EG) 1441/2007 zur Änderung der VO (EG) 2073/2005 geben für Hackfleisch und Fleischzubereitungen aus Geflügelfleisch, die zum Verzehr im durcherhitztem Zustand vorgesehen sind, Lebensmittelsicherheitskriterien, für Hackfleisch zusätzlich Prozesshygienekriterien an.

Als **Lebensmittelsicherheitskriterien** werden gemäß VO (EG) 2073/2005 Kriterien angesehen, mit denen die Akzeptabilität eines Erzeugnisses oder einer Partie Lebensmittel festgelegt wird und das für im Handel befindliche Erzeugnisse gilt.

**Prozesshygienekriterien** gelten im Gegensatz dazu nicht für im Handel befindliche Erzeugnisse. Es handelt sich um Kriterien, mit denen eine akzeptable Funktionsweise des Herstellungsprozesses angegeben und ein Richtwert für die Kontamination festgelegt wird (Tab. 2). Beim Überschreiten sind Korrekturmaßnahmen zur Erhaltung der Prozesshygiene in Übereinstimmung mit dem Lebensmittelrecht notwendig. Der Lebensmittelunternehmer ist im Sinne des präventiven Verbraucherschutzes dafür verantwortlich, dass die aufgeführten mikrobiologischen Kriterien eingehalten werden (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION).

**Tabelle 2: Mikrobiologische Lebensmittelsicherheits- und Prozesshygienekriterien für Hackfleisch nach VO (EG) 2073/2005 und 1441/2007 (n = Anzahl der Probeeinheiten der Stichprobe; c = Anzahl der Probeeinheiten, deren Werte zwischen m und M liegen) (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION)**

Lebensmittelsicherheitskriterien								
Lebensmittelkategorie	Mikroorganismen/ deren Toxine, Metaboliten	Probenahmeplan		Grenzwerte		Analytische Referenzmethode	Stufe, für die das Kriterium gilt	
		n	c	m	M			
<b>Hackfleisch und Fleischzubereitungen aus Geflügelfleisch, die zum Verzehr im durcherhitztem Zustand bestimmt sind</b>	<i>Salmonella</i>	5	0	ab dem 1.1.2006 in 10 g nicht nachweisbar ab dem 1.1.2010 in 25 g nicht nachweisbar		EN/ISO 6579	In Verzehr gebrachte Erzeugnisse während Haltbarkeitsdauer	
Prozesshygienekriterien								
Lebensmittelkategorie	Mikroorganismen	Probenahmeplan		Grenzwerte		Analytische Referenzmethode	Stufe, für die das Kriterium gilt	Maßnahmen im Fall unbefriedigender Ergebnisse
		n	c	m	M			
<b>Hackfleisch</b>	Aerobe mesophile Keimzahl	5	2	5x 10 <sup>5</sup> KBE/g	5x 10 <sup>6</sup> KBE/g	ISO 4833	Ende des Herstellungsprozesses	Verbesserungen in der Herstellungs-hygiene und bei Auswahl und/oder Herkunft der Rohstoffe
	<i>E. coli</i>	5	2	50 KBE/g	500 KBE/g	ISO 16649-1 oder -2	Ende des Herstellungsprozesses	Verbesserungen in der Herstellungs-hygiene und bei Auswahl und/oder Herkunft der Rohstoffe

## **2.2 HERSTELLUNG UND VERMARKTUNG**

### **2.2.1 TRANSPORT UND GEFLÜGELFLEISCHGEWINNUNG**

Die Geflügelschlachtung führt zur Gewinnung von Geflügelfleisch, dessen lebensmittelhygienische Unbedenklichkeit gewährleistet werden muss (PINGEL et al. 2007). Der Schlachtgeflügeltransport beinhaltet das Fangen und Einkäfigen der Tiere sowie die eigentliche Wegstrecke. Die Wartephase und das Einhängen der Tiere in das Schlachtband erfolgen im Schlachtbetrieb (FRIES 2001). Geflügel muss vor der Schlachtung acht bis 12 Stunden genüchert sein, um eine Schlachtkörperkontamination durch Kropf- und Darminhalt zu verringern. Transport und Wartezeit werden zur Nücherungszeit hinzugezählt (PINGEL et al. 2007). Eine zu grobe Handhabung beim Fangen der Tiere oder mangelhafte Transportbedingungen verursachen höhere Sterberaten durch Frakturen, Verrenkungen, Quetschungen oder Organrupturen (Leber, Ovar) (BARKER et al. 2004; FRIES 2001). Zu starkes Treiben der Tiere bewirkt unter ungünstigen Bedingungen einen vorzeitigen Glykogenabbau und eine nachfolgend verzögerte Glykolyse infolge dessen sich der pH-Wert der Schenkelmuskulatur um 0,3 bis 0,5 Einheiten erhöht und eine abweichende Fleischqualität zur Folge hat (PINGEL et al. 2007).

Der Prozess der Geflügelfleischgewinnung gliedert sich in die Abschnitte: Anlieferung der lebenden Tiere im Schlachthof; Schlachten (Betäubung, Tötung durch Entbluten); Brühen und Rupfen; Entfernen des Kopfes (inkl. der oberen Verdauungs- und Atmungsorgane) und der Ständer; Ausnehmen und Weiterverarbeitung der Innereien; Kühlung; Einteilung der Schlachtkörper nach Gewicht und Qualität; Verpacken; Schneiden; Ausbeinen, Verpacken von geschnittenen und entbeinten Produkten; Gefrier- und/oder Kühllagerung (BARKER et al. 2004; FRIES 2001). Während der Schlachtung wird zwischen der unreinen und der reinen Seite unterschieden. Die unreine Seite beinhaltet alle Prozesse bis zum Ende des Schlachtbandes, während die danach folgende reine Seite am Eviszerationsband beginnt (FRIES 2001). Nach Anhängen der Tiere an die Schlachtkette erfolgt die Betäubung, in den meisten Fällen als Elektrobetäubung in einem Wasserbad. Sie führt zur Bewusstlosigkeit bis hin zum Tod durch Entbluten nach Durchtrennen der Halsschlagadern. Durch die vollständige Entblutung werden pH-Wert und andere Merkmale der Fleischqualität positiv beeinflusst (BARKER et al. 2004; PINGEL et al. 2007). Das Brühen führt eine Lockerung der Federn in den Federfollikelschäften herbei (PINGEL et al. 2007). Es erfolgt in Abhängigkeit von Geflügelart und der sich anschließenden Verkaufsform (frisch, gefroren, tiefgefroren) (MEAD 2004a). Tiere, die als Frischware vorgesehen sind, werden bei Temperaturen zwischen +50 und +54 °C mit einer Dauer von zwei bis fünf Minuten (Niedrigtemperaturbrühen) gebrüht. Sind die Tiere für eine Gefrierlagerung vorgesehen,

findet der Brühvorgang zwischen +55 bis +60 °C für ein bis drei Minuten (Hochtemperaturbrühen) statt. Letzteres führt nach dem Rupfen zu einer Entfernung der Epidermis, die den Schlachtkörper bei Lagerungstemperaturen zwischen -2 und +4 °C vor dem Austrocknen schützt. Durch das Ablösen der Epidermis werden sowohl Haltbarkeit als auch Aussehen beeinträchtigt (PINGEL et al. 2007). Nach der vollständigen Entfernung der Federn und dem Abtrennen von Kopf und Ständern, erfolgt das Ausnehmen. Die Schlachtkörper werden im Eviscerationsband („Bratfertigband“) vollständig ausgenommen und in den Varianten brat- (mit eingelegten essbaren Innereien) oder grillfertig (ohne Innereien) vorbereitet (PINGEL et al. 2007). Im Anschluss an die Nachsäuberung der Tiere zur Entfernung von u. U. nicht vollständig entnommenen Organteilen wird der Schlachtkörper vor der nachfolgenden Kühlung sowohl von außen als auch von innen gründlich gewaschen (BARKER et al. 2004; FRIES 2001).

### **2.2.2 KÜHLUNG**

Die Kühlung umfasst das Abkühlen und das Kühlagern. Der Vorgang des Abkühlens schließt sich direkt an das Ausnehmen und Waschen an (JAMES 2002; 2004). Die Schlachtkörper besitzen nach dem Ausnehmen eine Temperatur von ca. +30 °C. Zur Verhinderung einer stickigen Reifung und um eine ausreichende Haltbarkeit durch die Verlangsamung des Mikroorganismenwachstum für Schlachtkörper und verwertbare Innereien gewährleisten zu können, werden sie innerhalb von einer Stunde auf eine Kerntemperatur von +4 °C gekühlt (PINGEL et al. 2007) oder auf eine Temperatur von -12 bis -18 °C gefroren bzw. tiefgefroren (JAMES 2002). Dieser Schritt erfolgt in Abhängigkeit vom Brühvorgang als Luftkühlung, Tauchkühlung im Gegenstrom oder Luft-Sprühkühlung (BARKER et al. 2004; FRIES 2001; PINGEL et al. 2007). Nach dem Abkühlen erfolgt meist eine Zerlegung des Fleisches, die ohne Verzögerung an den Schlachtprozess erfolgen muss (FEHLHABER 2005). Durch diese und eine sich häufig anschließende Bearbeitung in Form von Schneiden, Vermengen oder Tumbeln wird dem gekühlten oder gefrorenen Fleisch Wärme zugeführt. In einem zweiten Kühlschritt werden anschließend alle rohen Geflügelfleischprodukte auf eine durchschnittliche Temperatur von 0 °C gekühlt (JAMES 2004), um das Wachstum kältetoleranter Verderbniserreger zu verlangsamen (BARKER et al. 2004). Nach PINGEL et al. (2007) darf die Lagerungsdauer von der Schlachtung bis zum Verkauf an den Verbraucher maximal sieben Tage betragen. Dabei darf die Kühlkette bis zum Verbraucher nicht unterbrochen werden (PINGEL et al. 2007). Der erste und der zweite Abkühlvorgang stellen den Beginn der sich anschließenden Kühllagerungskette während Transport, Auslage im Einzelhandel und Lagerung im Haushalt dar (JAMES 2004; KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005).

### **2.2.3 ZERLEGUNG**

Nach dem ersten Abkühlen der Schlachtkörper werden sie entweder als ganze Körper klassifiziert, vakuumverpackt (Schrumpffolie) und anschließend wieder gekühlt, gefroren bzw. tiefgefroren oder entbeint und in verschiedene Teilstücke zerlegt (BARKER et al. 2004; PINGEL et al. 2007). Die Zerlegung der Geflügelschlachtkörper erfolgt nach den Vermarktungsnormen der EU (z. B. Hälfte, Viertel, Brust, Schenkel, Ober- und Unterschenkel oder Flügel). Die Zerlegung erfolgt bei Erreichen der Kerntemperatur von +4 °C und einer Raumtemperatur von +12 °C (PINGEL et al. 2007).

### **2.2.4 WEITERVERARBEITUNG**

Die Weiterverarbeitung von Geflügel nach dem Zerlegen erfolgt in Form von Würzen, Tumbeln, Zusammenfügen von Fleischabschnitten („Reshaping“) oder Zerkleinern, z. B. zu Hackfleisch (BOLDER 2007). Sie führt zu einem weiten Spektrum an Produkten. In Abhängigkeit von den technischen Möglichkeiten, den jeweiligen Anforderungen der Verbraucher und der Wirtschaftlichkeit umfasst dieses beispielsweise Produkte wie marinierte Putenbrust, Frankfurter Würstchen aus Geflügelfleisch, Putenbrustaufschnitt, Frikadellen oder Nuggets aus Geflügelfleisch (FLETCHER 2004).

### **2.2.5 VERPACKUNG**

Die Verpackung verfolgt ebenso wie das Kühlen das Ziel, die sensorischen und funktionellen Eigenschaften des Lebensmittels so lang wie möglich beizubehalten. Sie schützt es vor nachteiligen Einflüssen durch die Umgebung während Lagerung, Transport und Vermarktung und erhält die Qualität und Hygiene (ANDRAE 1996; HUI 2007; KRÄMER 2002; TOTOSAUS und KURI 2007). Die Entwicklung der Schutzgasverpackung und anderen Weiterentwicklungen im Bereich der Verpackungstechnologien haben die Produktsicherheit weiter erhöht und die Haltbarkeit verlängert (KRÄMER 2002; TOTOSAUS und KURI 2007). Eine ausführliche Beschreibung der Technologie der Schutzgasverpackung und ihrer Schutzgase erfolgt in Kapitel 2.6.2. Bei der Materialauswahl steht der hygienische Schutz des Verpackungsgutes vor mikrobiellen Einflüssen sowie anderen Kontaminationen und Rekontaminationen aus der Umwelt im Mittelpunkt. Aufgrund der technischen Bearbeitung, des Warenumschlags und des Transports muss zusätzlich eine ausreichende mechanische Festigkeit und Druckbeständigkeit des Materials, auch bei niedrigeren Temperaturen, gewährleistet sein (ANDRAE 1996; TOTOSAUS und KURI 2007). Verpackt werden beim Geflügel zur Abgabe an den Endverbraucher ganze Schlachtkörper, Teilstücke, zerkleinertes Geflügelfleisch sowie andere weiterverarbeitete Geflügelfleischprodukte. Als Verpackungsmaterial werden für Geflügelfleisch hauptsächlich Kunststoffe in verschiedenen Variationen und Kombinationen

eingesetzt (DAWSON und STEPHENS 2004). Diese beziehen ihre grundlegenden Eigenschaften aus den Monomereinheiten der Polymere, aus denen sie hergestellt werden (WALSH und KERRY 2002). Die mechanische Festigkeit unterstützen Materialien wie Polyethylenterephthalat (PET) und Polypropylen (PP) (DAWSON und STEPHENS 2004). DAWSON und STEPHENS (2004) empfehlen, zerkleinertes Geflügelfleisch in einer sauerstoffreichen Atmosphäre zu verpacken, die zusätzlich CO<sub>2</sub> enthält. Der Kopfraum der Verpackung sollte im Verhältnis 3:1 (Gas:Fleischvolumen) stehen. Sauerstoff- und Wasserdampfdurchlässigkeit sind wichtige Eigenschaften für die Verpackung von Fleisch. Die eingesetzten Materialien müssen eine funktionelle Barriere gegenüber Gasen aufweisen (MÜLLER et al. 2009). So wird der sich nachteilig auf die Qualität auswirkende Wasserdampfaustausch durch möglichst wasserdampfdichtes Verpackungsmaterial verhindert (ANDRAE 1996). In der Praxis werden unterschiedlich dicke Mono- (einlagig, einheitliches Ausgangsmaterial) oder Verbundfolien (mehrlagig, verschiedenes Ausgangsmaterial) mit unterschiedlichen Permeationseigenschaften eingesetzt. Zur Vermeidung einer Wasserdampfkondensation an der Verpackungssinnenseite wurde durch Oberflächenbehandlung des Polyethylens eine „Antifog“-Eigenschaft entwickelt. Die Material-Grenzfläche wird dadurch wieder hydrophil und ist unter Einhaltung der Klarsichtigkeit gleichmäßig filmartig benetzbar (ANDRAE 1996). Saugfähige Schaumstoffschalen oder der Einsatz von Fließ, mit absorbierenden Material wie Cellulose, sollen eine Ansammlung von Fleischsaft am Boden der Schale auffangen und binden (DAWSON und STEPHENS 2004; ANDRAE 1996) und damit zu einer Verbesserung des Erscheinungsbildes beitragen (CHARLES et al. 2006).

### **2.3 ASPEKTE DER GEFLÜGELFLEISCHQUALITÄT**

Der Begriff Fleischqualität umfasst alle Fleischeigenschaften, die für seine Verwendung als Lebensmittel eine Rolle spielen (HOFMANN und HONIKEL 2007). Die Autoren unterteilen die Eigenschaften der Fleischqualität in vier Gruppen: sensorische Eigenschaften (u. a. Geruch und Geschmack), ernährungsphysiologische Eigenschaften, hygienisch-toxikologische Eigenschaften (z. B. Mikroorganismen) und verarbeitungstechnologische Eigenschaften (z. B. Wasserbindungsvermögen, Konsistenz), deren Bedeutung vom jeweiligen Verwendungszweck abhängt.

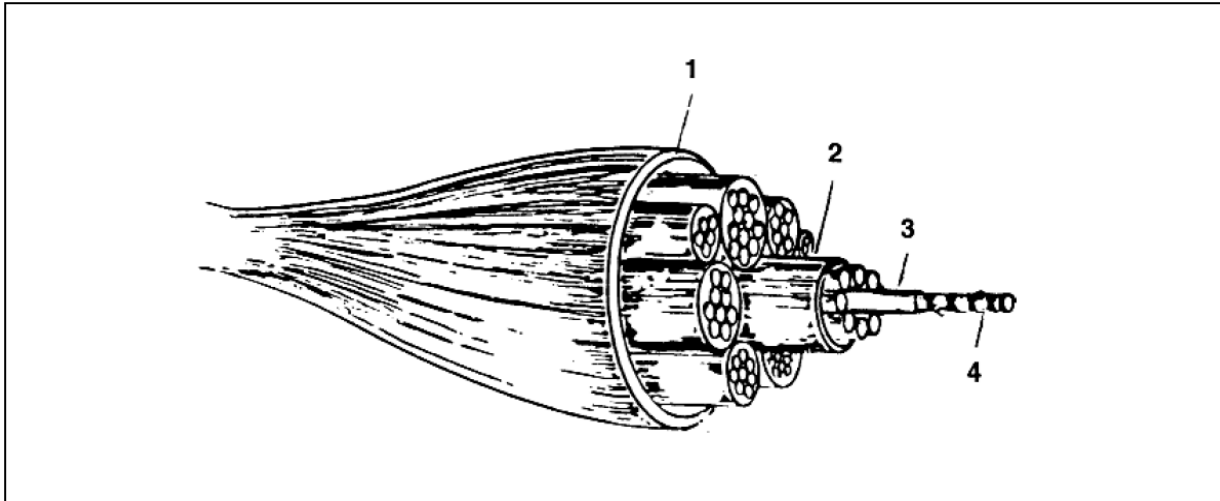


## **2.3.1 ANATOMISCH-PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN**

### 2.3.1.1 AUFBAU DER SKELETTMUSKULATUR

Skelettmuskeln machen 40 bis 50 % des gesamten Körpergewichts aus (WICKE et al. 2007). Der gesamte Muskelkörper wird von einer dicken Bindegewebsschicht (Epimysium) umgeben, die zu den Enden des Muskels hin in Sehnen ausläuft (SCHWÄGELE 2003). Die parallel angeordneten, schmalen, schlauchartigen, zylindrisch geformten Muskelzellen bzw. -fasern (BELITZ et al. 2008; WICKE et al. 2007), mit einem Durchmesser von 0,01 bis 0,1 mm und einer Länge von bis zu mehr als 150 mm (SCHWÄGELE 2003), stellen den anatomischen und funktionellen Grundbaustein der Skelettmuskulatur dar. Sie werden vom Perimysium zu Muskelfaserbündeln angeordnet (WICKE et al. 2007). Eine Einlagerung von Fett zwischen den Fasern wird als Marmorierung wahrgenommen. Muskelfasern sind mehrkernige Zellen, wobei sich unter der Zellmembran über hundert Zellkerne befinden, die in das sarkoplasmatische Reticulum eingebettet sind, in dem Calcium-Ionen zur Auslösung einer Muskelkontraktion nach einem Nervenreiz gespeichert werden (BELITZ et al. 2008; WICKE et al. 2007).

Muskelfasern bestehen hauptsächlich aus Myofibrillen mit einem Durchmesser von 1 bis 2  $\mu\text{m}$  (BELITZ et al. 2008), die für die Muskelkontraktion verantwortlich sind (SCHWÄGELE 2003; WICKE et al. 2007). Sie werden unter dem Lichtmikroskop durch die wiederkehrende Anordnung von polarisationsoptisch dunklen, anisotropen (A-Bande) und hellen, isotropen (I-Bande) Banden als quergestreift wahrgenommen (BELITZ et al. 2008; WICKE et al. 2007). In der Mitte der I-Banden verlaufen quer zur Faserrichtung die dunklen Z-Linien, während die A-Banden in die gleiche Richtung von den helleren H-Zonen durchquert werden, in deren Mitte die M-Linien liegen (BELITZ et al. 2008). Das aus identischen Struktureinheiten aufgebaute Sarkomer bildet die Grundeinheit der Myofibrillen und stellt die kontraktile Einheit des Muskels dar (WICKE et al. 2007). Es ist aus dünnen, hauptsächlich aus dem Protein Aktin bestehenden und dicken, hauptsächlich aus dem Protein Myosin bestehenden, Myofilamenten aufgebaut und reicht von einer Z-Linie bis zur nächsten (BELITZ et al. 2008). Während einer Muskelkontraktion kommt es zu dem in der Literatur umfassend beschriebenen Vorgang der Interaktion von Myosinkopf und Aktin (BELITZ et al. 2008; SCHWÄGELE 2003; SIELAFF 1996; WICKE et al. 2007). Sie bewirkt eine Verschiebung der dünnen Filamente zwischen die dicken Filamente (BELITZ et al. 2008). Die Muskelfaser wird von einer Zellmembran, die sich aus Basalmembran und Plasmalemm (Sarkolemm) zusammensetzt, umhüllt und durch das Endomysium abgedeckt (BELITZ et al. 2008; WICKE et al. 2007) (Abb. 1).



**Abbildung 1: Aufbau der Skelettmuskulatur (1) Epimysium, (2) Perimysium, (3) Endomysium, (4) Muskelfaser (GAULT 1992)**

Die Säugetiermuskulatur besteht aus einem Gemisch roter und weißer Fasern, die allgemeinübliche Bezeichnung der roten und weißen Muskeln wird durch das phänotypische Überwiegen der jeweiligen Muskelfaser verursacht. Neben roten und weißen Muskelfasern existieren auch intermediäre Fasertypen (SIELAFF 1996). Rote Muskeln bzw. Muskelfasern besitzen einen hohen Gehalt an Mitochondrien und Myoglobin, einen aeroben oxidativen Stoffwechsel und eine kräftige Durchblutung. Weiße Muskeln bzw. Muskelfasern haben einen niedrigen Gehalt an Mitochondrien und Myoglobin, einen anaeroben Stoffwechsel und eine geringe Durchblutung (MCKEE 2007a; TOTOSAUS et al. 2007). Während die weißen Muskelfasern einer langsamen Kontraktion unterliegen, sind rote Muskelfasern sowohl zu einer langsamen als auch schnellen Kontraktion fähig (TOTOSAUS et al. 2007). Die Skelettmuskulatur setzt sich aus den verschiedenen schnellen und langsamen Muskelfasern zusammen (BELITZ et al. 2008).

Typische Merkmale für die Muskulatur von Geflügel sind eine große Faserdichte, feste Fügung und feine Faserung. Da die Muskeln nur durch wenig intramuskuläres Bindegewebe voneinander getrennt werden, ist Geflügelfleisch besonders zart (PINGEL et al. 2007). Durch niedrigere Gehalte an Myoglobin im Vergleich zu anderen Fleischarten wird Geflügelfleisch oft als weißes Fleisch bezeichnet (TOTOSAUS et al. 2007), wobei es ebenso rote Fleischpartien besitzt (FEHLHABER 2001a). Aufgrund der höheren körperlichen Belastung und dem höherem Gehalt an Myoglobin von Bein- und Oberschenkelmuskulatur besitzt diese im Vergleich zu Muskeln, die nur wenig bewegt werden (z. B. Brustmuskulatur), eine dunklere Farbe (TOTOSAUS et al. 2007). Der Anteil an roten und weißen Muskelfasern ist nicht nur zwischen den Muskeln einer Geflügelart, sondern auch zwischen den einzelnen Geflügelarten unterschiedlich. So wird das Brustfleisch von Broilern und Puten sowie das Schenkelfleisch der Broiler dem Weißfleisch zugeordnet, während das Schenkelfleisch der

Puten und das Fleisch von Wassergeflügel zum Rotfleisch gezählt werden (PINGEL et al. 2007)

#### 2.3.1.2 BIOCHEMISCHE VERÄNDERUNGEN DER SKELETTMUSKULATUR POST MORTEM

Nach der Schlachtung kommt es zum Stillstand von Blutkreislauf und Sauerstoffversorgung der Gewebe bis hin zum Rigor mortis (Totenstarre) sowie der eigentlichen Reifung der Skelettmuskulatur zum Lebensmittel Fleisch (SIELAFF 1996). Die biochemischen und biophysikalischen Reifungsprozesse beeinflussen die Faktoren Farbe, Zartheit und Wasserverbindungsvermögen und dadurch die Fleischqualität in entscheidendem Maße (BINKE 2003). Die postmortalen Veränderungen starten mit dem Tod des Tieres (*intra mortem*). Durch die Unterbrechung von Blutkreislauf und Sauerstofftransport in die Muskelzellen findet keine Energiezufuhr mehr statt (HONIKEL und SCHWÄGELE 2007). Zur Energiegewinnung können nur noch Adenosintriphosphat (ATP), reduziertes Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (NADH), Creatinphosphat und Glykogen genutzt werden. Eine Verstoffwechslung von Fetten oder Proteinen zu Acetyl-CoA ist aufgrund des fehlenden Sauerstoffs nicht mehr möglich (BINKE 2003). In der ersten Phase des Rigor mortis erfolgt die ATP-Gewinnung über Creatinphosphat (OELKER 1996), indem Creatinphosphat und ADP Creatin und ATP bilden (HONIKEL und SCHWÄGELE 2007). Die Muskulatur besitzt während dieser Phase weiterhin eine hohe Dehnbarkeit, einen hohen pH-Wert sowie ein hohes Wasserbinde- und Emulgiervermögen (Verzögerungsphase) (OELKER 1996). Die eigentliche Phase des Rigor mortis zeichnet sich durch Energiegewinnung in Form von ATP aus der anaerob verlaufenden Glykolyse über Pyruvat zu Laktat aus (BINKE 2003; OELKER 1996). Das gebildete Laktat kann aufgrund des unterbrochenen Blutkreislaufes nicht mehr in die Leber transportiert werden und häuft sich infolgedessen in den Muskelzellen an. Die steigende Laktatkonzentration führt zu einem Abfall des pH-Wertes von ursprünglich 7,0/6,5 bis auf Werte von etwa 5,8 bis 5,4 (BINKE 2003; OELKER 1996). Die gesamte postmortale Glykolyse verläuft im Geflügelmuskel etwa drei Mal schneller als im Schweinemuskel (BARBUT et al. 2008). Insgesamt verläuft sie beim Geflügel schwächer, was nur eine geringe pH-Wert-Absenkung zur Folge hat (WEISE 2003). Bei Hähnchen, Puten, Gänsen und Enten erreicht der pH-Wert 45 Minuten post mortem einen Wert von etwa 6,0 und sinkt anschließend auf Werte im Bereich von 5,7 bis 5,9. Die Schenkelmuskulatur erfährt mit pH-Werten im Bereich von 6,3 bis 6,5 post mortem eine noch schwächere Säuerung (WEISE 2003). Stehen weder Creatinphosphat noch Glykogen zur Energiegewinnung mehr zur Verfügung, wird ATP schrittweise über die Bildung von Inosinmonophosphat (IMP) zu Hypoxanthin abgebaut. Die Bildung von IMP bewirkt, dass nach der Erschöpfung der Glykogenreserven der Adenosin-Kreislauf und die ATP-Bildung abgebrochen werden (BINKE 2003).

Die Aktin- und Myosinfilamente der Muskelfaser sind kurz nach dem Schlachten noch getrennt voneinander und frei ineinander verschiebbar. Mit abnehmendem ATP-Gehalt kommt es beim Erreichen einer Konzentration im Muskel von  $< 1 \mu\text{mol/g}$  Muskelgewebe und der Ausschüttung von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen zu einer irreversiblen Verknüpfung der Aktin- und Myosinfilamente, dem Actomyosin-Komplex (HONIKEL und SCHWÄGELE 2007; BINKE 2003). Die Folge ist der Verlust der Muskeldehnbarkeit, der Muskel wird hart (Totenstarre, Rigor mortis). Während sich der Rigor mortis beim Rind in zehn bis 24 Stunden und beim Schwein in vier bis 18 Stunden entwickelt, dauert es beim Huhn nur zwei bis vier Stunden (BELITZ et al. 2008). In der Postrigor- oder Reifungsphase (*aging*) löst sich der Rigor mortis durch verschiedene proteolytische Enzyme, die die geordneten Strukturen der Myofibrillen nach und nach lösen, allmählich wieder auf (BINKE 2003; OELKER 1996). Beim Geflügel dauert sie bei Temperaturen um  $+3 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $-1 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $+7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mindestens 36 Stunden, beim Schwein hingegen 60 Stunden und beim Rind bis zu 14 Tage (BELITZ et al. 2008). Die Phase der Fleischreifung ist für die Aromabildung und die Zartheit des Fleisches von großer Bedeutung (OELKER 1996).

### **2.3.2 INHALTSSTOFFE UND ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN**

Geflügelfleisch ist ein beliebtes Lebensmittel, da es relativ wenig Fett enthält (CHOULIARA et al. 2007; FEHLHABER 2001b; MEAD 2004c), wodurch es einen Beitrag zu einer fettarmen und gesunden Ernährung leistet. Zudem stellt es für die Ernährung eine optimale Quelle für die Versorgung des Menschen mit wichtigen Mineralstoffen, wie Phosphor, Kalium, Eisen und Zink, sowie mit Vitaminen, insbesondere B-Vitaminen, dar (FEHLHABER 2001b; HUI 2007). Reines Muskelfleisch besteht üblicherweise etwa zu 75 % aus Wasser, 21 % Protein, 1 bis 2 % Fett, 1 % Mineralstoffen und weniger als 1 % aus Kohlenhydraten. Die Zusammensetzung kann je nach Teilstückzuschnitt variieren, abhängig vom Anteil an magerem Muskelfleisch und Fettgewebe (SEUß-BAUM 2007). Die Hauptkomponenten von rohem Geflügelfleisch sind neben Wasser in Abhängigkeit von der Geflügelart Proteine mit einem durchschnittlichen Gehalt von 18,4 bis 23,4 %, Fette mit 1,3 bis 6,0 % und Mineralstoffe mit 0,8 bis 1,2 % (BAÉZA 2004). BELITZ et al. (2008) geben als mittlere chemische Zusammensetzung für das Teilstück Brust vom Huhn (ohne Haut) die folgenden Werte an: Protein 23,3 %, Fett 1,2 % und Asche 1,1 %. Für Putenfleisch nennt SIELAFF (1996) ohne Angabe eines bestimmten Teilstückes die folgenden Durchschnittswerte: 21,0 % Protein, 7,5 % Fett und 1,0 % Asche. RISTIC et al. (2008) untersuchten die chemische Zusammensetzung verschiedener Geflügelarten und konnten sowohl für das Brustfleisch von Broilern als auch Puten die folgenden Gehalte bestimmen: 24,0 % Protein, 0,6 % Fett und 1,2 % Asche. Die Zusammensetzung des Schenkelfleisches von Broiler und Puten ergab folgendes: 75,0 % Wasser, 20,0 % Protein, 1,1 % Asche und 3,9 % Fett (RISTIC et al. 2008).

Geflügelfleisch stellt eine gute Bezugsquelle für Proteine dar und enthält alle essentiellen Aminosäuren (HUI 2007). Für den Aufbau von körpereigenen Proteinen ist der menschliche Körper auf die Zufuhr von Proteinen über die Nahrung angewiesen (SEUß-BAUM 2007). Das im Geflügelfleisch enthaltende Protein besitzt eine hohe biologische Wertigkeit (FEHLHABER 2001b). Die biologische Wertigkeit gibt die ernährungsphysiologische Qualität eines Nahrungsproteins wieder. Dabei gilt, dass je hochwertiger das Protein ist, umso weniger von diesem aufgenommen werden muss, um den Bedarf des Organismus zu decken (HAHN et al. 2005). Sie wird durch den Gehalt an essentiellen Aminosäuren bestimmt (SEUß-BAUM 2007). Aufgrund der Aminosäurezusammensetzung sind Geflügelfleischproteine in der biologischen Wertigkeit höher zu bewerten als die meisten pflanzlichen Proteine (FEHLHABER 2001b; SEUß-BAUM 2007). Die Einteilung von den im Fleisch enthaltenden Proteinen kann nach Muskelproteinen (myofibrilläre und sarkoplasmatische) und Bindegewebsproteine (Kollagen und Elastin) erfolgen. Dabei besitzt Kollagen eine relativ ungünstige biologische Wertigkeit (SEUß-BAUM 2007). Geflügelfleisch enthält im Vergleich zu anderen Fleischsorten einen geringeren Anteil an diesen Bindegewebsproteinen (FEHLHABER 2001b).

Das im Geflügelfleisch vorkommende Fettgewebe dient als Auflage-(Depot)-Fett zwischen den Muskeln (intermuskulär) oder kann als Marmorierung im Muskel (intramuskulär) gelagert sein (SEUß-BAUM 2007). Die Fette kommen nicht nur als Fettgewebe vor, sondern sind in Form von Strukturlipiden (Membranfette) auch am Aufbau von Körperzellen verantwortlich (SIELAFF 1996). Zwischen den einzelnen Geflügelarten kann der Fettgehalt der essbaren Teile des Schlachtkörpers erheblich variieren. Insbesondere Wassergeflügel besitzt durch die Fettdepots in der Unterhaut einen höheren Fettgehalt als andere Geflügelarten (SEUß-BAUM 2007). Im Gegensatz zu anderen Tierarten besitzt Geflügelfleisch insgesamt aber einen geringeren Fettanteil. Bei einem Vergleich der Fettgehaltrelationen des gesamten Schlachtkörpers betragen diese für Huhn, Rind und Schwein etwa 1:4:10 (FEHLHABER 2001b). Geflügelfleisch besitzt im Vergleich zu anderen Tierarten mehr an erwünschten ungesättigten Fettsäuren (FEHLHABER 2001b; MEAD 2004c).

Der niedrige Kohlenhydratgehalt spielt aus ernährungsphysiologischer Sicht für die Bewertung von Fleisch keine Rolle (SEUß-BAUM 2007). Glykogen und die Produkte seines Stoffwechsels zählen dabei zu den Kohlenhydraten des Fleisches. Im Muskel beträgt der Gehalt bis zu 1 % und ist abhängig vom Alter und Zustand des Tieres bei der Schlachtung (SIELAFF 1996).

### 2.3.3 BEDEUTUNG CHEMISCH-PHYSIKALISCHER PARAMETER

#### 2.3.3.1 WASSERAKTIVITÄT ( $a_w$ -WERT)

Wasser ist für alle Lebensvorgänge unverzichtbar, auch Mikroorganismen sind für ihr Wachstum auf dieses angewiesen. Voraussetzung ist, dass es in freier, ungebundener Form vorliegt (HEESCHEN 2005). Das Maß für das freie, ungebundene Wasser ist der  $a_w$ -Wert (Wasseraktivität) (HEESCHEN 2005; LÜCKE und TROEGER 2007). KRÄMER (2007) definiert den  $a_w$ -Wert als „das Verhältnis des Wasserdampfdrucks über dem Lebensmittel ( $p$ ) zum Wasserdampfdruck des reinen Wassers ( $p_0$ ) bei gleicher Temperatur“. Während reines Wasser einen  $a_w$ -Wert von 1,0 ( $p = p_0$ ) hat, verursacht jede wasserbindende Substanz im Lebensmittel, wie beispielsweise Salz, Säuren, Zucker oder die Adsorption an Makromoleküle wie z. B. Proteine, eine Verringerung des  $a_w$ -Wertes, so dass  $p < p_0$  und der  $a_w$ -Wert  $< 1$  wird (HEESCHEN 2005; KRÄMER 2002). Frischfleisch besitzt normalerweise einen  $a_w$ -Wert von 0,99 (LÜCKE und TROEGER 2007) und zählt zu den leicht verderblichen Lebensmitteln (bei  $a_w > 0,95$ ). Im Gegensatz dazu gelten Lebensmittel mit einem  $a_w$ -Wert im Bereich von 0,95 bis 0,91 als mittelgradig verderblich und Lebensmittel mit einem  $a_w$ -Wert  $< 0,90$  als kaum verderblich (KRÄMER 2002). Die meisten Mikroorganismen (Bakterien, Hefen, Schimmelpilze) vermehren sich optimal bei Werten im Bereich zwischen 0,991 und 0,998, wobei sich die Vermehrung von gram-negativen Bakterien auf einen Bereich von  $> 0,95$  beschränkt und das Wachstum von gram-positiven Mikroorganismen nicht mehr bei Werten unter 0,90 (Bakterien), 0,85 (Hefen) oder 0,80 (Schimmelpilze) möglich ist. Verderbniserreger, deren Vermehrung auch noch unterhalb der angegebenen Grenzwerte möglich ist, werden in Abhängigkeit von der Methode der  $a_w$ -Wert-Absenkung (durch Salz, Trocknung oder Zucker) als halophil, xerophil oder osmophil bezeichnet (HEESCHEN 2005).

#### 2.3.3.2 PH-WERT

Der pH-Wert wird definiert als negativer Zehnerlogarithmus der Wasserstoffionenkonzentration (MORTIMER und MÜLLER 2007). Er spielt sowohl für die Verarbeitungseigenschaften als auch für den Genusswert des Fleisches eine große Rolle und hat somit einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität. Durch ihn werden Fleischfarbe, Festigkeit, Wasserbindungsvermögen sowie Zartheit, Geschmack und Haltbarkeit des Fleisches direkt oder indirekt beeinflusst (SWATLAND 2000; HOFMANN 1986). Geflügelfleisch besitzt einen pH-Wert von 6,7 bis 6,3 (KRÄMER 2002), der in Abhängigkeit vom jeweiligen Muskel variiert (MCNAMARA 1997). Während die Schenkelmuskulatur postmortale pH-Werte im Bereich von 6,4 bis 6,7 besitzt, weist die Brustmuskulatur Werte im Bereich von 5,7 bis 5,9 auf. Geschwindigkeit und Ausmaß des postmortalen pH-Abfalls beeinflussen die Entstehung von Fleischfehlern (BAÉZA 2004).

### 2.3.3.3 FLEISCHFEHLER

Während PSE (*Pale*, *Soft*, *Exudative*)-Fleisch lange Zeit für Schweine mit genetisch bedingter Stressempfindlichkeit durch eine Punktmutation im Gen des Ryanidin-Rezeptors typisch war (BARBUT 2008; BELITZ et al. 2008), wurde im letzten Jahrzehnt auch immer häufiger bei Geflügelfleisch das Syndrom des PSE-Fleisches diagnostiziert und wird als zunehmendes Problem angesehen (JAMES 2004). PSE-Fleisch entsteht, indem kurz vor oder während der Schlachtung eine schnelle anaerobe Glykolyse erfolgt, die bewirkt, dass der pH-Wert infolge der erhöhten Laktatbildung bereits 45 Minuten post mortem auf Werte < 5,8 absinkt (BELITZ et al. 2008; TOTOSAUS et al. 2007). Es steht weniger ATP zur Verfügung (MCKEE 2007a) und der Rigor mortis tritt schneller ein (TOTOSAUS et al. 2007). Infolge des erhöhten Stoffwechsels steigt die Körpertemperatur, die zusammen mit den sinkenden pH-Werten eine Proteindenaturierung bewirkt (JAMES 2004). Durch ihre Lichtstreuung wirkt das Fleisch trotz eines unveränderten Myoglobingehaltes blasser. Zudem lösen sich zur selben Zeit die Zellmembranen auf, wodurch es zu einem erhöhten Wasserverlust kommt (BELITZ et al. 2008). PSE-Fleisch zeichnet sich aus durch eine abweichende blasse Fleischfarbe, schlaflige Konsistenz, geringes Wasserbindevermögen, weichere Textur und eine erheblich reduzierte Kochausbeute (TOTOSAUS et al. 2007).

DFD (*Dark*, *Firm*, *Dry*)-Fleisch besitzt einen hohen pH-Wert (> 6,2), eine dunklere Farbe, eine feste Textur, ein hohes Wasserbindungsvermögen, weniger Tropfverlust und ungebundene Feuchtigkeit auf der Fleischoberfläche (MILLER 2002). Infolge eines Glykogenmangels in der Muskulatur kommt es nur zu einem geringen Abfall des pH-Wertes durch die postmortale Laktatbildung (BÜLTE 2007; HOFMANN 1986; MILLER 2002). Bedingt durch den hohen pH-Wert ist DFD-Fleisch mikrobiologisch anfälliger (MILLER 2002).

## 2.3.4 SENSORISCHE QUALITÄT

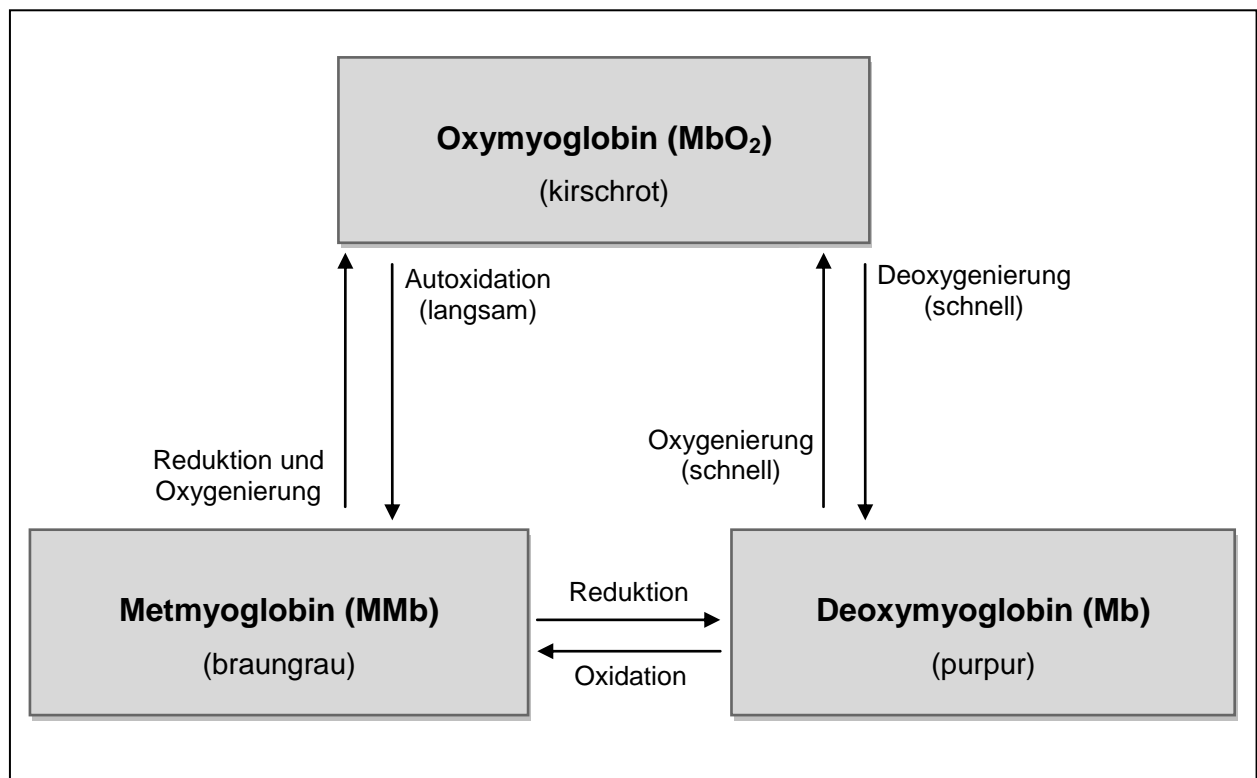
### 2.3.4.1 FLEISCHFARBE

Die Farbe ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal für die Beurteilung von Fleisch (KLETTNER und STIEBING 1980). Als erster sensorischer Eindruck beeinflusst sie die Kaufentscheidung des Verbrauchers in entscheidender Weise (HONIKEL 2007; CARPENTER et al. 2001; HUI 2007; MANCINI und HUNT 2005; POTTHAST 1986). Sie steht in Verbindung mit Frische, Speisenqualität, Textur und Aroma (TOTOSAUS et al. 2007). Eine kräftige Farbe, die auch bei hellen Fleischsorten nicht zu blass sein darf (HONIKEL 2007), bewirkt die Einschätzung als frisches und gesundes Lebensmittel von hoher Qualität (MANCINI und HUNT 2005; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Eine abweichende Fleischfarbe führt zur Ablehnung des Produktes durch den Verbraucher, bevor andere Qualitätsparameter wie Textur, Geruch

und Geschmack beurteilt werden konnten (HUI 2007). Verfärbungen assoziiert der Verbraucher oft mit bakteriellem Wachstum (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002).

### Biochemische Grundlagen

Verantwortlich für die Farbe des Fleisches ist neben Hämoglobin und Cytochrom C hauptsächlich das wasserlösliche Häm-Protein Myoglobin (MANCINI und HUNT 2005), das über 90 % am Gesamtpigment ausmacht (CHATELAIN et al. 2007). Es kommt bei verschiedenen Tierarten, ebenso wie in verschiedenen Muskeln gleicher Tierarten, in unterschiedlichen Konzentrationen vor (POTTHAST 1986). Myoglobin ist ein monomeres Protein, aus einer Peptidkette mit einem Molekulargewicht von  $M_r = 16800$  (BELITZ et al. 2008), das das Häm, einen farbgebenden Porphyrin-Ring, enthält. Durch das zweiwertige Eisen-Ion in der Mitte des Häms ist Myoglobin als Sauerstoffspeicher im Muskel befähigt, Sauerstoff reversibel zu binden. Muskeln, die einer ständigen Bewegung ausgesetzt sind, enthalten mehr Myoglobin, eine intensivere rote Farbe und besitzen eine höhere Sauerstoffbindekapazität (HONIKEL 2007).



**Abbildung 2: Veränderung der Fleischfarbe (MÜLLER et al. 2009; BELITZ et al. 2008)**

Die jeweilige Besetzung des Liganden an der sechsen Koordinationsstelle des Eisen-Ions und die Wertigkeit dieses Zentralatoms ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) bestimmen die Muskelfarbe (CHATELAIN et al. 2007; MANCINI und HUNT 2005). Die jeweils existierende Form, d. h. das Verhältnis der drei Formen des Myoglobins (Deoxymyoglobin bzw. reduziertes Myoglobin, Oxymyoglobin, Metmyoglobin), ist abhängig vom Sauerstoffgehalt der Umgebung (BELITZ et al. 2008;



MOTOYAMA et al. 2010; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Das purpurrote Deoxymyoglobin ist vorherrschend, wenn die sechste Bindungsstelle des Eisens-Ions frei ist und es in der zweiwertigen Form vorliegt ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Bei einem hohen Sauerstoffpartialdruck erfolgt die Oxygenierung zum kirschroten Oxymyoglobin, das ebenso im Häm-Molekül ein zweiwertiges Eisen-Ion enthält (MANCINI und HUNT 2005). Für die Verpackung von Frischfleisch werden daher Sauerstoffkonzentrationen zwischen 70 bis 80 % eingesetzt (CHURCH 1994; MÜLLER et al. 2009; PFEIFFER und MENNER 1999). Bei einem niedrigem Sauerstoffpartialdruck kann sich das Oxymyoglobin durch Autoxidation des zentralen Eisenatoms ( $\text{Fe}^{2+}$  in  $\text{Fe}^{3+}$ ) zu Metmyoglobin umwandeln, wodurch sich die Fleischfarbe von rot zu graubraun ändert (BELITZ et al. 2008; CHATELAIN et al. 2007; HONIKEL 2007; POTTHAST 1986) (Abb. 2).

Die Fleischfarbe variiert durch das Zusammenspiel aus der jeweilig vorhandenen Menge an Myoglobin im Muskel, in Abhängigkeit von Tierart, Geschlecht, Alter und Muskelart, dem Verhältnis der unterschiedlichen Myoglobinformen untereinander, von der Reflexion an der Oberfläche und vom pH-Wert des Fleisches (CHATELAIN et al. 2007; HONIKEL 2007; POTTHAST 1986). Putenhackfleisch ist generell heller und besitzt im Vergleich zu Rinderhackfleisch höhere  $L^*$ -Werte, was durch eine geringere Pigmentkonzentration verursacht wird (SAUCIER et al. 2000). Während Rindfleisch (3 Jahre alte Schlachttiere) einen Myoglobingehalt von ca. 4,6 mg/g besitzt, liegt dieser für helles Putenfleisch (14 bis 26 Wochen alte Schlachttiere) zwischen 0,12 bis 0,37 mg/g (CHATELAIN et al. 2007). Das Verhältnis von Oxymyoglobin zu Metmyoglobin bestimmt die Farbe der dem Luftsauerstoff ausgesetzten Fleischoberfläche. Bei einem Metmyoglobinanteil von 30 %, bezogen auf die Menge an Gesamtpigment, ist die Fleischfarbe intensiv rot. Bei Konzentrationen zwischen 50 und 60 % ist ein bräunliches Rot erkennbar, während Konzentrationen zwischen 60 und 70 % Metmyoglobin eine bräunlich-rote Farbe hervorrufen (CHATELAIN et al. 2007). Die Oxidation des Myoglobins wird durch den pH-Wert zusätzlich beeinflusst. Bei hohen pH-Werten ( $\text{pH} \geq 6,0$ ) bleiben die Enzymsysteme der Mitochondrien (Cytochrom-, Succinat- und Pyruvat-Malat-Oxidase) aktiv und haben die Fähigkeit, verfügbaren Sauerstoff zu nutzen und damit die Bildung von Metmyoglobin zu erhöhen (LAWRIE 1998). Metmyoglobin kann als Pro-Oxidans agieren und im Fleisch für beginnende Fettoxidationen verantwortlich sein (BARON und ANDERSEN 2002). Aerobe Mikroorganismen, wie bestimmte *Pseudomonas*-Stämme, erhöhen zudem das Vorkommen an Metmyoglobin im Fleisch durch einen gesteigerten Sauerstoffverbrauch (MANCINI und HUNT 2005; MOTOYAMA et al. 2010), insbesondere während der logarithmischen Wachstumsphase (RENERRE 1990).

Kommt es stressbedingt vor der Schlachtung der Tiere zu einer schnellen aeroben Glykolyse und einer damit verbundenen erhöhten Laktatbildung (vgl. Kapitel 2.3.3.3), führt dieses zu

einem verstärkten pH-Wert-Abfall. Dieser bewirkt eine Denaturierung von Muskelproteinen, die das zwischen den Myofibrillen eingelagerte Wasser nicht mehr halten können und eine Schrumpfung bewirken. Der Wasseraustritt bewirkt eine stärkere Reflexion des Lichtes an der Oberfläche, die eine Erhöhung der Helligkeit bewirkt (CHATELAIN et al. 2007). Auch die Austrocknung der Oberfläche sowie bestimmte postmortale Bedingungen während Lagerung, Distribution und Auslage wie Lagerungstemperatur beeinflussen die Fleischfarbe (HONIKEL 1997; 1998; POTTHAST 1986; TOTOSAUS et al. 2007).

Die Art der eingesetzten Verpackung bzw. ihre Gaszusammensetzung besitzen ebenfalls eine große Bedeutung für die Erhaltung der Fleischfarbe. Um in einer Verpackung Myoglobin in seiner sauerstoffangereicherten Form, dem Oxymyoglobin erhalten zu können, wird ein erhöhter Sauerstoffpartialdruck benötigt (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002). In Vakuumverpackungen liegt Myoglobin entweder in seiner deoxidierten Form oder teilweise als Metmyoglobin vor (HONIKEL 2007). Der Muskelfarbstoff kann durch die Öffnung der Verpackung in das kirschrote Oxymyoglobin umgewandelt werden (BELITZ et al. 2008; POTTHAST 1986). Durch das vorherige Begasen der Verpackung mit CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> kann, ebenso in Abhängigkeit von der jeweiligen Konzentration, eine Farbstabilisierung erreicht werden (BELITZ et al. 2008). Substanzen, die zur Haltbarkeitsverlängerung von Fleisch und Fleischerzeugnissen eingesetzt werden, können eine negative Veränderung der Fleischfarbe bewirken. So kann der Einsatz von Genusssäuren auf der Fleischoberfläche zu einer Erhöhung der Helligkeit durch das Aufquellen von Muskelproteinen infolge sinkender pH-Werte führen (SERDAROĞLU et al. (2006). Zudem kann es durch eine erhöhte Umwandlung von Myoglobin zu Metmyoglobin zu einem Verlust des Rotwertes kommen (ARAGOSA und MARRIOT 1989).

#### Instrumentelle Messung der Fleischfarbe

Jede Farbe besteht aus den Merkmalen Farbton, Helligkeit und Sättigung (CHATELAIN et al. 2007). Optische Farbmessgeräte ermöglichen eine objektive Bestimmung der Fleischfarbe (KLETTNER und STIEBING 1980). Es stehen für die instrumentelle Farbmessung verschiedene Varianten zur Verfügung (MANCINI und HUNT 2005). Spektrophotometer bieten nach CHATELAIN et al. (2007) im Vergleich zu Geräten mit einem Dreibereichsverfahren eine höhere Genauigkeit und absolute Farbdaten.

Für die ermittelte Farbe spielen Lichtart und Meßgeometrie eine bedeutsame Rolle. Die CIE (Commission de l'Éclairage) hat für die Messung und Bewertung von Körperfarben verschiedene Lichtarten genormt: A, B, C, D65, F, G, P und Xe. Zudem werden drei genormte Meßgeometrien, d. h. die Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln, unter denen die Proben, Weiß- und Schwarz-Standards gemessen werden, differenziert (KLETTNER und STIEBING 1980). Die zur Farbmessung eingesetzten Systeme unterscheiden sich neben der

Art der Lichtquelle (A, C, D65, etc.) und dem Beobachtungs- und Beleuchtungswinkel außerdem bezüglich des auszuwählenden Farbsystems (Hunter, CIE, Tristimulus: XYZ), dem Standardbeobachter (2° und 10°) und dem Blendendurchmesser (0,64 bis 3,2 cm) (CHATELAIN et al. 2007; HONIKEL 2007; MANCINI und HUNT 2005).

Während in der Vergangenheit verschiedene Methoden zur objektiven Farbmessung vorgeschlagen wurden, sind die derzeit am bekanntesten und am häufigsten genutzten Systeme der Hunter LAB-Farbraum aus dem Jahre 1958 und der von der CIE vorgeschlagene  $L^*a^*b^*$ -Farbraum aus dem Jahre 1976. Letzteres wird aufgrund der höheren Genauigkeit in der Darstellung wahrnehmbarer Farben und Farbdifferenzen empfohlen (CHATELAIN et al. 2007). Das  $L^*a^*b^*$ -Farbsystem, auch als CIELAB-Farbsystem bezeichnet, gibt die Farbmaßzahlen  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  vor. Ein  $L^*$ -Wert von 0 zeigt an, dass die Farbe schwarz ist, bei einem  $L^*$ -Wert von 100 ist sie dagegen weiß. Die  $a^*$  und  $b^*$ -Werte stellen im Koordinatensystem Farbtöne dar. Negative  $a^*$ -Werte stehen für grün, positive  $a^*$ -Werte für rot (-60 bis +60), während negative  $b^*$ -Werte für blau und positive  $b^*$ -Werte für gelb stehen (-60 bis +60) (Abb. 3). Dabei nimmt die Sättigung der jeweiligen Farbe mit steigenden Werten zu. Die Farbwerte liegen für Fleisch und Fleischprodukte jeweils im positiven Bereich (CHATELAIN et al. 2007; KLETTNER und STIEBING 1980).

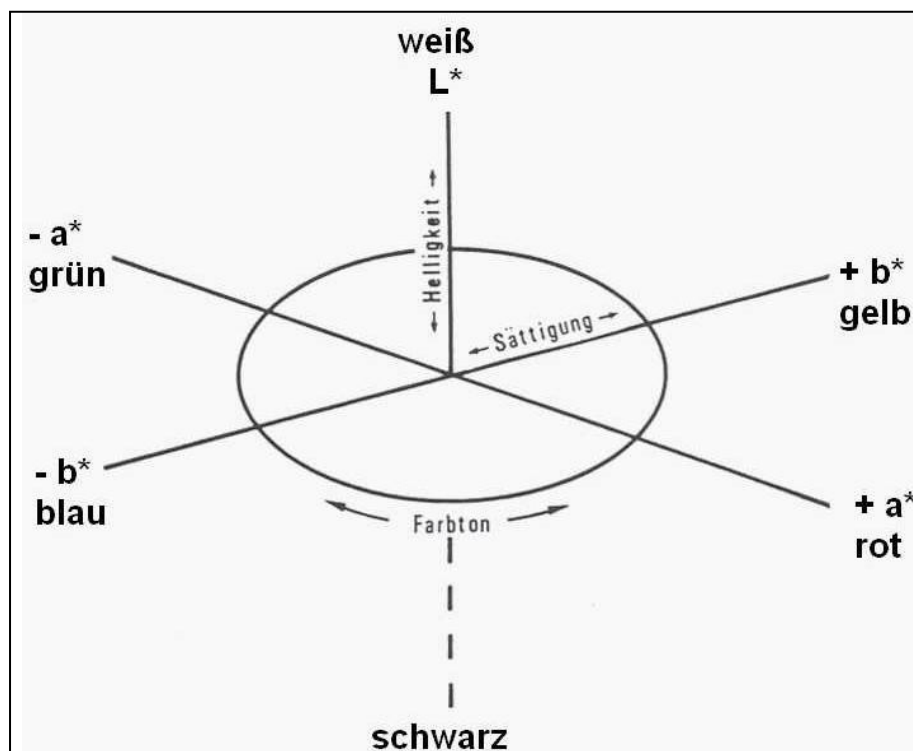


Abbildung 3: Räumliche Darstellung des  $L^*a^*b^*$ -Farbraumes (KLETTNER und STIEBING 1980)

#### 2.3.4.2 GERUCH UND GESCHMACK

Es konnte bislang keine Schlüsselverbindung (*character impact compound*) oder eine Gruppe von Komponenten identifiziert werden, die für das Fleischaroma verantwortlich sind. Dieses hängt ab von einem Pool verschiedener Aroma-Vorstufen im Fleischgewebe und chemischen Reaktionen, die während der Verarbeitung, aber auch während der sich anschließenden Lagerung stattfinden. Jede Tierart besitzt seine eigenen, charakteristischen Aromaeigenschaften (HUI 2007). Das Aroma ist eine Kombination aus Empfindungen, die über die Sinne Geruch und Geschmack wahrgenommen werden (BAÉZA 2004). Der Geruch und Geschmack von Geflügelfleisch ist eine Zusammensetzung aus über 450 Einzelkomponenten und resultiert aus Interaktionen zwischen Proteinen, Nukleinsäuren, Fetten und anderen Komponenten, die im Fleisch zu finden sind (DAWSON und SPINELI 2007; MCKEE 2007a). Die Geruchs- und Geschmackskomponenten, die Verbraucher mit Geflügelfleisch assoziieren, entstehen üblicherweise durch Kochen bzw. Erhitzen, auch wenn rohes Geflügelfleisch bereits einen charakteristischen Geruch aufweisen kann. Die Hitzezufuhr katalysiert chemische Reaktionen, wie die Maillard-Reaktion oder ähnliche Reaktionen, die für Entstehung der charakteristischen Geruchs- und Geschmackskomponenten verantwortlich sind (MCKEE 2007a). Sie leiten sich aus Reaktionen von Amino- und Fettsäuren ab und führen zur Bildung flüchtiger und nicht-flüchtiger Komponenten (DAWSON und SPINELI 2007). Zu den wichtigsten Aromakomponenten von gekochtem Hühnerfleisch gehören Schwefelverbindungen (heterozyklisch und aliphatisch), andere heterozyklische Verbindungen, die Sauerstoff oder Stickstoff enthalten, Aldehyde und Ketone (FARMER 1999). Andererseits kann es aber auch während der Lagerung von frischem Geflügelfleisch durch Lipidperoxidationen zur Bildung eines ranzigen Geruches und Geschmackes kommen. Die Anfälligkeit des Fleisches gegenüber solchen Oxidationen wird bestimmt durch den Anteil an ungesättigten Fettsäuren und der Konzentration an Prooxidantien, wie Eisen-Verbindungen und Antioxidantien, wie Vitamin A, C oder E und selenhaltigen Enzymen (BAÉZA 2004).

#### 2.3.5 MIKROBIOLOGISCHE QUALITÄT

Die mikrobiologische Qualität von Fleisch wird bestimmt durch den physiologischen Zustand des Tieres während der Schlachtung, Verbreitung von Kontaminationen während Schlachtung und Verarbeitung sowie den folgenden Distributions-, Transport- und Lagerungsbedingungen (NYCHAS und SKANDAMIS 2005; NYCHAS et al. 2008).

##### 2.3.5.1 SCHLACHTGEFLÜGEL ALS TRÄGER UND ÜBERTRÄGER VON MIKROORGANISMEN

Schlachtgeflügel stellt ein mikrobiologisch besonders empfindliches Produkt dar. Die Kontaminationsquellen liegen sowohl im lebenden Tier und seiner Umwelt als auch im

Schlacht- und Zerlegeprozess (FEHLHABER 2005). Eine Übertragung der im Tier lebenden Mikroorganismen auf den Menschen kann direkt über das Tier als auch indirekt, beispielsweise durch die unsachgemäße Behandlung des Fleisches durch den Verbraucher, erfolgen (WEISE 2003). Die mikrobielle Kontamination aus der Umwelt beginnt, wenn sie nicht bereits *intra vitam* erfolgte, mit dem Schlüpfen des Kükens. In Abhängigkeit von den Umgebungs- und Wachstumsbedingungen kann eine dauerhafte Besiedlung des Darmtraktes (v. a. Blinddarm) durch Mikroorganismen erfolgen, auch pathogene Keime können vorkommen (MEAD 2004a). Einige Tiere zeigen in Abhängigkeit von ihrer körperlichen Verfassung und den Erregereigenschaften weder Erkrankungsanzeichen noch eine Leistungsverminderung, können aber zum Dauerausscheider werden (WEISE 2003). Im Darmtrakt befinden sich hauptsächlich anaerobe Keime wie *Bacteroides* spp., *Bifidobacterium* spp., *Streptococcus* spp. oder Clostridien sowie fakultativ anaerob wachsende coliforme Bakterien wie *Escherichia coli*, Laktobazillen oder Enterokokken. Insgesamt setzt sich die Flora größtenteils aus gram-negativen Keimen zusammen, die nach Art des Futters, Einsatz von Zusatzstoffen, Tieralter oder individueller Verfassung variieren kann. Haut und Federn der Tiere sind durch Stallluft, Einstreu, Schmutz und Fäzes kontaminiert (FEHLHABER 2005). Sie werden größtenteils von einer gram-positiven Flora, u. a. Mikrokokken oder aeroben Sporenbildnern, besiedelt. Durch fäkale Verunreinigungen können sauerstofftolerante Keime aus der Darmflora hinzukommen (WEISE 2003). Vor der Schlachtung ist die Haut mit bis zu  $\text{Log}_{10}$  8,0 KbE/g belastet (FEHLHABER 2005).

Die Kontamination mit pathogenen oder fakultativ pathogenen Mikroorganismen kann durch die Umwelt des Tieres und Futtermittel erfolgen (FEHLHABER 2005; MEAD 2004a). Für Geflügel spielen als pathogene Mikroorganismen aus lebensmittelhygienischer Sicht insbesondere *Salmonella* spp. und *Campylobacter* spp. die größte Rolle (MEAD 2004a; GÖKSOY et al. 2004). Lebendes Geflügel stellt in vielen Ländern das Hauptreservoir dieser Mikroorganismen dar. Eine generelle Abwesenheit von pathogenen Keimen aus dem Tier ist nicht möglich. Es wird versucht, ihre Anzahl weitestgehend zu reduzieren (GÖKSOY et al. 2004; MEAD 2004a). Vorkommen und Konzentration pathogener Mikroorganismen auf frischen Schlachtkörpern werden neben dem Tier selbst durch Hygienemaßnahmen während des Schlacht- und Zerlegeprozesses bestimmt (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005). Prämortale Belastungen, wie Transportbelastungen, sind Ursache für eine endogene Kontamination von ursprünglich gesunden Tieren. Durch eine Beeinträchtigung der Darmbarriere kommt es zu einer bakteriellen Translokation von Keimen aus dem Darm oder zu entzündlichen Herden in der Blutbahn und letztendlich in essbare Gewebe (WEISE 2003).

### 2.3.5.2 MIKROBIOLOGIE DES GEFLÜGELFLEISCHES

Rohes Geflügelfleisch ist ein leicht verderbliches Produkt (DOMINGUEZ und SCHAFFNER 2007). Nach der Schlachtung bietet es durch seine hohe Wasseraktivität und der geringen postmortalen pH-Wert-Absenkung mit maximalen Werten von pH 6,5 einen guten Nährboden für Mikroorganismen (WEISE 2003). Hinzu kommen mögliche Kontaminationen mit humanpathogenen Erregern (FEHLHABER 2005). Die mikrobiologische Belastung des Fleisches wird hauptsächlich vom mikrobiologischen Ausgangskeimgehalt des lebenden Tieres bestimmt (MEAD 2004b). Rohes Geflügelfleisch kann unterschiedlich stark kontaminiert sein. Während die Keimzahlen normalerweise im Bereich von  $\text{Log}_{10}$  4,0 KbE/g liegen, sind unter optimalen Bedingungen Werte  $< 1,0 \text{ Log}_{10}$  KbE/g, unter nicht optimalen Bedingungen Werte von  $> 7,0 \text{ Log}_{10}$  KbE/g erreichbar (MCNAMARA 1997; MCKEE 2007b). Mikrobielle Kontaminationen und die damit verbundenen bedeutsamen Mikroorganismen werden in Kapitel 2.4 detaillierter erörtert.

## 2.4 MIKROBIOLOGISCHE QUALITÄT VON PUTENHACKFLEISCH

### 2.4.1 EINFLUSS STRUKTURBEDINGTER BESONDERHEITEN

Die Fleischoberfläche wird im intakten Zustand durch kollagenes Bindegewebe (Faszien) bis zu einem bestimmten Grad vor dem Eindringen von Mikroorganismen in das Gewebe geschützt. Bei der Herstellung von Hackfleisch wird die Bindegewebsstruktur zerstört und Mikroorganismen können problemlos in das Innere eindringen, um sich optimal zu vermehren (HEESCHEN 2005). Durch den Zerkleinerungsvorgang kommt es zu einer zusätzlichen Anreicherung mit Sauerstoff. Zudem führt die Zerkleinerung zu einem Zerreißen von Gewebezellen, wodurch Flüssigkeiten und Nährstoffe freigesetzt und den Bakterien einfacher zugänglich gemacht werden (NYCHAS et al. 2007). Eine reduzierte Haltbarkeit kann zurückgeführt werden auf einen hohen Ausgangskeimgehalt, auf die Verwendung von Rohmaterial einer minderen Qualität oder Kreuzkontaminationen während des Herstellungsprozesses. Die mikrobielle Kontamination nimmt zu und die Empfindlichkeit gegenüber mikrobiellen Zersetzungs Vorgängen steigt (WEISE 2003).

### 2.4.2 HERKUNFT UND WACHSTUM DER MIKROFLORA

Die mikrobiologische Qualität von Hackfleisch wird u. a. durch drei wichtige Faktoren beeinflusst: die mikrobiologische Belastung des Ausgangsmaterials (NARASHIMA und RAMESH 1988; WEISE 2003), die Sauberkeit der Anlagen und des Personals sowie die Lagerungsbedingungen (z. B. Temperatur, Verpackung, Dauer) (NARASHIMA und RAMESH

1988). Die anfängliche Mikroflora ähnelt der intakter Fleischstücke, ist aber zumeist größer (NYCHAS et al. 2007).

#### 2.4.2.1 WICHTIGE VERDERBNISERREGER

In vielen Fällen bilden ***Pseudomonas spp.*** die dominierende Keimflora in aerob kühlgelagertem Geflügelfleisch bedingt durch den hohen Protein- und gleichzeitig niedrigen Fettgehalt des Fleisches. Durch die proteolytischen Vorgänge ist der Keim maßgeblich am Verderb von diesem beteiligt (MCKEE 2007b; MEAD 2004b; WEISE 2003). *Pseudomonas spp.* sind gram-negative, nicht sporenbildende, Oxidase- und Katalase-positive, obligat aerobe Stäbchenbakterien (KRÄMER 2002; KLEER 2004). Sie haben geringe Nährstoffansprüche, sind aber auf einen hohen Gehalt an frei verfügbarem Wasser ( $a_w \geq 0,98$ ) angewiesen (KLEER 2004). Sie wachsen in einem pH-Bereich von 5,5 bis 7,0. Sie sind in der Lage, Stickstoffverbindungen als Energiequelle zu nutzen, was ihnen beim Verderb von Geflügel einen Wettbewerbsvorteil bietet (MCKEE 2007b). Bei einer aeroben Lagerung kommen hauptsächlich *Pseudomonas (Ps.) fragi*, *Ps. fluorescens* und *Ps. lundensis* vor (NYCHAS et al. 2008).

Neben *Pseudomonas spp.* setzt sich die Keimflora von aerob kühlgelagertem Geflügelfleisch aus *Brochothrix thermosphacta*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Psychrobacter ssp.* und *Alteromonas spp.* zusammen (MEAD 2004b; WEISE 2003). Zudem können auch noch *Shewanella putrefaciens* und verschiedene kältetolerante *Enterobacteriaceae* vorkommen (MEAD 2004b). Für den Verderb von Geflügelfleisch ist nach WEISE (2003) neben *Pseudomonas spp.* vor allem *Brochothrix thermosphacta* verantwortlich und dient ebenso als Verderbsindikator (HECHELMANN 1981). ***Brochothrix thermosphacta*** gehört genauso wie Vertreter der Gattungen *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter* und *Flavobacterium* zur Kühlhausflora von aerob gekühlt gelagertem Fleisch und Fleischerzeugnissen. Der Keim wurde 1953 erstmals aus roher Schweinefleischwurst isoliert. Es handelt sich um gram-positive, fakultativ anaerobe, unbewegliche, Katalase-positive Stäbchen, die ihr Wachstumsoptimum in einem Temperaturbereich von +20 bis +25 °C besitzen, sich aber auch noch bei 0 °C vermehren können (BAUMGART 2004; HECHELMANN 1981). Während des Verderbs von Geflügelfleisch kommt es durch Fermentation von Glucose zur Bildung von Milch- und Essigsäure, flüchtigen Fettsäuren, 2-Methyl-Buttersäure und Acetoin (BAUMGART 2004; PIN et al. 2002; RUSSO et al. 2006; SMOLANDER et al. 2004).

Eine Erhöhung der Temperatur führt zu einem Abfall der in kühlgelagertem Geflügelfleisch vorherrschenden Zahl an *Pseudomonas spp.*, während Mikroorganismen anderer Gattungen eine größere Bedeutung zukommt. Bei einer Temperatur von +20 bis +22 °C setzt sich gesamte Keimflora nur noch zu einem Fünftel oder zu weitaus geringeren Anteilen aus

*Pseudomonas* spp. zusammen, während u. a. die Zahl an *Enterobacteriaceae* steigt (MEAD 2004b). **Enterobacteriaceen** dienen in Fleisch als Indikatororganismen für die Lebensmittelsicherheit (NYCHAS et al. 2008). Es handelt sich um gram-negative, nicht sporenbildende, Oxidase-negative, fakultativ anaerobe Stäbchenbakterien (Durchmesser: 0,5 bis 1,5 µm; Länge 2 bis 4 µm). Sie fermentieren Glucose und reduzieren Nitrat zu Nitrit (BAUMGART 2004). Sie werden in die Gruppe der obligat pathogenen (z. B. *Salmonella*, *Shigella*) und fakultativ pathogenen (z. B. *Escherichia*, *Enterobacter*, *Proteus*, *Serratia*) Gattungen eingeteilt, von denen viele natürlicherweise im Darmtrakt von Mensch und Tier vorkommen (KRÄMER 2002).

#### 2.4.2.2 WICHTIGE HUMAN-PATHOGENE MIKROORGANISMEN

Salmonellen und *Campylobacter* spp. besitzen als bakterielle Erreger von Lebensmittel-Infektionen bei Geflügel die größte Bedeutung (MEAD 2004a). **Salmonellen** gehören zur Familie der *Enterobacteriaceae*, die gram-negative, fakultativ anaerobe Stäbchenbakterien, mit einem Temperaturoptimum von +37 bis +40 °C, umfasst. Zum Wachstum benötigen sie einen  $a_w$ -Wert von mindestens 0,93 (MCKEE 2007b). Es wird unterschieden zwischen den Enteritis erregenden Salmonellen und den Salmonellen der Typhus-Paratyphus-Gruppe (KRÄMER 2002). Die Subspecies *Salmonella enteritica* ssp. *enteritica*, die aus fleischhygienischer Sicht die größte Bedeutung haben, beinhaltet 2500 Serovare, von denen *Salmonella Enteritidis* die größte Bedeutung für Geflügel besitzt (KRÄMER 2002; LÜCKE und TROEGER 2007). Geflügelfleisch stellt eine signifikante Quelle für Salmonellen dar (MCKEE 2007b), auch wenn es um ihren Eintrag in Verarbeitungsbetriebe und Küchen geht (LÜCKE und TROEGER 2007). Da Salmonellen hitzelabil sind, sinkt durch das Durcherhitzen von Speisen bei hohen Prävalenzen das Risiko einer Erkrankung. Allerdings besteht weiterhin eine Gefahr durch Kreuzkontaminationen mit möglicherweise belasteten Lebensmitteln im Bereich von Zubereitung und Verarbeitung. Zudem sind Salmonellen in der Lage, im angetrockneten Zustand einige Tage zu überleben, um nach nicht erfolgter Reinigung und Desinfektion weiterhin eine Quelle für mögliche Kontaminationen darzustellen. Desweiteren werden sie auch durch Gefrieren nicht abgetötet, weshalb der durch das Auftauen entstehende Fleischsaft als eine weitere Gefahrenquelle für eine Salmonellen-Kontamination gilt (FEHLHABER 2005). Salmonellen-Infektionen der Enteritis erregenden Salmonellen führen zu Gastroenteritiden mit starken abdominalen Schmerzen und Diarrhoen, Übelkeit und Erbrechen (KRÄMER 2002; MCKEE 2007b).

***Campylobacter* spp.** sind gram-negative, spiralförmig gebogene, monotrich oder bipolar begeißelte Stäbchen. *Campylobacter* (*C.*) *jejuni*, *C. coli* und *C. lari* sind die wichtigsten humanpathogenen Erreger. *Campylobacter* spp. zeigen im Nativpräparat eine



charakteristische, korkenzieherartige Hin- und Herbewegung. Optimales Wachstum liegt unter mikroaeroben Bedingungen bei einer Gasatmosphäre von 5 % O<sub>2</sub>, 10 % CO<sub>2</sub> und 85 % N<sub>2</sub> und einer Temperatur von +42 bis +45 °C vor (BARTELT 2005; KRÄMER 2002). Unter +25 °C ist kein Wachstum mehr möglich (BARTELT 2005), auch Temperaturen über +48 °C töten *C. jejuni* ab (KRÄMER 2002). Das Wachstum von *Campylobacter* spp. kann auch durch niedrige pH-Werte (pH < 4,9), hohe Sauerstoffgehalte (O<sub>2</sub>-Konzentrationen > 10 %) oder Trocknung (a<sub>w</sub>-Werte < 0,987) gehemmt werden (BARTELT 2005; MCKEE 2007b). Es ist ihnen möglich, bei niedrigeren Temperaturen (+4 °C) in Lebensmitteln, Wasser oder Fäzes mehrere Wochen lebensfähig zu bleiben (KRÄMER 2002). Unzureichend erhitztes oder kontaminiertes Geflügelfleisch und Geflügelfleischprodukte werden als eine der Hauptquellen für eine *Campylobacter*-Infektion angesehen (BARTELT 2005; LIENAU et al. 2003). Risikoschätzungen des Jahresberichtes des Bundesinstitutes für Risikobewertung (BfR) von 2007 zufolge, haben 30 bis 50 % der *Campylobacter*-Infektionen ihren Ursprung in kontaminiertem Hähnchenfleisch (JAHRESBERICHT BfR 2007). Im Rahmen der amtlichen Überprüfung von *Campylobacter* in Geflügelfleisch lag der Anteil an positiven Proben im Jahre 2006 bei 31,9 %. Es werden generell bei Hähnchenfleisch *Campylobacter* häufiger als bei Putenfleisch isoliert (RKI, EPIDEMIOLOGISCHES BULLETIN 2007). *Campylobacter* spp., insbesondere *C. jejuni*, aber auch *C. coli* und *C. lari* (WEISE 2003), gelten als Kommensale des Geflügeldarmtraktes (BARTELT 2005). Sie kommen im Intestinaltrakt der Tiere vor, ohne dass diese klinisch erkranken (LIENAU et al. 2003; WEISE 2003). Die Kontamination erfolgt in den meisten Fällen durch infizierte Tiere intravital oder während der Schlachtung (KRÄMER 2002). Am häufigsten sind Flügel von Hühnchen und Puten mit *Campylobacter* belastet (MCKEE 2007b). LIENAU et al. (2003) konnten aufzeigen, dass für den Eintrag und der Verbreitung von *Campylobacter* spp. in den Schlachthof grundsätzlich der Belastung der Geflügelherde eine große Bedeutung zukommt. *Campylobacter*-Infektionen, die hauptsächlich durch thermophile *Campylobacter*-Arten hervorgerufen werden (BARTELT 2005; KRÄMER 2002), verursachen Fieber, abdominale Schmerzen und Diarrhoen (MCKEE 2007b).

Neben Salmonellen und *Campylobacter* spp. spielen u. a. auch *Acrobacter* spp., pathogene *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum*, *Bacillus cereus* oder *Listeria monocytogenes* als Infektionserreger in Geflügelfleisch hinsichtlich einer möglichen Gesundheitsgefährdung für den Verbraucher eine große Rolle (FEHLHABER 2005). Listerien sind gram-positive, fakultativ anaerobe, bewegliche, nicht sporenbildende Stäbchenbakterien. Während insgesamt sechs Spezies zum Genus *Listeria* gezählt werden, hat nur ***Listeria (L.) monocytogenes*** eine humanpathogene Bedeutung. Das Wachstumsoptimum von *L. monocytogenes* liegt im Temperaturbereich von +30 bis +37 °C.

Der psychrotrophe Keim kann aber auch bei Kühlschranktemperaturen im Bereich von 0 °C wachsen. Die maximale Wachstumstemperatur liegt bei +44 °C (KRÄMER 2002). Das Vorhandensein einer kompetitiven Flora, wozu insbesondere Bacteriocin bildende Laktobazillen gezählt werden, der pH-Wert und die Salzkonzentration eines Lebensmittels beeinflussen die Vermehrung von *L. monocytogenes* bei niedrigen Temperaturen (BARTELT 2005). Der Keim besitzt mit bis zu 25 % eine hohe Salztoleranz (BÜLTE 2004). *L. monocytogenes* wächst in einem pH-Bereich von 4,5 bis 9,0; ein pH-Wert < 3,5 tötet den Erreger ab. Der Erreger kommt im Erdboden, auf Pflanzen, Futtermitteln, insbesondere Silagen, im Kot von gesunden und kranken Tieren und in Abwässern vor (KRÄMER 2002; BARTELT 2005; WEISE 2003). Listerien sind im lebenden Tier überwiegend im Blinddarm zu finden und werden mit dem Kot ausgeschieden, so dass es während des Schlacht- und Zerlegeprozesses zu Kontaminationen von Schlachtkörper und Fleisch sowie von Geräten und Arbeitsflächen kommen kann (KRÄMER 2002; WEISE 2003). *L. monocytogenes* ist vielfach in geschlachtetem Geflügel, rohem Geflügelfleisch und Hackfleisch nachweisbar (KRÄMER 2002; WEISE 2003). Besonders weiterverarbeitete Geflügelprodukte stellen einen optimalen Nährboden für ein schnelles Wachstum von *L. monocytogenes* dar (GLASS und DOYLE 1989). Die größten Kontaminationsgefahren für den Verbraucher liegen im falschen Umgang, d. h. fehlender Kühlung, mangelnder Erhitzung bzw. Wiedererhitzung und schlechter Hygiene (MONTERRAT und YUSTE 2010). Vor allem alte Menschen, Kinder, immungeschwächte Personen und Schwangere besitzen ein verstärktes Risiko an einer Listeriose zu erkranken. Diese verläuft meistens als Septikämie, Meningitis oder Meningoenzephalitis und führt bei Schwangeren zu vorzeitigen Wehen oder Aborten (BÜLTE 2004).

#### 2.4.2.3 KONTAMINATIONSQUELLEN

Die mikrobielle Kontamination des lebenden Geflügels als Träger und Überträger von Mikroorganismen wird im Kapitel 2.3.6 dargestellt. Nachfolgend sollen Kontaminationsquellen für rohes Geflügelfleisch und der damit verbundenen Kontaminationen daraus hergestellter Produkte, wie Hackfleisch, beschrieben werden. Während sich auf der Schlachtkörperoberfläche zahlreiche Mikroorganismen befinden, ist das Innere der Muskulatur von gesundem Geflügel normalerweise zunächst keimfrei. Erst infolge verschiedener mikrobieller Translokationen können diese auch in die Muskulatur gelangen (MCNAMARA 1997). Die Quellen für Kontaminationen sind vielfältig und beinhalten v. a. die Prozesse der Geflügelfleischgewinnung, Zerlegung, Kühlung und Handhabung durch den Verbraucher (MCKEE 2007b). Insbesondere die Gefahr durch Kreuzkontaminationen ist sehr hoch (GÖKSOY et al. 2004). Auch in modernen Schlachthanlagen kann eine Zunahme der mikrobiellen Kontamination von Fleischoberflächen

und teilweise auch in der Tiefe des Fleisches nicht verhindert werden (FEHLHABER 2001a). Geflügelschlachtkörper bieten Mikroorganismen eine große Angriffsfläche, da ihre Körperoberfläche im Verhältnis zur Fleischmasse wesentlich größer ist (FEHLHABER 2001a). Insbesondere auf der Haut weisen sie hohe Zahlen an Mikroorganismen auf, die sowohl Lebensmittelinfektionen als auch Lebensmittelverderb verursachen können (GONZÁLEZ-MIRET et al. 2006). Am Ende des Schlachtprozesses sind Hautkeimgehalte von  $\text{Log}_{10}$  4,0 bis 5,0 KbE/g trotz guter Schlachthygiene kaum zu unterschreiten. Es muss zusätzlich mit einer Penetration der Keime in die Tiefen der Muskulatur gerechnet werden (FEHLHABER 2001a).

Bereits zu Beginn des Schlachtprozesses kann es durch das Abladen und Einhängen der Tiere zu einer beachtlichen Kontamination mit Mikroorganismen über die Luft kommen. Im Anschluss daran folgen Betäuben, Töten, Brühen und Rupfen als unreine Prozessschritte, wobei insbesondere den beiden letztgenannten eine besondere Bedeutung für die mikrobiologische Belastung des Schlachtkörpers zukommt (MEAD 2004a). Das Brühen tötet die auf der Haut sitzenden Mikroorganismen nur oberflächlich ab, da v. a. hitzeresistente mesophile sowie sporenbildende Mikroorganismen im Unterhautbindegewebe überleben können (MCNAMARA 1997, MEAD 2004a; WEISE 2003). Grundsätzlich stellt das Brühen durch das schnell verschmutzende Wasser im Heißwasserbad einen kritischen Hygienepunkt dar (PINGEL et al. 2007). Die mikrobiologische Belastung des Brühwassers kann sehr hoch sein, da in dieses sowohl Mikroorganismen der Haut und Federn als auch Fäkalkeime gelangen können (MEAD 2004a). Eine Reduktion der Mikroorganismenzahlen auf der Schlachtkörperoberfläche durch Abwaschen von Schmutz, Fäkalien und anderen oberflächlichen Kontaminationen im Brühltank ist nur möglich, wenn das Brühwasser regelmäßig durch frisches Wasser ausgetauscht wird (GÖKSOY et al. 2004). WEISE (2003) sieht den Rupfvorgang als den kritischsten Punkt im Schlachtprozess. Die mechanische Beanspruchung führt zu einer beachtlichen Verteilung von Mikroorganismen auf der Schlachtkörperoberfläche und zu Kreuzkontaminationen zwischen den Schlachtkörpern (BOLDER 2007; MEAD 2004a). Auch ein unzureichend durchgeführter Prozess des Ausnehmens kann zu einem signifikanten Anstieg der mikrobiellen Belastung der Schlachtkörper führen (MEAD 2004a). Inwieweit Keimzahlen durch die anschließende Sprühwäsche zur Entfernung von Blutresten, ausgetretener Gallenflüssigkeit und Verschmutzung reduziert werden können, hängt ab von Wasserdruck, Wassermenge und Zeitpunkt der Spülung (MEAD 2004a; PINGEL et al. 2007; WEISE 2003). Eine fehlende Reinigung und Desinfektion zwischen den einzelnen Stationen eines kontinuierlichen Schlachtprozesses gehört zu den Hauptgründen für die Kontamination des Geflügels (FEHLHABER 2005).

Nach dem Schlachtprozess wird sowohl die Anzahl als auch die Art der vorherrschenden Keimflora im Verlauf der Weiterverarbeitung festgelegt (LABADIE 1999). Bei der Zerlegung kommt das Fleisch in den Kontakt mit Maschinenteilen, Arbeitsutensilien und den Händen des Personals. Zusätzlich werden im Zuge der Zerlegung neue Schnittflächen geschaffen, die Oberfläche vergrößert und teilweise die Haut entfernt, wodurch eine Erhöhung des Keimgehaltes nicht zu verhindern ist. Während Puten in der Tiefe der Muskulatur nach einer Luftkühlung Keimgehalte von nur wenigen Keimen aufweisen, steigen die Werte im Laufe der Zerlegung für Putenfleisch auf etwa  $\text{Log}_{10}$  2,0 bis 3,0 KbE/g an (WEISE 2003). Durch die Zerkleinerung von Geflügelfleisch wird die Oberfläche, die Sauerstoff ausgesetzt ist, zusätzlich vergrößert (MCNAMARA 1997). Während der Herstellung von Hackfleisch können Keime, die sich normalerweise auf der Oberfläche des Geflügelfleisches befinden, während des Zerkleinerungs- und Mischvorganges das gesamte Fleisch kontaminieren und aus dem Oberflächenkeimgehalt eines Fleischstückes entsteht der Tiefenkeimgehalt des Hackfleisches (CITAK und KAMANLI 2007; REUTER 2003). Von entscheidender Bedeutung ist nach den Kontaminationen durch Geflügelfleischgewinnung und Weiterverarbeitung auch eine fehlerhafte Handhabung durch den Verbraucher in Form von Unterbrechungen der Kühlkette, Lagerung bei erhöhten Temperaturen, Kreuzkontaminationen infolge mangelnder Küchenhygiene oder eine unzureichende Erhitzung des Fleisches (FEHLHABER 2005).

### **2.4.3 BEEINFLUSSUNG DES MIKROBIELLEN WACHSTUMS**

Die Anzahl und die Art der anfänglich vorhandenen Verderbsflora variiert signifikant. Für den mikrobiellen Verderb von Geflügelfleisch ist die spezifische Verderbsflora (SSO) verantwortlich (NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Diese Mikroorganismen, die zunächst nur in geringer Anzahl vorhanden sind, vermehren sich grundsätzlich schneller als die restliche Mikroflora und dominieren letztendlich in ihrem Wachstum. Sie produzieren bestimmte Stoffwechselprodukte, die die für den Verderb typischen Off-Flavour verursachen und zu einer sensorischen Ablehnung des Produktes führen (NYCHAS und SKANDAMIS 2005; WEISE 2003). WEISE (2003) geht davon aus, dass diese Keimflora die Reinigungs- und Desinfektionsprozesse überlebt, um später zu einer Kontamination der Schlachtkörper beizutragen. Die mikrobiologische Population von Frischfleisch wird durch Faktoren bestimmt, die während Herstellung, Transport und Lagerung vorherrschend sind (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005; NYCHAS und SKANDAMIS 2005; NYCHAS et al. 2007; TUNCER und SIRELI 2008). Hierzu zählen: Tierart, Gesundheitszustand, Umgang mit dem lebenden Tier, Schlachtprozess, Kühlvorgang des Schlachtkörpers, Hygiene während der Herstellung und Verpackungsart. Es werden ebenso Distribution, Auslage im Geschäft sowie Transport, Lagerung und Handling durch den Verbraucher hinzugerechnet (GOULD 1996; YOUNG et al. 1988). Alle Stufen zwischen dem Zeitpunkt der Schlachtung und dem Verzehr

des fertigen Produktes beeinflussen die Qualität des Produktes nachhaltig (GOULD 1996; LAMBERT et al. 1991). Diese Einflussgrößen werden folgendermaßen zusammengefasst (NYCHAS und SKANDAMIS 2005):

- Intrinsische Faktoren
- Implizite Faktoren
- Extrinsische Faktoren
- Prozessfaktoren.

#### 2.4.3.1 INTRINSISCHE FAKTOREN

Die intrinsischen Faktoren umfassen die zum Lebensmittel gehörenden physiko-chemischen Eigenschaften, d. h. alle physikalischen, chemischen und biochemischen Parameter (MONTVILLE und MATTHEWS 2007; HEESCHEN 2005; NYCHAS und SKANDAMIS 2005). NYCHAS und SKANDAMIS (2005) zählen zu diesen pH-Wert,  $a_w$ -Wert, Pufferkapazität, Vorkommen natürlicher oder zugefügter antimikrobieller Komponenten, Redoxpotential ( $E_h$ ) und Nährstoffzusammensetzung.

#### 2.4.3.2 IMPLIZITE FAKTOREN

Die impliziten Faktoren, auch als intrinsische biotische Parameter bezeichnet, sind für die Entstehung und Entwicklung von „Verderbsassoziationen“ unter bestimmten Bedingungen von Bedeutung (HEESCHEN 2005; NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Nach Aussagen der Autoren beschreiben sie die Wechselwirkungen von verschiedenen Mikroorganismenarten im Lebensmittel z. B. um die Konkurrenz von Nährstoffen untereinander, die antagonistisch, neutral oder synergistisch sein können.

#### 2.4.3.3 EXTRINSISCHE FAKTOREN

Extrinsische Faktoren beeinflussen das Lebensmittel von außen und können während der Lagerung modifiziert werden (HEESCHEN 2005). Vielfältige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Temperatur den wichtigsten extrinsischen Faktor hinsichtlich der Geschwindigkeit des Verderbs darstellt (DOMINGUEZ und SCHAFFNER 2007; HEESCHEN 2005; JAMES 2004; KREYENSCHMIDT et al. 2002; KOUTSOUMANIS et al. 2006; NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Mikroorganismen besitzen für ihr Wachstum unterschiedliche Temperaturansprüche. Sie werden dementsprechend in psychrophile (Wachstum bei  $<+5$  °C, nicht  $>+20$  °C), psychrotrophe (Wachstumsoptimum zwischen  $+25$  ° und  $+30$  °C, Vermehrung noch bei  $< +5$  °C), mesophile (Wachstumsoptimum zwischen  $+35$  ° und  $+37$  °C), thermophile (Wachstumsminimum bei  $> +40$  °C) und thermotolerante (Wachstumsoptimum im mesophilen Bereich, tolerieren auch hohe Temperaturen) Mikroorganismen eingeteilt

(KRÄMER 2002). Die Temperatur bestimmt hauptsächlich das Ausmaß des mikrobiellen Wachstums, die Haltbarkeit von gekühlten Produkten (JAMES 2004) und somit die Qualität und Sicherheit des Lebensmittels (MARKLINDER et al. 2004). Eine Erhöhung der Temperatur bewirkt eine Zunahme des Verderbs und eine signifikante Abnahme der Haltbarkeit (KOUTSOUMANIS et al. 2006). Für Produktion, Distribution und Verkauf von gekühlten Lebensmitteln gibt die Gesetzgebung maximale Werte vor (NYCHAS et al. 2008). Oft kommt es nach dem Kauf zu Abweichungen von den ursprünglich vorgegebenen Werten (JAMES et al. 2008; KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005; NYCHAS et al. 2008). Für die Haltbarkeit ist nicht nur die Zeit von Bedeutung, die das Produkt benötigt, um den Einzelhandel zu erreichen, sondern auch die Dauer, in der es gekühlt ausliegt, sowie im Besitz des Verbrauchers ist (DAWSON und Stephens 2004; JIMINEZ et al. 1999). Die letzte Stufe der Kühlkette ist die Lagerung im Kühlschrank des Verbrauchers bis zum endgültigen Verzehr (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005) und stellt innerhalb der Kühlkette das schwächste Glied dar (JAMES et al. 2008). Haushaltskühlschränke weisen weltweit höhere Temperaturen auf, als die, die zur Lagerung bestimmter Lebensmittel empfohlen werden (JAMES et al. 2008). Eine schwedischen Studie (MARKLINDER et al. 2004) zeigt, dass die durchschnittliche Lagerungstemperatur von Hackfleisch in Haushaltskühlschränken +6,2 °C beträgt, die damit die Herstellerempfehlungen um +4,2 bis +6,2 °C überschreitet. Zu hohe Temperaturen in Kombination mit längeren Lagerungszeiten begünstigen das Wachstum von humanpathogenen Keimen, wie *L. monocytogenes*, die auch noch bei Kühltemperaturen wachsen können (MARKLINDER et al. 2004). Eine unzureichende Kühlung stellt neben dem vorzeitigen Verderb somit auch ein potentielles Risiko für eine Lebensmittelvergiftung dar (JAMES et al. 2008).

#### 2.4.3.4 PROZESSFAKTOREN

Alle Faktoren, die während der Herstellung und Behandlung des Produktes die intrinsischen Faktoren oder die Mikroflora des Produktes beeinflussen, werden zu den Prozessfaktoren gerechnet (HEESCHEN 2005; NYCHAS und SKANDAMIS 2005). HEESCHEN (2007) zählt zu diesen die Einwirkung von höheren Temperaturen mit teilweiser oder vollständiger Abtötung der Mikroorganismen sowie bestimmte technologische Verfahren wie Säuern oder spezielle Verpackungsformen.

#### **2.4.4 QUALITÄTSVERÄNDERUNGEN DURCH MIKROBIELLEN VERDERB**

Lebensmittel natürlichen Ursprungs unterliegen dem Verderb, der biologischen, chemischen oder physikalischen Ursprungs sein kann. Der Verzehr von verdorbenen Lebensmitteln kann unter ungünstigen Bedingungen zu Erkrankungen oder sogar zum Tod führen (HUI 2007). Insbesondere pathogene Mikroorganismen, wie *L. monocytogenes* oder *Salmonella* spp.,

stellen eine potentielle Gefahr für den Verbraucher dar (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005). Der mikrobielle Verderb verursacht Qualitätsveränderungen in Form von Verfärbungen, einem abweichenden Geruch und minderwertigem Geschmack (NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Die Feststellung des Verderbs durch den Verbraucher ist ein subjektives Urteil, das durch kulturelle sowie wirtschaftliche Ansichten und Hintergründe genauso beeinflusst wird, wie durch sensorische Eigenschaften und die Intensität der Veränderung (NYCHAS et al. 2008). Der Verderb von Geflügelfleisch geht zunächst von der Oberfläche aus (MCNAMARA 1997). Geflügelfleisch besitzt einen hohen Wassergehalt und eine Reihe von Nährstoffen, die von Mikroorganismen als Quelle für Kohlenstoff und Energie genutzt werden können. Die für den Verderb hauptsächlich verantwortlichen *Pseudomonas* spp. nutzen zunächst bevorzugt Glucose und Glucose-6-Phosphat als Substrate zur Energiegewinnung. Diese Vorräte sind in den meisten Fällen ab einer Keimzahl von etwa  $\text{Log}_{10} 7,0 \text{ KbE/cm}^2$  verbraucht. Im Anschluss daran werden Laktat und Aminosäuren genutzt, aus denen Verbindungen mit einem niedrigen sensorischen Schwellenwert, insbesondere Cystein, Cystin und Methionin aus schwefelhaltigen Aminosäuren, entstehen, die zu deutlichen Geruchsabweichungen führen (MEAD 2004b). Der Verderb von Geflügelfleisch setzt nach fünf bis sieben Tagen Kühlagerung ein (GALLO et al. 1988). Durch den Verderb verändern sich die sensorischen Eigenschaften des Lebensmittels. Off-Odors, die in den meisten Fällen zuerst wahrgenommen werden, treten ab Keimzahlen von  $\text{Log}_{10} 6,0$  bis  $\text{Log}_{10} 8,0 \text{ KbE/cm}^2$  auf. Zur anschließenden Schleimbildung kommt es ab einer Keimzahl von  $\text{Log}_{10} 6,0$  bis  $\text{Log}_{10} 9,0 \text{ KbE/cm}^2$  (MCKEE 2007b). Der Verderb wird vom Verbraucher zudem schnell durch eine dunkle, graubraune bis in grünliche abweichende Verfärbung wahrgenommen. Die sich auf der Fleischoberfläche befindlichen aeroben bzw. fakultativ anaeroben Bakterien führen durch ihre Atmung zu einer Sauerstoffarmut, wodurch die Metmyoglobinbildung gefördert wird (LÜCKE und TROEGER 2007).

## **2.5 HALTBARKEITSVERLÄNGERUNG DURCH INTEGRATION VON HÜRDEN**

### **2.5.1 HÜRDENTECHNOLOGIE NACH L. LEISTNER**

Die von L. Leistner geprägte Hürdentechnologie ist schon seit vielen Jahren bekannt (LEISTNER 1978). Sie basiert auf einem kumulativen Hürdeneffekt, bei dem durch die aufeinander abgestimmte Kombination verschiedener haltbarmachender Verfahrensschritte, die mikrobiologische Sicherheit und Stabilität, die sensorische und ernährungsphysiologische Qualität sowie die ökonomischen Eigenschaften eines Lebensmittels verbessert werden sollen (LEISTNER 2000). Zu den wichtigsten Hürden zählt LEISTNER (1994, 2000) Temperatur (hoch oder niedrig), Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert), Säuregrad (pH-Wert), Redoxpotential ( $E_h$ -Wert), Konservierungsmittel (z. B. Nitrit, Sorbat, Sulfit, organische Säuren, Natriumacetat,

Ethanol, Gewürze, Lysozym, Nisin und andere Bacteriocine) und kompetitive Mikroorganismen (z. B. Milchsäurebakterien). Sie werden sowohl in pflanzlichen als auch tierischen Lebensmitteln, insbesondere Fleisch, eingesetzt (LEISTNER 1994). Ihre antimikrobielle Wirksamkeit hängt ab vom anfänglichen Ausgangskeimgehalt, Intensität der einzelnen Hürde und Vorhandensein synergistischer Effekte (LEISTNER 1978; LEISTNER und GORRIS 1995). Die optimale Dosis jeder einzelnen Hürde muss so hoch sein, dass die initiale Mikroflora eines Lebensmittels sie nicht bezwingen kann (LEISTNER 1995; 2000). In Abhängigkeit von der Intensität kann eine Hürde sowohl einen positiven als auch negativen Effekt auf das Lebensmittel haben. Über die Senkung des pH-Wertes einer fermentierten Wurst wird beispielsweise das Wachstum von pathogenen Keimen gehemmt, aber ebenso der Geschmack negativ beeinflusst (LEISTNER 1994; 1995; 2000).

Das Konzept der „Multi-Target-Konservierung“, das ebenfalls auf LEISTNER (1994, 2000) zurückgeht, ist eine Weiterentwicklung der Hürdentechnologie. Es basiert auf der Erkenntnis, dass verschiedene Hürden nicht nur einen additiven, sondern auch einen synergistischen Effekt besitzen und sich in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken (CORBO et al. 2009). Beim synergistischen Effekt besitzen die unterschiedlichen Hürden beim Einsatz im Lebensmittel (z. B.  $a_w$ -Wert, pH-Wert, Konservierungsmittel) zur gleichen Zeit unterschiedliche Targets innerhalb der Mikroorganismenzelle (z. B. Zellmembran, DNA, Enzymsysteme, pH,  $a_w$  oder  $E_h$ ), die die Homöostase stören (CORBO et al. 2009; LEISTNER 1994; 1995; 2000). Durch die Auswahl kleiner Hürden mit verschiedenen Targets soll eine milde, aber dennoch effektive Haltbarmachung erreicht werden. Die Störung der Homöostase von Mikroorganismen ist das zentrale Phänomen zur vorläufigen oder permanenten Haltbarmachung von Lebensmitteln (LEISTNER 2000). Homöostase bedeutet, dass die Zellen bestrebt sind, bei Störungen des sie umgebenden Milieus die Schlüsselfunktionen ihres Stoffwechsels zu erhalten (KNØCHEL und GOULD 1995). Durch die Störung des inneren Zellgleichgewichts können Mikroorganismen sich nicht mehr vermehren und verbleiben in der Lag-Phase oder sterben ab, bevor die Homöostase wieder hergestellt werden kann (CORBO et al. 2009; LEISTNER 2000). Zur Bewältigung von Stresssituationen bzw. zur Abwehr verschiedener antimikrobieller Einflüsse ist zudem die Synthese von ausreichend Stress-Schock-Proteinen notwendig. Diese verbraucht sehr viel Energie und führt dazu, dass die Mikroorganismen ihre Stoffwechselenergie komplett aufbrauchen (*Metabolic Exhaustion*) (CORBO et al. 2009; LEISTNER 2000). Tabelle 3 zeigt Möglichkeiten zur Verminderung einer mikrobiellen Belastung von Frischfleisch. KRÄMER (2002) unterscheidet zwischen chemischen, physikalischen, biologischen Verfahren und der Veränderung der Gasatmosphäre. In vielen Fällen führt erst die Kombination von mehreren gleichzeitig oder nacheinander eingesetzten Methoden zu einer Haltbarmachung (STOLLE 2004).



**Tabelle 3: Methoden zur Verminderung der mikrobiellen Belastung von Frischfleisch (nach GOULD 1996; KNØCHEL und GOULD 1995; KRÄMER 2002)**

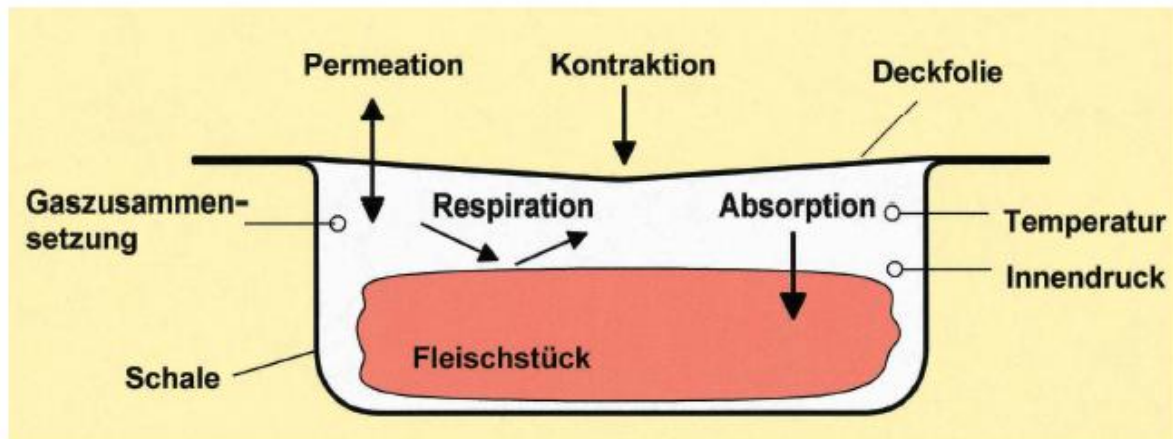
Methode	Wirkung
<b>Physikalische Methoden</b>	
○ Wärmezufuhr (Erhitzen)	Inaktivierung von Mikroorganismen (MO)
○ Wärmeentzug - <b>Kühlen</b> - Gefrieren	niedrige Temp. hemmen Wachstum von MO niedrige Temp. + $a_w$ -Wert-Absenkung unterbinden Wachstum von MO
○ Bestrahlung (Ionisierende Strahlen)	Inaktivierung von MO
○ Hochdruckbehandlung	Abtötung vegetativer MO
○ Trocknung	$a_w$ -Wert-Absenkung hemmt Wachstum von MO
<b>Änderung Gasatmosphäre</b>	
○ Vakuumverpackung	Wachstumshemmung strikt aerober MO; - verzögerung fakultativ anaerober MO
○ <b>Schutzgasverpackung</b>	Wachstumshemmung von MO durch $CO_2$
<b>Biologische Methoden</b>	
○ Schutzkulturen und Bacteriocine	Hemmung/Inaktivierung unerwünschter MO
<b>Chemische Methoden</b>	
○ Pökeln	$a_w$ -Wert-Absenkung hemmt Wachstum von MO; zusätzliche antimikrobielle Wirkung von Nitrit
○ <b>Salzen</b>	$a_w$ -Wert-Absenkung hemmt Wachstum von MO
○ <b>Zugabe von Säuren</b>	Wachstumshemmung von MO durch pH-Wert-Absenkung bzw. spezifische Hemm-wirkung der Säure
○ Räuchern	$a_w$ -Wert-Absenkung; bakterio-statische und bakterizide Wirkung von Rauchinhaltsstoffen

Im nachfolgenden soll auf die mikrobiologischen Hürden gesondert eingegangen werden, die für die Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität von frischem Putenhackfleisch der vorliegenden Arbeit von besonderer Bedeutung sind.

### 2.5.2 SCHUTZGASVERPACKUNG (MAP-VERPACKUNG)

Veränderungen im Lebens- und Kaufstil der Verbraucher im Lebensmittelbereich haben in den letzten Jahrzehnten dazu geführt, neue Technologien, wie die MAP-Verpackung, zu entwickeln (NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Diese Verpackungstechnologie wird weltweit für Produkte mit begrenzter Haltbarkeit eingesetzt (DEVLIEGHERE et al. 1998b). Die Auswirkungen auf verschiedene Parameter der Fleischqualität sind in der Literatur in vielen Reviews umfassend dokumentiert (CHURCH 1994; FARBER 1991; JAKOBSEN und BERTELSEN 2002; LAMBERT et al. 1991; MCMILLIN 2008; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002; SEIDEMANN und DURLAND 1983; YOUNG et al. 1988). MAP (*Modified Atmosphere Packaging*) beschreibt innerhalb einer Verpackung den Austausch von Luft durch ein einzelnes Gas oder

einer Mischung aus verschiedenen Gasen mit festgelegten Anteilen (CHURCH 1994; YOUNG et al. 1988), die in ihrer Zusammensetzung von der Luft abweichen (NYCHAS und SKANDAMIS 2005; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Die zugesetzten Gase gelten als Zusatzstoffe und werden in der Zusatzstoffzulassungs-Verordnung (ZzulV, 1998) mit einer E-Nummer entsprechend deklariert (WALSH und KERRY 2002).



**Abbildung 4: Schematische Darstellung der Gasaustauschvorgänge in der MAP-Verpackung (PFEIFFER und MENNER 1999)**

Die wichtigsten Formen des MAP sind die Vakuumverpackung (VP) und die Schutzgasverpackung (DAVIES 1995; FARBER 1991; McMILLIN 2008; YOUNG et al. 1988). Von einigen Autoren wird auch die Verpackung unter kontrollierter Atmosphäre (*Controlled Atmosphere Packaging*: CAP) hinzugezählt (DAVIES 1995; FARBER 1991; McMILLIN 2008). Bei einer Verpackung unter Vakuum wird die gesamte Luft aus der Verpackung evakuiert und durch die Verwendung einer Folie mit einer niedrigen Sauerstoff-Durchlässigkeit der Inhalt luftdicht verschlossen (MCKEE 2007b; TOTOSAUS und KURI 2007; YOUNG et al. 1988). Der Sauerstoffmangel hemmt das Wachstum gram-negativer psychrotropher Mikroorganismen. In Geflügelfleisch, das unter Vakuum verpackt wurde, stellen insbesondere *Lactobacillus* spp. die dominierende Verderbnisflora dar (MCKEE 2007b). Bei der Schutzgasverpackung wird die Luft üblicherweise durch das Spülen mit einem Gas oder einer Gasmischung entfernt und die Verpackung anschließend versiegelt (McMILLIN 2008; YOUNG et al. 1988). Die eingebrachte Gasmenge wird in ihrer Zusammensetzung nicht weiter kontrolliert (CHURCH 1994; DAVIES 1995; FARBER 1991). Austauschvorgänge zwischen der Schutzgasatmosphäre im Kopfraum der Verpackung, der Umgebungsluft und dem Lebensmittel verändern die Atmosphäre im Laufe der Lagerung (PFEIFFER und MENNER 1999). Durch Respiration des Lebensmittels und mikrobiologische Stoffwechselprozesse, die Sauerstoff verbrauchen, wird Kohlendioxid produziert (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002) (Abb. 4). Die modifizierte Atmosphäre verlangsamt Atmungsvorgänge, reduziert das mikrobiologische Wachstum und verzögert den enzymatischen Verderb (YOUNG et al. 1988),

was eine Verlängerung der Haltbarkeit bewirkt (MÜLLER et al. 2009; SEYDIM et al. 2006). Zudem trägt diese Verpackungsform zu einer Verbesserung des Erscheinungsbildes und der Präsentation im Kühlregal, einer Minimierung zusätzlich zugefügter Konservierungsmittel, einer Reduzierung wirtschaftlicher Verluste (FARBER 1991; NYCHAS und SKANDAMIS 2005) sowie einer größeren Flexibilität in der Distribution (PFEIFFER und MENNER 1999) bei. PFEIFFER und MENNER (1999) geben an, dass durch die MAP-Verpackung das Mindesthaltbarkeitsdatum im Vergleich zu unter atmosphärisch verpacktem Frischfleisch von zwei bis drei auf sechs bis acht Tage erhöht werden kann. Voraussetzungen dafür sind eine strikte Kühlung bei +4 °C und mikrobiell einwandfreie Produkte (PFEIFFER und MENNER 1999). Die Haltbarkeit von frischem Geflügel, das unter MAP gelagert wird, hängt ab von Gaskomposition, Lagerungstemperatur, Ausmaß der anfänglichen Schlachtkörperkontamination, Foliendurchlässigkeit für O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> und Kopfraum-Volumen (TOTOSAUS und KURI 2007). Durch MAP kann die Haltbarkeit von Geflügelfleisch um 50 bis 400 % erhöht werden (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Nach PATSIAS et al. (2006) kann durch MAP die Haltbarkeit von vorgekochtem Hühnchen um mindestens sechs Tage verlängert werden. Die wichtigsten Vor- und Nachteile der MAP-Technologie werden in Tabelle 4 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 4: Vor- und Nachteile der MAP-Technologie (nach FARBER 1991; DAVIES 1995; PFEIFFER und MENNER 1999; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002)**

Vorteile	Nachteile
Haltbarkeitsverlängerung	Höhere Kosten
Reduzierung wirtschaftlicher Verluste	Temperaturkontrolle
Distribution über längere Distanzen mit weniger Auslieferungen; Kostenreduktion	Höherer Maschinen- und Materialaufwand durch spezielle Anlagen, Folien, etc.; spezielles Training der Mitarbeiter
Gewährleistung einer höheren Produktqualität	Standardisierte Gaszusammensetzung für jede Produktart
Verbesserte Präsentation im Kühlregal; gute Sichtbarkeit des Produktes in der Verpackung	Große Verpackungsvolumina, nachteiliger Einfluss auf Transportkosten, mehr Platz zur Auslage im Einzelhandel
Kein oder nur geringer Einsatz von chemischen Konservierungsmitteln notwendig	Vorteile verschwinden nach Öffnen der Verpackung oder Beschädigung

Als modifizierte Atmosphäre für Frischfleisch werden üblicherweise Kombinationen aus Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff in unterschiedlichen Konzentrationen eingesetzt

(DAVIES 1995; KRÄMER 2002; YOUNG et al. 1988). Die Auswahl des geeigneten Gasgemisches wird bestimmt durch die im Produkt vorherrschende Mikroflora, der Empfindlichkeit des Produktes gegenüber CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> sowie der Notwendigkeit zur Farbstabilisierung (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002; NYCHAS und SKANDAMIS 2005).

#### 2.5.2.1 SAUERSTOFF (O<sub>2</sub>)

In Frischfleisch ist die helle rote Farbe ein Qualitätskriterium (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Sauerstoff (O<sub>2</sub>) wird zur Aufrechterhaltung dieser Farbe in Frischfleischverpackungen bevorzugt eingesetzt, da es Myoglobin in seiner sauerstoffangereicherten Form (Oxymyoglobin) erhält und die Bildung von Metmyoglobin verzögert (CHURCH 1994; DAVIES 1995; FARBER 1991; MÜLLER et al. 2009; NYCHAS und SKANDAMIS 2005; WALSH und KERRY 2002; YOUNG et al. 1988). Hierfür werden hohe Konzentrationen benötigt (MÜLLER et al. 2009; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Für die Verpackung von Frischfleisch werden daher üblicherweise O<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen 70 Vol. % und 80 Vol. % O<sub>2</sub> eingesetzt (CHURCH 1994; MÜLLER et al. 2009; PFEIFFER und MENNER 1999). O<sub>2</sub> fördert in Schutzgasverpackungen das Wachstum aerober Keime (CHURCH 1994; FARBER 1991; NYCHAS und SKANDAMIS 2005). In Frischfleisch insbesondere das von *Pseudomonas* ssp. unter Bildung von Kohlendioxid in äquivalenter Menge (PFEIFFER und MENNER 1999). Es hemmt dagegen mit unterschiedlicher Sensitivität das Wachstum strikt anaerober Keime (CHURCH 1994; FARBER 1991; NYCHAS und SKANDAMIS 2005).

#### 2.5.2.2 STICKSTOFF (N<sub>2</sub>)

Stickstoff (N<sub>2</sub>) ist ein inertes Gas und wird als Füllstoff eingesetzt, um einem Packungskollaps vorzubeugen. Dieser kann durch Atmosphären mit einem hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt, durch die Absorption von diesem in das verpackte Produkt, auftreten (CHURCH 1994; DAVIES 1995; LAMBERT et al. 1991; YOUNG et al. 1988). Das geschmacksneutrale Gas besitzt sowohl in Wasser als auch in Fett eine geringe Löslichkeit (CHURCH 1994; DAVIES 1995). N<sub>2</sub> dient zur Verzögerung von Fettoxidationen und zur Wachstumshemmung aerober Mikroorganismen zudem als Ersatz für O<sub>2</sub> (CHURCH 1994; FARBER 1991; SMITH et al. 1990).

#### 2.5.2.3 KOHLENDIOXID (CO<sub>2</sub>)

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) stellt innerhalb der Gasmischung einer MAP-Verpackung die wichtigste Komponente dar (DEVLEIGHIERE et al. 1998 a; b; SMITH et al. 1990). Das wasser- und fettlösliche Gas besitzt bakterio-statische Effekte, indem es die Lag-Phase des Bakterienwachstums verlängert und die Wachstumsrate während der logarithmischen Phase vermindert (CHURCH 1994; FARBER 1991; YOUNG et al. 1988), zudem wirkt es fungistatisch (SMITH et al. 1990). Es wandelt die vorherrschende Mikroflora in eine Mikroflora mit

geringerem Verderbspotential um (KOUTSOUMANIS et al. 2008). Das Gas übt seinen antimikrobiellen Effekt in der Wasserphase des Produktes aus (DEVLIEGHIERE et al. 1998a; b). Durch die Reaktion von  $\text{CO}_2$  mit dem wasserhaltigen Fleischsaft entsteht  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , was zu  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{H}^+$  dissoziiert. Aufgrund dieser Reaktion sinkt der pH-Wert des Fleisches (SØRHEIM et al. 2004). Nach Zugabe von  $\text{CO}_2$  in den Kopfraum der Verpackung wird es vom Fett- und Muskelgewebe solange absorbiert, bis ein Gleichgewicht zwischen Fleisch und Schutzgasatmosphäre eingetreten ist (GILL 1988; JAKOBSEN und BERTELSEN 2002). Nach PFEIFFER und MENNER (1999) stellt sich dieses Lösungsgleichgewicht in Abhängigkeit von der Größe des Fleischstückes zwei bis vier Tage nach dem Verpacken ein. Die Absorption, die die Schutzgaszusammensetzung im Kopfraum der Verpackung beeinflusst (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002), hängt von verschiedenen intrinsischen und extrinsischen Faktoren ab (DEVLIEGHIERE 1998a). Sie wird u. a. bestimmt durch den pH-Wert des Muskelgewebes, die Temperatur (GILL 1988; JAKOBSEN und BERTELSEN 2002), die Größe und Form des Fleischstückes (GILL 1988), die Zusammensetzung des Produktes (Wasser- und Fettanteile) und die Größe der Fleischoberfläche (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002). Die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  in der wässrigen Phase steigt mit pH-Werten  $> 5,0$  (DEVLIEGHIERE et al. 1998a; GILL 1988; JAKOBSEN und BERTELSEN 2002). Durch die Reduktion des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes infolge der hohen Löslichkeit kann ein Packungskollaps entstehen (CHURCH 1994; GILL 1988; JAKOBSEN und BERTELSEN 2004; SMITH et al. 1990), der nur durch die Zugabe von  $\text{CO}_2$  im Überschuss verhindert werden kann (JAKOBSEN und BERTELSEN 2004). Die keimhemmende Wirkung von  $\text{CO}_2$  wird durch Ausgangskeimgehalt, Anwendungszeitpunkt, Lagerungstemperatur, Gaskonzentration (FARBER 1991; YOUNG et al. 1988), Wasseraktivität, Fassungsvermögen der Verpackung an Kopfraum-Gas, Mikroorganismen-Art, mikrobieller Wachstumsphase (FARBER 1991) sowie Durchlässigkeit der Verpackungsfolie (SMITH et al. 1990) beeinflusst. Niedrige Temperaturen erhöhen die antimikrobielle Wirksamkeit (GOULD 1996).  $\text{CO}_2$  hemmt hauptsächlich das Wachstum aerober Verderbnisorganismen (SMITH et al. 1990), auch in Gegenwart von  $\text{O}_2$  (BRANSCHIED et al. 2007). Gram-negative Bakterien sind empfindlicher gegenüber  $\text{CO}_2$  als gram-positive Bakterien (CHURCH 1994; LAMBERT et al. 1991). Die wichtigsten gram-positiven Bakterien sind fakultativ anaerob oder strikt anaerob, wohingegen die wichtigsten gram-negativen Bakterien strikte Aerobier sind (GILL und TAN 1980). In proteinreichen, kühlgelagerten Lebensmitteln wie Fleisch führt dieses zu einer Hemmung von gram-negativen Bakterien der typischen Verderbnisflora wie *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter* spp. und *Moraxella* spp. (CHURCH 1994; LAMBERT et al. 1991). DEVLIEGHIERE et al. (1998a) konnten eine signifikant längere Lag-Phase und eine verringerte Wachstumsphase von *Pseudomonas fluorescens* mit steigenden  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen nachweisen. Gram-positive Milchsäurebakterien und *Brochothrix thermosphacta* sind resistent gegenüber der hemmenden Wirkung und können sich in einer

anaeroben Schutzgasverpackung zur dominierenden Flora entwickeln (CHURCH 1994; FARBER 1991) und hohe Keimdichten erzielen (LÜCKE und TROEGER 2007). Auch *Enterobacteriaceae* werden durch CO<sub>2</sub> nur wenig beeinflusst (ROTABAKK et al. 2006). BAKER et al. (1985) konnten nachweisen, dass in zerkleinertem Hühnchenfleisch bei einer Kühllagerung (+2 °C) unter verschiedenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen nach 28 Tagen *Lactobacillus* spp. mit 88 bis 99 % die dominierende Spezies darstellt, wohingegen *Pseudomonas* spp. als anfänglich dominierende Spezies an der Gesamtflora nur noch einen Anteil von 1 bis 10 % besitzen. Die Höhe der eingesetzten CO<sub>2</sub>-Konzentration hängt von der gewünschten Haltbarkeit ab. Für die Verpackung von Frischfleisch werden gewöhnlich CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Bereich von 15 bis 40 % eingesetzt. Höhere Konzentrationen können durch eine Denaturierung von Fleischproteinen zum Ausbleichen oder Verfärben der Fleischoberfläche führen (FARBER 1991). NARASIMHA RAO und SACHINDRA (2002), SØRHEIM et al. (2004) und PFEIFFER und MENNER (1999) geben CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Bereich von 10 bis 20 % an, die bereits signifikant das Wachstum der Verderbniserreger in frischem Fleisch hemmen können. Steigende Konzentrationen erhöhen die Wirksamkeit (SØRHEIM et al. 2004), wobei Konzentrationen von 25 % aufgrund der unerwünschten Farbveränderungen nicht überschritten werden sollten (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). FARBER (1991) sieht in Verpackungen mit hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen eine Sicherheitslücke. Verderbniserreger, wie *Pseudomonas* spp., verursachen im Laufe des Verderbs schleimige Fleischoberflächen sowie einen typischen Fehlgeruch und -geschmack. Wird das Wachstum aerober Keime, die den Verbraucher vor einem möglichen Verderb warnen können, durch CO<sub>2</sub> gehemmt, kann das Wachstum und/oder die Toxinbildung von bestimmten psychrotrophen pathogenen Keimen, wie *L. monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* oder *Aeromonas hydrophila* weiterhin erfolgen (DAVIES 1995; FARBER 1991). Tabelle 5 zeigt abschließend eine Zusammenfassung der Aufgaben von O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> in Schutzgasverpackungen.

**Tabelle 5: Aufgaben der Schutzgase (NYCHAS und SKANDAMIS 2005)**

Eingesetztes Gas	Wirkung
<b>Sauerstoff (O<sub>2</sub>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ erhält im Fleisch die frische, natürliche Farbe</li> <li>○ erhält die Atmung</li> </ul>
<b>Stickstoff (N<sub>2</sub>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ hemmt das Wachstum von anaeroben Mikroorganismen</li> <li>○ wird verwendet, um Luft, insbesondere O<sub>2</sub> zu entfernen und schützt vor einem Verpackungskollaps bei Produkten mit hohen Wasser- und Fettgehalten</li> </ul>
<b>Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ hemmt das Wachstum der meisten Bakterien und Schimmelpilze</li> </ul>

#### 2.5.2.4 KOHLENMONOXID (CO)

Kohlenmonoxid (CO) wird als Gaskomponente einer MAP-Verpackung bisher hauptsächlich experimentell eingesetzt, da Einschränkungen hinsichtlich der Sicherheit, gesetzlichen Anforderungen und Berücksichtigung der Kosten eine gewerbliche Nutzung bisher nicht möglich gemacht haben (NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Als weiterer limitierender Faktor wird die Toxizität von CO aufgeführt (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Myoglobin besitzt eine hohe Affinität zu CO, wodurch es zur Bildung von Carboxymyoglobin (MbCO) kommt, das eine leuchtend kirschrote Farbe bildet und Verfärbungen der Oberfläche verhindert. MbCO ist beständiger gegenüber Oxidationen als Oxymyoglobin, da CO mit der Eisen-Porphyrin-Stelle des Myoglobin-Moleküls eine stärkere Bindung eingeht. Die Zugabe von geringen Mengen an CO kann unerwünschten Farbveränderungen, die durch hohe Konzentrationen an CO<sub>2</sub> hervorgerufen werden können, entgegenwirken (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Es bieten sich hierfür in der Schutzgasverpackung CO-Konzentrationen von 0,5 % oder mehr an (HUNT et al. 2004). Auf das mikrobielle Wachstum selbst hat CO keinen Einfluss (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002).

#### 2.5.3 KÜHLEN

Die Temperatur ist der wichtigste Faktor, der das mikrobielle Wachstum und damit die Haltbarkeit bestimmt (JAMES 2002). Nach KOUTSOUMANIS und TAOUKIS (2005) ist die Lagerung bei Kühltemperaturen eine der effektivsten Verfahren, um die Sicherheit von Fleisch und Fleischprodukten gewährleisten zu können. Durch Kälte werden Mikroorganismen nicht abgetötet, aber in ihrem Wachstum gehindert (STOLLE 2004). Die Vermehrung und Toxinbildung der meisten pathogenen Mikroorganismen wird bei einer Temperatur von +4 bis +5 °C gehemmt, wohingegen sich bestimmte psychrotolerante Mikroorganismen, wie *Listeria monocytogenes*, auch noch bei Temperaturen unter +5 °C vermehren können. Bei einem Absenken der Temperatur auf +4 bis 0 °C wird allerdings das Wachstum verlangsamt und die Lag-Phase verlängert (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005; KRÄMER 2002). Die Entwicklung der jeweiligen Verderbnisflora während der Kühllagerung erfolgt in Abhängigkeit von ihren minimalen Wachstumstemperaturen (vgl. Kapitel 2.4.3.3) sowie weiteren Umgebungsbedingungen, wie der Kühltemperatur und Verpackungsart (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005; STOLLE 2004).

#### 2.5.4 GEWÜRZE

Einige Gewürze besitzen eine antimikrobielle Aktivität gegenüber Bakterien und Schimmelpilzen. Sie wird hervorgerufen durch bestimmte chemische Inhaltsstoffe oder ätherische Öle, die normalerweise die lebende Pflanze vor mikrobiellen Angriffen schützen

soll. Zu diesen Gewürzen zählen Zimt, Nelke, Senfkörner, Oregano und Salbei (BARBUT 2004). Dabei werden einzelne Mikroorganismen unterschiedlich beeinflusst, wobei gramnegative Mikroorganismen üblicherweise empfindlicher sind als grampositive (WEBER 2003). Nach LÜCKE und TROEGER (2007) spielt die antimikrobielle Wirkung einiger Gewürz-Inhaltsstoffe für Fleischerzeugnisse, die im deutschsprachigen Raum nach den gängigen Rezepturen produziert werden, kaum eine Rolle.

### **2.5.5 Natriumchlorid (NaCl)**

Der Einsatz von Natriumchlorid (NaCl) in Fleisch gehört zu ältesten Methoden der Haltbarmachung (BARBUT 2004; HUI 2007; SALLAM und SAMEJIMA 2004). Die Zugabe von NaCl führt zu einer Erniedrigung des  $a_w$ -Wertes, wodurch für das mikrobielle Wachstum weniger frei verfügbares Wasser vorhanden ist (BARBUT 2004; HILDEBRANDT 2004; KRÄMER 2002; SALLAM und SAMEJIMA 2004). Zudem kann ein hoher NaCl-Gehalt außerhalb der Bakterienzelle osmotisch wirksam sein und sich ungünstig auf den Stoffwechsel der Bakterienzelle auswirken. Während im Inneren der Zelle eine NaCl-Konzentration von 0,90 % herrscht, verursachen hohe externe Konzentrationen eine Plasmolyse, wodurch zur Wiederherstellung eines Gleichgewichtes Wasser aus der Bakterienzelle strömt (BARBUT 2004). Durch die Zugabe von NaCl werden vor allem *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter*, *Enterobacteriaceae* sowie *Clostridium*- und *Bacillus*-Arten gehemmt. Mikrokokken, *Staphylococcus aureus*, halophile Bakterien und salztolerante Hefen sind gegenüber NaCl in Abhängigkeit von der Konzentration und der Temperatur weniger empfindlich (KRÄMER 2002). BARBUT (2004) empfiehlt den Einsatz von Konzentrationen im Bereich von 10 bis 15 %, um ein Produkt bei Umgebungstemperatur haltbar zu machen. BREWER (1999) gibt für die Hemmung gram-negativer, mesophiler sowie psychrotropher Mikroorganismen eine Konzentration im Bereich von 4 bis 10 % Salz vor. Milchsäurebildende Mikroorganismen tolerieren NaCl-Konzentrationen von 4 bis 15 %, sporenbildende Mikroorganismen Konzentrationen von 5 bis 6 % (BREWER 2000). Zur Hemmung von Salmonellen werden nach MCKEE (2007b) Konzentrationen im Bereich von 3 bis 4 % benötigt. HILDEBRANDT (2004) gibt Konzentrationen von 8 % an, die notwendig sind, um die Vermehrung von Salmonellen, *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum* Typ A und *Clostridium perfringens* zu hemmen. Die Vermehrung von *Pseudomonas fluorescens* wird bei Konzentrationen von 5 % unterbunden. Dahingegen dienen NaCl-Konzentrationen im Bereich von 1,5 bis 2 % nur als ein Hemmfaktor innerhalb des Hürdenkonzeptes, da sie in diesen Konzentrationen keine vollständig konservierende Wirksamkeit besitzen (HILDEBRANDT 2004). Die alleinige Zugabe von NaCl zur Haltbarmachung ist ungewöhnlich. Sie erfolgt meist zusammen mit anderen haltbarmachenden Methoden (BREWER 2000).



### 2.5.6 GENUSSSÄUREN

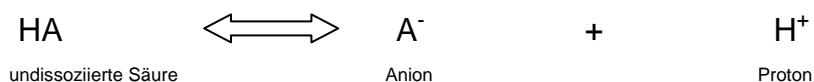
Genusssäuren erfüllen im Lebensmittel vier wichtige Aufgaben, wobei einer Säure gleichzeitig mehrere Funktionen zukommen können (STRATFORD 2000). Sie fungieren als:

- Säuerungsmittel
- Aromastoff
- Antioxidanz
- Konservierungsmittel.

Genusssäuren kommen im Lebensmittel natürlich vor oder werden diesem zu einem späteren Zeitpunkt künstlich zugesetzt (NAZER et al. 2005; THERON und LUES 2007). Ihre antimikrobielle Wirkung in Lebensmitteln wird in der Literatur bereits seit Jahren vielfach beschrieben (BOOTH 1985; CARPENTER und BROADBENT 2009; GOULD 1996; HIRSHFIELD et al. 2003; LAMBERT und STRATFORD 1999; STRATFORD 2000; THERON und LUES 2007). Es handelt sich um schwache organische Säuren, die Kohlenstoff (C) in ihrem Grundgerüst besitzen und weniger reaktiv als anorganische Säuren sind (MORTIMER und MÜLLER 2007). Sie unterscheiden sich grundsätzlich in ihrer Struktur und ihrer antimikrobiellen Aktivität auf verschiedene Bakterien (NAKAI und SIEBERT 2003). Nach STRATFORD (2000) muss eine schwache organische Säure für eine antimikrobielle Wirksamkeit folgende Eigenschaften besitzen. Sie muss:

- lipophil sein
- schnell durch die Membran diffundieren können und sich infolge eines niedrigen  $pK_s$ -Wertes innerhalb des Cytoplasmas anreichern
- in der Lage sein, ausreichend Protonen auch bei einer niedrigen Hemmstoffkonzentration abzugeben, um die Pufferung des Cytoplasmas zu überwinden und den neutralen pH-Wert abzusenken.

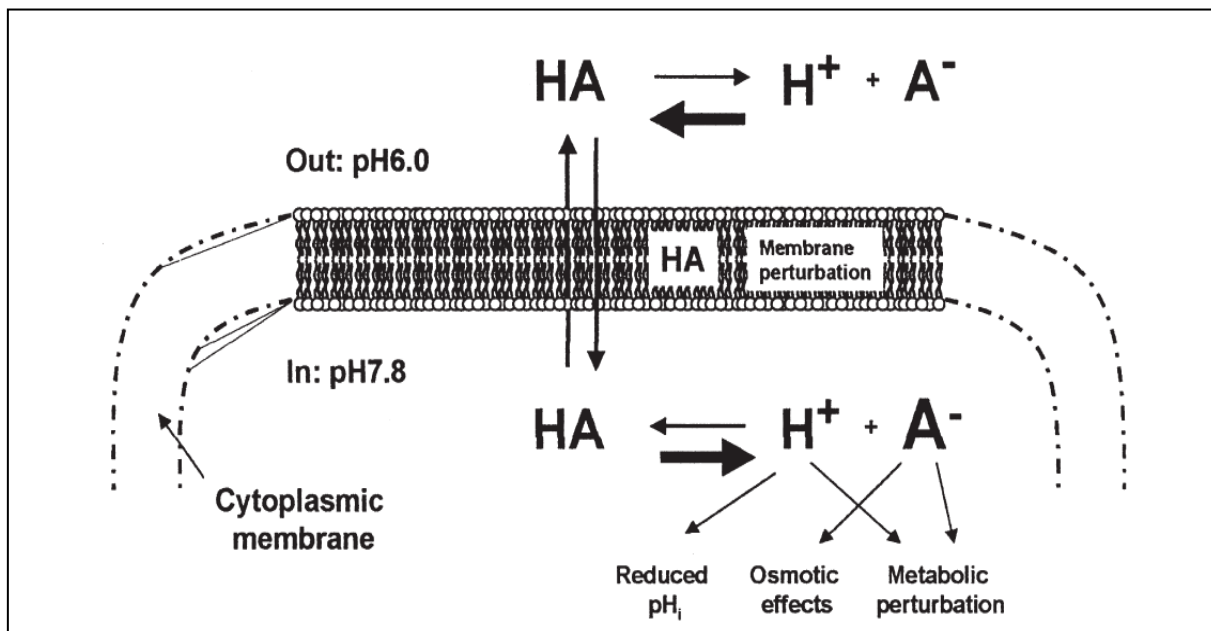
Bei den im Lebensmittel eingesetzten organischen Säuren bzw. Genusssäuren handelt es sich, wie bereits beschrieben, um schwache Säuren, die im Gegensatz zu starken Säuren, in wässriger Lösung nur teilweise dissoziiert vorliegen. Eine Ansäuerung bedeutet die Abgabe von Protonen, die von der Säurestärke bestimmt wird. In wässrigen Lösungen existiert eine schwache Säure in einem pH-abhängigen Gleichgewicht zwischen undissoziiertem Säuremolekül und dissoziierten Anionen und Protonen (BRUL und COOTE 1999; LAMBERT und STRATFORD 1999; STRATFORD 2000; THERON und LUES 2007).



Der pH-Wert, bei dem gleiche Mengen an molekularer Säure und geladenen Anionen existieren, wird als  $pK_s$ -Wert bezeichnet (LAMBERT und STRATFORD 1999; STRATFORD 2000). Organische Säuren besitzen eine Vielzahl an  $pK_s$ -Werten und sind an verschiedenen pH-Werten unterschiedlich dissoziiert (STRATFORD 2000).

Organische Säuren bzw. Genusssäuren verfügen sowohl über eine bakteriostatische als auch bakterizide Wirkung (RICKE 2003; THERON und LUES 2007). Bei den im Lebensmittel eingesetzten Konzentrationen überwiegt jedoch die bakteriostatische Wirkung (DAVIDSON und TAYLOR 2007), die eine Wachstumshemmung von Mikroorganismen verursacht (LAMBERT und STRATFORD 1999). Die antimikrobielle Wirkung von Genusssäuren beruht nicht nur auf einem einzigen Effekt (STRATFORD 2000). Neben der Ansäuerung des Mediums, kommt der Wirkung über den ungeladenen, undissoziierten Zustand der Säure, der von einem niedrigen pH-Wert begünstigt wird, die größte Bedeutung zu (BRUL und COOTE 1999; DAVIDSON und TAYLOR 2007; LAMBERT und STRATFORD 1999; THERON und LUES 2007). Für die Wirksamkeit des undissoziierten Säureanteils gibt es verschiedene Lösungsansätze, da der Mechanismus der Wachstumshemmung noch nicht endgültig geklärt wurde (CARPENTER und BROADBENT 2009; HIRSHFIELD et al. 2003; RICKE 2003). Es wird davon ausgegangen, dass undissoziierte, lipophile Moleküle, wie schwache Säuren, ungehindert durch die Plasmamembran in das Cytoplasma von Bakterien- oder Hefezellen diffundieren können. Dieses besitzt im Vergleich zum äußeren Milieu einen höheren, im neutralen Bereich liegenden pH-Wert, um Veränderungen von Proteinen, Enzymen, Nukleinsäuren und Phospholipiden innerhalb der Zellstruktur vorzubeugen (DAVIDSON et al. 2007). Nach Diffusion der Moleküle ins Zellinnere kommt es zu einer Dissoziation der Säure in geladene Protonen und Anionen. Diese können die Plasmamembran ihrerseits nicht mehr durchdringen und akkumulieren sich infolgedessen in der Zelle (BOOTH 1985; BRUL und COOTE 1999; HIRSHFIELD et al. 2003; STRATFORD 2000; THERON und LUES 2007; YOUNG und FOEGEDING 1993). Die Diffusion erfolgt so lange, bis ein Gleichgewicht zwischen dissoziierter und undissoziierter Säure erreicht wurde. Dieses Gleichgewicht wird vom  $pK_s$ -Wert der Säure und dem pH-Wert des Cytoplasmas bestimmt (YOUNG und FOEGEDING 1993). Die Zelle ist bestrebt, die Protonen über ein Protonenabflusssystem unter Energieverbrauch in Form von ATP nach außen abzugeben. Übersteigt die erhöhte Protonenakkumulation die Pufferkapazität des Cytoplasmas oder die Fähigkeit des Protonenabflusssystems infolge eines erhöhten ATP-Verbrauchs, fällt der innere pH-Wert. Durch die Ansäuerung des Cytoplasmas kommt es zur Denaturierung von Nukleinsäuren und Enzymen sowie einer Hemmung von Stoffwechselwegen (STRATFORD 2000). Neben der Ansäuerung des Cytoplasmas durch Protonen übt die intrazelluläre Akkumulation von Säureanionen, insbesondere in einem nur leicht saurem Milieu mit pH-Werten  $> 5$ , eine noch größere

Hemmwirkung auf das Wachstum von Bakterien aus (ROE et al. 2002; CARPENTER und BROADBENT 2009). Es wird vermutet, dass die intrazelluläre Akkumulation der Säureanionen über verschiedene Mechanismen die zellulären Funktionen hemmt. Ein unkontrollierter Verlauf führt zu einer Erhöhung der Osmolarität des Cytoplasmas, die eine letale Erhöhung des Turgors und einen verstärkten Wassereinstrom in die Zelle zur Folge hat (HIRSHFIELD et al. 2003; CARPENTER und BROADBENT 2009). Die Zelle versucht es durch das Ausscheiden der Anionen oder anderer, im Cytoplasma gelöster Substanzen, wie z. B. Glutamat, zu kompensieren (ROE et al. 2002). Größere Mengen an akkumulierten Säureanionen könnten sich durch die Beeinflussung der Aktivität von Enzymreaktionen im Cytoplasma auf verschiedene Stoffwechselwege auswirken. Desweiteren können sie auch durch Störung der Membranfunktion eine Wachstumshemmung bewirken, indem sich organische Säuren in der Lipid-Doppelschicht innerhalb der Membran in hohen Konzentrationen ablagern (HIRSHFIELD et al. 2003) (Abb. 5).



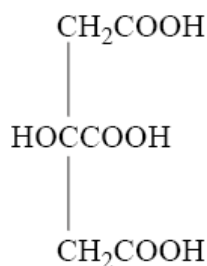
**Abbildung 5: Schematische Darstellung der antimikrobiellen Aktivität schwacher organischer Säuren (HIRSHFIELD et al. 2003)**

Die Effektivität der antimikrobiellen Wirkung hängt ab von der Säurekonzentration, der Säureart (MCKEE 2007b) und vom pK<sub>s</sub>-Wert (DOORES 2005; MCKEE 2007b). Nach RICKE (2003) kann die antimikrobielle Aktivität auch vom physiologischen Status des Organismus beeinflusst werden. Durch die Anzahl und die Art der Mikroorganismen, ihre Stoffwechselaktivität und mikrobiologische Interaktionen kann sie erhöht oder erniedrigt werden (SAMELIS UND SOFOS 2005). Wenn pH-Werte des umgebenden Milieus oberhalb der pK<sub>s</sub>-Werte der entsprechenden Säure liegen, kann dieses eine Verringerung der antimikrobiellen Aktivität bewirken (GOULD 1996).

## 2.6 CITRONENSÄURE (CS)

### 2.6.1 CHEMISCHER AUFBAU UND GEWINNUNG

Citronensäure (2-Hydroxypropan-1,2,3-Tricarbonsäure) besitzt als Tricarbonsäure drei Carboxygruppen (COOH) und noch eine weitere OH-Gruppe an einem der C-Atome (Citronensäure, wasserfrei:  $C_6H_8O_7$ , Molekulargewicht: 192,12 g; Citronensäure-Monohydrat:  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ , Molekulargewicht: 210,14 g) (DOORES 2005; MORTIMER und MÜLLER 2007). Sie kommt als ein geruchloses weißes, kristallines Pulver oder als farbloses Kristall vor (DOORES 2005; WIEDER 1989). Sie ist wasserlöslich und nahezu unlöslich in Fett (JAMILAH et al. 2008). Citronensäure besitzt drei  $pK_S$ -Werte:  $pK_1$ : 3,1;  $pK_2$ : 4,8;  $pK_3$ : 6,4 (DOORES 2005; NIELSEN und ARNEBORG 2007; OUATTARA et al. 1997). Sie bildet aufgrund ihrer drei Carboxygruppen drei Anionen: überwiegend einfach geladene oberhalb des  $pK_1$ , doppelt geladene oberhalb  $pK_2$  und dreifach geladene über  $pK_3$  (STRATFORD 2000). Citronensäure existiert, wie andere Genusssäuren, als reine Säure und in Form ihres Salzes Citrat (THERON und LUES 2007).



**Abbildung 6: Strukturformel von Citronensäure (THERON und LUES 2007)**

Citronensäure wurde 1784 von W.C. Scheele entdeckt, nachdem er aus Zitronensaft eine Säure im kristallinen Zustand herstellte (POHLOUDEK-FABINI 1959). Sie ist eine in der Natur sehr weit verbreitete Fruchtsäure, die aus dem Saft der Zitrone oder anderen Früchten wie Limetten, Ananas oder Stachelbeeren extrahiert wird (JAMILAH et al. 2008). Sie ist in Form ihres Salzes Citrat zudem Zwischenprodukt des Citronensäurezyklus. Der menschliche Körper enthält etwa 80 mg Citrat, wovon sich der größte Teil in den Knochen befindet. Pro Tag werden 0,2 bis 1,0 g Citrat mit dem Urin ausgeschieden. Industriell wird sie hauptsächlich mikrobiologisch mit Hilfe von Hochleistungs-Mutantenstämmen des Schimmelpilzes *Aspergillus niger* oder anderen *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten aus Zuckerrübenmelasse hergestellt (BELITZ et al. 2008; KRÄMER 2002). Die Produktion erfolgt über das Oberflächenverfahren oder aerobe Submersverfahren, wobei dem erstgenannten Verfahren eine größere Bedeutung zukommt. Die Citronensäureausbeute aus dem Zucker liegt innerhalb von 8 bis 14 Tagen bei 60 bis 80 % (KRÄMER 2002).

### 2.6.2 EINSATZ IM LEBENSMITTEL

Citronensäure ist im Bereich der Lebensmittel die am häufigsten eingesetzte Genusssäure. Sie wird hauptsächlich zur Geschmacksverbesserung oder als Säuerungsmittel eingesetzt (STRATFORD 2000; WIEDER 1989). Durch das Einstellen eines niedrigen pH-Wertes verleiht sie dem Lebensmittel einen sauren Geschmack. Die pH-Reduktion kann gleichzeitig einen haltbarmachenden Effekt bewirken. Sie besitzt von allen im Lebensmittelbereich eingesetzten Säuren einen Anteil von 60 % (CLASSEN et al. 2001). Sie findet zu großen Teilen Verwendung im Bereich der alkoholfreien Erfrischungsgetränke, ebenso in Wein. Darüber hinaus wird sie in Süßwaren, Salatdressings, Konfitüren und Gelees sowie zur Enzymblockierenden und farbstabilisierenden Wirkung beim Schälen von Obst und Gemüse verwendet. Zudem dient sie als Komplexbildner, Rohstoff für Emulgatoren und als Synergist zu Antioxidantien, durch die Komplexbildung von Metallionen, die als Katalysator zur Auslösung oder Beschleunigung von Oxidationsreaktionen dienen. In Fruchtkonserven sowie Dosengemüse kann durch eine vorherige Säuerung die Hitzeresistenz von Mikroorganismen und die Sterilisationszeit bei Hitzebehandlungen reduziert werden. Durch eine kontinuierliche Ansäuerung können die Keimung und der Ausbruch von Sporen, die die Hitzebehandlung überlebt haben, genauso wie verschiedene Enzymtätigkeiten, gehemmt werden (WIEDER 1989; DOORES 2005; KRÄMER 2002).

### 2.6.3 ANTIMIKROBIELLE EIGENSCHAFTEN

Die beschriebene antimikrobielle Wirksamkeit organischer Säuren (vgl. Kapitel 2.5.6) wird vielfach auch Citronensäure zugeschrieben (BOOTH 1985; CARRASCO et al. 2006; DEL RIO et al. 2008; YOUNG und FOEGEDING 1993). OUATTARA et al. (1997) geben auf Basis des Säuregewichtes hinsichtlich der antimikrobiellen Wirksamkeit auf das Wachstum fleischtypischer Bakterien folgende Reihenfolge an: Essigsäure > Propionsäure > Milchsäure > Citronensäure. Die umgekehrte Reihenfolge ergibt sich, wenn die Wirksamkeit bezogen auf ihren Anteil an undissoziierten Molekülen bewertet wird. Durch Citronensäure-Konzentrationen von  $\geq 0,5$  % konnte das Wachstum von *Brochothrix thermosphacta*, *Carnobacterium piscicola*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus sake*, *Pseudomonas fluorescens* und *Serratia liquefaciens* in einer Nährbouillon über eine Zeitspanne zwischen 24 und 120 Stunden signifikant ( $p \leq 0,05$ ) gehemmt werden (OUATTARA et al. 1997). Auch YOUNG und FOEGEDING (1993) bewerten die Hemmwirkung organischer Säuren auf das Wachstum von *Listeria monocytogenes* Scott A bezogen auf den Anteil an undissoziierter Säure folgendermaßen: Citronensäure > Milchsäure > Essigsäure. Auf Basis der Konzentration an undissoziierter Säure ist Citronensäure im Vergleich zu Ascorbin- und Milchsäure auch nach GIANUZZI und ZARITZKY (1996) am effektivsten. Diesen Aussagen

schließen sich sowohl CARRASCO et al. (2006) und VALERO et al. (2006) an. Trotz geringerer Mengen an undissoziierter Säure, die in die Bakterienzellen gelangen, kommt es zu einer schnelleren Ansäuerung des Cytoplasmas, da Citronensäure sehr schnell dissoziiert (CARRASCO et al. 2006; OUATTARA et al. 1997; YOUNG und FOEGEDING 1993), während dieses für Säuren wie Ascorbinsäure nur sehr langsam erfolgt (CARRASCO et al. 2006). Citronensäure führt zudem bei gleichen Konzentrationen zu einem stärkeren pH-Wert-Abfall des Nährmediums als Essig- und Propionsäure (OUATTARA et al. 1997). Die Säurewirkung über die undissoziierten Säuremoleküle steigt mit sinkenden pH-Werten und wird dementsprechend durch steigende Konzentrationen erhöht (DEBEVERE 1987; THERON und LUES 2007). VIRTO et al. (2005) geben an, dass die antimikrobielle Wirksamkeit von Citronensäure auf *Yersinia enterocolitica* von drei Faktoren abhängt: dem Zeitpunkt der Zugabe, der Temperatur der zugefügten Säure und ihrer Konzentration. Bei pH-Werten zwischen 3,5 und 3,0 besteht für die eingesetzten Konzentrationen gegenüber *L. monocytogenes* ein bakterizider, bei einem pH-Wert von 4,5 und 4,0 ein bakteriostatischer Effekt (GIANUZZI und ZARITZKY 1996). BUCHANAN und GOLDEN (1994) schreiben Citronensäure gegenüber *L. monocytogenes* sowohl eine bakterizide (Konzentrationen  $\geq 1$  M) als auch überlebensfördernde Wirkung zu. Letztere konnte insbesondere bei pH-Werten im Bereich 5,0 bis 6,0 beobachtet werden. Es wird vermutet, dass das Überleben der Mikroorganismen dadurch gefördert wird, dass Citrat als Kohlenstoffquelle verstoffwechselt werden kann (BUCHANAN und GOLDEN 1994; YOUNG und FOEGEDING 1993). Autoren wie BRUL und COOTE (1999), NIELSEN und ARNEBORG (2007), SIRAGUSA (1995), sowie STRATFORD (2000) stellen hinsichtlich der Hemmung von Mikroorganismen einen anderen Mechanismus vor, der von der klassischen Wirkweise abweicht. Nach Meinung der Autoren (STRATFORD 2000; NIELSEN und ARNEBORG 2007) kann die lipophobe Citronensäure nicht durch die Lipidmembran diffundieren. Sie wirkt stattdessen als Chelatbildner, der stabile Komplexe mit Metallionen, insbesondere mit Übergangsmetallionen, bildet. NIELSEN und ARNEBORG (2007) gehen davon aus, dass die Chelatbildung durch Citronensäure hauptsächlich mit  $Mg^{2+}$  und  $Ca^{2+}$ -Ionen aus dem Nährmedium erfolgt. Diese stehen den Mikroorganismen als Schlüsselsubstanzen für ihren Stoffwechsel nicht mehr zur Verfügung, was zu einer Wachstumshemmung führen kann. Das Ausmaß der Hemmung hängt ab vom jeweiligen Ionenbedarf der Mikroorganismen, der Konzentration an Metallionen im Medium sowie der Affinität der Säure gegenüber einzelnen Ionen ab. Auch die Chelatbildung wird vom pH-Wert bestimmt und nimmt in diesem Fall mit steigenden pH-Werten zu (STRATFORD 2000). Bei höheren pH-Werten liegen mehr Säureanteile in dissoziierter Form vor und besitzen dadurch eine höhere Affinität zur Bindung von Ionen (GRAHAM und LUND 1986). Citronensäure ist in der Lage, durch die Chelatbindung von  $Ca^{2+}$ -Ionen das Wachstum von proteolytischen *Clostridium botulinum* zu hemmen (GRAHAM und LUND 1986).

## 2.6.4 EINSATZ ALS ANTIMIKROBIELLER WIRKSTOFF IN FLEISCH UND FLEISCH-ERZEUGNISSEN

Der Einsatz von Citronensäure in Fleisch und Fleischerzeugnissen als antimikrobieller Wirkstoff wird in der Literatur vielfach beschrieben. Ihre Zugabe erfolgte bisher als Pulver in Form ihres Salzes über die Produktrezeptur, in den meisten Fällen allerdings als Lösung zur Dekontamination von Schlachtkörpern und Teilstücken durch Waschen (Spülen), Sprühen oder Eintauchen (CARPENTER und BROADBENT 2009). Die Dekontamination verfolgt das Ziel, Keime, die sich auf der Fleischoberfläche befinden, zu hemmen bzw. abzutöten, um die Haltbarkeit zu verlängern und das Risiko lebensmittelbedingter Erkrankungen zu minimieren (DEL RIO et al. 2007; GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009; FU et al. 1994). Der Erfolg einer Säurebehandlung zur Dekontamination hängt von verschiedenen Faktoren ab (Tab. 6).

**Tabelle 6: Einflussfaktoren der Säuredekontamination (SMULDERS 1995)**

Antimikrobielle Effekte	Sensorische Effekte
<p><b>(1) Säure-abhängig</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH-Wert (Säurekonzentration)</li> <li>intrazellulärer Dissoziationszustand der Säure</li> <li>Säuremischungen (beeinflusst Ausmaß der Dissoziation sowie mögliche gegenseitige Verstärkung)</li> </ul>	<p><b>(1) Farbe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>grau-braune Verfärbung des Fettgewebes</li> <li>Ausbleichen des Muskelgewebes</li> </ul>
<p><b>(2) Gewebe-abhängig</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fleischart (Beschaffenheit der Fleischoberfläche)</li> <li>Pufferkapazität</li> </ul>	<p><b>(2) Geruch/Geschmack</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>beim Einsatz von Essigsäure u. U. essigähnliche Off-Flavors</li> <li>auch bei Milchsäure Beeinflussung der sensorischen Noten</li> </ul>
<p><b>(3) Bakterien-abhängig</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>empfindliche (z. B. <i>Campylobacter jejuni</i>, <i>Yersinia enterocolitica</i>, <i>Pseudomonas</i>)</li> <li>resistente (z. B. <i>Escherichia coli</i>, <i>Listeria monocytogenes</i>)</li> </ul>	
<p><b>(4) Schlachttechnologie-abhängig</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ausmaß der anfänglichen mikrobiellen Kontamination</li> <li>Zusammensetzung des kontaminierten Materials</li> </ul>	
<p><b>(5) Dekontaminationstechnik-abhängig</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeitpunkt der Säureanwendung</li> <li>Kontaktzeit mit der Säure</li> <li>Temperatur der Säure/Säuresprays</li> <li>Sprühdruck, Sprühwinkel</li> <li>Applikationsmethode</li> </ul>	

Eingesetzt als antimikrobieller Wirkstoff in Fleisch- und Fleischerzeugnissen wurde Citronensäure unter anderem als Lösung auf Rinder- und Schweineschlachtkörpern (CUTTER und SIRAGUSA 1994; FU et al. 1994; PIPEK et al. 2004), Rinderfiletstreifen (ACUFF et al. 1987), Geflügelbeinen (DEL RIO et al. 2007; GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009), zerkleinertem Brust- und Beinflfleisch vom Huhn (MIN et al. 2007), Wiener Würstchen (DYKES et al. 1996), „Taiwanese-Style-Würstchen“ (WAN et al. 2007) oder als Pulver in Form ihres Salzes in zerkleinerter Putenbrust (JUNEJA und THIPPAREDDI 2004; MILLER et al. 1993). Die antimikrobielle Wirksamkeit von Citronensäure wird beeinflusst von Konzentration (GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009; SAMARA und KOUTSOUMANIS 2009; SAMELIS UND SOFOS 2005), Zeitpunkt, Art der Säureanwendung, Temperatur (PIPEK et al. 2004; SAMARA und KOUTSOUMANIS 2009; SAMELIS UND SOFOS 2005), Einwirkungsdauer (SIRAGUSA 1995) sowie pH-Wert, Wasseraktivität, Sauerstoff, Salz und die Anwesenheit anderer antimikrobieller Wirkstoffe (SAMELIS UND SOFOS 2005). Der Literatur zufolge werden zur Dekontamination Konzentrationen im Bereich von 1 bis 3 % (PIPEK et al. 2004; SIRAGUSA 1998; SMULDERS 1995) ohne einen nachteiligen Einfluss verwendet. Zu hohe Konzentrationen beeinflussen Qualitätsparameter, wie Farbe und Aroma (SIRAGUSA 1995; SMULDERS und GREER 1998). Bei einer Dekontamination sollte die eingesetzte Säure die gleiche Temperatur wie die Fleischoberfläche besitzen (PIPEK et al. 2004). Durch die Dekontamination mit organischen Säuren kann nach Aussagen von SIRAGUSA (1995) ungeachtet der Säureart die Keimzahl um 1 bis 2 Log-Stufen reduziert werden. Der Einsatz von Citronensäure erfolgt nach Angaben der Literatur alleine oder in Kombination mit anderen Säuren oder Haltbarmachungsverfahren. Behandelt werden Schlachtkörper, Teilstücke und fertige Produkte (z. B. Wiener Würstchen). Tabelle 7 gibt eine Übersicht über Untersuchungen zur Wirksamkeit von Citronensäure als antimikrobieller Wirkstoff in Fleisch und Fleischerzeugnissen. DEL RIO et al. (2007) untersuchten den Einfluss von Citronensäure zur Dekontamination von Geflügel, indem sie Hühnerbeine für 15 Min bei einer Temperatur von  $18 \pm 1$  °C in eine CS-Lösung (2 % w/v) eintauchten. Sie konnten sowohl direkt nach der Behandlung, als auch über eine fünftägige Lagerung, effektive Keimzahlreduktionen nachweisen, die für *Brochothrix thermosphacta*, *Enterobacteriaceae*, Coliforme und *Pseudomonas* spp. am höchsten waren. Untersuchungen von MIN et al. (2007) zeigen, dass die Keimzahl von *Enterobacter cloacae* durch die Zugabe von Citronensäure (0,2 M) zu beimpftem, zerkleinertem Brust- und Beinflfleisch (Huhn) um etwa 2 bis 3 Log-Einheiten reduziert werden kann. Für *Bacillus cereus* erfolgte hingegen nur eine Keimzahlreduktion um durchschnittlich 0,4 bis 0,9 Log-Einheiten. Auch nach JAMILAH et al. (2008) kann die Haltbarkeit von frischem Rindfleisch durch den Einsatz von Citronensäure allein oder in Kombination mit anderen Säuren verlängert werden.



**Tabelle 7: Beispiele für den Einsatz von Citronensäure (CS) zur Dekontamination von Fleisch und Fleischerzeugnissen**

Fleischart	Applikation	Konzentration	Wirkung	Quelle
<b>zerkleinertes Brust- und Beinflfleisch vom Huhn</b>	direkte Zugabe; Vermischen mit sterilem Glas-Stab; Lagerung 20 h +4 °C	CS-Lösung 0,2 M (100 ml/kg)	signifikante Reduktion von <i>Enterobacter cloacae</i> um ca. 2,7-3,2, von <i>Bacillus cereus</i> um ca. 0,4-0,9, von <i>Alcaligenes faecalis</i> um 0,1-0,4 Log <sub>10</sub> -Einheiten	<i>MIN et al. 2007</i>
<b>Hühnerbeine</b>	Dekontamination durch Eintauchen in Säurelösung (15 Min, +18 ± 1 °C); Lagerung 5 Tage bei +3 °C (± 1 °C)	CS-Lösung 2 % (w/v)	signifikante Reduktionen im Vergleich zur Kontrolle (Log <sub>10</sub> KbE/g) während Lagerung: mesophile GKZ: 1,70 ± 0,83; Psychrotrophe 1,27 ± 1,02; <i>Enterobacteriae</i> 2,15 ± 1,20; Coliforme: 1,98 ± 1,16; Mikrokokken: 1,32 ± 0,82; <i>B. thermosphacta</i> : 2,08 ± 1,60; Pseudomonaden: 1,76 ± 1,25; Milchsäurebakterien: 0,24 ± 0,57	<i>DEL RIO et al. 2007</i>
<b>Wiener Würstchen</b>	Oberflächenbehandlung durch Aufsprühen einer Säuremischung mit anschließender Vakuumverpackung	2 % Essigsäure (v/v) 0,1 % Ascorbinsäure (w/v); 0,8 % Milchsäure (w/v); 0,25 % CS (w/v) 16 ml/kg	keine Haltbarkeitsverlängerung; Oberflächenbehandlung durch Säure führt im Vergleich zur Kontrolle zu einer 1,6-1,8 fachen Reduktion der Haltbarkeit	<i>DYKES et al. 1996</i>
<b>Hühnerbeine</b>	Eintauchen in Säurelösung für 5 Minuten; Lagerung 8 Tage bei +4 °C	CS-Lösungen: 1 % w/v 2 % w/v 3 % w/v	signifikante Hemmwirkung auf <i>L. monocytogenes</i> bei Konzentration von 3 % im Vergleich zur Kontrolle, ebenso signifikante Reduktion (ca. 0,71-1,28 Log <sub>10</sub> -Einheiten) der mesophilen GKZ; höchste Konzentration führt im Vergleich zur Kontrolle zu einer Haltbarkeitsverlängerung von mind. 2 Tagen GKZ ca. 1,3 Log <sub>10</sub> -Einheiten niedriger als Kontrolle (Tag 0); Zahl an Milchsäurebakterien ca. 1 Log <sub>10</sub> -Einheit niedriger	<i>GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009</i>
<b>„Taiwanese-style sausages“ (Schwein)</b>	Dekontamination des Rohmaterials durch Eintauchen in Säurelösung für 1 Min; anschließende Trocknung der Würste bei 50 °C für 5 h; Verpackung, Lagerung	CS-Lösung 1,25 % (w/v)	signifikante Reduktion der aeroben GKZ nur an Tag 0 und 42; der Zahl der Coliformen an Tag 0 und 14; signifikante Reduktion von <i>E. coli</i> nur an Tag 42	<i>WAN et al. 2007</i>
<b>Lenden und daraus hergestellte Koteletts aus dekontaminierten Schweine-schlachtkörpern</b>	Einsprühen des Schlachtkörpers vor Eintritt in Kühlkammer; Lagerung von Lenden (vakuumverpackt) und Koteletts über 40 Tage bei 0 bis +2 °C bzw. +2 bis +4 °C	CS-Lösung 1,5 % (v/v)	keine signifikante Reduktion in den untersuchten Keimzahlen im Vergleich zur Kontrolle nach Zugabe der Säuremischung	<i>FU et al. 1994</i>
<b>Rinderfiletstreifen</b>	Einsprühen der Fleischoberfläche mit einer Säuremischung und anschließender Vakuumverpackung; Lagerung 84 Tage bei +4 °C ± 1 °C	1,0 % Milchsäure (v/v) 2,0 % Essigsäure (v/v) 0,25 % CS (w/v); 0,1 % Ascorbinsäure (w/v) 5 ml/Streifen	keine signifikante Reduktion in den untersuchten Keimzahlen im Vergleich zur Kontrolle nach Zugabe der Säuremischung	<i>ACUFF et al. 1987</i>

### 2.6.5 BEEINFLUSSUNG DER ANTIMIKROBIELLEN WIRKSAMKEIT

Die antimikrobielle Wirksamkeit von Genusssäuren wird in erster Linie von zwei wichtigen Faktoren beeinflusst: dem pH-Wert und der Pufferkapazität des Lebensmittels. Bei einem hohen pH-Wert bzw. einer beachtlichen Pufferkapazität ist der Abfall des pH-Wertes nach Zugabe der Säure beschränkt (STRATFORD 2000).

Resistenzen von Mikroorganismen gegenüber der Wirkung von Genusssäuren umfassen verschiedene Faktoren. Während gram-negative Bakterien keine äußere Membran aufweisen und die Säure leicht in die Zellen gelangen kann, besitzen gram-positive Bakterien durch ihre innere und äußere Membran eine größere intrinsische Resistenz. Einige Bakterien sind in der Lage, die hinzugefügten Säuren durch spezielle Enzyme abzubauen (BRUL und COOTE 1999). Mikroorganismen, wie Essigsäure- oder Milchsäurebakterien (z. B. *Lactobacillus* spp. und *Leuconostoc* spp.), zählen zu den säuretoleranten Bakterien. Essigsäurebakterien sind gegenüber normalen Säurekonzentrationen resistent und auch Milchsäurebakterien können in Lebensmitteln noch bei pH-Werten von 2,8 wachsen (STRATFORD 2000).

Hinsichtlich des Einsatzes von Genusssäuren zur Dekontamination wird die sogenannte Säuretoleranz (ATR: Acid Tolerance Response) pathogener Mikroorganismen diskutiert (SAMARA und KOUTSOUMANIS 2009). Einige dieser Mikroorganismen sind, wenn sie zunächst einer mäßig sauren Umgebung ausgesetzt werden, in der Lage, Zellen mit einer erhöhten Säureresistenz zu entwickeln (FOSTER 1999; THERON und LUES 2007). Es wird eine Synthese von Proteinen ausgelöst, die die Zelle vor einer noch stärkeren Ansäuerung schützen. Hierfür arbeiten unterschiedliche Systeme zusammen, die von der Wachstumsphase, dem Medium und der Säureart beeinflusst werden (FOSTER 1999). *Salmonella typhimurium* verfügt über eine solche Säureresistenz, die sich aus einem komplexen Abwehrsystem zusammensetzt, und ist dadurch in der Lage, pH-Werte < 3 zu überleben (BRUL und COOTE 1999). ÁLVAREZ-ORDOÑEZ et al. (2009) konnten nachweisen, dass das Überleben von *Salmonella typhimurium* bei extremen pH-Bedingungen vom Wachstumsmedium und von der eingesetzten Säure abhängt. Die Säuretoleranz kann dazu führen, dass durch die Gewöhnung von Mikroorganismen, wie *Salmonella typhimurium* (ÁLVAREZ-ORDOÑEZ et al. 2009), an die subletale Umgebung eines durch Säure dekontaminierten Lebensmittels, ihr Überleben beim Durchqueren des Magens erhöht und die Wahrscheinlichkeit einer Darmbesiedelung und somit ihre Virulenz steigt (SAMARA und KOUTSOUMANIS 2009). Inwieweit diese Säuretoleranz den Keimen einen Schutz gegenüber Genusssäuren, die im Lebensmittel eingesetzt werden, bietet, ist noch nicht abschließend geklärt (ÁLVAREZ-ORDOÑEZ et al. 2009; BRUL und COOTE 1999; STRATFORD 2000).

### 2.6.6 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

Mit Inkrafttreten der neuen lebensmittelrechtlichen Verordnungen zum 01. Januar 2006 ist es nach EG (VO) 853/2004 erlaubt, zur Dekontamination von Fleischoberflächen Substanzen einzusetzen, bei denen es sich nicht um Trinkwasser handelt. Allerdings bedarf die Zulassung solcher Substanzen zur Risikoabschätzung zuvor einer eingehenden wissenschaftlichen Bewertung durch die Europäische Behörde zur Lebensmittelsicherheit (EFSA) (DEL RIO et al. 2007; GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009; HUGAS und TSIGARIDA 2008).

Genusssäuren werden in Deutschland den Zusatzstoffen gleichgestellt und sind dementsprechend zulassungs- und kennzeichnungspflichtig. Citronensäure und ihre Na-, K- und Ca-Citrate (E 330 - E 333, E 380) sind nach geltender Zusatzstoffzulassungsverordnung (ZZuV, 1998) *quantum satis* für Lebensmittel allgemein zugelassen, müssen aber entsprechend deklariert werden. Die Angabe *quantum satis* besagt dabei, dass die Citronensäure in der gerade technologisch erforderlichen Menge, unter Beachten und Einhalten einer „Guten Herstellungspraxis“ und ohne Irreführung des Verbrauchers eingesetzt wird (CLASSEN et al. 2001).

### 3 MATERIAL UND METHODEN

#### 3.1 ALLGEMEINES

Bei Putenhackfleisch handelt es sich um ein leicht verderbliches Lebensmittel. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, in einem ersten Untersuchungsabschnitt den mikrobiologischen Status quo zu erfassen, um in den folgenden Untersuchungsabschnitten den Einfluss des Herstellungsprozesses und die Eignung mikrobiologischer Hürden zur Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität unter Bewahrung der Produktqualität über eine bestimmte Lagerungsdauer zu überprüfen. Dabei sollte das Verbraucherverhalten (Unterbrechung Kühlkette, erhöhte Lagerungstemperaturen) als eine zentrale Determinante berücksichtigt werden. Um den Einfluss sämtlicher Faktoren erfassen zu können, wurden die folgenden Untersuchungsabschnitte gewählt (Tab. 8). Dabei wurden jeweils mehrere, voneinander unabhängige und zu unterschiedlichen Zeitpunkten produzierte Chargen untersucht. Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden 1242 Proben analysiert.

**Tabelle 8: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungsabschnitte**

Abschnitt		Parameter	Funktion
I	Mikrobiologischer „Status quo“ bei industriell hergestelltem Putenhackfleisch	chemisch, physikalisch, mikrobiologisch	Ist-Zustand erfassen
II	Qualitätsverbesserung durch Prozessschrittanalyse	chemisch, physikalisch, mikrobiologisch	Herstellungsprozess überprüfen
III	Qualitätsverbesserung durch Zusatz von Citronensäure	chemisch, physikalisch, mikrobiologisch	Einfluss einer zusätzlichen Hürde überprüfen
IV	Qualitätsverbesserung durch Zugabe einer Gewürzmischung	chemisch, physikalisch, mikrobiologisch	Einfluss einer zusätzlichen Hürde überprüfen

##### 3.1.1 UNTERSUCHUNGSMATERIAL

Zur Bestimmung der angegebenen Parameter wurde für alle Versuchsabschnitte frisch hergestelltes und unter Schutzgas verpacktes Putenhackfleisch ausschließlich aus einem niedersächsischen, EU-zugelassenen Betrieb mit eigener Putenschlachtereierzeugung und -verarbeitung untersucht. Als Rohstoff diente grundsätzlich die Skelettmuskulatur ohne Haut mit anhaftendem Fett- und Bindegewebe aus dem Unterflügel der Pute (*Mm. deltoideus*,

*biceps, triceps*; Teile vom *M. latissimus dorsi*). Es handelte sich um weibliche Tiere der gleichen Rasse („Big 6“), die unter vergleichbaren Bedingungen gemästet wurden.

### 3.1.1.1 HERSTELLUNG

Zur Herstellung des frischen Putenhackfleisches wurden die Tiere mit einem durchschnittlichen Alter von 113 Tagen und einem durchschnittlichen Gewicht von 9,8 kg am vorherigen Tag geschlachtet und die Schlachtkörper vor der Weiterverarbeitung auf eine Kerntemperatur von +2 bis +4 °C gekühlt. Nach dem Schlacht- und Zerlegevorgang wurde pro Charge 100 kg der in kleineren Fleischstücken vorliegenden Flügelmuskulatur in einem Fleischwolf (Fa. Kilia, Neumünster) auf eine Körnungsgröße von 3 mm zerkleinert. Nach Einstellung des Fettgehaltes wurde die Putenhackfleischmasse in eine Mengmaschine (Fa. Seydelmann, Aalen) überführt und in dieser mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) auf eine Temperatur von -2 °C herunter gekühlt. Anschließend wurde das zerkleinerte Fleisch in eine Füllmaschine (Fa. Vemag, Verden/Aller) gegeben und zu jeweils 400 g in MAP-Schalen portioniert.

### 3.1.1.2 VERPACKUNG

Die abgefüllten Schalen wurden mit einer Schalenversiegelungsanlage (Fa. Multivac, Wolfertschwenden) unter Schutzatmosphäre verpackt. Für die Verpackung wurden die für Lebensmittel zugelassenen Gase (ZzulV, 1998) Sauerstoff (O<sub>2</sub>, E 948) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>, E 290) verwendet. Die modifizierte Atmosphäre bestand bei allen Proben aus einem Gasgemisch mit 70 Vol. % O<sub>2</sub> und 30 Vol. % CO<sub>2</sub>. Jeder abgefüllten MAP-Schale wurde 600 ml Schutzgas zugefügt. Die für die Verpackung eingesetzten handelsüblichen Schalen wurden mit Verbundfolien, deren Schichten sich aus Polyethylenterephthalat (PET), Kleber, EVPP (mit EVOH 4 µm) und einer Antifogausrüstung zusammensetzten, versiegelt. Die weiteren Anlagenspezifikationen befinden sich im Anhang (vgl. Kapitel 8.3.1). Die Gasdurchlässigkeiten der Folie werden in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9: Normwerte für die Gasdurchlässigkeiten der Verbundfolie**

<b>Wasserdampf</b> bei +23 °C und 85 % relativer Feuchte	< 2,5 g/m <sup>2</sup> d
<b>Sauerstoff (O<sub>2</sub>)</b> bei +23 °C und 30 % relativer Feuchte	≤ 1,5 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> / d bar
<b>Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)</b> bei +23 °C und 30 % relativer Feuchte	≤ 5,5 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> / d bar
<b>Stickstoff (N<sub>2</sub>)</b> bei +23 °C und 30 % relativer Feuchte	≤ 1,0 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> / d bar

### 3.1.1.3 TRANSPORT

Die Proben wurden unmittelbar nach Herstellung bzw. Entnahme unter Einhaltung der Kühlkette ( $+1 \pm 0,5 \text{ °C}$ ) per PKW für die weiteren mikrobiologischen, physikalischen und chemischen Untersuchungen in die wissenschaftliche Einrichtung transportiert. Der Transport dauerte durchschnittlich anderthalb bis zwei Stunden.

### 3.1.1.4 LAGERUNG

Die Proben wurden direkt nach der Ankunft in der wissenschaftlichen Einrichtung in Kühlkammern gebracht, unter definierten Kühlbedingungen aufbewahrt und in gleich bleibenden Abständen der mikrobiologischen, physikalischen und chemischen Prüfung unterzogen. Das Putenhackfleisch wurde bei zwei unterschiedlichen Kühlbedingungen aufbewahrt. Ein Teil des Putenhackfleisches wurde während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei einer konstanten Temperatur von  $+2 \pm 0,5 \text{ °C}$  gelagert (**T1**). Um zu überprüfen, welche Auswirkungen das weitere Handling durch den Verbraucher besitzen kann, wurde für den anderen Teil des Putenhackfleisches der Einfluss des Verbraucherverhaltens modellhaft untersucht. Hierfür wurde das schutzgasverpackte Putenhackfleisch innerhalb der ersten drei Lagerungstage bei einer Temperatur von  $+2 \pm 0,5 \text{ °C}$  bevorratet. Anschließend wurde es am dritten Lagerungstag für 45 Minuten einer Temperatur von  $+25 \text{ °C}$  ausgesetzt (Unterbrechung Kühlkette durch den Verbraucher) und für die verbleibenden sieben Lagerungstage bei einer Temperatur von  $+7 \pm 0,5 \text{ °C}$  (**T2**) aufbewahrt (Simulation der Lagerung im Kühlschrank des Verbrauchers).

## 3.1.2 ERMITTLUNG DER UNTERSUCHUNGSPARAMETER

### 3.1.2.1 CHEMISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Die chemische Vollanalyse wurde entsprechend der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren für Fleisch und Fleischerzeugnisse nach § 64 LFGB ausgeführt. Die Vorbereitung der Proben für die chemischen Untersuchungen erfolgte nach Methode L 06.00-1 (§ 64 LFGB, Amtliche Sammlung von Untersuchungsmethoden).

### TROCKENSUBSTANZ

Die Bestimmung der Trockensubstanz wurde nach Methode L 06.00-3 nach der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren (§ 64 LFGB) durchgeführt.

Die Hackfleischprobe wurde hierfür nach dem Vermischen mit Seesand im Trockenschrank vier Stunden bei einer Temperatur von  $103 \pm 2 \text{ °C}$  getrocknet. Das Ergebnis wurde aus dem ermittelten Gewicht vor und nach der Trocknung nach folgender Formel berechnet:

*Formel zur Berechnung der Trockensubstanz:*

$$\% \text{ Trockensubstanz} = \frac{\text{Auswaage} \times 100}{\text{Einwaage}}$$

#### **ASCHEGEHALT**

Für die Bestimmung des Aschegehaltes gibt § 64 LFGB der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren die Methode L 06.00-4 vor. Die Proben wurden auf einer Quarzgutschale mit Magnesium (Mg)-4-acetat versetzt und im Muffelofen für vier Stunden bei 600 °C verascht. Der Aschegehalt wurde nach der Formel berechnet:

*Formel zur Berechnung des Aschegehaltes:*

$$\% \text{ Asche} = \frac{(\text{Auswaage} - \text{Asche aus 1 ml Mg - acetat}) \times 100}{\text{Einwaage}}$$

#### **GESAMTFETT**

Die Bestimmung erfolgte nach § 64 LFGB, Methode L 06.00-6, der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren. Die Putenhackfleischproben wurden zunächst mit Salzsäure aufgeschlossen. Anschließend wurde das Fett mit Petroleumbenzin extrahiert, das Extrakt im Trockenschrank für etwa zwei Stunden bei einer Temperatur von  $103 \pm 2$  °C getrocknet und zurückgewogen. Der Gesamtfettgehalt berechnet sich aus der Differenz zwischen Ein- und Auswaage nach der folgenden Formel:

*Formel zur Berechnung des Gesamtfettgehaltes:*

$$\% \text{ Fett} = \frac{\text{Auswaage} \times 100}{\text{Einwaage}}$$

#### **GESAMTEIWEIß**

Diese Bestimmung wurde nach Methode L 06.00-7 (§ 64 LFGB, Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren) durchgeführt. Die Hackfleischprobe wurde nach dem Einwiegen mit Schwefelsäure aufgeschlossen, um den gesamten Stickstoff als Ammoniumsulfat zu binden und zur anschließenden Freisetzung von Ammoniak aus Ammoniumsulfat mit Natronlauge versetzt. Dieses Ammoniak wurde von gesättigter Borsäure aufgefangen und im Anschluss titriert. Die Titration und Umrechnung der Messwerte wurde mit einem Vadopest-Gerät durchgeführt.

#### **BINDEGEWEBSEIWEIß**

Für die Bestimmung von Hydroxyprolin (HP) gibt § 64 LFGB der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren die Methode L 06.00-8 vor. Der Hydroxyprolinanteil diene als

Indikator für den Anteil an Bindegewebe im Fleischgewebe. Die Putenhackfleischprobe wurde gekocht, anschließend mit Salzsäure aufgeschlossen, das Fett abgetrennt und mit Chloramin T oxidiert. Dieses Oxidationsprodukt bildete mit 4-Dimethylaminobenzaldehyd einen roten Farbstoff. Die Extinktion dieser rotgefärbten Lösung wurde in einer Glasküvette (Schichtdicke 1 cm) bei 558 nm photometrisch gemessen. Sie war direkt proportional zum Anteil des darin enthaltenen Hydroxyprolins. Der Hydroxyprolingehalt  $\omega$  in g/100 g Probe wurde nach der folgenden Formel berechnet:

*Formel zur Berechnung des Hydroxyprolingehaltes:*

$$\omega = \frac{12,5 \cdot x}{m \cdot V}$$

$V$  = Volumen des Hydrolysates in ml, das für die Verdünnung für 250 ml verwendet wurde

$x$  = Hydroxyprolinkonzentration in  $\mu\text{g/ml}$  im verdünnten Hydrolysat

$m$  = Probeneinwaage in g

### **KOCHSALZ**

Die Bestimmung des Kochsalzgehaltes erfolgte nach Methode L 06.00-5 (§ 64 LFGB der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren). Nach Homogenisieren der Probe wurden von dieser 1 mg abgewogen und in einen Erlenmeyerkolben mit Schliffstopfen überführt. Nach Zugabe von 100 ml heißem Wasser wurde der Inhalt des Erlenmeyerkolbens für 15 Minuten im kochenden Wasserbad extrahiert und die Proteine ausgefällt. Im Anschluss an eine nachfolgende Filtration und Ansäuerung durch Salpetersäure erfolgte nach Zugabe einer Indikatorlösung die Zugabe von Silbernitrat-Maßlösung (0,1 mol/l), die im Überschuss zugesetzt wurde. Mit Kaliumthiocyanat-Maßlösung (0,1 mol/l) wurde der Inhalt des Erlenmeyerkolbens schließlich bis zum Auftreten einer schwachen Braunfärbung titriert.

*Formel zur Berechnung des Kochsalzgehaltes:*

---

vorgelegtes Volumen Silbernitrat-Maßlösung (0,1 mol/l) in ml (20 ml)

Verbrauch an Thiocyanat-Maßlösung (0,1 mol/l) in ml

Einwaage in g

### **BERECHNUNG DER CHEMISCHEN GRUNDDATEN**

Die beschriebenen Untersuchungsparameter der chemischen Vollanalyse stellen die Grundlage zur Berechnung von Fleischeiweiß (FE), Bindegewebeiseiweißfreies Fleischeiweiß (BEFFE) und BEFFE/FE dar.



Folgende Formeln wurden hierfür eingesetzt:

$$\text{H}_2\text{O (rechn.)} = 100 - \text{TS (\%)}$$

$$\text{FE} = \text{GE} - \text{FrE} - \text{NPN (\%)}$$

$$\text{BEFFE} = \text{GE} - \text{FrE} - \text{NPN} - \text{BE (\%)}$$

TS = Trockensubstanz

FE = Fleischeiweiß

FrE = Fremdeiweiß

BEFFE = Bindegewebeiseiweißfreies Fleischeiweiß

GE = Gesamteiweiß

HP = Hydroxyprolin

BE = Bindegewebeiseiweiß

### 3.1.2.2 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

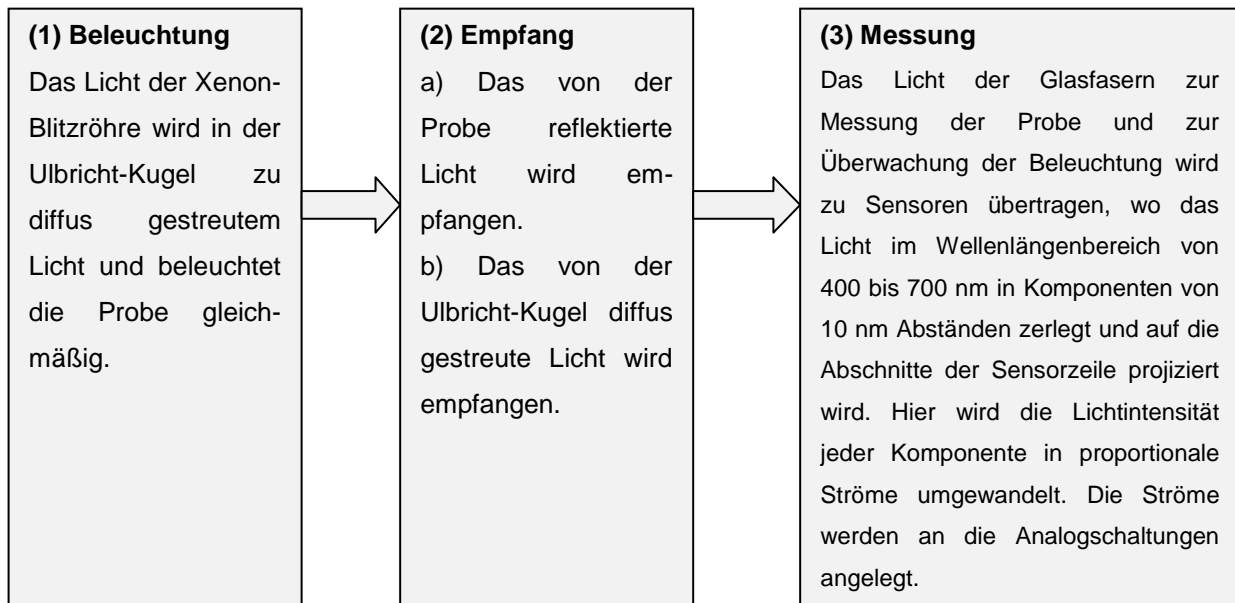
#### **GASANALYSEN DER SCHUTZATMOSPHERE**

Die Gehalte an Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) innerhalb des Kopfraumes der Schutzgasverpackungen wurden mithilfe des Gasanalysegerätes „Check Mate 9900“ der Fa. PBI Dansensor instrumentell bestimmt. Hierfür wurde die Messnadel (Ø 0,8 mm) durch die Folie der Schutzgasverpackung gestochen und eine Gasprobe zur Messung gezogen. Die Einstichstelle wurde zuvor mittels Schaumgummikleber abgedichtet. Die Messung erfolgte für O<sub>2</sub> durch einen Keramik- oder Zirkonoxidsensor. Bei Vorhandensein von O<sub>2</sub> erzeugt der Sensor eine geringe Spannung oder elektrochemische Kraft (EMK), welche sich proportional zur O<sub>2</sub>-Konzentration im Messgas verhält. Der Messbereich des O<sub>2</sub>-Sensors liegt dabei zwischen 0,001 % und 100 %. Die CO<sub>2</sub>-Messung wurde innerhalb des Messgerätes durch einen Infrarotsensor durchgeführt. Der Messbereich dieses Sensors liegt zwischen 1 bis 100 %. Die erzielten Ergebnisse wurden nach der Messung jeweils arithmetisch gemittelt.

#### **MESSUNG DER L\*A\*B\*-FARBWERTE**

Die Messung der Farbe wurde nach der von der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) entwickelten Methode durchgeführt, die auf dem L\*a\*b\*-Farbraum basiert. Die Messungen werden als absolute Zahlen in diesem dreidimensionalen Farbraum angegeben. Es werden drei Achsen definiert: L\* gibt die Helligkeit an (0 = Schwarz, 100 = Weiß), a\* die Rot-Grün-Achse und b\* gibt die Gelb-Blau-Achse wieder (vgl. Kapitel 2.3.4.1). Bei der Messung wird die Farbemission der Probe durch das Messgerät photometrisch erfasst. Für diese Untersuchungen wurde das Spektrophotometer „CM 2002“ der Fa. Konica Minolta eingesetzt. Die Farbmessung erfolgte unmittelbar nach dem Öffnen der Schutzgasverpackung mit einer Xenon-Blitzröhre bei standardisierter Beleuchtung (Normlicht D<sub>65</sub>, Betrachtungswinkel 10°) unter Glanzeinschluss (SCI: *Specular Component Included*) bei Raumtemperatur. Das Gerät misst das reflektierte Licht von der Probenoberfläche in den Wellenlängenbereichen von 400 nm bis 700 nm vor einem hellen Hintergrund. An jedem Untersuchungstag wurde das Gerät vor den Messungen mit einem Weißstandard kalibriert.

Grundsätzlich erfolgten für jede Probe fünf einzelne Farbmessungen an unterschiedlichen Stellen auf der Oberfläche. Die fünf Einzelwerte der drei Achsen des jeweiligen Farbraumes (L\*-Wert, a\*-Wert, b\*-Wert) wurden im Anschluss für jede Probe als arithmetischer Mittelwert angegeben. Das grundlegende Prinzip der instrumentellen Farbmessung mit dem eingesetzten Spektrophotometer zeigt das nachfolgende Ablaufschema (Abb. 7).



**Abbildung 7: Grundprinzip der instrumentellen Farbmessung mit dem Spektrophotometer „CM 2002“ der Fa. Konica Minolta**

#### MESSUNG DER PH- UND $a_w$ -WERTE

Die Bestimmung des pH-Wertes und des  $a_w$ -Wertes erfolgte nach den Vorgaben der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren (§ 64 LFGB), Methode L 06.00-2.

Der pH-Wert wurde elektrochemisch mit einem pH-Meter für jede gemessene Probe als Dreifachbestimmung ermittelt. Das Messgerät wurde vor den Messungen am jeweiligen Untersuchungstag durch zwei Eichlösungen (pH 4 und pH 7) neu kalibriert. Zur Messung diente die Glaselektrode des pH-Meters. Diese wurde an drei unterschiedlichen Stellen direkt in die Hackfleischproben eingestochen und der angezeigte Wert abgelesen. Von den drei registrierten Einzelwerten wurde im Anschluss für jede Probe der arithmetische Mittelwert gebildet.

Die Messung des  $a_w$ -Wertes ermöglicht eine Aussage über die Verfügbarkeit des enthaltenen Wassers des Untersuchungsmaterials. Dieser Wert wurde durch ein  $a_w$ -Kryometer bestimmt. Vor jeder Messreihe erfolgte eine Kalibrierung des Gerätes durch eine 5 %-ige Kochsalzlösung (NaCl). Als Kühlmittel wurde Ethanol  $\geq 99,8$  % eingesetzt.

### 3.1.2.3 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

#### **VORBEREITUNG DER PROBEN ZUR MIKROBIOLOGISCHEN UNTERSUCHUNG**

Die Vorbereitung der Proben zur quantitativen Bestimmung erfolgte nach der Methode L 00.06-16 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren für Fleisch und Fleischerzeugnisse (§ 64 LFGB). Vor dem Einwiegen der Putenhackfleischproben wurde diese mit einem sterilen Spatel zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Probenentnahme gründlich durchmischt. Zur Herstellung einer 1:10 Verdünnung wurden aus der mit 400 g Putenhackfleisch gefüllten Verpackung jeweils 20 g Probe, aus verschiedenen Stellen der MAP-Schale, in sterile Stomacherbeutel mit Einlage auf der Laborwaage eingewogen und 180 ml NaCl-Pepton-Lösung hinzugefügt. Mithilfe eines Beutel-Walkmischers wurden die Proben für 120 Sekunden homogenisiert. Anschließend wurde eine dezimale Verdünnungsreihe angelegt, indem 1 ml des Stomacherbeutelinhalt (1. Verdünnungsstufe) in ein Röhrchen mit 9 ml NaCl-Pepton-Lösung pipettiert wurde (2. Verdünnungsstufe). Nach Durchmischen der Lösung auf einem Vortex-Mixer wurde zur Herstellung der 3. Verdünnungsstufe 1 ml der zweiten Verdünnungsstufe mit einer neuen, sterilen Pipette in ein weiteres Röhrchen überführt und sorgfältig vermischt. Dieser Vorgang wurde bis zur gewünschten Verdünnungsstufe wiederholt. Je höher die zu erwartende Keimzahl war, desto höher wurde die Verdünnungsreihe angelegt. Im Rahmen der Prozessschrittanalyse und der sich anschließenden Lagerungsversuche (Untersuchungsabschnitt II) wurde zusätzlich ein qualitativer Nachweis ausgewählter pathogener Mikroorganismen durchgeführt. Ihre Nachweise erfolgten über verschiedene Anreicherungsstufen nach § 64 LFGB, die separat beschrieben werden.

#### **AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)**

Die quantitative Bestimmung der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ) wurde nach der Methode L 06.00-18 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB im Plattengussverfahren durchgeführt. Im Doppelansatz wurden mit einer sterilen Pipette 1 ml der verdünnten Probe in eine leere, sterile Petrischale gegeben, mit etwa 10 bis 12 ml des auf etwa +40 °C abgekühlten, flüssigen Nähragars übergossen und durch kreisende Bewegungen gut verteilt. Die beimpften Platten wurden nach dem Erstarren des Nährbodens unter aeroben Bedingungen für 72 Std. bei +30 °C im Brutschrank inkubiert. Im Anschluss wurden alle erkennbaren Kolonien ausgezählt.

#### ***PSEUDOMONAS SPP.***

Die quantitative Bestimmung von *Pseudomonas ssp.* erfolgte im Spatelverfahren mit jeweils 0,1 ml der verdünnten Probe im Doppelansatz auf GSP-Agar. Zur Verbesserung der Selektivität wurde dem autoklavierten und auf eine Temperatur von +45 bis +50 °C

abgekühlten Agar zur Unterdrückung einer positiven Begleitflora vor dem Gießen 0,06 g/l Penicillin-G Natrium hinzugefügt. Der beimpfte Nährboden wurde 72 Std. unter aeroben Bedingungen bei +25 °C bebrütet. Nach der Inkubationszeit wurden zur quantitativen Bestimmung 2 bis 3 mm große, feuchtglänzende, grau bis grau-blau gefärbte und oxidase-positive Kolonien herangezogen. Die Überprüfung auf bakterielle Oxidase erfolgte durch einen Cytochromoxidasenachweis mit Bactident® Oxidase Teststäbchen. Mittels steriler Impföse wurde Reinkulturmaterial auf die Reaktionszone des Teststäbchens überführt und verrieben. Durch eine Blaufärbung der Zone wurden Oxidase-positive Kolonien identifiziert. Zur Bestätigung wurden drei positive Kolonien je Platte auf Cytochromoxidase getestet.

### ***BROCHOTHRIX THERMOSPACTA***

Für die quantitative Bestimmung von *Brochothrix thermospacta* wird nach § 64 LFGB kein amtliches Untersuchungsverfahren vorgegeben. Der für die Untersuchung eingesetzte Nährboden (Streptomycin-Inosit-Neutralrot-[SIN]-Agar) wurde nach einer Rezeptur von BAUMGART (2004) hergestellt. Die genaue Zusammenstellung befindet sich im Anhang (vgl. Kapitel 8.4.1.1). Vor dem Gießen der Platten wurde dem Agar bei etwa +45 bis +50 °C 500 mg/l Streptomycinsulfat zugesetzt. 0,1 ml der verdünnten Probe wurden im Doppelansatz mittels Spatelverfahren auf dem Agar ausgestrichen und für 48 Std. bei +25 °C unter aeroben Bedingungen bebrütet. Im Anschluss an die Inkubation wurden die rotvioletten Kolonien ausgezählt.

### ***ENTEROBACTERIACEAE***

Für die quantitative Bestimmung der *Enterobacteriaceae* gibt § 64 LFGB der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren das Spatelverfahren nach der Methode L 06.00-24 vor. Im Doppelansatz wurden 0,1 ml der verdünnten Probe mit einem sterilen Spatel auf VRBD-Agar ausgestrichen. Die beimpften Platten wurden für 48 Std. bei +30 °C unter anaeroben Bedingungen in bakteriologischen Anaerobiertöpfen mit AnaeroGen® inkubiert. Ausgezählt wurden rote oder rosafarbene Kolonien (> 1mm) mit oder ohne Präzipitationshof.

### **BERECHNUNG DER KEIMZAHLEN**

Die Auszählung der Kolonien erfolgte für jede Probe bei zwei aufeinander folgenden Verdünnungsstufen. Die quantitative Bestimmung der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ) wurde nach dem Auszählen der Kolonien nach folgender Formel durchgeführt.

**Formel zur Berechnung der Gesamtkeimzahl:**

$$\bar{a} = \frac{\sum a}{n_1 \times 1 + n_2 \times 0,1} \times d$$

- $\bar{a}$  = gew. arithmetisches Mittel der Koloniezahlen
- $\sum a$  = Summe der Kolonie-bildenden Einheiten aller ausgezählten Petrischalen
- $n_1$  = Anzahl der Petrischalen der niedrigsten Verdünnungsstufe
- $n_2$  = Anzahl der Petrischalen der nächsthöheren Verdünnungsstufe
- $d$  = Faktor der niedrigsten Verdünnungsstufe

Zur quantitativen Bestimmung der *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* ssp. sowie *Brochothrix thermosphacta* wurde ebenfalls die zuvor dargestellte Formel zur Berechnung eingesetzt.

Zur endgültigen Berechnung der Keimzahl wurde der  $\bar{a}$ -Wert mit dem Faktor 10 multipliziert. Die ermittelten Keimzahlen wurden anschließend als gewichtetes geometrisches Mittel als Zahl zwischen 1,0 und 9,9 multipliziert mit der entsprechenden Zehnerpotenz, in **Kolonie-bildenden Einheiten (KbE)** pro Gramm, angegeben.

**SALMONELLA SPP.**

Die qualitative Untersuchung des Putenhackfleisches auf Salmonellen fand in Anlehnung an die Methode L 00.00-20 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB statt.

Anreicherung

Der Salmonellennachweis erfolgte über zwei Anreicherungsstufen. 25 g der Probe wurde zur nicht selektiven Voranreicherung in einen Stomacherbeutel eingewogen, 225 ml gepuffertes Peptonwasser zugefügt und für 120 Sek. im Beutel-Walkmischer zerkleinert. Anschließend wurde dieses für 16 bis 20 Std. bei +37 °C bebrütet. Zur selektiven Anreicherung wurden 0,1 ml der nicht selektiven Voranreicherung zu 10 ml Salmonella-Anreicherungsbouillon nach RAPPAPORT- und 1 ml der nicht selektiven Voranreicherung zu 10 ml Tetrathionat-Brillantgrün-Galle-Anreicherungsbouillon pipettiert. Nach einem sorgfältigen Durchmischen der Lösungen wurden die Salmonella-Anreicherungsbouillon nach RAPPAPORT bei +42 °C für 24 Std. und die TBG-Bouillon bei +37 °C für 24 Std. inkubiert. Die beiden selektiven Anreicherungen wurden nach der Inkubation mit einer sterilen Impföse auf RAMBACH®-Agar ausgestrichen und für 20 bis 24 Std. bei +37 °C bebrütet. Wenn keine möglichen Salmonellenkolonien sichtbar oder auf dem Agar nur ein leichtes Bakterienwachstum zu verzeichnen war, wurden die Platten für weitere 18 bis 24 Std. bei einer Temperatur von +37 °C inkubiert. Anschließend erfolgte die Überprüfung auf das Vorhandensein verdächtiger, d.

h. kräftig rosa bis rot gefärbter, Kolonien. Salmonellenverdächtige Kolonien wurden für die zum serologischen oder biochemischen Nachweis benötigten Reinkulturen nochmals auf Standard-I-Nähragar überimpft und für 18 bis 24 Std. bei +37 °C erneut bebrütet.

### Nachweis

Die Bestätigung erfolgte zunächst serologisch, im Falle einer positiven Reaktion wurde eine biochemische Bestätigung mit Dreizucker-Eisen-Agar und Harnstoff-Agar durchgeführt. Als serologischer Test wurde die Objektträgeragglutination mit den Antiseren „Enteroclon Anti-Salmonella I (A-E)“ und „Enteroclon Anti-Salmonella II (F-67)“ eingesetzt. Nach dem Ausschluss unspezifischer Agglutinationen wurde das vom Standard-I-Nähragar entnommene Bakterienmaterial auf einem Objektträger in einem Tropfen des jeweiligen Serums verrieben und vorsichtig hin und her bewegt. Während des Schwenkvorganges vor schwarzem Hintergrund wurde die Suspension auf eine mögliche Agglutination geprüft. Beim Auftreten einer Agglutination erfolgte die biochemische Bestätigung. Beim Dreizucker-Eisen-Agar wurden die Schrägflächen des Nährbodens im Ausstrichverfahren sowie die Hochschichtanteile als Stichkultur und beim Harnstoff-Agar die Schrägfläche durch eine sterile Impföse mit Reinkulturen beimpft. Beide Nährböden wurden für 24 Std. bei +37 °C bebrütet und anschließend bewertet. Beim Dreizucker-Eisen-Agar wurden die Farbveränderungen der Schrägflächen sowie die der Hochschichtanteile des Nährbodens gemäß der Methode L 00.00-20 der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren beurteilt. Die Veränderungen des Harnstoff-Agars wurden ebenso nach den genannten Vorgaben ausgewertet. Eine positive Reaktion wurde durch einen Farbumschlag von Phenolrot über rosa nach tief kirschrot angezeigt.

### ***LISTERIA MONOCYTOGENES***

Die qualitative Bestimmung von *Listeria monocytogenes* erfolgte in Anlehnung an § 64 LFGB der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren (Methoden L 00.00-22, L 00.00-32).

### Anreicherung

Der Nachweis verlief über zwei Anreicherungsstufen. Für die erste selektive Anreicherung wurden zu 10 g Probe in einem Stomacherbeutel 90 ml Halb-Fraser-Bouillon gegeben und dieser Beutel im Beutel-Walkmischer vermischt. Die erste Anreicherung wurde für 24 ± 2 Std. bei +30 °C unter aeroben Bedingungen inkubiert. 0,1 ml der ersten Anreicherung wurden während der zweiten Anreicherungsstufe zu 10 ml Vollfraser pipettiert und aerob für 24 Std. bei +37 °C bebrütet.

### Nachweis

Zum Nachweis von *Listeria monocytogenes* wurde ein Tropfen der zweiten Anreicherungsstufe mit einer sterilen Impföse auf einen chromogenen Selektivnährboden

ausgestrichen und bei +37 °C inkubiert. Nach der Bebrütungszeit von 24 ± 2 Std. konnten auf dem selektiven Nährboden durch Spaltung eines X-Glucosid-Chromogens blau/grüne Kolonien als *Listeria* ssp. und blau/grüne Kolonien mit einer opaken Zone durch eine Hydrolyse von Lecithin durch Phospholipase-Aktivität von *Listeria monocytogenes* als solche präsumtiv identifiziert werden. Eine endgültige Bestätigung von *Listeria monocytogenes* wurde durch einen zusätzlichen biochemischen Test durchgeführt (api®- *Listeria*). Es handelt sich hierbei um ein standardisiertes System, das anhand verschiedener biochemischer Reaktionen *Listeria* ssp. identifizieren kann.

### **THERMOPHILE *CAMPYLOBACTER***

Der qualitative Nachweis thermophiler *Campylobacter* erfolgte in Anlehnung an ISO 10272-1 (2006). Für eine selektive Anreicherung wurden 10 g Probe in einen 100 ml Glaskolben eingewogen, 90 ml *Campylobacter*-Selektiv-Anreicherungsbouillon nach Preston zugefügt und der Glaskolben verschlossen. Die Inkubation der Proben zur Anreicherung erfolgte für 48 Std. bei +41,5 °C im CO<sub>2</sub>-Brutschrank unter einer mikroaerophilen Atmosphäre. Mit einer sterilen Impföse wurde die Anreicherungsbouillon anschließend auf einen *Campylobacter*-Selektivnährboden ausgestrichen, erneut unter mikroaerophilen Bedingungen bei +41,5 °C für 24 bis 48 Std. bebrütet und die inkubierten Platten beurteilt. Verdächtige Kolonien mussten die nachfolgenden Eigenschaften aufweisen: glänzend, flach-fließend und z.T. metallgrau gefärbt. Wiesen die untersuchten Kolonien die entsprechenden Eigenschaften auf, wurden sie mikroskopisch untersucht. Dabei waren „s“- oder kommaförmig gewundene Stäbchen, die sich schnell und korkenzieherartig bewegten, typisch für *Campylobacter jejuni* und *Campylobacter coli*.

### **3.1.3 ANALYSEMATERIAL**

#### **3.1.3.1 EINGESETZTE CHEMIKALIEN**

Für die Analysen der Untersuchungsabschnitte I, II, III und IV wurden unterschiedliche Chemikalien benötigt, die im Anhang aufgelistet werden.

#### **3.1.3.2 TECHNISCHE GERÄTE**

Die detaillierte Auflistung der während der Untersuchungen verwendeten technischen Geräte, Glas- und Einmalartikel befindet sich im Anhang.

#### **3.1.3.3 VERWENDETE NÄHRMEDIEN**

Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurden zur Anzucht der Mikroorganismen verschiedene Nährmedien eingesetzt. Eine Übersicht bietet Tabelle 10. Eine detaillierte Beschreibung und Zusammensetzung der Nährmedien ist im Anhang aufgeführt.

**Tabelle 10: Eingesetzte Nährböden und Bouillon zur Bakterienanzucht**

Medium	Hersteller <sup>1)</sup>	nachgewiesene Bakterien
<b>Pepton-Hefeextrakt-Glucose-Agar/Standard-I-Agar</b>	Merck	aerobe mesophile GKZ
<b>Kristallviolett-Neutralrot-Galle-Glucose-Agar (VRBD-Agar)</b>	Merck	<i>Enterobacteriaceae</i>
<b>Glutamat-Stärke-Phenolrot-Agar (GSP-Agar)</b>	Merck	<i>Pseudomonas</i> spp.
<b>Streptomycin-Inosit-Neutralrot-Agar (SIN-Agar)</b>	Eigene Herstellung (nach BAUMGART 2004)	<i>Brochothrix thermosphacta</i>
<b>RAPPAPORT-Anreicherungsbouillon</b>	Merck	Salmonellen
<b>Tetrathionat-Brillantgrün-Galle-Anreicherungsbouillon (TBG-Bouillon)</b>	Merck	Salmonellen
<b>RAMBACH®-Agar</b>	Merck	Salmonellen
<b>Halb-Fraser-Bouillon</b>	Merck	<i>Listeria monocytogenes</i>
<b>Voll-Fraser-Bouillon</b>	Merck	<i>Listeria monocytogenes</i>
<b>Chromogener <i>Listeria</i>-Selektivnährboden (OCLA)</b>	Oxoid	<i>Listeria monocytogenes</i>
<b><i>Campylobacter</i>-Selektiv-Anreicherungsbouillon nach Preston</b>	Oxoid	thermophile <i>Campylobacter</i>
<b><i>Campylobacter</i>-Selektivnährboden (ccDA)</b>	Oxoid	thermophile <i>Campylobacter</i>

<sup>1)</sup> Oxoid = Hampshire, England  
Merck = Darmstadt, Deutschland

### 3.1.4 STATISTISCHE VERFAHREN

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Programm SPSS für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) in der Version 17.0.2 durchgeführt. Die Richtigkeit der Dateneintragungen wurde durch eine doppelte Kontrolle gewährleistet. Die verwendeten statistischen Testverfahren werden in der Literatur umfassend beschrieben (BÜHL 2008; UNTERSTEINER 2007).

Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest verwendet. Bei einer errechneten Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % wurde die



Nullhypothese ( $H_0$  = die angegebene Verteilung entspricht einer Normalverteilung) abgelehnt und eine Schiefverteilung der entsprechenden Daten angenommen. Zur Hypothesenprüfung wurde ein Testverfahren entsprechend der Verteilung, der Anzahl und Art der Stichproben ausgewählt (Tab. 11). Für normalverteilte Daten werden die Stichproben dabei mithilfe der statistischen Verfahren hinsichtlich ihrer Mittelwerte miteinander verglichen, die Überprüfung der nicht normalverteilten Daten basiert auf einer gemeinsamen Rangreihe der Werte aller Stichproben.

Für einen statistischen Vergleich von zwei abhängigen Stichproben wurde für normalverteilte Daten der T-Test für abhängige Stichproben und für nicht normalverteilte Daten der U-Test nach Mann und Whitney durchgeführt. Zum statistischen Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben wurde für normalverteilte Daten der T-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt, während nicht normalverteilte Daten mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test überprüft wurden. Um Unterschiede zwischen mehr als zwei unabhängigen Stichproben zu überprüfen, wurde der H-Test nach Kruskal und Wallis angewandt. Die Nullhypothese ( $H_0$  = die aufgetretenen Werteunterschiede bewegen sich im Rahmen zufälliger Schwankungen) wurde für ein Testverfahren dann zurückgewiesen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p \leq 0,05$  war und anstelle dessen die Alternativhypothese angenommen.

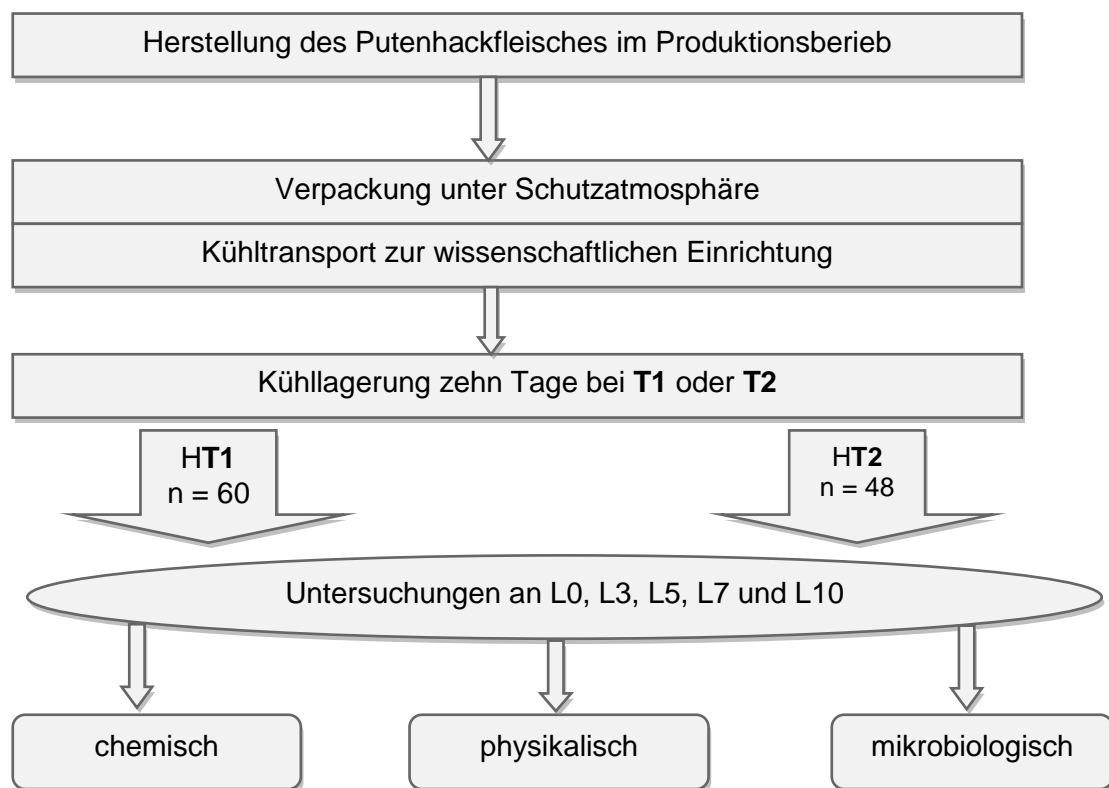
**Tabelle 11: Übersicht über die verwendeten Testverfahren zur Hypothesenprüfung und deren Voraussetzungen**

Stichproben		Skala	Normalverteilung	Testverfahren
Anzahl	Abhängigkeit			
2	unabhängig	metrisch	ja	t-Test für unabhängige Stichproben
2	abhängig	metrisch	ja	t-Test für abhängige Stichproben
2	unabhängig	metrisch	nein	U-Test nach Mann und Whitney
2	abhängig	metrisch	nein	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test
> 2	abhängig	metrisch	nein	H-Test nach Kruskal und Wallis

## 3.2 UNTERSUCHUNGSABSCHNITT I - MIKROBIOLOGISCHER STATUS QUO BEI INDUSTRIELL HERGESTELTEM PUTENHACKFLEISCH

### 3.2.1 VERSUCHSDESIGN

Für die Untersuchungen des mikrobiologischen Status quo wurde frisch hergestelltes und unter Schutzatmosphäre verpacktes Putenhackfleisch über einen Zeitraum von zehn Tagen bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) kühlgelagert. Es wurden in den sechs nacheinander untersuchten Chargen (H1-H6) während der **Lagerungsversuche** 108 Proben analysiert. Die Untersuchungen erfolgten in gleich bleibenden Abständen am Herstellungstag (L0) sowie am dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Tag nach der Herstellung (Abb. 8).



**T1:**  $+2 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$

**T2:**  $+2 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; ab L3: 45 Min  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $+7 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$

**Abbildung 8: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt I – Mikrobiologischer Status quo bei industriell hergestelltem Putenhackfleisch (sechs Chargen: H1-H6, n = 108)**

#### 3.2.1.1 ERHOBENE PARAMETER

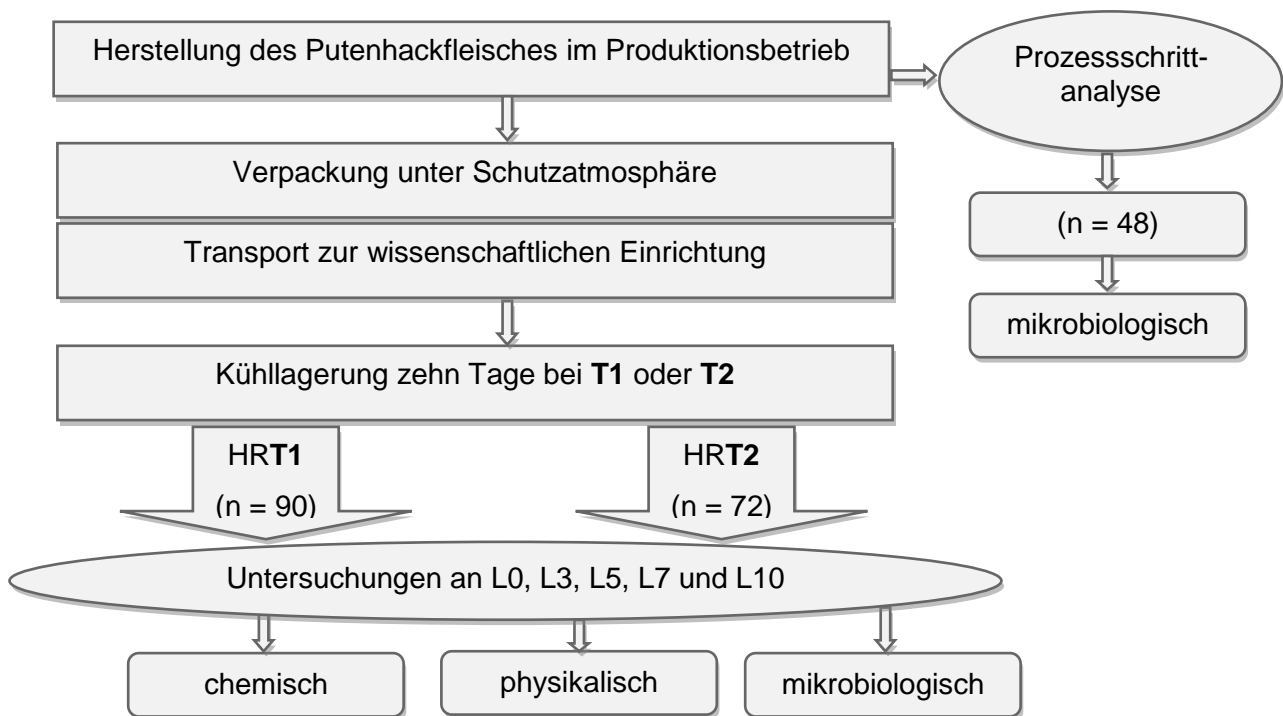
Die chemische Vollanalyse wurde pro Charge einmal für die Proben bei einer konsequenten Lagerung bei  $+2 \text{ }^\circ\text{C}$  (**T1**) durchgeführt, ebenso wie die Bestimmung des  $a_w$ -Wertes. Die Untersuchungen der weiteren physikalischen ( $L^*a^*b^*$ -Farbwerte, Gasanalysen, pH-Werte) sowie der mikrobiologischen Parameter (aerobe mesophile GKZ, *Pseudomonas* spp.,

*Brochothrix thermosphacta*, *Enterobacteriaceae*) erfolgten an jedem untersuchten Lagerungstag für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**).

### 3.3 UNTERSUCHUNGSABSCHNITT II: QUALITÄTSVERBESSERUNG DURCH PROZESSSCHRITTANALYSE

#### 3.3.1 VERSUCHSDESIGN

Während der Herstellung von frischem Putenhackfleisch wurde eine **Prozessschrittanalyse** zur Abschätzung des Einflusses einzelner Prozessstufen auf die Prozess- und Produktionsqualität durchgeführt. Die Probenahme erfolgte an den vier Punkten: Rohstoff vor der Verarbeitung, nach dem Wolfen, nach dem Mischen und nach dem Abfüllen (n = 48). Im Anschluss erfolgten **Lagerungsversuche** unter kontrollierten Bedingungen über zehn Tage bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**). In sechs nacheinander untersuchten Chargen (HR1-HR6) wurden 162 Proben in gleich bleibenden Abständen analysiert: am Herstellungstag (L0) sowie am dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Tag nach der Herstellung (Abb. 9).



**T1:** +2 ± 0,5 °C

**T2:** +2 ± 0,5 °C; ab L3: 45 Min +25 °C, +7 ± 0,5 °C

**Abbildung 9: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt II – Qualitätsverbesserung durch Prozessschrittanalyse (sechs Chargen: HR1-HR6; n = 210)**

### 3.3.2 ERHOBENE PARAMETER

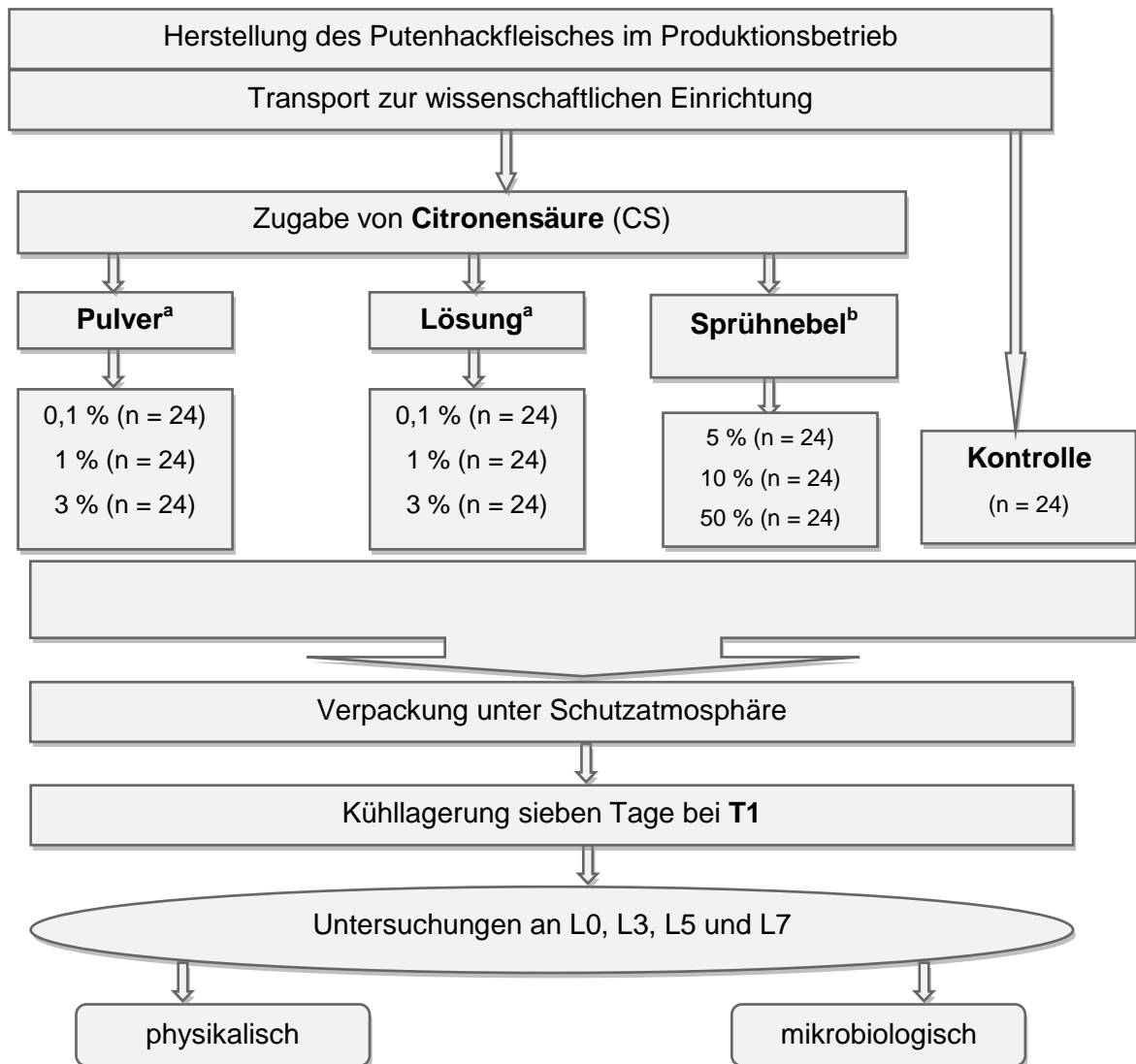
Die Proben der **Prozessschrittanalyse** wurden quantitativ auf die mikrobiologischen Parameter aerobe mesophile GKZ, *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta* und *Enterobacteriaceae* untersucht. Parallel erfolgte zusätzlich die qualitative Bestimmung von *Salmonella* spp., thermophile *Campylobacter* und *Listeria monocytogenes*. Es wurde in diesen Untersuchungsabschnitt zusätzlich die Probentemperatur der einzelnen Prozessschritte bestimmt. Während der **Lagerungsversuche** wurde die chemische Vollanalyse pro Charge einmal für die Proben bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) durchgeführt, ebenso wie die Bestimmung des  $a_w$ -Wertes. Die Untersuchungen der physikalischen ( $L^*a^*b^*$ -Farbwerte, Gasanalysen, pH-Werte) Parameter erfolgten an jedem untersuchten Lagerungstag für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**). Auch während der Lagerungsversuche wurden neben den durchgeführten quantitativen mikrobiologischen Untersuchungen, auch die qualitativen Nachweise auf *Salmonella* spp., thermophile *Campylobacter* und *Listeria monocytogenes* durchgeführt.

## 3.4 UNTERSUCHUNGSABSCHNITT III - QUALITÄTSVERBESSERUNG DURCH ZUSATZ VON CITRONENSÄURE (CS)

### 3.4.1 VORVERSUCHE

#### 3.4.1.1 VERSUCHSDESIGN

Zur Bestimmung der optimalen Applikationsform wurde Citronensäure (CS) als Pulver, Lösung und in sprühvernebelter Form dem frisch hergestellten Putenhackfleisch vor dem Verpacken zugefügt. Parallel wurde eine Kontrollprobe produziert. Die Lagerung der Proben erfolgte über sieben Tage. Untersucht wurden drei Chargen (CV1-CV3; n = 240) am Herstellungstag (L0) sowie am dritten (L3), fünften (L5) und siebten Lagerungstag (L7) (Abb. 10). Da in den Vorversuchen primär die optimale Applikationsform ermittelt werden sollte, erfolgte die Lagerung lediglich bei +2 °C (**T1**) für sieben, anstelle von zehn Tagen.



T1: +2 ± 0,5 °C

<sup>a</sup> als Endkonzentration im Fleisch

<sup>b</sup> Oberflächenbehandlung: Aufbringungsmenge 2 ml

**Abbildung 10: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt III – Vorversuche (drei Chargen; n = 240)**

#### *Applikation als Pulver*

Citronensäure wurde dem Putenhackfleisch als Pulver zugesetzt. Die Endkonzentrationen betragen 0,1 %, 1 % und 3 % (w/v). Das Pulver wurde mit einem sterilen Spatel gleichmäßig untergemengt. Zwischen den Verpackungen einer Konzentration wurde der Spatel in 70 %iges Ethanol eingetaucht und durch Abflammen sterilisiert.

#### *Applikation als Lösung*

Citronensäure wurde dem Putenhackfleisch als Lösung (20 ml) zugesetzt. Die Endkonzentrationen betragen 0,1 %, 1 % und 3 % (w/v). Zur Herstellung der Lösung wurde kristalline CS in autoklaviertem Aqua dest. unter Rühren gelöst und bis zu ihrem Einsatz bei

einer Temperatur von  $+2 \pm 0,5$  °C aufbewahrt. Die CS-Lösung wurde dem abgefüllten Fleisch zugefügt und mit einem sterilen Spatel untergemischt.

### *Applikation als Sprühnebel*

Citronensäure wurde in sprühvernebelter Form auf die Oberfläche des Fleisches aufgebracht. Dazu wurden 2 ml einer CS-Lösung in den Konzentrationen 5 %, 10 % und 50 % (w/v) eingesetzt. Die Lösung wurde wie im vorherigen Abschnitt beschrieben hergestellt. Das Aufbringen erfolgte mit einer Sprühvorrichtung (Düsendurchmesser: 1,5 mm) unter einem konstanten Druck von 2 bar auf die Oberfläche des Putenhackfleisches. Eine Entfernung von 30 cm zwischen Sprühvorrichtung und Fleisch erwies sich dabei als optimale Sprühdistanz. In jeder Charge wurde die Sprühvorrichtung vor ihrem Einsatz im Sterilisationsschrank für vier Stunden bei 200 °C sterilisiert. Zwischen dem Aufsprühen der verschiedenen Konzentrationen wurde sie mit Ethanol (70 %) gereinigt und zur Entfernung möglicher Ethanolreste mit ausreichend Aqua dest. gespült.

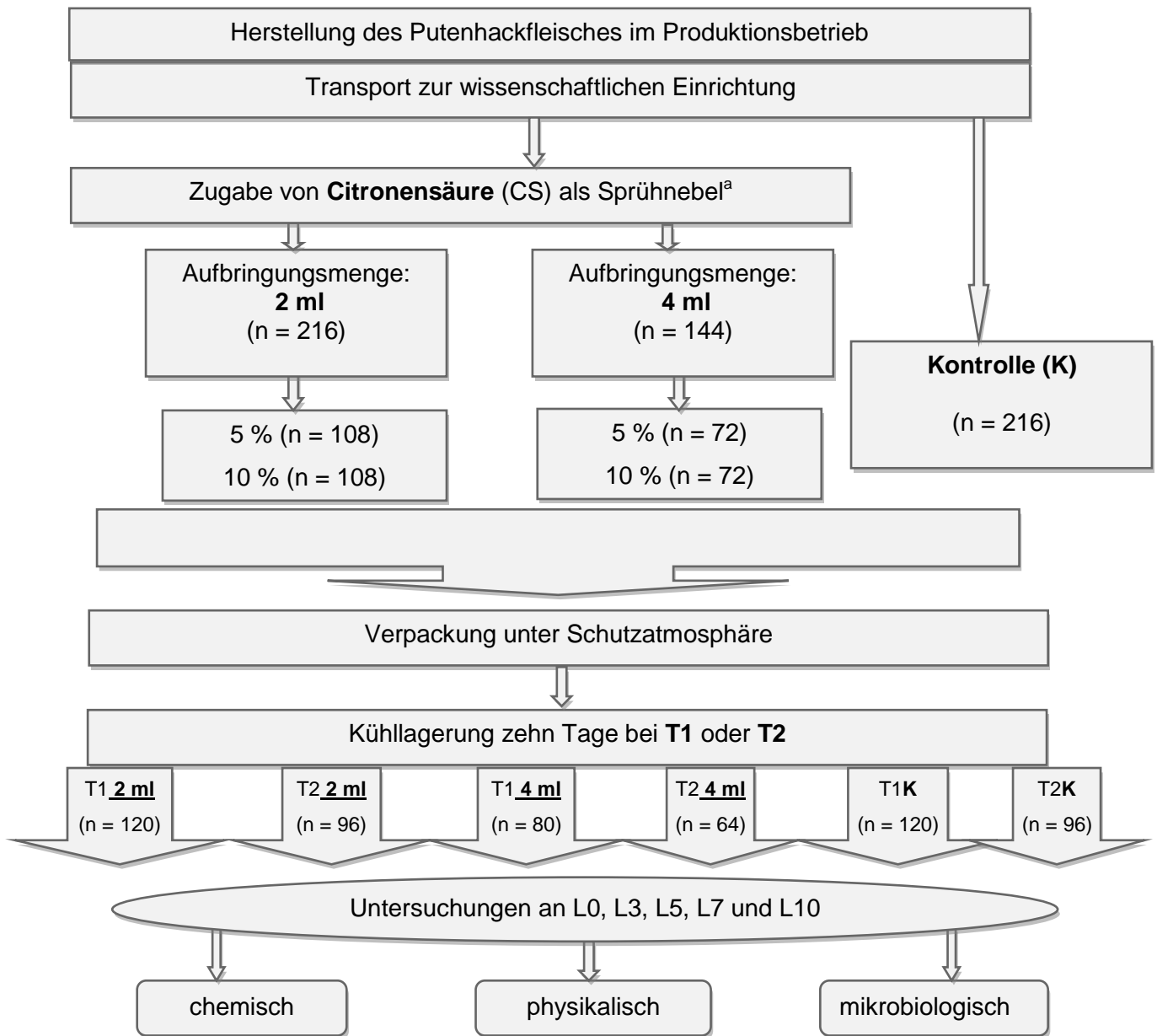
### 3.4.1.2 ERHOBENE PARAMETER

Die Bestimmung der aeroben mesophilen GKZ und des pH-Wertes erfolgte zu den beschriebenen Lagerungstagen.

## **3.4.2 HAUPTVERSUCHE**

### 3.4.2.1 VERSUCHSDESIGN

Citronensäure (CS) wurde in zwei Konzentrationen (5 %, 10 %; w/v) und Mengen (2 ml, 4 ml) vor dem Verpacken als Sprühnebel auf die Probenoberfläche aufgebracht. Parallel wurde eine Kontrolle produziert. Die Untersuchungen erfolgten am Herstellungstag (L0), am dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Tag nach der Herstellung. Es wurden für die Kontrolle (K) und die Aufbringungsmenge 2 ml sechs ( $n = 432$ ) und für die Aufbringungsmenge von 4 ml vier ( $n = 144$ ) Chargen bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) untersucht (Abb. 11).



T1: +2 ± 0,5 °C  
 T2: +2 ± 0,5 °C; ab L3: 45 Min +25 °C, +7 ± 0,5 °C

<sup>a</sup> Oberflächenbehandlung

**Abbildung 11: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt III – Untersuchungen zum Einsatz sprühvernebelter Citronensäure (sechs Chargen für Kontrolle und Aufbringungsmenge 2 ml: CH1A-CH6A; vier Chargen für Aufbringungsmenge 4 ml: CH1B-CH4B; n = 576)**

Auf die Zugabe von Pulver und Lösung wurde in den Hauptversuchen verzichtet, da es durch die Applikation der Säure bei beiden Formen und eingesetzten Konzentrationen in den Vorversuchen zu grauen Verfärbungen der Muskulatur kam. Außerdem wurde die Konsistenz des Fleisches zäh und gummiartig. Diese unerwünschten Farb- und Konsistenzveränderungen wurden durch das Aufbringen des Sprühnebels in den Konzentrationen 5 % und 10 % in den Vorversuchen weitestgehend verhindert. Eine höhere Konzentration (> 10 %) erschien mit dem Anspruch der Genussfähigkeit an das Endprodukt

aufgrund der auftretenden Farb- und Konsistenzveränderungen nicht vereinbar. Als eine zusätzliche Variante wurde in den Hauptversuchen die Erhöhung der Aufbringungsmenge (4 ml) in die Untersuchungen integriert.

In Tabelle 12 werden die verwendeten Applikationen mit den dazugehörigen Konzentrationen zusammenfassend aufgelistet.

**Tabelle 12: Eingesetzte Citronensäureapplikationen und -konzentrationen in Untersuchungsabschnitt III**

Untersuchungsabschnitt III		Applikationsform der Citronensäure		
		Pulver <sup>1</sup>	Lösung <sup>1</sup>	Sprühnebel
Vorversuche	Eingesetzte Konzentrationen	0,1 %	0,1 %	5 % <sup>2</sup>
		1 %	1 %	10 % <sup>2</sup>
		3 %	3 %	50 % <sup>2</sup>
Hauptversuche	Eingesetzte Konzentrationen	-	-	<u>Aufbringungsmenge</u>
				<b><u>2 ml:</u></b>
				5 %
				10 %
				<u>Aufbringungsmenge</u>
				<b><u>4 ml:</u></b>
				5 %
				10 %

<sup>1</sup> als Endkonzentration im Fleisch

<sup>2</sup> Oberflächenbehandlung: Aufbringungsmenge 2 ml

#### 3.4.2.2 ERHOBENE PARAMETER

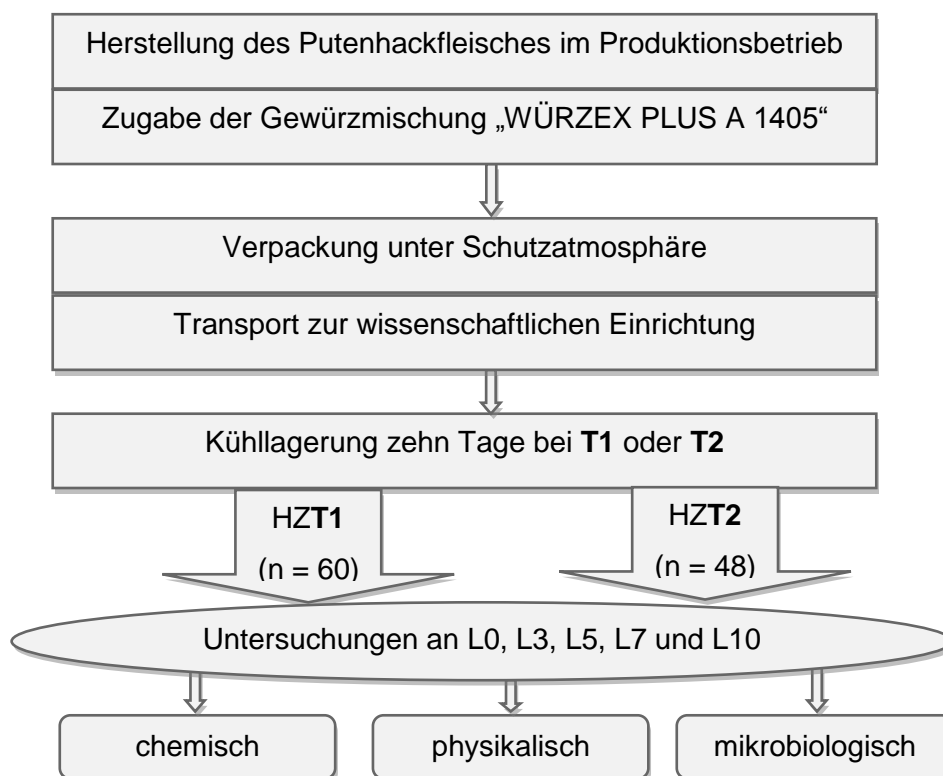
Die chemische Vollanalyse wurde pro Charge einmal für die Proben bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) durchgeführt, ebenso wie die Bestimmung des  $a_w$ -Wertes. Die Untersuchungen der weiteren physikalischen ( $L^*a^*b^*$ -Farbwerte, Gasanalysen, pH-Werte) sowie der mikrobiologischen Parameter (aerobe mesophile GKZ, *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta*, *Enterobacteriaceae*) erfolgten an jedem untersuchten Lagerungstag für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**).



### 3.5 UNTERSUCHUNGSABSCHNITT IV: QUALITÄTSVERBESSERUNG DURCH ZUGABE EINER GEWÜRZMISCHUNG

#### 3.5.1 VERSUCHSDESIGN

Eine Gewürzmischung wurde durch die Zugabe zu frischem Putenhackfleisch auf ihre Eignung als zusätzliche mikrobiologische Hürde bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) überprüft. Im Herstellungsprozess wurden während des Mengvorganges zu 100 kg Flügelmuskulatur 1,4 kg der Gewürzmischung „Würzex Plus A 1405“ zugefügt. Diese setzt sich zusammen aus Kochsalz (NaCl), Ascorbinsäure (E 300), Natriumascorbat (E 301), Aromaextrakten und dem Trennmittel Siliciumdioxid, wobei 100 g des Produktes 94 g NaCl enthalten. Das dazugehörige Produktdatenblatt befindet sich im Anhang (vgl. Kapitel 8.5). Die Untersuchungen erfolgten am Herstellungstag (L0) sowie am dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Tag nach der Herstellung. Es wurden nacheinander sechs Chargen (HZ1-HZ6; n = 108) untersucht (Abb. 12).



T1:  $+2 \pm 0,5 \text{ °C}$

T2:  $+2 \pm 0,5 \text{ °C}$ ; ab L3: 45 Min  $+25 \text{ °C}$ ,  $+7 \pm 0,5 \text{ °C}$

**Abbildung 12: Versuchsdesign: Untersuchungsabschnitt IV – Qualitätsverbesserung durch Zugabe einer Gewürzmischung (sechs Chargen: HZ1-HZ6; n = 108)**

### 3.5.2 ERHOBENE PARAMETER

Die chemische Vollanalyse wurde pro Charge einmal für die Proben bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) durchgeführt, ebenso wie die Bestimmung des  $a_w$ -Wertes. Die Untersuchungen der weiteren physikalischen ( $L^*a^*b^*$ -Farbwerte, Gasanalysen, pH-Werte) sowie der mikrobiologischen Parameter (aerobe mesophile GKZ, *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta* und *Enterobacteriaceae*) erfolgten an jedem untersuchten Lagerungstag für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**).

## 4 ERGEBNISSE

Die Darstellung der erhobenen physikalischen und mikrobiologischen Parameter erfolgt in einem einheitlichen Abbildungsdesign, das sich an NOWAK et al. (2007) und REMM et al. (2009) orientiert. Die komplexe Darstellungsform ist durch die Vielzahl der analysierten Parameter bedingt und wurde gewählt, um die Anzahl der verwendeten Abbildungen in einem überschaubaren Rahmen zu halten. Neben der tabellarischen Darstellung hat sich das Säulen- ebenso wie das Liniendiagramm als übersichtlichste Darstellungsform herausgestellt. Im Folgenden werden die Bedeutung der am häufigsten verwendeten Symbole erklärt.

**Tabelle 13: Bedeutung der verwendeten Symbole in den Abbildungen und Tabellen**

Symbol	Bedeutung	verwendet in
<b>Kleinbuchstabe</b>	sign. Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei <b>T1</b>	US-Abschnitt I, II, III und IV
<b>Großbuchstabe</b>	sign. Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei <b>T2</b>	US-Abschnitt I, II, III (Hauptversuche) und IV
<b>(Zahl)</b>	sign. Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den ermittelten Werten der eingesetzten Citronensäurekonzentrationen bei <b>T1</b>	US-Abschnitt III
<b><u>Zahl</u></b>	sign. Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den ermittelten Werten der eingesetzten Citronensäurekonzentrationen bei <b>T2</b>	US-Abschnitt III (Hauptversuche)
*	sign. Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen <b>T1</b> und <b>T2</b>	US-Abschnitt I, II, III (Hauptversuche) und IV
†	sign. Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen behandelter Probe und Kontrolle bei <b>T1</b> bzw. <b>T2</b>	US-Abschnitt III

## 4.1 MIKROBIOLOGISCHER STATUS QUO BEI INDUSTRIELL HERGESTELLTEM PUTENHACKFLEISCH

Im Untersuchungsabschnitt I wurde die „Status quo“-Erhebung von frischem, industriell hergestelltem Putenhackfleisch durchgeführt. Neben den mikrobiologischen Analysen erfolgte die Bestimmung ausgewählter chemischer und physikalischer Parameter (n = 108).

### 4.1.1 CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Tabelle 14 stellt die ermittelten Werte der chemischen Vollanalysen aus den sechs Chargen der Status quo-Untersuchungen dar, die in jeder Charge einmal durchgeführt wurde. Zwischen den einzelnen Chargen wurden für die jeweiligen Untersuchungsparameter keine signifikanten Unterschiede festgestellt ( $p > 0,05$ ). Die Ergebnisse werden als Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen (MW  $\pm$  SD) in Prozent (%) angegeben.

**Tabelle 14: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des frischen Hackfleisches aus dem Putenflügel aus sechs Chargen (in %) (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, MW  $\pm$  SD)**

Untersuchungsparameter	
Aschegehalt	1,1 $\pm$ 0,041
Trockensubstanz	27,6 $\pm$ 0,276
Gesamtwasser	72,4 $\pm$ 0,293
Gesamtfett	4,1 $\pm$ 0,204
Gesamteiweiß	22,4 $\pm$ 0,232
Fleischeiweiß	20,0 $\pm$ 0,237
Hydroxyprolin	0,1 $\pm$ 0,019
Bindegewebeiseiweiß (BE)	0,5 $\pm$ 0,019
BEFFE	19,5 $\pm$ 0,248

### 4.1.2 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

#### 4.1.2.1 GASANALYSEN

Tabelle 15 stellt die Entwicklung der Werte der eingesetzten Schutzatmosphäre in sechs Chargen für die Proben bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**), ebenso wie nach Unterbrechung der Kühlkette und Lagerung bei erhöhten Temperaturen (**T2**) dar. Die

## ERGEBNISSE

Einzelwerte werden als arithmetische Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) zusammengefasst aufgezeigt.

**Tabelle 15: Entwicklung der Anteile von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> (in Vol. %) im Verlauf der zehntägigen Lagerung bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben).**

	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>	
	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	70,7 ± 2,6 <sup>a</sup>	-	19,6 ± 1,1 <sup>f</sup>	-
<b>L3</b>	67,4 ± 3,1 <sup>b</sup>	64,7 ± 2,5 <sup>B</sup>	20,6 ± 1,0 <sup>g</sup>	21,7 ± 0,7 <sup>G</sup>
<b>L5</b>	68,0 ± 2,8 <sup>b</sup>	64,4 ± 1,9 <sup>C</sup>	21,0 ± 1,1 <sup>g</sup>	24,0 ± 1,0 <sup>H*</sup>
<b>L7</b>	66,2 ± 3,9 <sup>b</sup>	59,7 ± 1,9 <sup>D*</sup>	21,6 ± 1,5 <sup>g</sup>	26,3 ± 4,5 <sup>H*</sup>
<b>L10</b>	64,0 ± 2,3 <sup>b</sup>	41,6 ± 2,4 <sup>E*</sup>	23,5 ± 1,5 <sup>h</sup>	41,2 ± 3,5 <sup>I*</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) für das jeweilige Gas zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen.

Der Gehalt an O<sub>2</sub> nimmt im Lagerungsverlauf für die Proben bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) geringfügig ab. Es kommt zwischen dem Tag der Herstellung und dem Ende der Lagerung insgesamt zu einem Abfall von 70,7 Vol. % auf 64,0 Vol. %. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt erhöht sich für **T1** im Laufe der zehntägigen Lagerung kontinuierlich, wobei die stärkste Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehaltes zwischen dem siebten (21,6 Vol. %) und zehnten (23,5 Vol. %) Lagerungstag ( $p \leq 0,05$ ) erfolgt. Nach Unterbrechung der Kühlkette und der Lagerung bei erhöhten Temperaturen (**T2**) sinkt für die untersuchten Proben der Gehalt an O<sub>2</sub> von anfänglich 64,7 Vol. % bis zum siebten Lagerungstag auf 59,7 Vol. % ab ( $p \leq 0,05$ ) und reduziert sich bis zum Ende der Lagerung nochmal signifikant ( $p \leq 0,05$ ) auf 41,6 Vol. %. Der initiale CO<sub>2</sub>-Gehalt von 21,7 Vol. %, der sich bis zum siebten Lagerungstag um 4,7 Vol. % erhöht, nimmt bis zum zehnten Lagerungstag sprunghaft auf 41,2 Vol. % zu ( $p \leq 0,05$ ). Der O<sub>2</sub>-Gehalt liegt für **T1** am siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als für **T2**. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt für **T2** liegt dagegen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als der für **T1**.

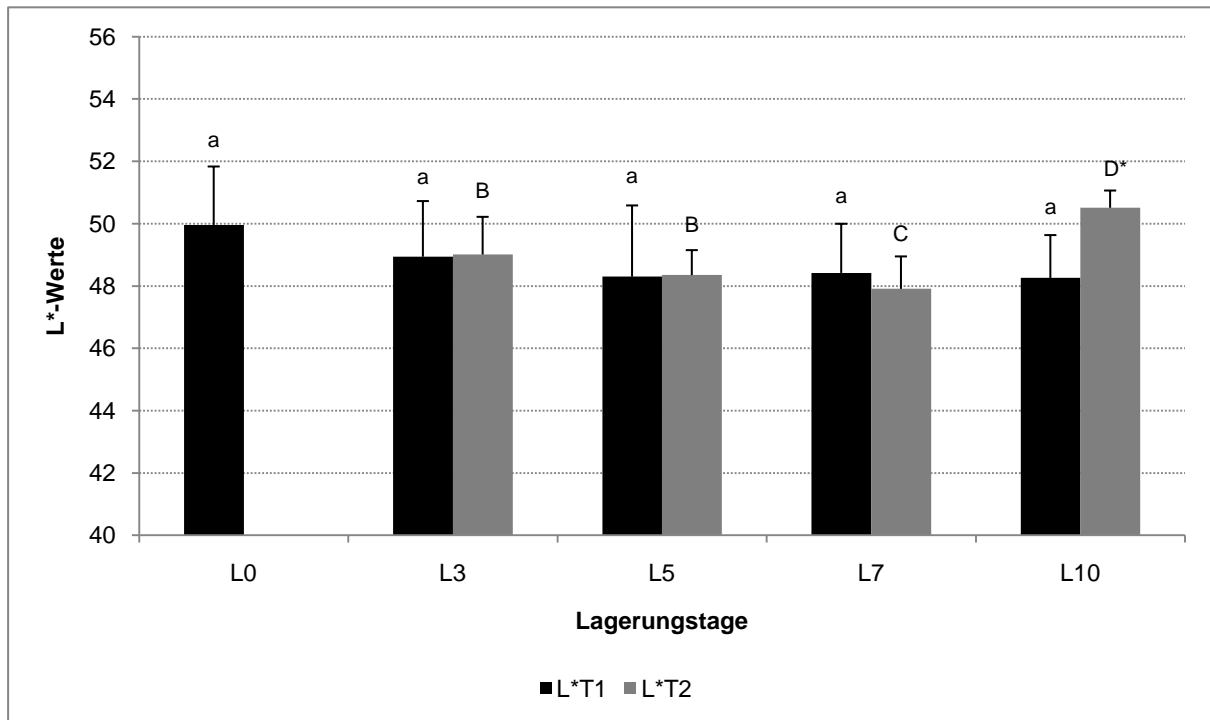
### 4.1.2.2 L\*A\*B\*-FARBWERTE

In den Abbildungen 13 bis 15 wird die Entwicklung der am Tag der Herstellung (L0) (nur **T1**), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag (**T1**, **T2**) gemessenen **L\*a\*b\*-Farbwerte** von frischem Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre bei zwei

Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) aus sechs Chargen zusammenfassend dargestellt. Die aus den Einzelmessungen der Proben errechneten arithmetischen Mittelwerte (MW) werden mit den Standardabweichungen (SD) für jeden untersuchten Lagerungstag aufgezeigt. Die X-Achse stellt die Lagerungstage dar, während die Y-Achse die gemessenen Werte als absolute dimensionslose Zahlen des dreidimensionalen L\*a\*b\*-Farbraumes wiedergibt.

Helligkeit (L\*-Wert)

Abbildung 13 zeigt den Verlauf der gemessenen **Helligkeitswerte (L\*-Werte)** bei **T1** und **T2**.



**Abbildung 13: Entwicklung der L\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

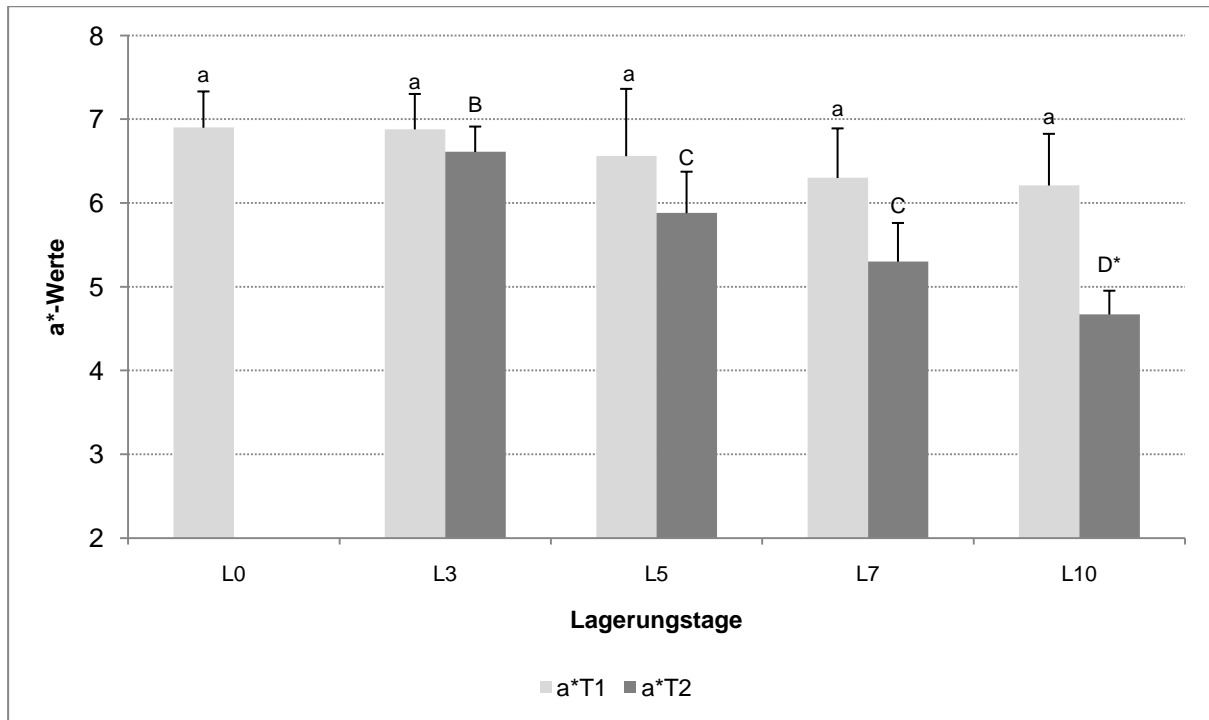
Im Verlauf der zehntägigen Lagerung findet während der konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) nur eine geringe und statistisch nicht signifikante ( $p > 0,05$ ) Veränderung der L\*-Werte statt. Die Helligkeitswerte sinken von anfänglich L\* 50,0 auf einen Endwert von L\* 48,3.

Zu Beginn der Simulation des Verbraucherverhaltens (**T2**) liegt der Helligkeitswert bei L\* 49,0. Während er im Verlauf der Lagerung leicht abnimmt, kommt es zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag zu einem signifikanten Anstieg von L\* 47,9 auf L\* 50,5 ( $p \leq 0,05$ ).

Der Vergleich zwischen **T1** und **T2** zeigt am zehnten Lagerungstag einen signifikant höheren Helligkeitswert ( $p \leq 0,05$ ) für die Proben von **T2**.

Rotwert (a\*-Wert)

Abbildung 14 zeigt die Entwicklung der **Rotwerte (a\*-Werte)** bei **T1** und **T2**.



**Abbildung 14: Entwicklung der a\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

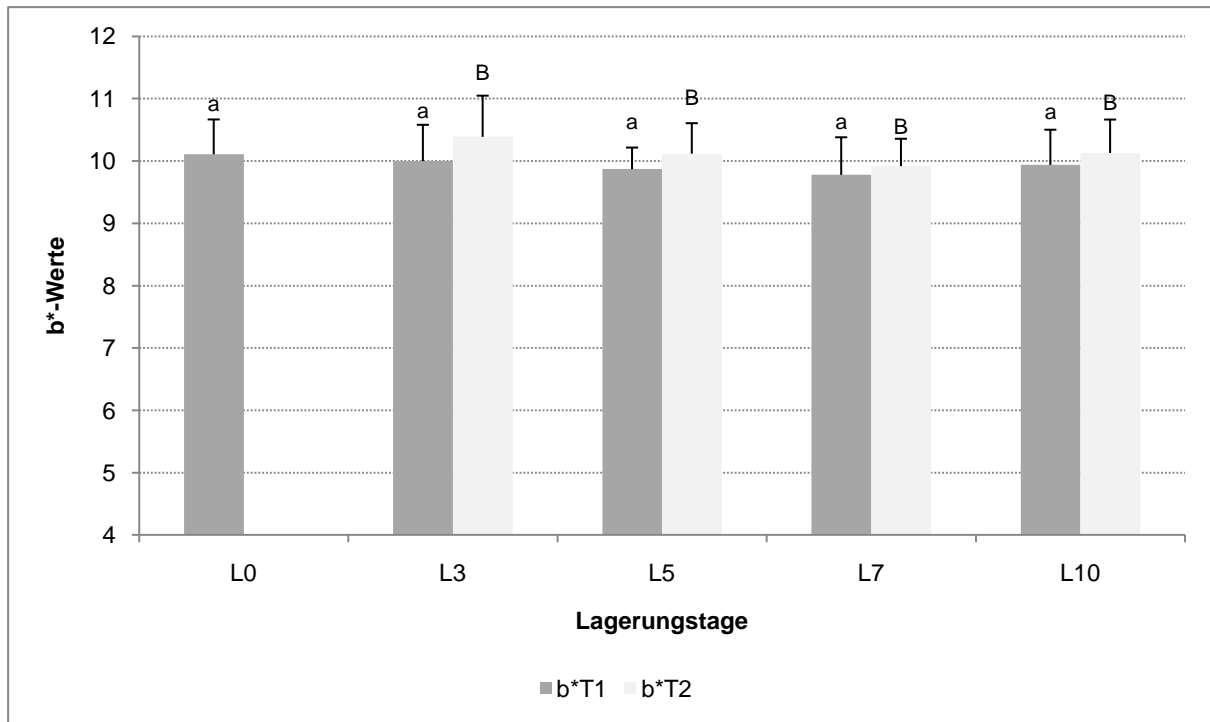
Bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (T1) kommt es ab dem dritten Lagerungstag bis zum Ende der Lagerung zu einem stetigen, statistisch aber nicht signifikanten ( $p > 0,05$ ) Abfall des Rotwertes von a\* 6,9 auf a\* 6,2.

Infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (T2) kommt es zu einer deutlicheren und unverzüglichen Abnahme der a\*-Werte. Der am dritten Lagerungstag gemessene Wert von a\* 6,6 fällt bis zum fünften Lagerungstag auf einen Wert von a\* 5,9 ab ( $p \leq 0,05$ ). Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einem weiteren, statistisch signifikanten Verlust ( $p \leq 0,05$ ) des a\*-Wertes von a\* 5,3 auf a\* 4,7.

Am letzten untersuchten Lagerungstag liegt der Rotwert von T2 signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als der von T1.

Gelbwert (b\*-Wert)

In Abbildung 15 wird der Verlauf der **Gelbwerte (b\*-Werte)** für beide Lagerungstemperaturen (**T1, T2**) gezeigt.



**Abbildung 15: Entwicklung der b\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ .**

Die Gelbwerte (b\*-Werte) der Proben bleiben während der zehntägigen Lagerung bei +2 °C (T1) nahezu unverändert ( $p > 0,05$ ).

Auch die Erhöhung der Lagerungstemperatur (T2) hat nur einen geringen Einfluss auf die Veränderung der b\*-Werte während der Lagerung ( $p > 0,05$ ). Insgesamt wurden im Vergleich zu T1 für diese Lagerungstemperatur höhere b\*-Werte gemessen ( $p > 0,05$ ).

Gesamtfarbdifferenzen ( $\Delta E$ )

Für alle Proben wurde die **mittlere Gesamtfarbdifferenz ( $\Delta E$ )** ermittelt, die ebenso wie die L\*a\*b\*-Farbwerte als dimensionslose Zahl dargestellt wird. Die Gesamtfarbdifferenz bzw. der Farbabstand berechnet sich nach der folgenden Formel (CHATELAIN et al. 2007; DIN 6174:2007):

---

Die Werte für  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  und  $\Delta b^*$  werden errechnet, indem die L\*-, a\*- und b\*-Werte der Proben, die miteinander verglichen werden sollen, voneinander subtrahiert werden



(KLETTNER und STIEBING 1980). In den vorliegenden Untersuchungen wurde für **T1** der am Tag der Herstellung ermittelte Wert ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) als Anfangsmesswert gesetzt und von den Ende der Lagerung ermittelten Werten abgezogen, für **T2** wurden die am dritten Lagerungstag zu Beginn des simulierten Verbraucherverhaltens ermittelten Werte als Anfangsmesspunkte bestimmt. Basierend auf der angegebenen Formel wurden für die Ergebnisse des Status quo folgende Gesamtfarbdifferenzen ermittelt:

**Tabelle 16: Errechnete Gesamtfarbdifferenzen ( $MW \pm SD$ ) der Status quo-Proben für T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 108$ )**

$\Delta E$ Status T1	$\Delta E$ Status T2
2,10 $\pm$ 1,285	2,63 $\pm$ 0,477

Die Proben von **T2** besitzen mit einem Wert von  $\Delta E$  2,63 eine größere Gesamtfarbdifferenz, die etwa 0,5-Einheiten höher liegt als der für die Proben von **T1** berechnete Wert. Im Allgemeinen stellt eine Gesamtfarbdifferenz von 1,0 einen gerade noch visuell wahrnehmbaren Farbunterschied dar (KLETTNER und STIEBING 1980).

#### 4.1.2.3 PH- UND $A_w$ -WERTE

Tabelle 17 zeigt den Verlauf der **pH-Werte** des Putenhackfleisches über die zehntägige Lagerung der Proben bei **T1** und **T2**.

**Tabelle 17: Gemessene pH-Werte des frischen Putenhackfleisches unter Schutzatmosphäre während der zehntägigen Lagerung (sechs Chargen:  $n = 60$  für T1 und  $n = 48$  für T2).**

	T1	T2
L0	6,19 $\pm$ 0,040 <sup>a</sup>	-
L3	6,23 $\pm$ 0,058 <sup>a</sup>	6,16 $\pm$ 0,032 <sup>B</sup>
L5	6,17 $\pm$ 0,096 <sup>a</sup>	6,15 $\pm$ 0,023 <sup>B</sup>
L7	6,18 $\pm$ 0,086 <sup>a</sup>	6,16 $\pm$ 0,028 <sup>B</sup>
L10	6,24 $\pm$ 0,186 <sup>a</sup>	6,13 $\pm$ 0,026 <sup>B</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Zeile =  $p > 0,05$ .

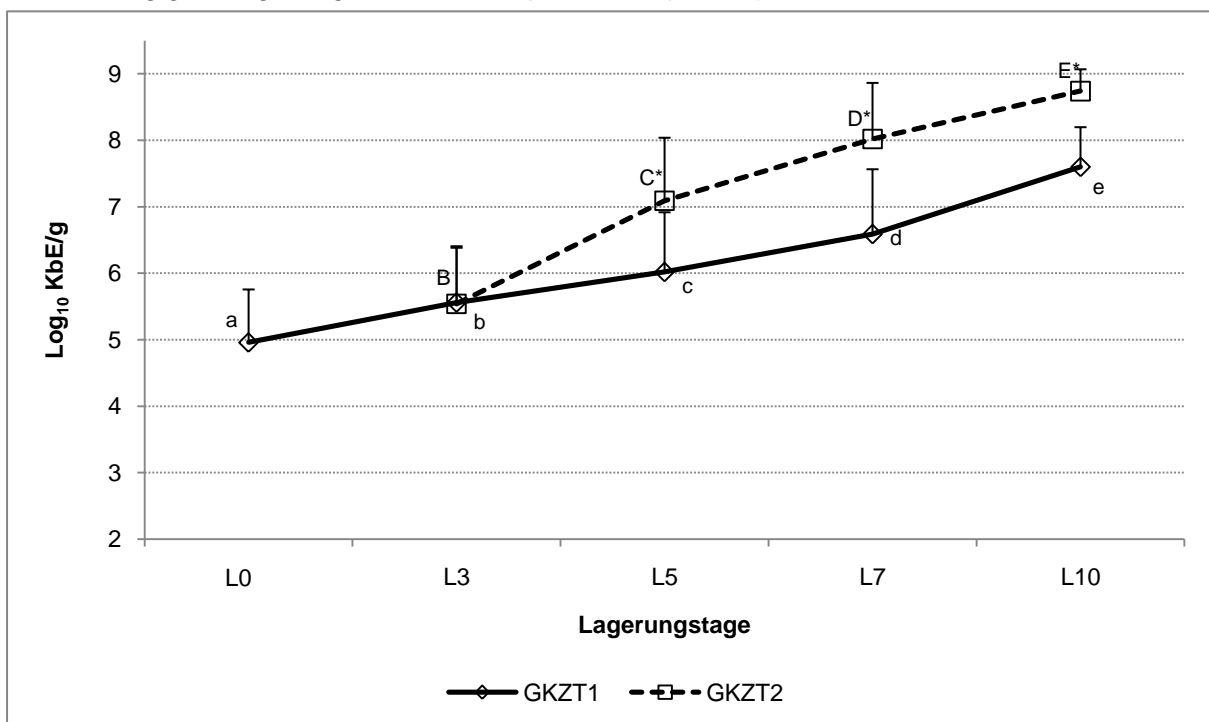
Die Tabelle zeigt, dass es für die Proben sowohl bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) als auch bei einem simuliertem Verbraucherverhalten (**T2**) im Verlauf der zehntägigen Lagerung zu keinen statistisch signifikanten Veränderungen des pH-Wertes kommt ( $p > 0,05$ ). Insgesamt liegen die Werte für **T2** geringfügig unter denen von **T1** ( $p > 0,05$ ). Der  $a_w$ -Wert, der nur für die Proben von **T1** ermittelt wurde, liegt in den sechs untersuchten Chargen bei einem durchschnittlichen Wert von 0,9900.

### 4.1.3 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Abbildungen 16 bis 19 stellen den Verlauf der Keimzahlen der untersuchten Mikroorganismen in frischem, industriell hergestelltem Putenhackfleisch während der zehntägigen Lagerungsdauer bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) als auch nach Unterbrechung der Kühlkette und der Lagerung bei erhöhten Temperaturen (**T2**) in sechs Chargen dar. Die mikrobiologischen Untersuchungen wurden am Tag der Herstellung (L0) (nur **T1**), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag (**T1** und **T2**) durchgeführt. Die X-Achse zeigt die Lagerungsdauer in Tagen. Auf der Y-Achse werden die arithmetischen Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der erhobenen Einzelwerte logarithmisch ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g Hackfleisch) angegeben.

#### 4.1.3.1 AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

Abbildung 16 zeigt den Verlauf der **aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ)** während der zehntägigen Lagerung bei zwei Temperaturen (**T1**, **T2**).



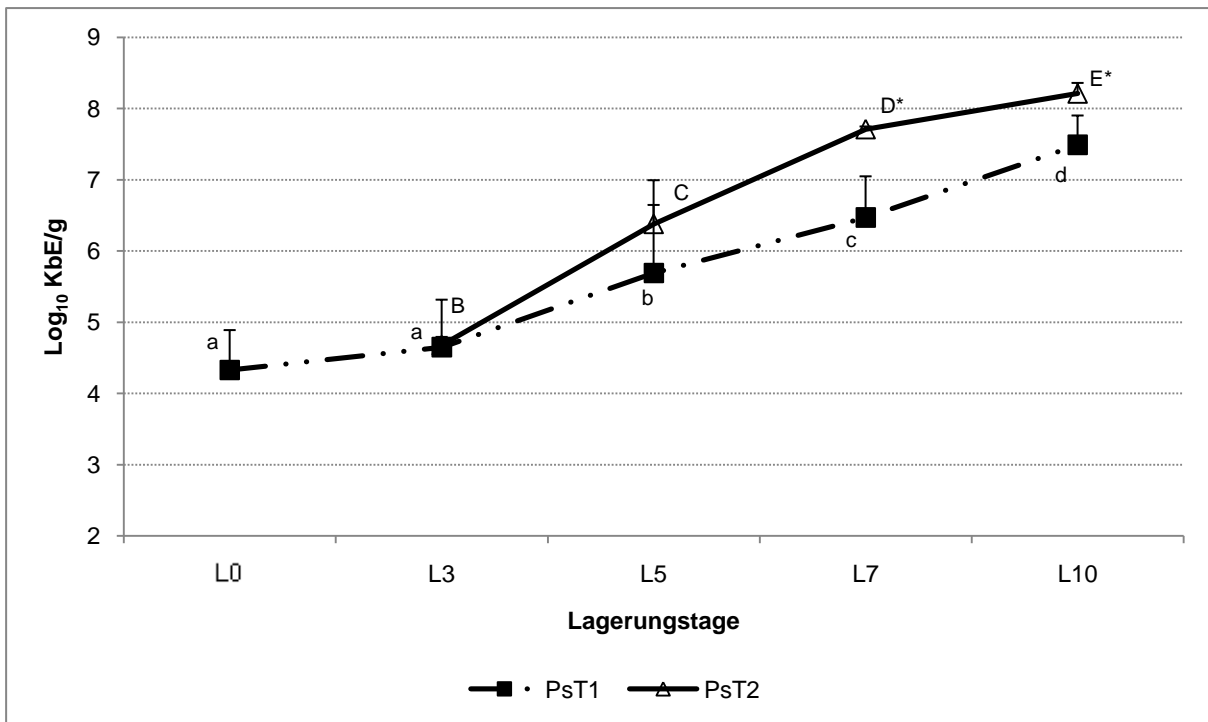
**Abbildung 16: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ;  $\text{Log}_{10}$  KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 108$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Wie es der Abbildung zu entnehmen ist, kommt es bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) vom Tag der Herstellung bis zum Lagerungsende zu einem kontinuierlichen und statistisch signifikantem Anstieg der aeroben mesophilen GKZ ( $p \leq 0,05$ ). Die Zunahme der Keimzahlen liegt zwischen den untersuchten Lagerungstagen im Bereich von durchschnittlich 0,5 bis 1,0  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten. Der Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$

5,0 KbE/g erreicht am Ende der Lagerung Keimzahlen von  $\text{Log}_{10}$  7,6 KbE/g. Durch die Unterbrechung der Kühlkette und der anschließenden Lagerung bei erhöhten Temperaturen (**T2**) kommt es für alle Proben ab dem dritten Lagerungstag zu einer noch stärkeren Zunahme der GKZ ( $p \leq 0,05$ ). Dabei steigen die Keimzahlen, mit  $\text{Log}_{10}$  5,5 KbE/g am dritten Lagerungstag bis zum fünften Lagerungstag um 1,6  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten. Am Ende der Lagerung erreichen sie Werte von  $\text{Log}_{10}$  8,7 KbE/g. Die Keimzahlen von **T2** liegen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag durchschnittlich eine  $\text{Log}_{10}$ -Einheit höher ( $p \leq 0,05$ ) als die Keimzahlen von **T1**.

#### 4.1.3.2 PSEUDOMONAS SPP.

Der Wachstumsverlauf für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) wird in Abbildung 17 gezeigt.



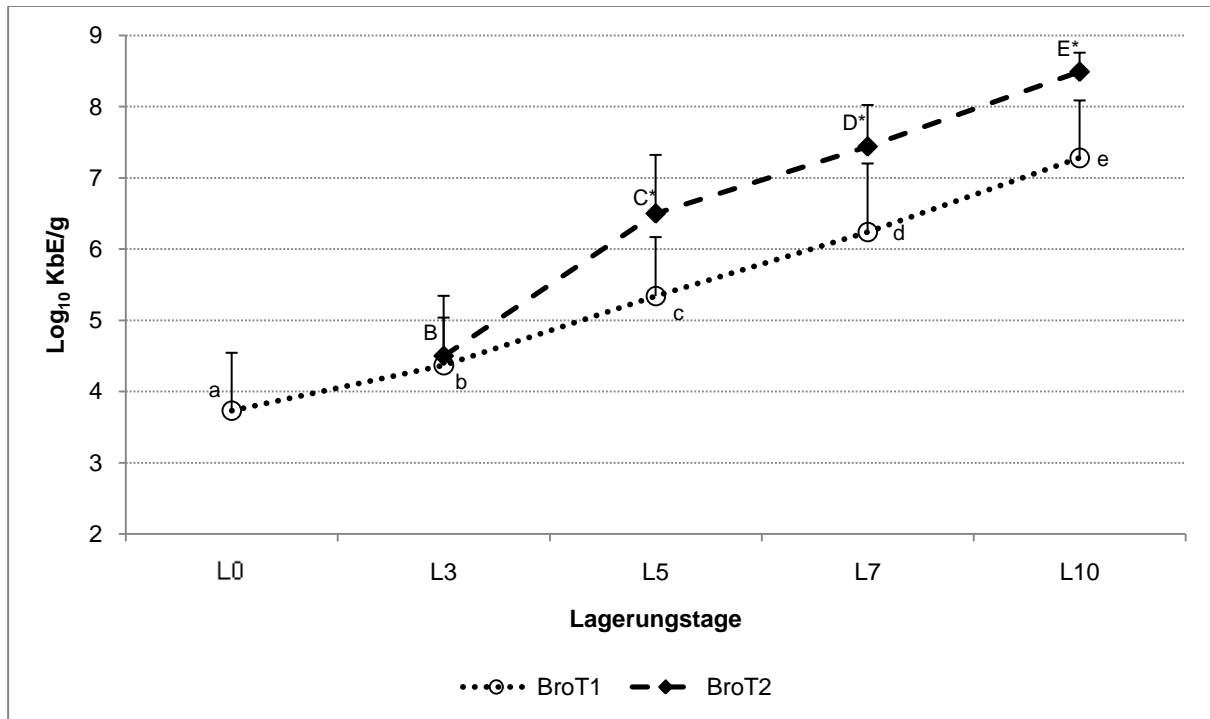
**Abbildung 17:** Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei **T1** und **T2** (sechs Chargen,  $n = 108$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen.

Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. steigen bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) ab dem dritten Lagerungstag zwischen den untersuchten Lagerungstagen kontinuierlich jeweils um eine  $\text{Log}_{10}$ -Stufe an ( $p \leq 0,05$ ). Der Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  4,3 KbE/g erhöht sich bis zum Lagerungsende auf  $\text{Log}_{10}$  7,5 KbE/g. Die für die Proben des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) am dritten Lagerungstag ermittelten Keimzahlen von  $\text{Log}_{10}$  4,7 KbE/g erhöhen sich bis zum fünften Lagerungstag bereits auf  $\text{Log}_{10}$  6,4 KbE/g ( $p \leq 0,05$ ). Bis

zum Ende der Lagerung steigen sie weiter um durchschnittlich 2,0 Log<sub>10</sub>-Stufen auf Log<sub>10</sub> 8,2 KbE/g an ( $p \leq 0,05$ ). Die Keimzahlen von **T2** liegen am siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als die Keimzahlen von **T1**.

#### 4.1.3.3 BROCHOTHRIX THERMOSPACTA

Abbildung 18 gibt den Wachstumsverlauf von *Brochothrix thermosphacta* bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) wieder.



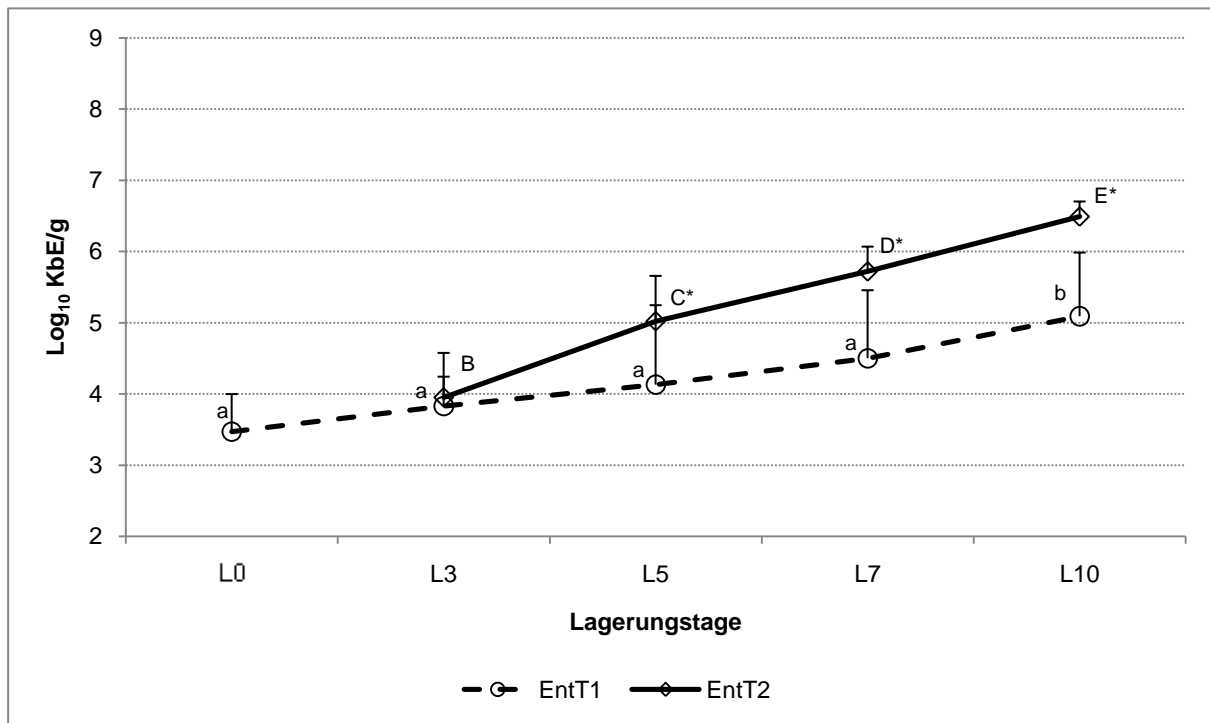
**Abbildung 18:** Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* (Log<sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 108$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = **Kleinbuchstaben**, bei T2 = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

Es kommt bei einer konsequenten Kühlung bei +2 °C (**T1**) im Verlauf der zehntägigen Lagerung zu einem kontinuierlichen und statistisch signifikanten Keimzahlenanstieg ( $p \leq 0,05$ ) von *Brochothrix thermosphacta*. Der Ausgangskeimgehalt von Log<sub>10</sub> 3,7 KbE/g nimmt bis zum Ende der Lagerung zwischen den untersuchten Lagerungstagen durchschnittlich um jeweils 1,0 Log<sub>10</sub>-Einheit auf einen Wert von Log<sub>10</sub> 7,3 KbE/g zu. Durch die Erhöhung der Lagerungstemperatur ab dem dritten Lagerungstag in Kombination mit einer Kühlkettenunterbrechung (**T2**) kommt es für die Proben zu einem noch stärkeren, statistisch ebenso signifikanten ( $p \leq 0,05$ ) Keimzahlenanstieg. Die Keimzahlen erhöhen sich zwischen dem dritten und fünften Lagerungstag bereits um zwei Log<sub>10</sub>-Einheiten auf Log<sub>10</sub> 6,5 KbE/g. Am Lagerungsende werden Keimzahlen von Log<sub>10</sub> 8,5 KbE/g erreicht. Die Keimzahlen von

**T2** liegen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag mit durchschnittlich 1,0 Log<sub>10</sub>-Einheit signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als die von **T1**.

#### 4.1.3.4 ENTEROBACTERIACEAE

Der Wachstumsverlauf der Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* wird für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) in Abbildung 19 gezeigt.



**Abbildung 19:** Verlauf der Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* (Log<sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei **T1** und **T2** (sechs Chargen,  $n = 108$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen

Für die Proben, die konsequent bei +2 °C (**T1**) gelagert wurden, findet die Keimzahlzunahme im Vergleich zu den beschriebenen Mikroorganismengruppen zu einem geringeren Ausmaß statt. Der Ausgangskeimgehalt von Log<sub>10</sub> 3,5 KbE/g erhöht sich bis zum zehnten Lagerungstag langsam auf einen Wert von Log<sub>10</sub> 5,1 KbE/g, dabei ist nur die Keimzahlzunahme zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) kommt es zu einem stärkeren, zwischen allen untersuchten Lagerungstagen statistisch signifikanten Keimzahlenanstieg ( $p \leq 0,05$ ). Die am dritten Lagerungstag bestimmte Keimzahl von Log<sub>10</sub> 4,0 KbE/g steigt bis zum fünften Lagerungstag bereits auf Log<sub>10</sub> 5,0 KbE/g an. Innerhalb der folgenden fünf Lagerungstage kommt es zu einem weiteren Anstieg um etwa 1,5 Log<sub>10</sub>-Einheiten auf einen Endwert von Log<sub>10</sub> 6,5 KbE/g. Die Keimzahlen von **T2** liegen am fünften, siebten und zehnten

Lagerungstag mit durchschnittlich 1,0 Log<sub>10</sub>-Einheiten signifikant höher als die von **T1** ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.1.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES UNTERSUCHUNGSABSCHNITTES I

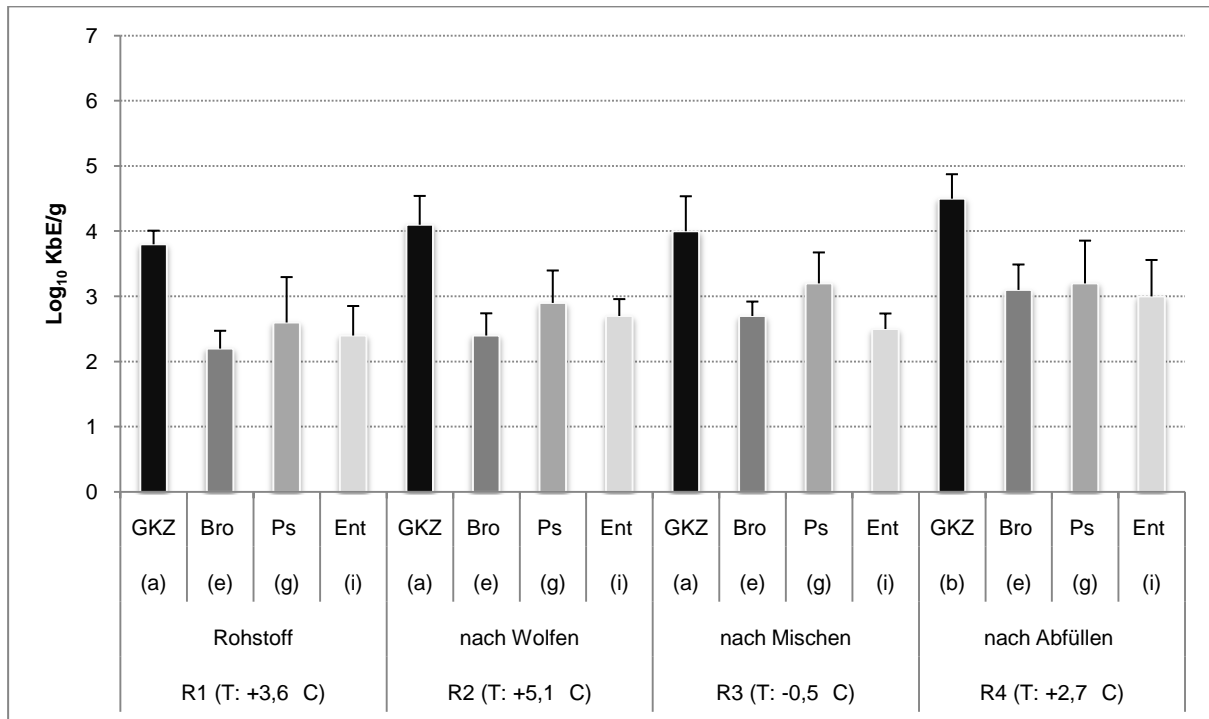
Für die Untersuchungen des Untersuchungsabschnittes I zum mikrobiologischen Status quo bei industriell hergestelltem Putenhackfleisch lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Die ermittelten Daten der chemischen Vollanalyse unterscheiden sich hinsichtlich der untersuchten Parameter zwischen den sechs unterschiedlichen Chargen nicht voneinander ( $p > 0,05$ ).
- Bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) kommt es für die Schutzatmosphärenanteile O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> über den Lagerungsverlauf nur zu geringfügigen, größtenteils nicht signifikanten ( $p > 0,05$ ) Veränderungen. Infolge der Kühlkettenunterbrechung und Lagerung bei erhöhten Temperaturen (**T2**) erfolgt eine deutliche Abnahme des O<sub>2</sub>-Gehaltes und eine deutliche Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehaltes, insbesondere zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag ( $p \leq 0,05$ ).
- Die L\*a\*b\*-Farbwerte verändern sich bei strikter Einhaltung der Kühlkette (**T1**) über die Lagerung nur geringfügig ( $p > 0,05$ ). Die Unterbrechung der Kühlkette (**T2**) wirkt sich dagegen signifikant auf die L\*- und a\*-Werte aus. Während der L\*-Wert am zehnten Lagerungstag für **T2** im Vergleich zu **T1** höher liegt ( $p \leq 0,05$ ), erfolgt für den a\*-Wert von **T2** eine Abnahme auf einen signifikant niedrigeren ( $p \leq 0,05$ ) Wert am zehnten Lagerungstag im Vergleich zu **T1**.
- Die pH-Werte der Proben bleiben über den Lagerungsverlauf sowohl für **T1** als auch **T2** relativ konstant und unterscheiden sich nicht voneinander ( $p > 0,05$ ).
- Die mikrobiologischen Untersuchungen zeigen für die aerobe mesophile GKZ und Brochothrix thermosphacta, zunächst unabhängig von der Lagerungstemperatur (**T1**, **T2**) einen signifikanten Anstieg der Keimzahlen ( $p \leq 0,05$ ), wobei diese für die Proben des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag durchschnittlich eine Log<sub>10</sub>-Einheit höher liegen ( $p \leq 0,05$ ). Die Keimzahlen von Pseudomonas spp. bleiben bei Einhaltung der Kühlkette (**T1**) bis zum dritten Lagerungstag konstant, steigen dann, ebenso wie die Keimzahlen nach Unterbrechung der Kühlkette (**T2**), signifikant an ( $p \leq 0,05$ ). Der Anstieg führt für Letztere im Vergleich zu **T1** am siebten und zehnten Lagerungstag zu signifikant höheren ( $p \leq 0,05$ ) Keimzahlen. Die Keimzahlen der Enterobacteriaceae zeigen insgesamt den geringsten Anstieg, der allerdings auch in diesem Fall mit steigender Lagerungstemperatur (**T2**) signifikant ( $p \leq 0,05$ ) zunimmt.

## 4.2 QUALITÄTSVERBESSERUNG DURCH PROZESSSCHRITTANALYSE

### 4.2.1 STUFENKONTROLLE

Um die Auswirkungen der einzelnen Prozessstufen während des Herstellungsprozesses auf die mikrobiologische Belastung des Endproduktes beurteilen zu können, wurden an vier kritischen Stellen während der Produktion Proben entnommen (Rohstoff: **R1**; Fleisch nach dem Wolfen: **R2**; nach dem Mischen: **R3** und nach dem Abfüllen: **R4**) (n = 48).



**Abbildung 20: Quantitativer Nachweis der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ), Brochothrix thermosphacta (Bro), Pseudomonas spp. (Ps) und Enterobacteriaceae (Ent) (Log KbE/g, MW ± SD) von vier Probeentnahmestellen (R1-R4) während der Herstellung von frischem Putenhackfleisch (sechs Chargen, n = 48, jeweils 2 Proben). Signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen den Keimzahlen der gleichen Mikroorganismengruppe von zwei aufeinanderfolgenden Prozessstufen werden durch (Kleinbuchstaben) angegeben; bei gleichen Buchstaben zwischen zwei Prozessstufen bestehen keine signifikanten Unterschiede (p > 0,05).**

Die Abbildung 20 zeigt, dass der Ausgangskeimgehalt des Rohstoffes (R1) für die aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ) bei Log<sub>10</sub> 3,8 KbE/g liegt. Während es nach dem Wolfen des Rohstoffes (R2), ebenso wie während des Mischvorganges (R3), zu keinen signifikanten Veränderungen kommt (p > 0,05), steigt die aerobe mesophile GKZ nach dem Abfüllen (R4) statistisch signifikant (p ≤ 0,05) auf einen Wert von Log<sub>10</sub> 4,5 KbE/g an. Für *Pseudomonas* spp. (Ps) wurde für den Rohstoff ein Ausgangskeimgehalt von Log<sub>10</sub> 2,6 KbE/g bestimmt. Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. zeigen im Verlauf der Herstellung den höchsten Wert nach dem Abfüllen (Log<sub>10</sub> 3,5 KbE/g), wobei es zwischen den Prozessstufen zu keinen signifikanten Keimzahlerhöhungen kommt (p > 0,05).

Der Ausgangskeimgehalt des Rohstoffes liegt für *Brochothrix thermosphacta* (Bro) bei  $\text{Log}_{10}$  2,2 KbE/g. Bis zur letzten Prozessstufe (R4) kommt es zu einem Anstieg der Keimzahlen auf  $\text{Log}_{10}$  3,0 KbE/g ( $p > 0,05$ ). Für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* (Ent) weist der Rohstoff einen Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  2,4 KbE/g auf, der sich insbesondere nach dem Abfüllen leicht erhöht ( $p > 0,05$ ). Während der Prozessstufenkontrolle erfolgte in allen Chargen auch ein quantitativer Nachweis von thermophilen *Campylobacter*, *Salmonella* spp. und *Listeria monocytogenes* aus den Proben der Prozessschritte R1 bis R4 ( $n = 48$ ). Es wurden zwei pathogene Keime in den Proben qualitativ bestimmt: *Salmonella* spp. und *Listeria monocytogenes*. Thermophile *Campylobacter* wurden qualitativ nicht nachgewiesen. *Salmonella* spp. wurde innerhalb der sechs Chargen während des Herstellungsprozesses einmal im Rohstoff gefunden. *Listeria monocytogenes* konnte in den Proben des Rohstoffes drei Mal und in den Proben, die nach dem Wolfen entnommen wurden, ein weiteres Mal nachgewiesen werden. Desweiteren wurde *Listeria monocytogenes* auch in zwei Proben, die nach dem Mischen und einer Probe, die nach dem Abfüllen gezogen wurden, qualitativ bestimmt. Tabelle 18 gibt zusammenfassend eine Übersicht über den Anteil positiver Proben mit Nachweis von pathogenen Mikroorganismen in den Proben der Prozessstufenkontrollen.

**Tabelle 18: Anteil (in %) positiver Proben mit Nachweis pathogener Erreger (*Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*) an der Gesamtzahl untersuchter Putenfleischproben (Stufenkontrolle) (sechs Chargen;  $n = 48$ , jeweils 2 Proben)**

	<i>Campylobacter</i> spp.	<i>Salmonella</i> spp.	<i>Listeria monocytogenes</i>
<b>Anteil positiver Proben (%)</b>	0	2,1	14,6

#### 4.2.2 LAGERUNGSVERSUCHE

Für die Untersuchungen von frischem Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre wurden 162 Proben in sechs voneinander unabhängigen Chargen mikrobiologisch untersucht. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch die Analyse ausgewählter chemischer und physikalischer Parameter.

##### 4.2.2.1 CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse der chemischen Vollanalyse des frischen Putenhackfleisches als Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen in Prozent (%). Zwischen den Chargen wurden keine signifikanten Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung festgestellt ( $p > 0,05$ ).



ERGEBNISSE

**Tabelle 19: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des frischen Hackfleischs aus dem Putenflügel (in %) (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, MW  $\pm$  SD)**

Untersuchungsparameter	
Aschegehalt	1,1 $\pm$ 0,084
Trockensubstanz	26,5 $\pm$ 0,526
Gesamtwasser	73,5 $\pm$ 0,526
Gesamtfett	3,1 $\pm$ 0,815
Gesamteiweiß	22,6 $\pm$ 0,268
Fleischeiweiß	21,3 $\pm$ 1,543
Hydroxyprolin	0,1 $\pm$ 0,050
Bindegewebseiweiß (BE)	1,1 $\pm$ 0,416
BEFFE	20,3 $\pm$ 1,659

4.2.2.2 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

4.2.2.2.1 GASANALYSEN

**Tabelle 20: Entwicklung der Anteile von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> (in Vol. %) im Verlauf der zehntägigen Lagerung bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben).**

	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>	
	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	71,4 $\pm$ 3,3 <sup>a</sup>		23,5 $\pm$ 3,4 <sup>f</sup>	
<b>L3</b>	67,7 $\pm$ 3,5 <sup>a</sup>	64,5 $\pm$ 2,1 <sup>B</sup>	25,7 $\pm$ 3,3 <sup>f</sup>	27,4 $\pm$ 3,0 <sup>G</sup>
<b>L5</b>	67,3 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	64,4 $\pm$ 4,4 <sup>B</sup>	25,9 $\pm$ 3,3 <sup>f</sup>	28,9 $\pm$ 3,4 <sup>G</sup>
<b>L7</b>	68,4 $\pm$ 4,1 <sup>a</sup>	63,1 $\pm$ 3,7 <sup>B</sup>	23,9 $\pm$ 4,8 <sup>f</sup>	27,6 $\pm$ 3,3 <sup>G</sup>
<b>L10</b>	64,1 $\pm$ 8,1 <sup>b</sup>	41,0 $\pm$ 9,1 <sup>C*</sup>	25,1 $\pm$ 7,3 <sup>f</sup>	43,2 $\pm$ 8,0 <sup>H*</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) für das jeweilige Gas zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen.

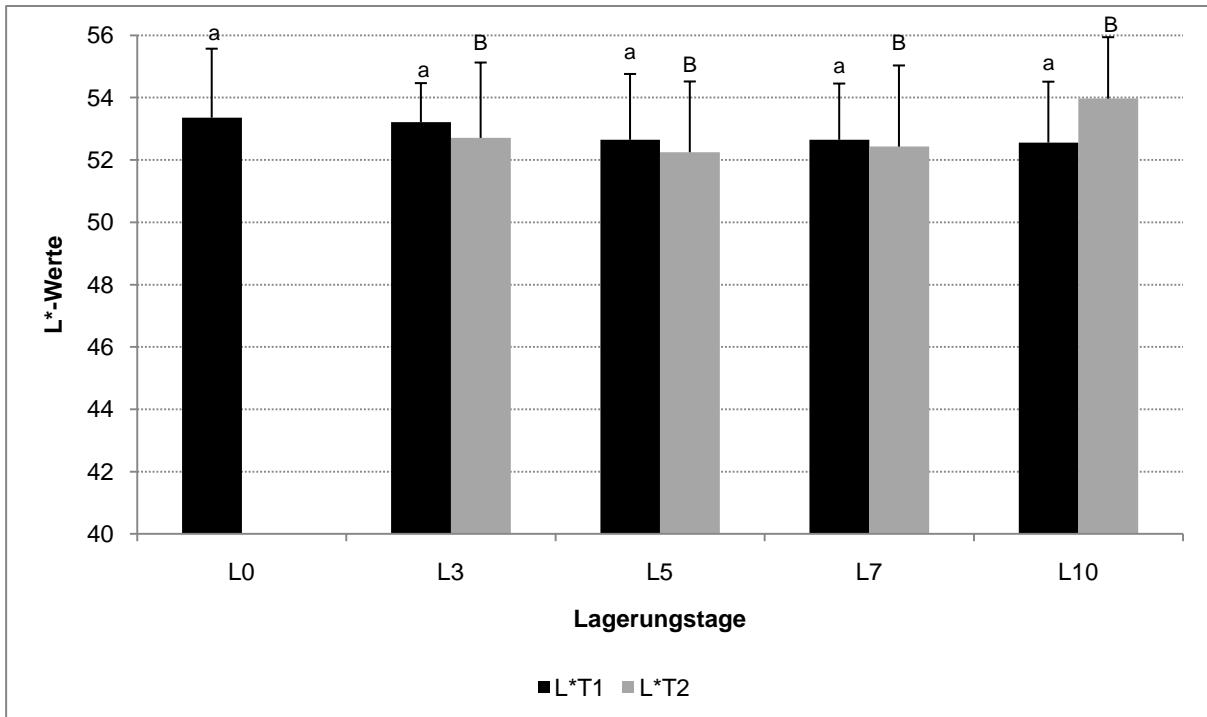
Tabelle 20 zeigt die Entwicklung der Verpackungsatmosphäre bei **T1** und **T2** (MW  $\pm$  SD). Der O<sub>2</sub>-Gehalt liegt bei der konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) zu Beginn der Messungen bei 71,4 Vol. %. Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einem signifikanten Abfall ( $p \leq 0,05$ ) des Wertes auf 64,1 Vol. %. Der Gehalt an CO<sub>2</sub> verändert sich bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) statistisch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Der am dritten Lagerungstag für **T2** ermittelte O<sub>2</sub>-Gehalt (64,5 Vol. %) fällt bis zum siebten Lagerungstag geringfügig auf einen Wert von 63,2 Vol. % ab ( $p > 0,05$ ). Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einem starken und statistisch signifikanten Abfall ( $p \leq 0,05$ ) des O<sub>2</sub>-Gehaltes auf einen Endwert von 44,1 Vol. %. Mit sinkendem O<sub>2</sub>-Gehalt kommt es zu einem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Während der Gehalt am dritten, fünften und siebten Lagerungstag mit einem Wert von etwa 27 Vol. % relativ stabil bleibt, erfolgt zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag ein statistisch signifikanter Anstieg ( $p \leq 0,05$ ) des CO<sub>2</sub>-Gehaltes auf 43,2 Vol. % . Bei einem Vergleich der beiden unterschiedlichen Lagerungstemperaturen kann am zehnten Lagerungstag sowohl für den Gehalt an O<sub>2</sub> als auch für den Gehalt an CO<sub>2</sub> ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den Werten von **T1** und **T2** festgestellt werden.

#### 4.2.2.2.2 L\*a\*b\*-FARBWERTE

In den Abbildungen 21 bis 23 wird die Entwicklung der gemessenen **L\*a\*b\*-Farbwerte** des frischen Putenhackfleischs über zehn Tage bei **T1** und **T2** aus sechs untersuchten Chargen dargestellt. Die aus den Einzelmessungen der Proben errechneten arithmetischen Mittelwerte (MW) werden zusammen mit den Standardabweichungen (SD) für jeden untersuchten Lagerungstag in einem Säulendiagramm aufgezeigt. Auf der X-Achse werden die Lagerungstage dargestellt, während die Y-Achse die gemessenen Werte als absolute dimensionslose Zahlen des dreidimensionalen L\*a\*b\*-Farbraumes wiedergibt.

Helligkeit (L\*-Wert)

Abbildung 21 stellt den Verlauf der gemessenen **Helligkeitswerte (L\*-Werte)** des frischen Putenhackfleischs bei **T1** und **T2** dar.



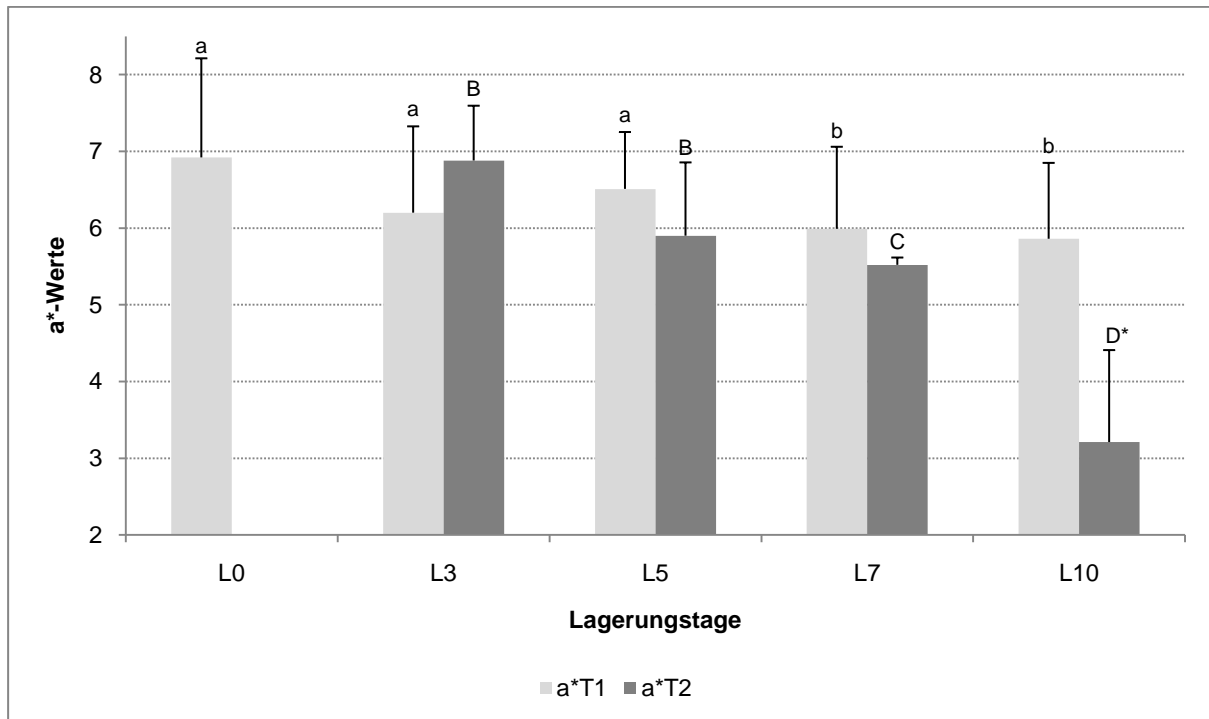
**Abbildung 21: Entwicklung der L\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Während der zehntägigen Lagerung der Proben bei einer Temperatur von +2 °C (T1) erfolgt keine statistisch signifikante Veränderung ( $p > 0,05$ ) der L\*-Werte. Sie nehmen über die zehntägige Lagerung von L\* 53,4 auf L\* 52,6 ab.

Ebenso wie bei den Proben, die konsequent bei T1 gelagert wurden, kommt es auch infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (T2) während der Lagerung zu keiner signifikanten Veränderung ( $p > 0,05$ ) der Helligkeit. Während zunächst eine Abnahme der L\*-Werte, mit minimalen Werten von L\* 52,3 erfolgt, nehmen diese zum Ende der Lagerung wieder zu (L\* 54,0).

Rotwert (a\*-Wert)

Abbildung 22 zeigt die Entwicklung der **Rotwerte (a\*-Werte)** des frischen Putenhackfleisches für **T1** und **T2**.



**Abbildung 22: Entwicklung der a\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

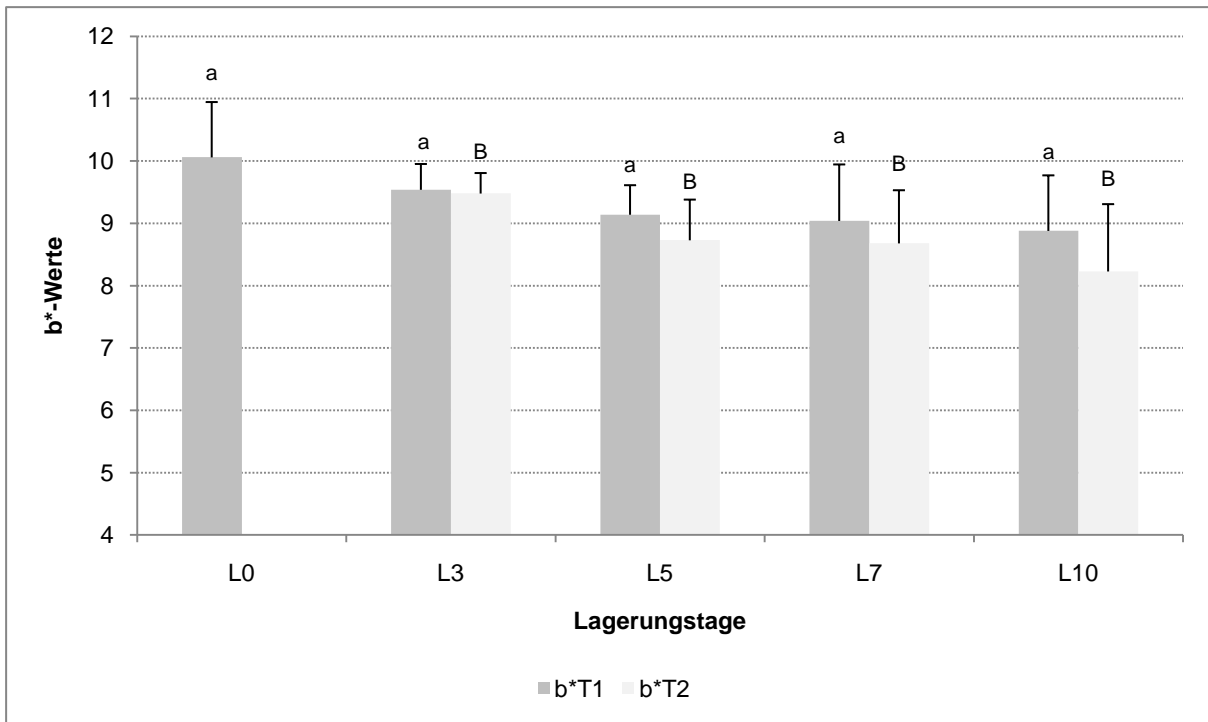
Der a\*-Wert für die Lagerungstemperatur von +2 °C (T1) liegt zu Beginn der Untersuchungen bei a\* 6,9. Zwischen dem fünften und siebten Lagerungstag erfolgt eine signifikante Rotwertabnahme auf a\* 6,0 ( $p \leq 0,05$ ).

Für die Proben des simulierten Verbraucherverhaltens (T2) findet während der Lagerung eine starke Abnahme des Rotwertes statt. Der am dritten Lagerungstag gemessene Wert (a\* 6,9) sinkt bis zum siebten Lagerungstag auf einen Wert von a\* 5,5 ( $p \leq 0,05$ ) und bis zum zehnten Lagerungstag auf einen Wert von a\* 3,2 ( $p \leq 0,05$ ) ab.

Am letzten untersuchten Lagerungstag besteht zwischen den a\*-Werten von T1 und T2 eine Differenz von 2,7 ( $p \leq 0,05$ ).

b\*-Wert (Gelbwert)

In Abbildung 23 wird der Verlauf der **Gelbwerte (b\*-Werte)** für beide Lagerungstemperaturen (**T1, T2**) dargestellt.



**Abbildung 23: Entwicklung der b\*-Werte (MW ± SD) von frischem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Es kommt für die untersuchten Proben während der zehntägigen Lagerung bei +2 °C (**T1**) zu einem leichten und stetigem, aber statistisch nicht signifikanten ( $p > 0,05$ ) Abfall der Gelbwerte von b\* 10,1 auf b\* 8,9. Für die Proben des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) findet ein leichter, statistisch nicht signifikanter Abfall ( $p > 0,05$ ) des b\*-Wertes vom Tag der Herstellung (b\* 9,5) bis zum Lagerungsende (b\* 8,2) statt. Zwischen den Werten von **T1** und **T2** bestehen keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ).

Gesamtfarbdifferenz

Für die in diesem Abschnitt beschriebenen Proben lassen sich am Ende der Lagerung auf Basis der vorliegenden L\*a\*b\*-Farbwerte für beide Lagerungstemperaturen (**T1, T2**) die folgenden **Gesamtfarbdifferenzen** ermitteln (Tab. 21):

**Tabelle 21: Ermittelte Gesamtfarbdifferenzen für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 162)**

$\Delta E$ T1	$\Delta E$ T2
2,30 ± 0,958	4,39 ± 1,175

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtfarbdifferenzen für **T2** mit einem Wert von  $\Delta E$  4,39 fast doppelt so hoch sind, als der für **T1** ermittelte Wert ( $\Delta$  2,30). Beide Differenzen liegen über dem sensorisch wahrnehmbaren Grenzwert von 1,0.

#### 4.2.2.2.3 PH- UND $a_w$ -WERTE

Tabelle 22 zeigt die ermittelten **pH-Werte** über den gesamten Untersuchungszeitraum mit den Messungen am Tag der Herstellung (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag. Es werden die Werte für die Proben von **T1** und **T2** dargestellt. Die gemessenen Einzelwerte der Proben werden als arithmetische Mittelwerte (MW) mit den dazugehörigen Standardabweichungen (SD) angegeben.

**Tabelle 22: Gemessene pH-Werte des frischen Putenhackfleisches während der zehntägigen Lagerung für T1 und T2 (sechs Chargen, n = 162).**

	T1	T2
L0	6,01 ± 0,169 <sup>a</sup>	-
L3	6,05 ± 0,206 <sup>a</sup>	6,06 ± 0,235 <sup>B</sup>
L5	6,06 ± 0,173 <sup>a</sup>	6,05 ± 0,155 <sup>B</sup>
L7	6,09 ± 0,185 <sup>a</sup>	6,02 ± 0,182 <sup>B</sup>
L10	6,05 ± 0,166 <sup>a</sup>	5,91 ± 0,175 <sup>C</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p > 0,05$ ) innerhalb einer Spalte für **T1** = **Kleinbuchstaben**, für **T2** = **Großbuchstaben**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ ).

Zwischen den gemessenen pH-Werten von **T1** und **T2** bestehen keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ). Für **T1** wurde am Herstellungstag ein Wert von 6,01 gemessen. Im Laufe der Lagerung kommt es zu keiner signifikanten Veränderung der ermittelten pH-Werte ( $p > 0,05$ ). Für die Proben, die bei erhöhten Temperaturen (**T2**) gelagert wurden, bleibt der pH-Wert (pH 6,06 an L3) bis zum siebten Lagerungstag relativ konstant und fällt nur leicht auf einen Wert von 6,02 ab. Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einem statistisch signifikanten Abfall ( $p \leq 0,05$ ) des pH-Wertes auf 5,91. Am dritten Lagerungstag erfolgte in jeder Charge eine Bestimmung des  **$a_w$ -Wertes**. Aus den Einzelwerten wurde ein durchschnittlicher Wert von 0,9904 errechnet.

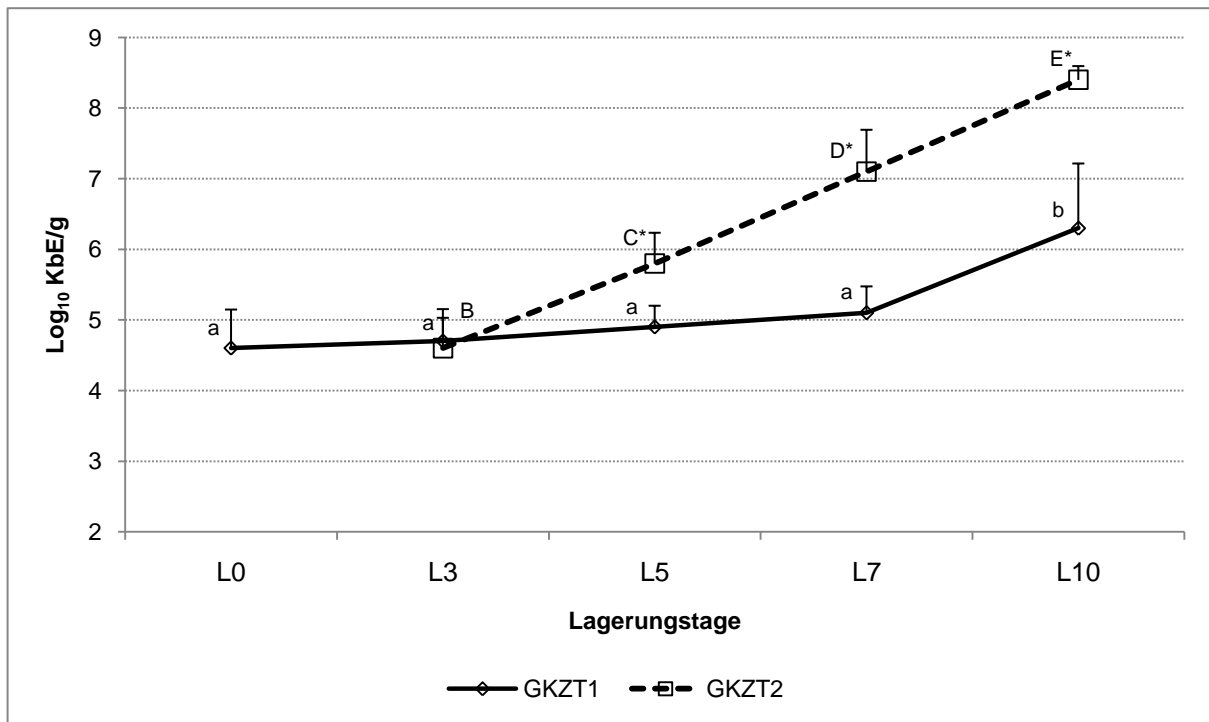
#### 4.2.2.3 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Abbildungen 24 bis 27 stellen den Verlauf der Keimzahlen der untersuchten Mikroorganismen über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei +2 °C (**T1**) oder bei +2 °C bis zum dritten Lagerungstag und einer anschließenden Lagerung bei +7 °C (**T2**) bis zum zehnten Lagerungstag aus sechs Chargen dar. Die mikrobiologischen Untersuchungen wurden am Tag der Herstellung (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten

(L10) Lagerungstag durchgeführt. Auf der X-Achse wird die Lagerungsdauer in Tagen dargestellt. Auf der Y-Achse werden die arithmetischen Mittelwerte (MW) der erhobenen Einzelwerte logarithmisch ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g Hackfleisch) angegeben.

4.2.2.3.1 AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

Abbildung 24 stellt den Verlauf der **aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ)** bei zwei unterschiedlichen Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) dar.

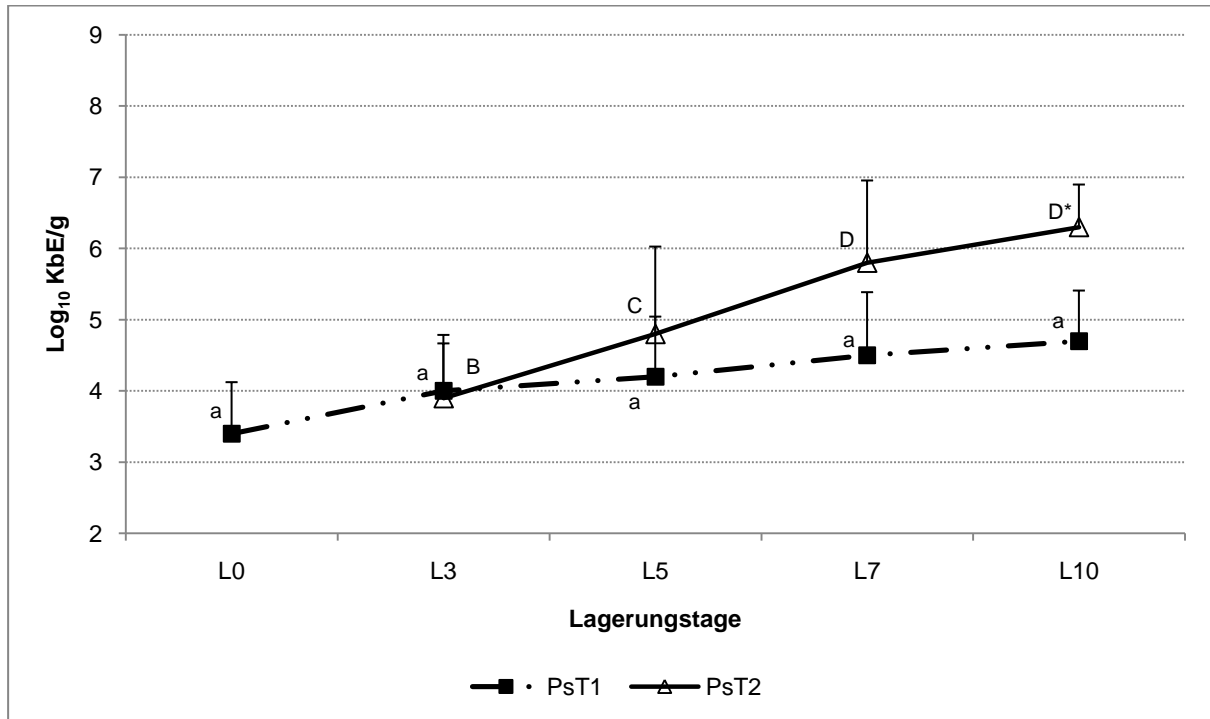


**Abbildung 24: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ;  $\text{Log}_{10}$  KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 162$ , je 3 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Der Ausgangskeimgehalt der aeroben mesophilen GKZ liegt bei einer Lagerung bei +2 °C (T1) bei  $\text{Log}_{10}$  4,6 KbE/g. Bis zum siebten Lagerungstag bleibt die GKZ relativ stabil. Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einem statistisch signifikanten Anstieg ( $p \leq 0,05$ ) der GKZ auf einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  6,3 KbE/g. Bei der Lagerung bei erhöhten Temperaturen (T2) kommt es mit Beginn des simulierten Verbraucherverhaltens bis zum Ende der Lagerung zu einem kontinuierlichen Anstieg der Keimzahlen. Diese zeigen im Verlauf der Lagerung zwischen allen untersuchten Lagerungstagen signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ). Am zehnten Lagerungstag werden Keimzahlen von  $\text{Log}_{10}$  8,4 KbE/g erreicht. Ab dem fünften Lagerungstag liegt die GKZ der Proben von T2 signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als die von T1.

4.2.2.3.2 *PSEUDOMONAS* SPP.

Der Wachstumsverlauf für *Pseudomonas* spp. bei **T1** und **T2** wird in Abbildung 25 gezeigt.



**Abbildung 25:** Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei **T1** und **T2** (sechs Chargen,  $n = 162$ , je 3 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen.

Für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. bei der Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) findet über die zehntägige Lagerung eine nur geringere und nicht signifikante ( $p > 0,05$ ) Keimzahlzunahme um 1,3  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten auf einen Endwert von  $\text{Log}_{10}$  4,7 KbE/g statt.

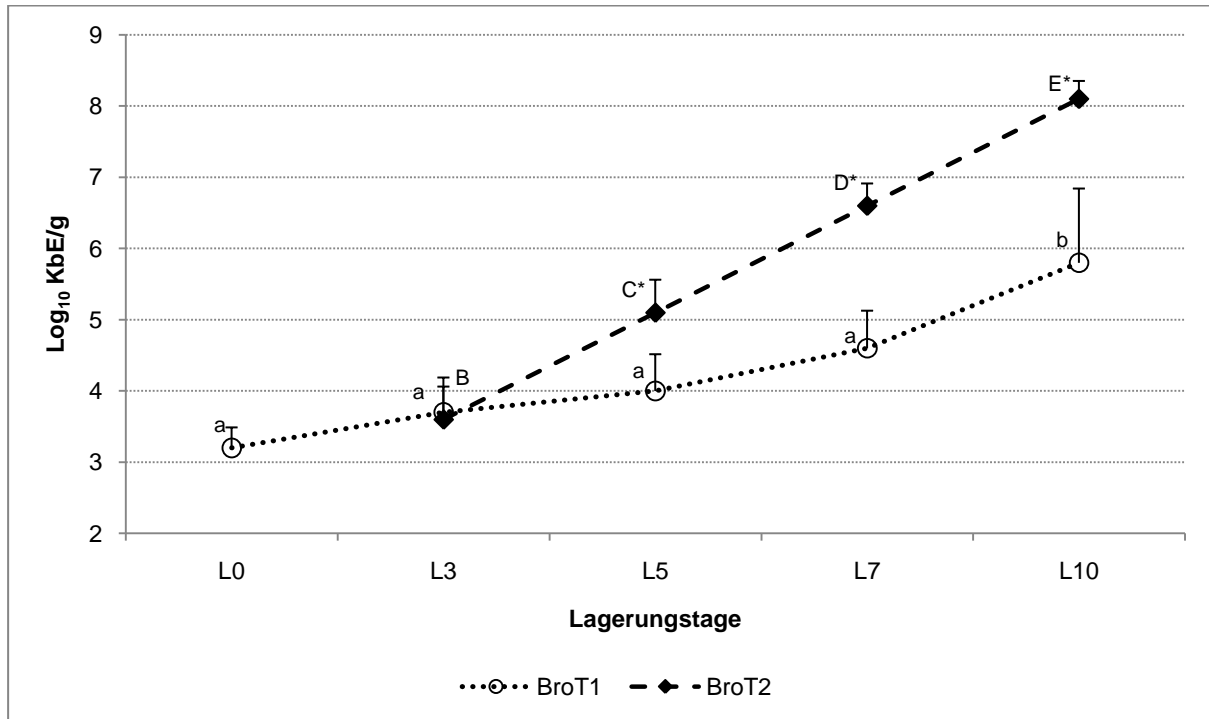
Infolge der Temperaturerhöhung (**T2**) nimmt der anfängliche Keimgehalt von *Pseudomonas* spp. kontinuierlich und statistisch signifikant ( $p \leq 0,05$ ) zu. Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag findet nur noch ein geringerer Keimzahlanstieg um 0,5  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten auf einen Endwert von  $\text{Log}_{10}$  6,3 KbE/g statt ( $p > 0,05$ ).

Zwischen den Keimzahlen von **T1** und **T2** besteht am zehnten Lagerungstag ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ).



4.2.2.3.3 *BROCHOTHRIX THERMOSPACTA*

Abbildung 26 zeigt den Keimzahlverlauf von *Brochothrix thermosphacta* bei T1 und T2.



**Abbildung 26:** Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 162$ , je 3 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = **Kleinbuchstaben**, bei T2 = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

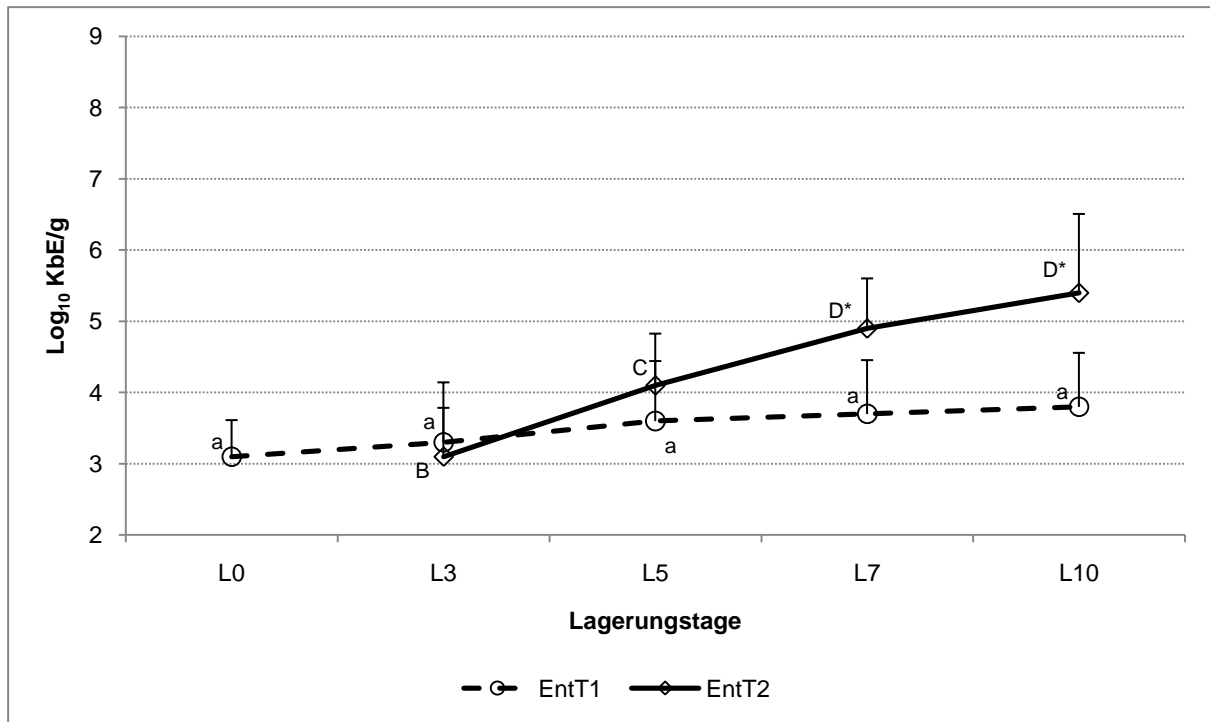
Die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* steigen bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (T1), mit einem Anfangswert von  $\text{Log}_{10}$  3,2 KbE/g, bis zum siebten Lagerungstag auf  $\text{Log}_{10}$  4,6 KbE/g ( $p > 0,05$ ). Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag erhöht sich diese Keimzahl auf  $\text{Log}_{10}$  5,8 KbE/g ( $p \leq 0,05$ ).

Bei einer Lagerung der Proben bei +7 °C in Verbindung mit einer kurzfristigen Kühlkettenunterbrechung (T2) erfolgt mit dieser eine konsequente Erhöhung der Keimzahlen. Der anfängliche Wert von  $\text{Log}_{10}$  3,6 KbE/g erhöht sich bis zum Lagerungsende auf  $\text{Log}_{10}$  8,1 KbE/g ( $p \leq 0,05$ ).

Zwischen den Keimzahlen von T1 und T2 bestehen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

4.2.2.3.4 *ENTEROBACTERIACEAE*

Der Wachstumsverlauf für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* bei zwei Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) wird in Abbildung 27 gezeigt.



**Abbildung 27:** Verlauf der Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* (Log<sub>10</sub> KbE/g) in frischem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 162, je 3 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

Für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* findet während der Lagerung bei einer Temperatur von +2 °C (**T1**) zwischen den einzelnen Lagerungstagen nur ein sehr geringer, statistisch nicht signifikanter ( $p > 0,05$ ) Keimzahlenanstieg statt. Für die Proben von **T1** erfolgt im Vergleich zu den anderen untersuchten Mikroorganismengruppen die geringste Zunahme. Der Ausgangskeimgehalt von Log 3,1 KbE/g steigt während der Lagerung auf einen Wert von Log 3,8 KbE/g an.

Für die Proben von **T2** kommt es mit der kurzfristigen Temperaturerhöhung und der weiteren Lagerung bei +7 °C zu einem stärkeren Anstieg der Keimzahlen. Sie erhöhen sich statistisch signifikant ( $p \leq 0,05$ ) zwischen dem dritten und fünften sowie fünften und siebten Lagerungstag. Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag findet ein geringerer Anstieg auf einen Endwert 5,4 KbE/g statt ( $p > 0,05$ ).

Am siebten und zehnten Lagerungstag besteht zwischen den Keimzahlen von **T1** und **T2** ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ).

4.2.2.3.5 QUALITATIVE BESTIMMUNG VON *SALMONELLA* SPP., *LISTERIA MONOCYTOGENES* UND THERMOPHILE *CAMPYLOBACTER*

Die qualitative Bestimmung von *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* und thermophilen *Campylobacter* wurde auch während der Lagerungsversuche in allen sechs Chargen (n = 90, je 3 Proben) am Tag der Herstellung sowie am dritten und zehnten Lagerungstag durchgeführt.

Für die Proben beider Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) wurde nur *Listeria monocytogenes* qualitativ nachgewiesen. Für **T1** wurden innerhalb der sechs Chargen vier Proben am Tag der Herstellung, zwei am dritten Lagerungstag und eine Probe am zehnten Lagerungstag positiv auf den pathogenen Keim getestet. Für **T2** wurden am dritten Lagerungstag insgesamt vier Proben, am zehnten Lagerungstag zwei Proben positiv auf *Listeria monocytogenes* getestet.

Tabelle 23 stellt die positiven Proben auf die getesteten pathogenen Mikroorganismen in den bei **T1** und **T2** über zehn Tage gelagerten Proben zusammenfassend dar.

**Tabelle 23: Anteil (%) positiver Proben mit Nachweis pathogener Erreger (*Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*) an der Gesamtzahl untersuchter Putenhackfleischproben (Lagerungsversuche) (n = 90, jeweils 3 Proben)**

	<i>Campylobacter</i> spp.	<i>Salmonella</i> spp.	<i>Listeria monocytogenes</i>
Anteil positiver Proben (%)	0	0	12,0

4.2.3 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES UNTERSUCHUNGSABSCHNITTES II

Für die Untersuchungen des Untersuchungsabschnittes II lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Es kommt während der **Prozessschrittanalyse** zwischen den vier untersuchten Prozessschritten größtenteils zu keinen signifikanten Keimzahlanstiegen ( $p > 0,05$ ). Allerdings konnten vereinzelt pathogene Keime (*Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*) nachgewiesen werden.
- Die Ergebnisse der chemische Vollanalyse unterscheiden sich für die jeweils untersuchten Parameter zwischen den sechs untersuchten Chargen nicht voneinander ( $p > 0,05$ ).
- Im Rahmen der **Lagerungsversuche** verändern sich bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) die Schutzatmosphärenanteile von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>, ebenso wie in Untersuchungsabschnitt I, nur geringfügig und nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Auch in diesem Abschnitt kommt es bei erhöhten Lagerungstemperaturen (**T2**) zu stärkeren

Abweichungen der ursprünglich eingesetzten Gehalte, mit signifikanten Veränderungen ( $p \leq 0,05$ ) zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag.

- Während der Untersuchungen der L\*a\*b\*-Farbwerte kommt es im Lagerungsverlauf für beide Temperaturen (**T1**, **T2**) hauptsächlich zu Veränderungen des a\*-Wertes, wobei diese infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**), v. a. gegen Ende der Lagerung, deutlich größer ausfallen. Die L\*- und b\*-Werte bleiben über die Lagerungsdauer relativ konstant.
- Die pH-Werte bleiben über den Lagerungsverlauf, ähnlich wie für Untersuchungsabschnitt I beschrieben, für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) größtenteils stabil. Lediglich für die Proben des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) kommt es zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag zu einem signifikanten Abfall ( $p \leq 0,05$ ).
- Im Rahmen der mikrobiologischen Untersuchungen zeigt sich, dass bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) die aerobe mesophile GKZ bis zum siebten Lagerungstag stabil bleibt und erst zum Lagerungsende signifikant ansteigt ( $p \leq 0,05$ ). Gleiches kann für die Keimzahlen von Brochothrix thermophacta festgestellt werden. Die Keimzahlen von Pseudomonas spp. bleiben über die gesamte Lagerung relativ stabil und erhöhen sich nur um 1,3 Log<sub>10</sub>-Einheiten. Für die Keimzahlen der Enterobacteriaceae kommt es während der gesamten Lagerung zu keinen signifikanten Veränderungen. Durch Erhöhung der Lagerungstemperatur infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) kommt es für die untersuchten Mikroorganismen zu größtenteils signifikanten Anstiegen, mit Keimzahlen, die deutlich über denen von **T1** liegen. Auch während der Lagerungsversuche wurden vereinzelt pathogene Keime (*L. monocytogenes*) qualitativ nachgewiesen.

## 4.3 QUALITÄTSVERBESSERUNG DURCH ZUSATZ VON CITRONENSÄURE (CS)

### 4.3.1 VORVERSUCHE

Zur Abschätzung der optimalen Applikationsform wurde Citronensäure als Pulver, als Lösung und als Sprühnebel eingesetzt und die Proben physikalisch (pH-Wert) und mikrobiologisch (aerobe mesophile GKZ) über eine siebentägige Lagerung untersucht (n = 96).

#### 4.3.1.1 EINFLUSS AUF DEN PH-WERT

##### 4.3.1.1.1 APPLIKATION ALS PULVER

In Tabelle 24 werden die über den Verlauf der Lagerung gemessenen **pH-Werte** der Kontrolle (K) und der mit CS-Pulver in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1P), 1 % (C1P) und 3 % (C3P) (w/v) behandelten Proben als arithmetische Mittelwerte mit ihren dazugehörigen Standardabweichungen (MW ± SD) angegeben.

**Tabelle 24: Gemessene pH-Werte der Kontrolle (K) und der CS-Pulver in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1P), 1 % (C1P) und 3 % (C3P) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben)**

	K	C0,1P	C1P	C3P
L0	6,27 ± 0,040 <sup>a</sup>	6,21 ± 0,061 <sup>e(1)</sup>	5,19 ± 0,127 <sup>g(2)†</sup>	4,84 ± 0,174 <sup>k(3)†</sup>
L3	6,12 ± 0,035 <sup>b</sup>	5,93 ± 0,200 <sup>e(1)</sup>	5,21 ± 0,272 <sup>g(2)†</sup>	4,27 ± 0,273 <sup>k(3)†</sup>
L5	6,00 ± 0,044 <sup>c</sup>	5,62 ± 0,014 <sup>e(1)†</sup>	4,65 ± 0,072 <sup>h(2)†</sup>	4,08 ± 0,089 <sup>k(3)†</sup>
L7	6,12 ± 0,061 <sup>d</sup>	5,94 ± 0,067 <sup>f(1)</sup>	4,98 ± 0,159 <sup>i(2)†</sup>	4,17 ± 0,229 <sup>k(3)†</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Spalte = **Kleinbuchstaben**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Zeile zwischen den CS-Konzentrationen = (**Zahlen**), gleiche Zahlen innerhalb eines Tages =  $p > 0,05$ . † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Es kommt grundsätzlich bei allen Proben bis zum fünften Lagerungstag zu einem Abfall des pH-Wertes, der bis zum siebten Lagerungstag wieder leicht ansteigt. Die Zugabe des CS-Pulvers bewirkt eine Abnahme des pH-Wertes, die mit steigender Konzentration zunimmt. Die Kontrolle weist an allen untersuchten Lagerungstagen im Vergleich zu den mit CS behandelten Proben die höchsten pH-Werte auf. Die pH-Werte der Proben C1P und C3P liegen an allen Lagerungstagen signifikant niedriger als die der Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ). Am fünften Lagerungstag erreichen diese pH-Werte von 4,65 (C1P) und 4,08 (C3P), während die Kontrolle gleichzeitig einen pH-Wert von 6,00 aufweist. Auch zwischen den pH-Werten der drei CS-Konzentrationen bestehen an allen untersuchten Lagerungstagen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

4.3.1.1.2 APPLIKATION ALS LÖSUNG

Die **pH-Werte** der Kontrolle und die mit CS-Lösung in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1L), 1 % (C1L), 3 % (C3L) (w/v) behandelten Proben werden in Tabelle 25 als arithmetische Mittelwerte und ihren Standardabweichungen (MW  $\pm$  SD) dargestellt.

**Tabelle 25: Gemessene pH-Werte der Kontrolle (K) und der mit CS-Lösung in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1L), 1 % (C1L) und 3 % (C3L) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW  $\pm$  SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben)**

	K	C0,1L	C1L	C3L
L0	6,27 $\pm$ 0,040 <sup>a</sup>	6,26 $\pm$ 0,042 <sup>a(1)</sup>	5,13 $\pm$ 0,097 <sup>a(2)†</sup>	4,53 $\pm$ 0,161 <sup>a(3)†</sup>
L3	6,12 $\pm$ 0,035 <sup>b</sup>	5,78 $\pm$ 0,060 <sup>b(1)†</sup>	4,78 $\pm$ 0,131 <sup>b(2)†</sup>	3,86 $\pm$ 0,158 <sup>b(3)†</sup>
L5	6,00 $\pm$ 0,044 <sup>c</sup>	5,47 $\pm$ 0,039 <sup>c(1)†</sup>	4,47 $\pm$ 0,089 <sup>c(2)†</sup>	3,42 $\pm$ 0,106 <sup>c(3)†</sup>
L7	6,12 $\pm$ 0,061 <sup>d</sup>	5,82 $\pm$ 0,067 <sup>d(1)</sup>	4,73 $\pm$ 0,072 <sup>d(2)†</sup>	3,94 $\pm$ 0,195 <sup>d(3)†</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Spalte = **Kleinbuchstaben**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Zeile zwischen den CS-Konzentrationen = (**Zahlen**), gleiche Zahlen innerhalb eines Tages =  $p > 0,05$ . † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Wie der Tabelle 25 entnommen werden kann, kommt es zu einer generellen Abnahme des pH-Wertes im Verlauf der Lagerung ( $p \leq 0,05$ ), mit den niedrigsten Werten am fünften Lagerungstag, die bis zum siebten Lagerungstag wieder ansteigen ( $p \leq 0,05$ ). Die Intensität der pH-Wert-Abnahme wird durch die Höhe der CS-Konzentration bestimmt. Die Zugabe der CS führt bei der Probe C3P bis zum fünften Lagerungstag zu einem Abfall des pH-Wertes auf 3,42. Die Kontrolle (K) besitzt im Vergleich zu den behandelten Proben bei einem Ausgangswert von pH 6,27 an allen untersuchten Lagerungstagen grundsätzlich den höchsten Wert. Mit Ausnahme des pH-Wertes der Probe C0,1L am Herstellungstag und am Lagerungsende bestehen zwischen den Werten der Kontrolle und den behandelten Proben an allen untersuchten Lagerungstagen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ). Zudem bestehen an jedem untersuchten Lagerungstag zwischen den pH-Werten der drei eingesetzten Konzentrationen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

4.3.1.1.3 APPLIKATION ALS SPRÜHNEBEL

Die **pH-Werte** der mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % (C5N), 10 % (C10N) und 50 % (C50N) (w/v) behandelten Proben und der Kontrolle (K) stellt Tabelle 26 dar.

**Tabelle 26: Gemessene pH-Werte der Kontrolle (K) und der mit aufgesprühter CS (2 ml) in den Konzentrationen 5 % (C5N), 10 % (C10N) und 50 % (C50N) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben).**

	K	C5N	C10N	C50N
L0	6,27 ± 0,040 <sup>a</sup>	6,29 ± 0,037 <sup>a(1)</sup>	6,19 ± 0,103 <sup>a(1)</sup>	5,79 ± 0,203 <sup>a(2)†</sup>
L3	6,12 ± 0,035 <sup>b</sup>	6,11 ± 0,048 <sup>b(1)</sup>	6,08 ± 0,047 <sup>b(1)</sup>	5,63 ± 0,200 <sup>a(2)†</sup>
L5	6,00 ± 0,044 <sup>c</sup>	5,72 ± 0,021 <sup>c(1)†</sup>	5,72 ± 0,024 <sup>c(1)†</sup>	5,35 ± 0,138 <sup>b(2)†</sup>
L7	6,12 ± 0,061 <sup>d</sup>	6,04 ± 0,028 <sup>d(1)</sup>	6,07 ± 0,060 <sup>d(1)</sup>	5,67 ± 0,186 <sup>b(2)†</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Spalte = **Kleinbuchstaben**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Zeile zwischen den CS-Konzentrationen = **(Zahlen)**, gleiche Zahlen innerhalb eines Tages =  $p > 0,05$ . † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Den Werten der Tabelle 26 ist zu entnehmen, dass durch die Oberflächenbehandlung der Proben im Vergleich zu den anderen beiden Applikationsformen die Absenkung des pH-Wertes, auch bei steigender CS-Konzentration, in einem geringeren Ausmaß erfolgt. Es kommt es sowohl für die unbehandelte Kontrolle als auch die behandelten Proben zu einem stetigen Abfall des pH-Wertes, der am fünften Lagerungstag seinen niedrigsten Wert erreicht und bis zum siebten Lagerungstag wieder ansteigt. Die pH-Werte der Probe C50N zeigen an allen untersuchten Lagerungstagen statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zur Kontrolle, ebenso wie zu den Werten der Proben C10N und C5N. Die Kontrolle und die mit der geringsten CS-Konzentration behandelten Proben (C5N) besitzen im Gegensatz dazu am Tag der Herstellung und am dritten Lagerungstag nahezu identische pH-Werte ( $p > 0,05$ ). Am fünften Lagerungstag liegt der Wert für die Probe C5N signifikant niedriger als die Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ), während die Werte beider Proben am siebten Lagerungstag nur noch um 0,08 pH-Einheiten differieren ( $p > 0,05$ ). Die pH-Werte von C5N und C10N unterscheiden sich an allen untersuchten Lagerungstagen nur geringfügig voneinander ( $p > 0,05$ ).

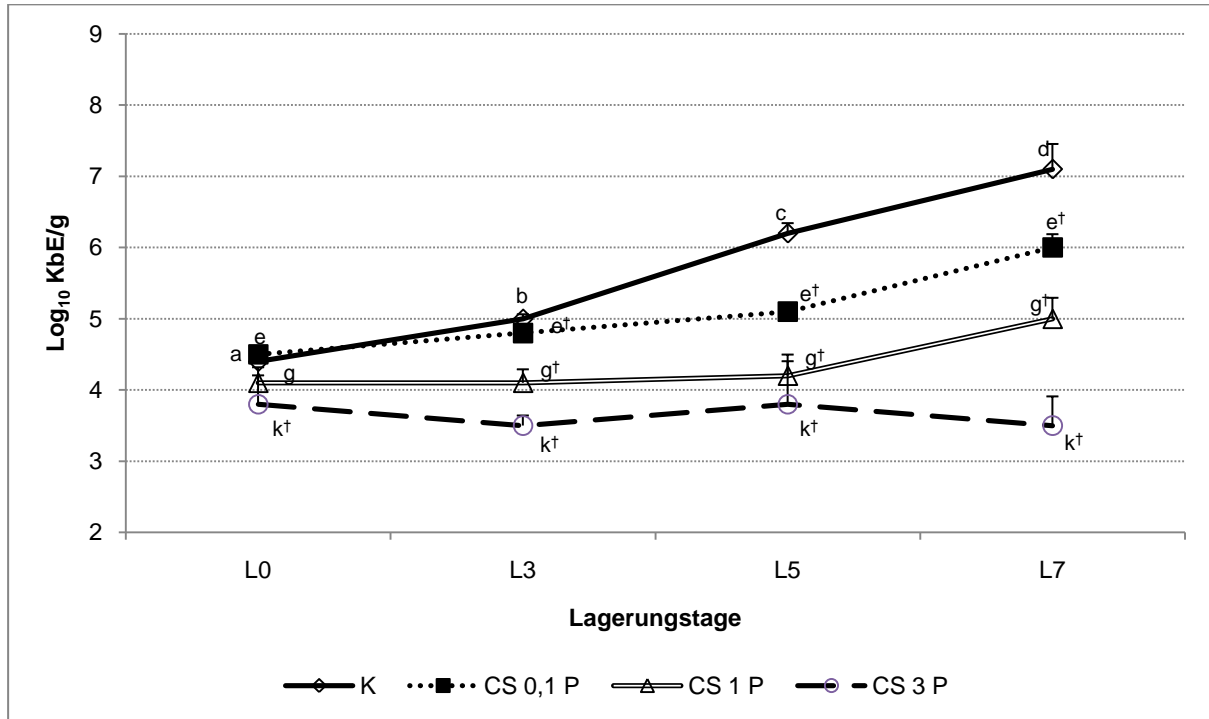
4.3.1.2 EINFLUSS AUF DIE ENTWICKLUNG DER GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

Die Abbildungen 28 bis 30 stellen die Wachstumsverläufe der mittels Plattengussverfahren erhobenen **aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ)** nach Behandlung der Proben mit drei verschiedenen CS-Applikationsformen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle über eine siebentägige Lagerung bei +2 °C mit Untersuchungen am Tag der Herstellung (L0), dritten (L3), fünften (L5) und siebten (L7) Lagerungstag in drei untersuchten Chargen (n = 96) dar. Im Liniendiagramm werden die untersuchten Lagerungstage auf der X-Achse

aufgezeigt, die jeweiligen Mittelwerte (MW) inklusive der Standardabweichungen (SD) für die jeweiligen Lagertage logarithmisch (Log KbE/g Hackfleisch) auf der Y-Achse angegeben.

#### 4.3.1.2.1 APPLIKATION ALS PULVER

Abbildung 28 stellt den Wachstumsverlauf der **aeroben mesophilen GKZ** nach Zugabe des CS-Pulvers im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (K) dar.



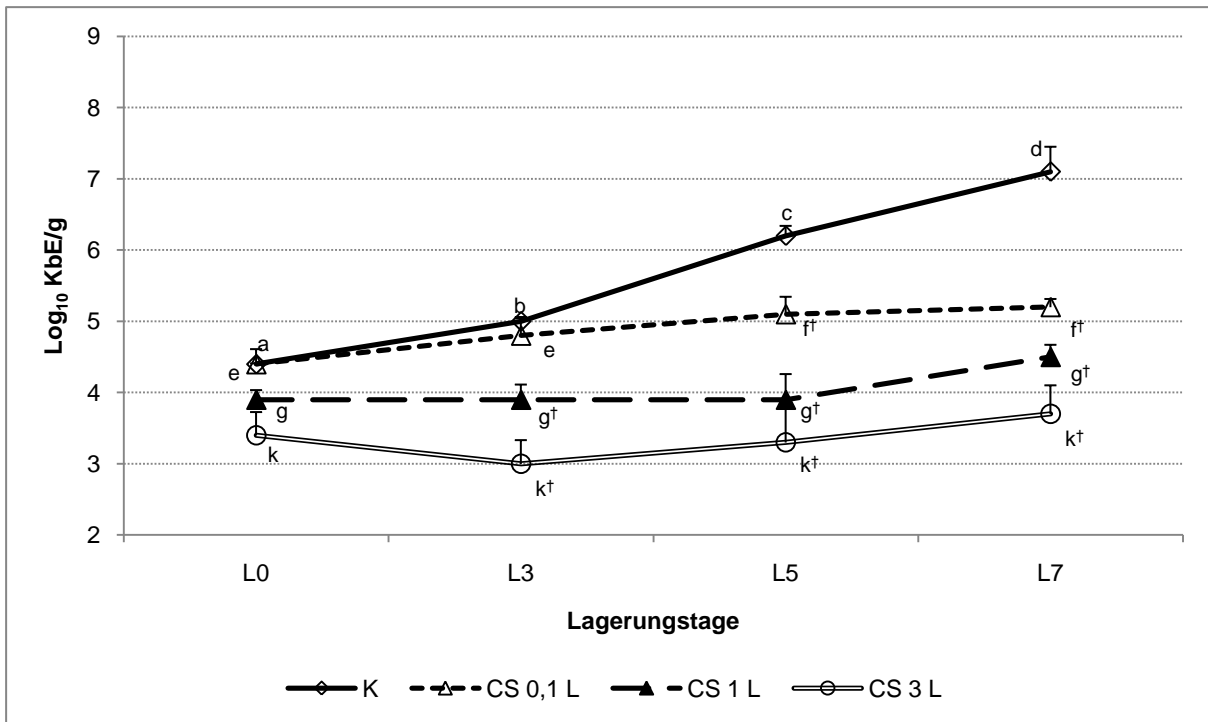
**Abbildung 28: Wachstumsverläufe der aeroben mesophilen GKZ der mit CS-Pulver in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1P), 1 % (C1P) und 3 % (C3P) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) für die jeweilige Probe zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen = **Kleinbuchstaben**, bei gleichen Buchstaben =  $p > 0,05$ . † kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Zu Beginn der Untersuchungen zeigt die Kontrolle (K) mit  $\text{Log}_{10}$  4,7 KbE/g den höchsten Ausgangskeimgehalt, die Keimzahlen der Probe CS3P liegen mit  $\text{Log}_{10}$  3,8 KbE/g, ebenso wie an den anderen untersuchten Lagerungstagen, im Vergleich zur Kontrolle und den anderen beiden Konzentrationen signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ). Im Laufe der Lagerung steigt die GKZ der Kontrolle zwischen den untersuchten Lagerungstagen kontinuierlich an ( $p \leq 0,05$ ) und erreicht bis zum siebten Lagerungstag einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  7,1 KbE/g. Bei allen mit CS behandelten Proben findet im Vergleich zu den unbehandelten Proben ein geringerer, statistisch nicht signifikanter ( $p > 0,05$ ) bzw. kein Keimzahlanstieg statt. Ab dem dritten Lagerungstag unterscheiden sich die GKZ der behandelten Proben bis zum Ende der Lagerung signifikant von der Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ). Dabei liegen ihre Keimzahlen am siebten Lagerungstag etwa 1,0  $\text{Log}_{10}$ - (C0,1P), 2,0  $\text{Log}_{10}$ - (C1P) und 3,6 (C3P)  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger als die der Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).



4.3.1.2.2 APPLIKATION ALS LÖSUNG

Abbildung 29 zeigt die Wachstumsverläufe der **aeroben mesophilen GKZ** nach Zugabe der CS-Lösung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (K).

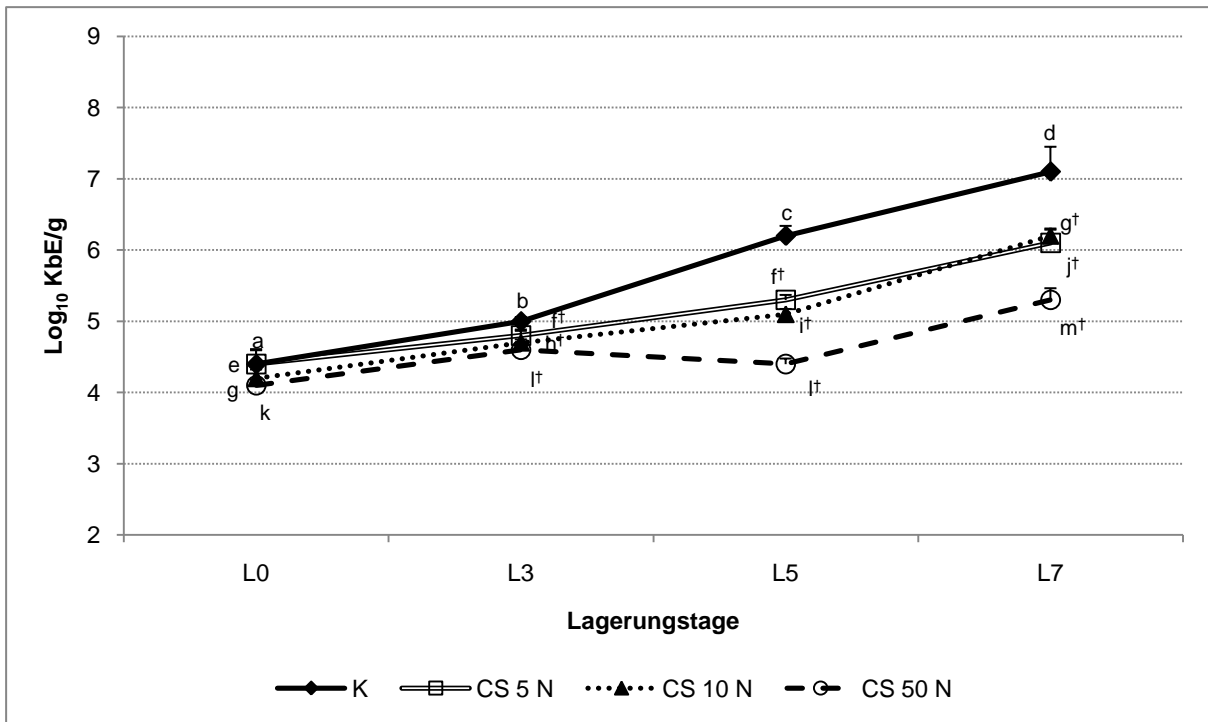


**Abbildung 29: Wachstumsverläufe der aeroben mesophilen GKZ der mit CS-Lösung in den Endkonzentrationen 0,1 % (C0,1L), 1 % (C1L) und 3 % (C3L) behandelten Proben über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) für die jeweilige Probe zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen = **Kleinbuchstaben**, bei gleichen Buchstaben =  $p > 0,05$ . † kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Im Vergleich zur Kontrolle (K) liegt die GKZ für die mit CS behandelten Proben, mit Ausnahme der Probe C0,1L am Tag der Herstellung, an allen untersuchten Lagerungstagen signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ). Für die Proben C1L und C3L kommt es im Gegensatz zur Kontrolle während der Lagerung zu keinem signifikanten Keimzahlanstieg ( $p > 0,05$ ), für die Probe C0,1L ist dieser nur zwischen dem dritten und fünften Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Am Ende der Lagerung liegen die Keimzahlen der Probe C0,1L 1,9  $\text{Log}_{10}$ -, für die Probe C1L 2,6  $\text{Log}_{10}$ - und für die Probe C3L 3,4  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als die der Kontrolle.

4.3.1.2.3 APPLIKATION ALS SPRÜHNEBEL

Abbildung 30 zeigt die Wachstumsverläufe der **aeroben mesophilen GKZ** nach Aufbringung von CS in sprühvernebelter Form auf die Probenoberfläche im Vergleich zur Kontrolle (K).



**Abbildung 30: Wachstumsverläufe der aeroben mesophilen GKZ der mit aufgesprühter CS (2 ml) in den Konzentrationen 5 % (C5N), 10 % (C10N) und 50 % (C50N) behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Lagerungszeitraum von sieben Tagen bei +2 °C (MW ± SD) (drei Chargen, n = 96). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) für die jeweilige Probe zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen = **Kleinbuchstaben**, bei gleichen Buchstaben =  $p > 0,05$ . † kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Zu Beginn der Lagerung bestehen zwischen der GKZ der Kontrolle und den behandelten Proben kein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ). Für alle Proben kommt es zu einem nahezu kontinuierlichen Keimzahlenanstieg, wobei die Keimzahlen der behandelten Proben am dritten, fünften und siebten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ) niedriger liegen als die der Kontrolle. Ab dem dritten Lagerungstag findet der weitere Keimzahlenanstieg für die behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle in unterschiedlichen Intensitäten statt. Die niedrigste GKZ wird für die Probe C50N nachgewiesen, die am siebten Lagerungstag etwa 2,0  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger als die der Kontrolle liegt ( $p \leq 0,05$ ). Die Proben C5N und C10N zeigen einen nahezu identischen Verlauf der GKZ, zwischen ihren Werten liegen keine signifikanten Unterschiede vor ( $p > 0,05$ ). Am Lagerungsende liegen die Keimzahlen beider Probe etwa eine  $\text{Log}_{10}$ -Einheit niedriger als die der Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.3.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER VORVERSUCHE DES UNTERSUCHUNGSABSCHNITTES III

Die Vorversuche dienten der Abschätzung der optimalen Applikationsform zum Einsatz von Citronensäure als mikrobiologische Hürde in frischem Putenhackfleisch. Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen lassen sich die folgenden Ergebnisse zusammenfassen:

- Der **pH-Wert** liegt ohne die Zugabe von CS im Bereich von pH 6,27 und 6,00, nach Zugabe der CS nimmt er mit steigender Konzentration grundsätzlich ab.
- Die Zugabe der CS-Lösung bewirkt im Vergleich zur Kontrolle die stärkste Abnahme des pH-Wertes, insbesondere in der höchsten Endkonzentration (3 %) mit minimalen Werten von pH < 4,00 am dritten, fünften und siebten Lagerungstag.
- Die Zugabe des CS-Pulvers resultiert ebenso im Vergleich zur Kontrolle in größtenteils deutlich niedrigeren pH-Werten, insbesondere in der höchsten Endkonzentration (3 %) mit minimalen Werten von pH < 5,00 am Tag der Herstellung sowie am dritten, fünften und siebten Lagerungstag.
- Die Aufbringung von CS als Sprühnebel hat im Vergleich zur Applikation als Lösung oder Pulver einen geringeren Einfluss auf den pH-Wert, lediglich die Probe mit der höchsten Konzentration an aufgebrachtener CS (50 %) weist während der gesamten Lagerung pH-Werte < 6,00 auf.
- Die Zugabe von CS als Pulver und Lösung bewirkt die stärkste Reduktion der **aeroben mesophilen GKZ**: je höher die eingesetzte Konzentration, desto geringer ist das Keimzahlwachstum.
- Die Applikation von CS-Pulver und -Lösung führt in allen Konzentrationen (0,1 %, 1 %, 3 % w/v) zu grauen Verfärbungen des Fleisches und unerwünschten Konsistenzveränderungen (im Ergebnisteil nicht dargestellt).
- Die Oberflächenaufbringung von CS als Sprühnebel bewirkt im Vergleich zur Kontrolle am dritten, fünften und siebten Lagerungstag ebenso geringere Keimzahlen ( $p \leq 0,05$ ). Sie zeigt überwiegend nur nach Aufbringung von Konzentrationen > 10 % deutliche Farb- und Konsistenzveränderungen, während das Aufsprühen der Lösung in der Konzentration von 5 % in keinen erkennbaren Veränderungen resultiert (im Ergebnisteil nicht dargestellt).

### 4.3.3 HAUPTVERSUCHE

Basierend auf den Ergebnissen der Vorversuche wurde die Applikation als Sprühnebel zur Integration von Citronensäure (CS) als mikrobiologische Hürde in frischem Putenhackfleisch für die nachfolgenden Hauptversuche ausgewählt und die Untersuchungen analog zu den Lagerungsversuchen der Untersuchungsabschnitte I, II und IV durchgeführt (n = 576).

#### 4.3.3.1 CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Tabelle 27 stellt die ermittelten Werte der chemischen Vollanalyse aus den sechs untersuchten Chargen dar, die in jeder Charge einmal für die unbehandelte Kontrolle durchgeführt wurde. Zwischen den einzelnen Chargen wurden für die jeweiligen Untersuchungsparameter keine signifikanten Unterschiede festgestellt ( $p > 0,05$ ). Die Ergebnisse werden als Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen (MW  $\pm$  SD) in Prozent (%) angegeben.

**Tabelle 27: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des unbehandelten Hackfleisches aus dem Putenflügel (in %) (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, MW  $\pm$  SD)**

Untersuchungsparameter	
Aschegehalt	1,1 $\pm$ 0,052
Trockensubstanz	27,4 $\pm$ 0,288
Gesamtwasser	72,6 $\pm$ 0,344
Gesamtfett	4,0 $\pm$ 0,126
Gesamteiweiß	22,4 $\pm$ 0,105
Fleischeiweiß	20,1 $\pm$ 0,207
Hydroxyprolin	0,1 $\pm$ 0,025
Bindegewebeseiweiß (BE)	0,4 $\pm$ 0,082
BEFFE	19,6 $\pm$ 0,151

4.3.3.2 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

4.3.3.2.1 GASANALYSEN

Die Tabellen 28 und 29 zeigen die Entwicklung der Schutzatmosphäre (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) über die zehntägige Lagerung bei **T1** bzw. **T2** mit Untersuchungen am Herstellungstag (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag. Da sich die Ergebnisse nach Aufbringung von 4 ml CS (5 % bzw. 10 %) größtenteils nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) von denen nach Aufbringung von 2 ml CS (5 % bzw. 10 %) unterscheiden (vgl. Kapitel 8.1.2) wird auf die Darstellung ersterer an dieser Stelle verzichtet. Diese befinden sich im Anhang (vgl. Kapitel 8.1.1).

**Tabelle 28: Entwicklung des O<sub>2</sub>-Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).**

	O <sub>2</sub> K		O <sub>2</sub> CS 5 % 2 ml		O <sub>2</sub> CS 10 % 2 ml	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	70,9 ± 2,4 <sup>a</sup>		71,4 ± 1,5 <sup>b</sup>		73,0 ± 1,4 <sup>e</sup>	
<b>L3</b>	68,5 ± 2,4 <sup>a</sup>	64,7 ± 2,0 <sup>B*</sup>	70,4 ± 1,6 <sup>c</sup>	68,7 ± 0,4 <sup>E††</sup>	71,2 ± 1,0 <sup>ft</sup>	69,1 ± 1,0 <sup>G††</sup>
<b>L5</b>	67,9 ± 2,1 <sup>a</sup>	64,4 ± 1,5 <sup>B*</sup>	69,1 ± 2,4 <sup>c</sup>	67,1 ± 1,6 <sup>E†</sup>	71,1 ± 1,3 <sup>ft</sup>	65,7 ± 2,1 <sup>G*</sup>
<b>L7</b>	66,0 ± 2,4 <sup>a</sup>	59,6 ± 2,4 <sup>C*</sup>	69,0 ± 0,8 <sup>ct</sup>	64,2 ± 2,0 <sup>E††</sup>	70,0 ± 1,0 <sup>ft</sup>	67,6 ± 1,4 <sup>G††</sup>
<b>L10</b>	64,0 ± 1,8 <sup>a</sup>	41,7 ± 3,0 <sup>D*</sup>	66,0 ± 1,1 <sup>ct</sup>	47,9 ± 2,1 <sup>F††</sup>	67,2 ± 1,7 <sup>gt</sup>	48,3 ± 3,2 <sup>H††</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) kommt es für die Proben insgesamt zu einer leichten Abnahme des O<sub>2</sub>-Gehaltes, die aber nur für die mit CS behandelte Probe (5 %, 2 ml) zwischen dem Herstellungstag und dritten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ) ist. Für die Kontrolle finden keine signifikanten Veränderungen statt ( $p > 0,05$ ). Die initialen Werte im Bereich von 70,9 Vol. % und 70,5 Vol. % sinken auf 64,0 Vol. % (Kontrolle) bzw. 66,0 Vol. % (CS 5%, 2 ml) ab. Die O<sub>2</sub>-Gehalte dieser mit CS behandelten Probe liegen am siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als die der Kontrolle. Nach Unterbrechung der Kühlkette und Lagerung bei erhöhten Temperaturen (**T2**) nimmt der O<sub>2</sub>-Gehalt der Kontrolle insgesamt um 23,0 Vol. % ab, die Abnahme ist zwischen dem fünften und siebten sowie siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Die O<sub>2</sub>-Gehalte der Kontrolle sind für die Proben von **T2** am dritten, fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant

niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als für die Proben von **T1**. Der O<sub>2</sub>-Gehalt der mit CS behandelten Probe (5 %) reduziert sich insgesamt um 20,8 Vol. %, wobei dieser am dritten, fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) liegt als der O<sub>2</sub>-Gehalt der Kontrolle. Im Vergleich zu **T1** ist dieser für **T2** am dritten, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ). Nach Aufbringen der Lösung in einer höheren Konzentration (10 %) zeigt sich ein ähnliches Bild wie zuvor beschrieben. Dabei ist der O<sub>2</sub>-Gehalt bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) am dritten, fünften, siebten und zehnten Lagerungstag im Vergleich zur Kontrolle signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ). Unter dem simulierten Verbraucherverhalten (**T2**) sinkt der Gehalt der mit CS behandelten Proben (10 %, 2 ml) auf 48,3 Vol. % ab, wobei dieser am dritten, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als der O<sub>2</sub>-Gehalt der Kontrolle liegt. Ab dem dritten Lagerungstag liegen die O<sub>2</sub>-Gehalte der Proben von **T1** deutlich ( $p \leq 0,05$ ) über denen von **T2**.

**Tabelle 29: Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben).**

	CO <sub>2</sub> K		CO <sub>2</sub> CS 5 % 2 ml		CO <sub>2</sub> CS 10 % 2 ml	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	19,8 ± 1,7 <sup>a</sup>		19,0 ± 0,7 <sup>b</sup>		18,6 ± 1,2 <sup>e</sup>	
<b>L3</b>	20,9 ± 1,2 <sup>a</sup>	21,6 ± 1,8 <sup>B*</sup>	20,3 ± 0,4 <sup>b</sup>	21,9 ± 0,4 <sup>E†</sup>	19,1 ± 0,5 <sup>ft</sup>	20,2 ± 1,0 <sup>G*</sup>
<b>L5</b>	21,1 ± 1,3 <sup>a</sup>	23,8 ± 2,0 <sup>B*</sup>	20,6 ± 0,9 <sup>c</sup>	23,3 ± 0,7 <sup>F*</sup>	20,0 ± 0,5 <sup>ft</sup>	22,9 ± 0,7 <sup>H*</sup>
<b>L7</b>	21,8 ± 1,6 <sup>a</sup>	26,7 ± 1,1 <sup>B*</sup>	21,6 ± 1,4 <sup>dt</sup>	24,1 ± 0,9 <sup>F*</sup>	21,2 ± 1,0 <sup>gt</sup>	24,2 ± 0,3 <sup>H†</sup>
<b>L10</b>	23,7 ± 1,6 <sup>a</sup>	41,6 ± 2,3 <sup>C*</sup>	22,9 ± 2,0 <sup>dt</sup>	38,2 ± 3,9 <sup>G†</sup>	22,0 ± 0,6 <sup>gt</sup>	40,5 ± 3,9 <sup>I*</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Sowohl für die behandelten als auch unbehandelten Proben kommt es während der Lagerung bei +2 °C (**T1**) zwischen dem Herstellungstag und dem Lagerungsende nur zu einer geringfügigen und größtenteils nicht signifikanten Erhöhung ( $p > 0,05$ ) des ursprünglich mit der Schutzatmosphäre eingesetzten CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Die CO<sub>2</sub>-Gehalte der mit sprühvernebelter CS behandelten Proben (5 %) unterscheiden sich nicht von denen der Kontrolle ( $p > 0,05$ ). Infolge der Temperaturerhöhung (**T2**) nehmen die CO<sub>2</sub>-Gehalte sowohl für die Kontrolle als auch die mit CS behandelten Proben kontinuierlich zu, insbesondere zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag ( $p \leq 0,05$ ). Während der Gehalt für die

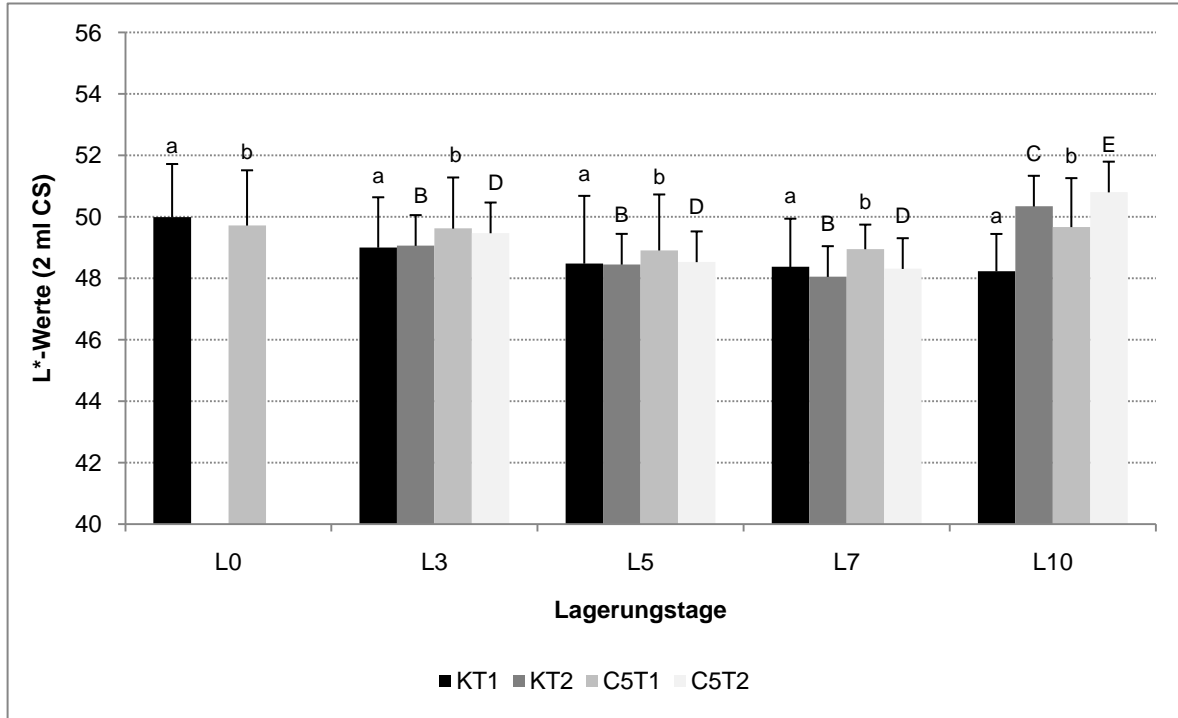
Kontrolle einen Endwert von 41,6 Vol. % erreicht, liegt dieser für die mit CS behandelte Probe (5 %) mit 38,2 Vol. % signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ). Die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes nach Aufbringung der höheren CS-Konzentration (10 %) zeigt auch in diesem Fall ein ähnliches Bild. Der initiale CO<sub>2</sub>-Gehalt liegt für die Proben von **T1** am Tag der Herstellung bei 18,6 Vol. % und erhöht sich bis zum Lagerungsende auf 22,0 Vol. %. Signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten und behandelten Proben bestehen nicht ( $p > 0,05$ ). Die Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) resultiert insbesondere zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag in einem signifikanten Anstieg des Gehaltes auf 40,5 Vol. %. Im Vergleich zur Kontrolle besitzt diese Probe am siebten Lagerungstag signifikant niedrigere ( $p \leq 0,05$ ) Werte. Zwischen dem Herstellungstag und dem Lagerungsende besitzen die Proben von **T2** im Vergleich zu **T1** signifikant höhere ( $p \leq 0,05$ ) CO<sub>2</sub>-Gehalte.

#### 4.3.3.2.2 L\*a\*b\*-FARBWERTE

Die Abbildungen 31 bis 38 zeigen den Verlauf der **L\*a\*b\*-Farbwerte** der mit CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle bei einer zehntägigen Lagerung bei **T1** und **T2** mit den Untersuchungen am Herstellungstag (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag. Auf der X-Achse sind die untersuchten Lagerungstage angegeben, auf der primären Y-Achse die dimensionslosen L\*a\*b\*-Farbwerte. Die in den einzelnen Chargen ermittelten Messdaten werden als arithmetische Mittelwerte (MW) und ihren Standardabweichungen (SD) wiedergegeben. Auf die graphische Darstellung der Ergebnisse nach Zugabe von 4 ml (5 % bzw. 10 %) wurde mit Ausnahme der Rotwerte, wie bereits in Kapitel 4.2.3.2.1 beschrieben, auch in diesem Abschnitt des Ergebnisteils verzichtet. Diese befinden sich im Anhang (vgl. Kapitel 8.1.1).

Helligkeit (L\*-Wert)

Die Abbildungen 31 und 32 stellen den Verlauf der **Helligkeitswerte (L\*-Werte)** in den mit sprühvernebelter CS behandelten Proben (5 % bzw. 10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle bei **T1** und **T2** dar.



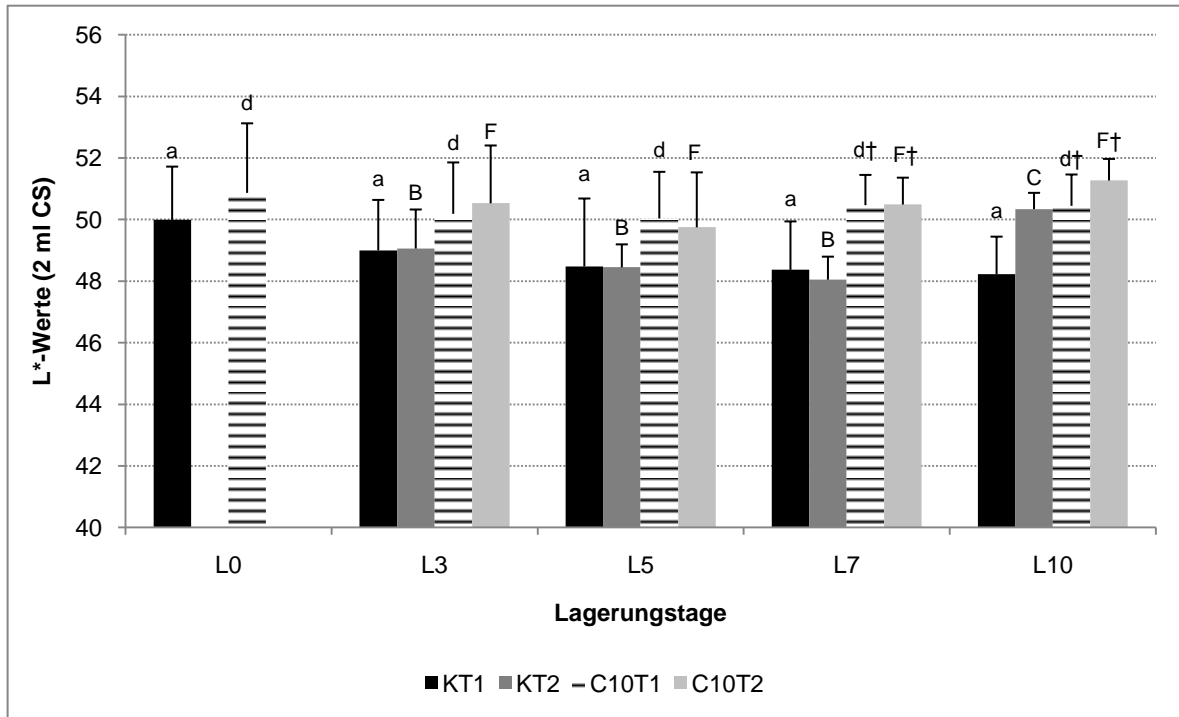
**Abbildung 31: Entwicklung der L\*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ .**

Bei der konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) findet für alle Proben eine nur geringe und statistisch nicht signifikante Veränderung ( $p > 0,05$ ) der L\*-Werte statt. Während die L\*-Werte der Kontrolle leicht abnehmen, steigen die der mit CS behandelten Probe nach einem leichten Abfall zum Lagerungsende wieder an. Die Helligkeitswerte der Proben, die dem simulierten Verbraucherverhalten ausgesetzt wurden (**T2**), verändern sich, ebenso wie bei den Proben, die bei **T1** gelagert wurden, im Lagerungsverlauf nur gering und größtenteils statistisch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Lediglich zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es sowohl für die Kontrolle als auch die mit CS (5 %) behandelte Probe zu einer signifikanten Zunahme ( $p \leq 0,05$ ) der Helligkeit.

Nach Behandlung der Proben mit der hohen Konzentration an CS (10 %), wie es die Abbildung 32 darstellt, wurden im Vergleich zu denen, die mit der niedrigen Konzentration (5 %) behandelt wurden, für die Proben von **T1** an allen untersuchten Lagerungstagen insgesamt höhere L\*-Werte gemessen ( $p > 0,05$ ). Am siebten und zehnten Lagerungstag liegen die L\*-Werte nach CS-Behandlung (10 %) signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als ohne CS-



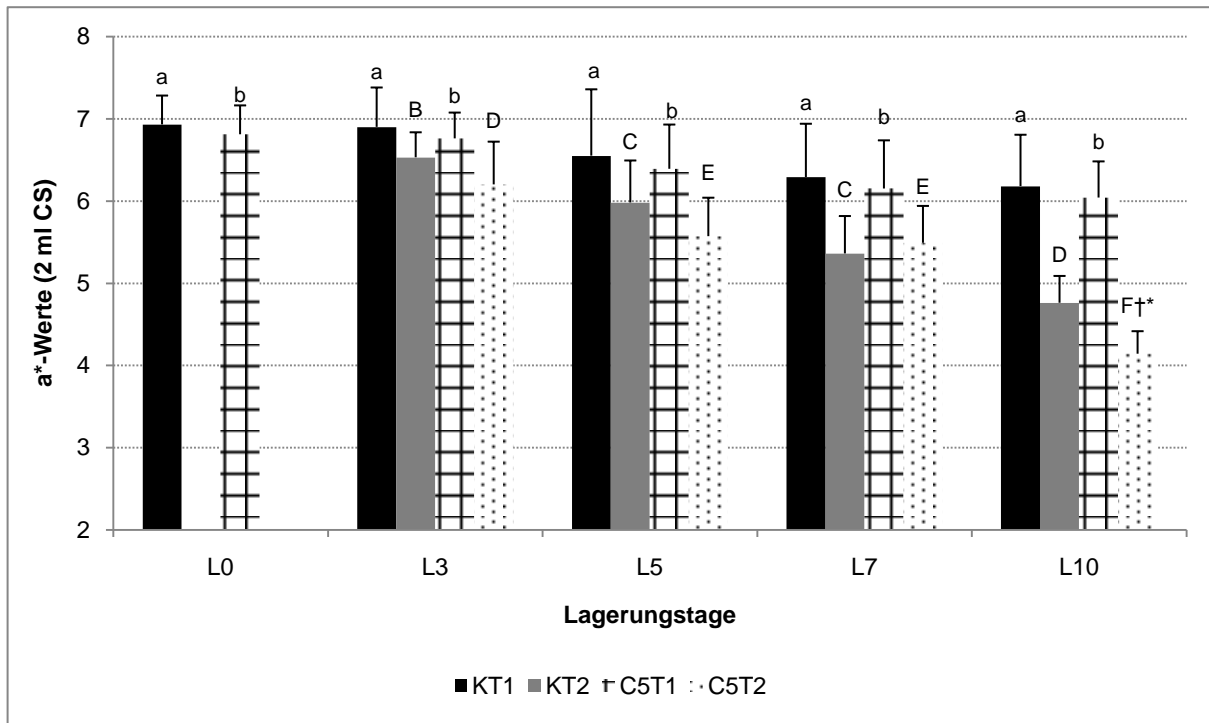
Behandlung. Insgesamt kommt es für die erstgenannten Proben zu keinen nennenswerten Veränderungen ( $p > 0,05$ ) der Helligkeit über den Lagerungsverlauf. Infolge der Temperaturerhöhung, wie sie für **T2** erfolgte, kommt es für die Proben nach Behandlung mit CS (10 %) ebenso nur zu geringfügigen Veränderungen, mit der größten Helligkeit am zehnten Lagerungstag ( $L^* 51,3$ ). Damit unterscheiden sich die  $L^*$ -Werte dieser Proben sowohl am siebten als auch zehnten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ) von den Werten der Kontrolle.



**Abbildung 32: Entwicklung der  $L^*$ -Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 432$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Rotwert (a\*-Wert)

Die Abbildungen 33 und 34 zeigen den Verlauf der **Rotwerte (a\*-Werte)** nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 % bzw. 10 %; 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle bei **T1** und **T2**.

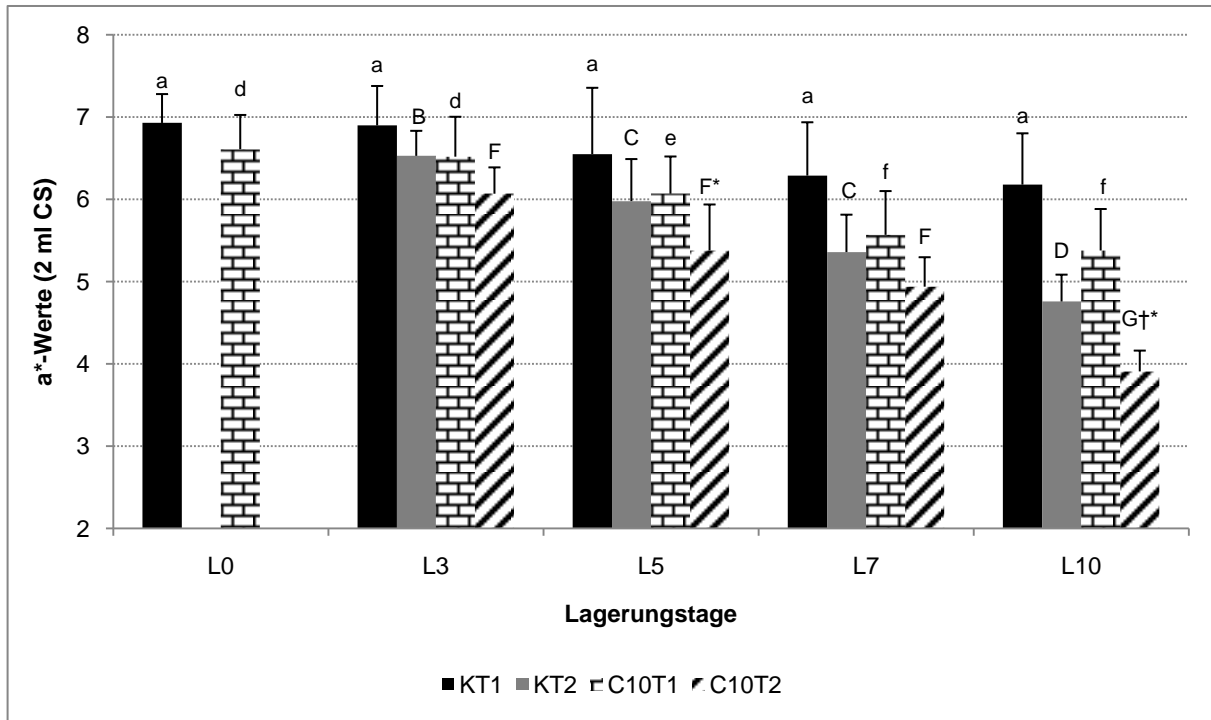


**Abbildung 33: Entwicklung der a\*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) bleiben die a\*-Werte der Kontrolle und der mit sprühvernebelter CS behandelten Proben (5 %, 2 ml) innerhalb der ersten drei Tage konstant, während sie im weiteren Lagerungsverlauf geringfügig abnehmen ( $p > 0,05$ ). Zwischen den Rotwerten der unbehandelten und behandelten Proben bestehen keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ). Nach Unterbrechung der Kühlkette (**T2**) kommt es für alle Proben zu einem stärkeren, größtenteils signifikanten ( $p \leq 0,05$ ) Rotwertverlust, der für die CS-behandelten Proben insgesamt größer ausfällt. Während die Kontrolle am zehnten Lagerungstag noch einen Wert von a\* 4,8 aufweist, liegt der Rotwert der behandelten Probe mit a\* 4,1 signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) (Abb. 33).

Die Abnahme des Rotwertes wird durch eine steigende CS-Konzentration (10 %, 2 ml) weiter erhöht, wie es Abbildung 34 darstellt. Bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) kommt es nach Zugabe der sprühvernebelten CS zwischen dem dritten und fünften sowie fünften und siebten Lagerungstag zu einem signifikanten Rotwertabfall ( $p \leq 0,05$ ). Nach Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) sinkt der Rotwert nach Zugabe der CS (10 %, 2 ml) auf einen

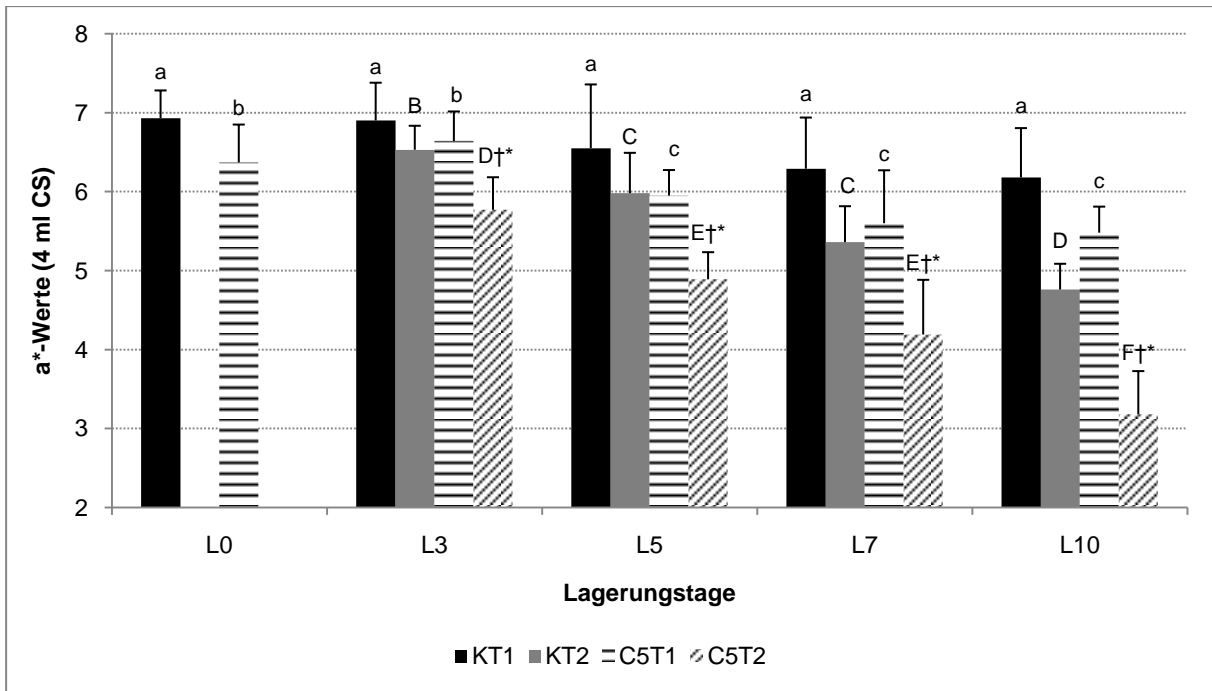
Endwert von  $a^*$  3,9 ab und liegt signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als der Rotwert der Kontrolle ( $a^*$  4,8).



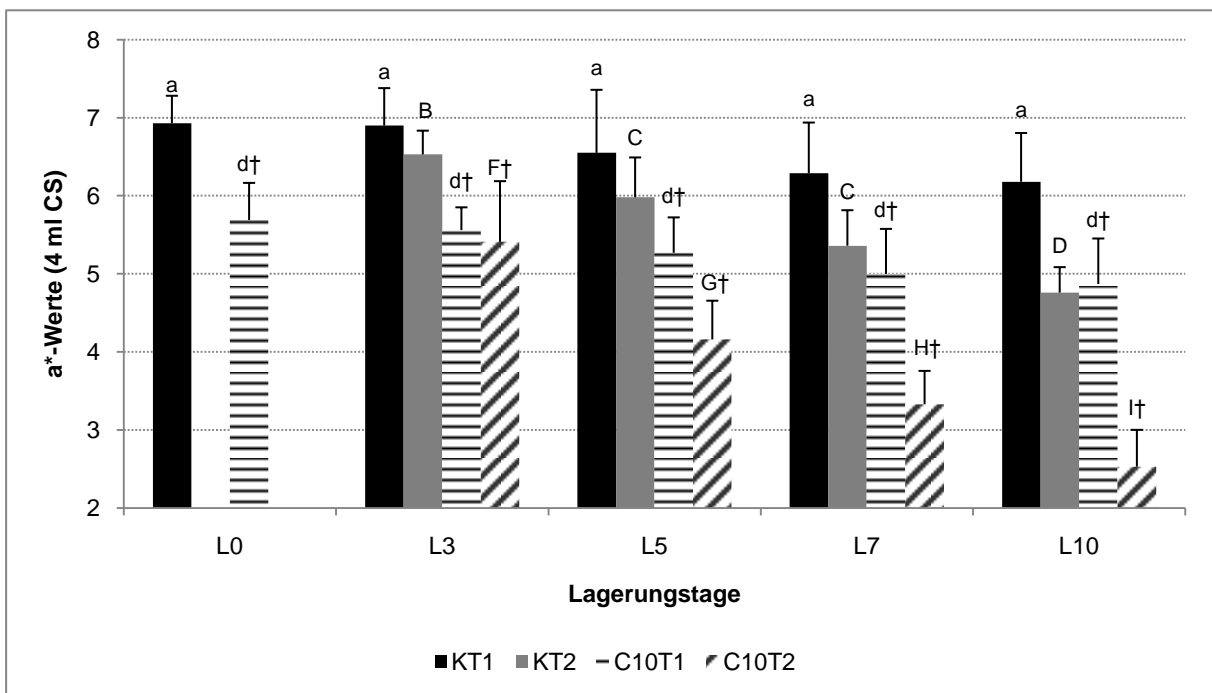
**Abbildung 34: Entwicklung der  $a^*$ -Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 432$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Die Abbildungen 35 und 36 stellen die Entwicklung der Rotwerte nach Behandlung mit 4 ml sprühvernebelter CS (5 %, 10 %) für T1 und T2 dar. Während bei einer Lagerung bei +2 °C (T1) (Abb. 35) die Werte für behandelte Probe (CS 5 %, 4 ml) zwischen dem Herstellungstag und dritten Lagerungstag ansteigen, kommt es bis zum Lagerungsende zu einem stetigen, größtenteils signifikanten ( $p \leq 0,05$ ) Rotwertverlust auf einen Endwert von  $a^*$  5,4. Infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (T2) sinkt der Rotwert der mit CS behandelten Probe bis zum Lagerungsende auf  $a^*$  3,2 ab. Im Vergleich zur Kontrolle liegen die Rotwerte der behandelten Proben (5 %, 4 ml) am dritten, fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ). Durch die Zugabe der höchsten Konzentration und Menge an sprühvernebelter CS (10 %, 4 ml) (Abb. 36) liegen bei einer Lagerung bei +2 °C (T1) die Rotwerte an allen untersuchten Lagerungstagen signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als die der Kontrolle. Für die bei T2 gelagerten Proben kommt es zu einem Rotwertverlust auf  $a^*$  2,5. Im Vergleich zur Kontrolle liegen die Rotwerte der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) am dritten, fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ).

ERGEBNISSE



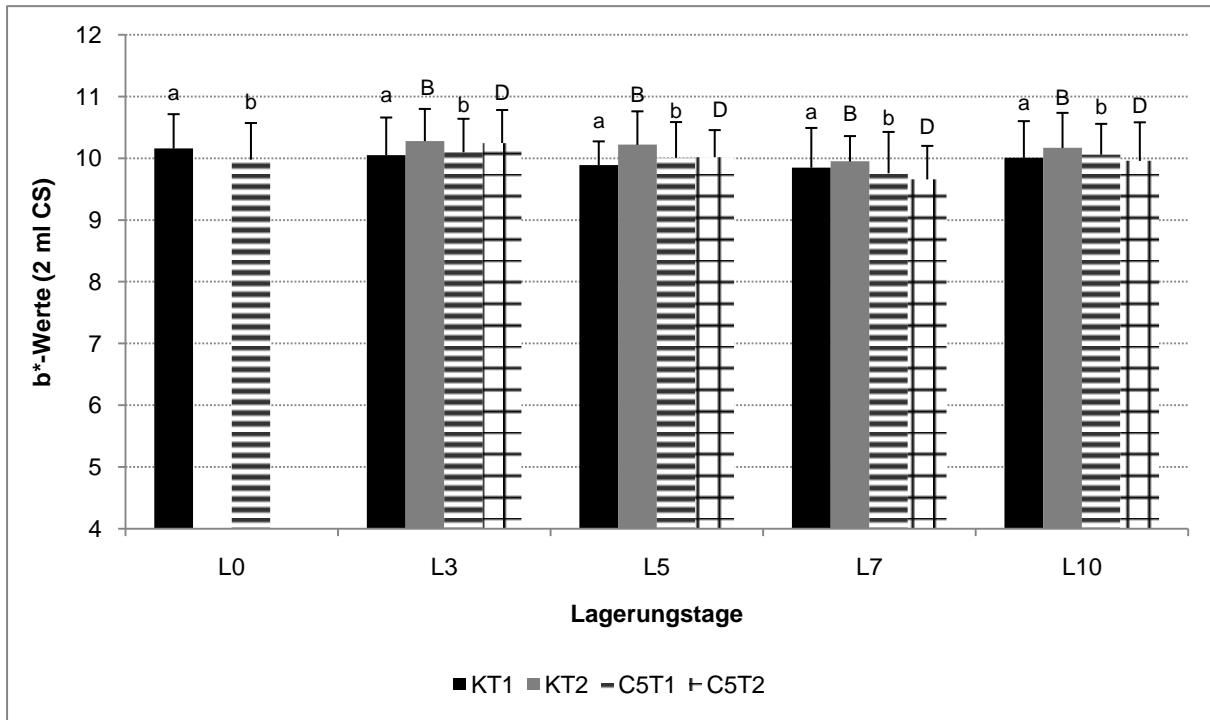
**Abbildung 35: Entwicklung der a\*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 360, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**



**Abbildung 36: Entwicklung der a\*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 360, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Gelbwert (b\*-Wert)

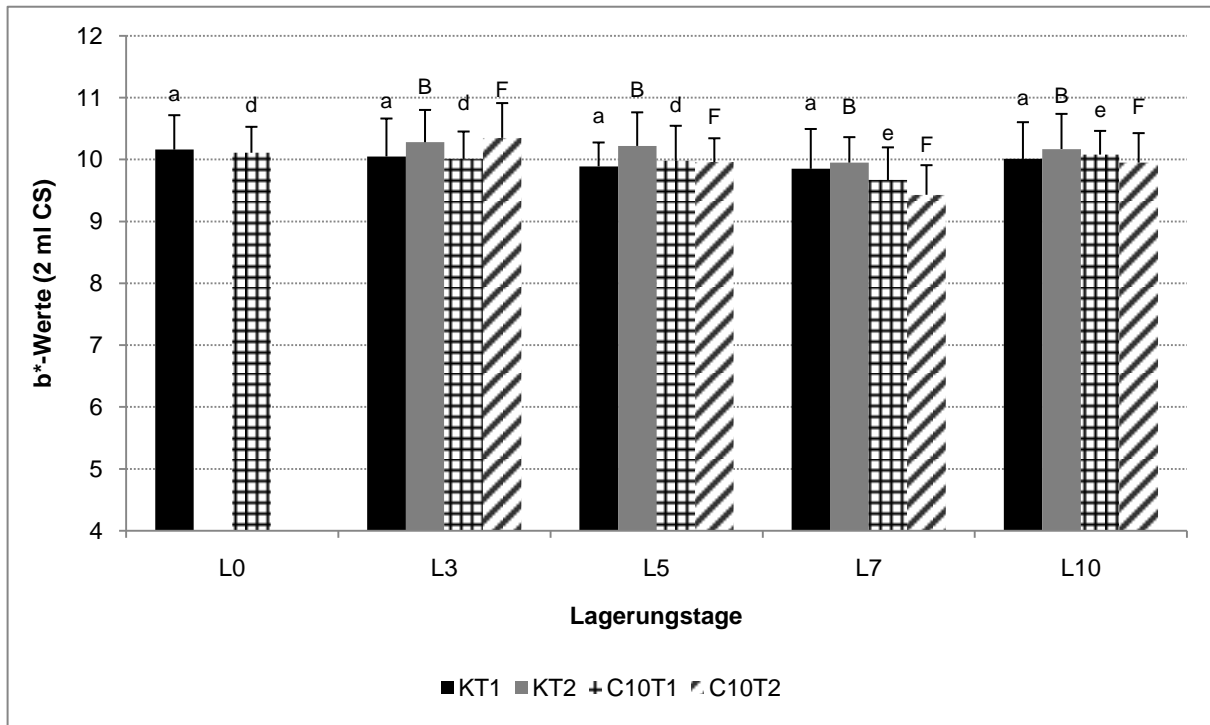
Die Abbildungen 37 und 38 zeigen die Entwicklung der **Gelbwerte (b\*-Werte)**, der mit CS behandelten (5 % bzw. 10 %; 2 ml) Proben im Vergleich zur Kontrolle bei **T1** und **T2**.



**Abbildung 37: Entwicklung der b\*-Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 432, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ .**

Die Gelbwerte (b\*-Werte) zeigen in Abbildung 37 bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) bei allen Proben über die gesamte Lagerung nur eine geringfügige Entwicklung. Die Werte der Kontrolle fallen bis zum fünften Lagerungstag leicht ab und steigen bis zum Ende wieder an ( $p > 0,05$ ). Die Werte der mit CS behandelten Probe (5 %) bleiben bis zum fünften Lagerungstag stabil und fallen bis zum siebten Lagerungstag ab auf  $b^* 9,8$ . Bis zum Ende der Lagerung erhöht sich der Wert wieder auf  $b^* 10,1$  ( $p > 0,05$ ). Die Entwicklung der Gelbwerte, der bei erhöhten Temperaturen gelagerten Proben mit einer vorherigen Erhöhung der Umgebungstemperatur (**T2**), zeigt einen ähnlichen Verlauf. Sie bleiben sowohl für die Kontrolle als auch die mit CS behandelten Proben (5 %) nahezu unverändert. Auch bei einer höheren Konzentration an sprühvernebelter CS (10 %), wie es Abbildung 38 darstellt, kommt es über die Lagerung nur zu geringen Veränderungen der b\*-Werte. Es bestehen an keinem untersuchten Lagerungstag signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und den behandelten Proben ( $p > 0,05$ ). Die für das simulierte Verbraucherverhalten (**T2**) nach Aufbringung der CS in sprühvernebelter Form (10 %) ermittelten Werte unterscheiden sich nur geringfügig ( $p > 0,05$ ) von denen von **T1**. Auch für die gemessenen Werte von **T2** kann

zwischen den Werten der Kontrolle und den behandelten Proben kein signifikanter ( $p > 0,05$ ) Unterschied festgestellt werden.



**Abbildung 38: Entwicklung der  $b^*$ -Werte nach Behandlung mit sprühvernebelter CS (10 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 432$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ .**

#### Gesamtfarbdifferenzen ( $\Delta E$ )

Nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in zwei Konzentrationen (5 %: C5; 10 %: C10) und Aufbringungsmengen (2 ml, 4 ml) und für die Kontrolle lassen sich am Ende der Lagerung für T1 als auch T2 die folgenden **Gesamtfarbdifferenzen** ermitteln (Tab. 30):

**Tabelle 30: Errechnete Gesamtfarbdifferenzen (MW  $\pm$  SD) für die Kontrolle und die mit CS behandelten Proben (5 %, 10 %; 2 ml bzw. 4 ml) für T1 und T2 (sechs Chargen,  $n = 576$ )**

$\Delta E$ K		$\Delta E$ C5 2 ml		$\Delta E$ C10 2ml		$\Delta E$ C5 4ml		$\Delta E$ C10 4ml	
T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1,84 $\pm$ 0,640	2,36 $\pm$ 0,623	1,30 $\pm$ 0,631	2,72 $\pm$ 0,822	1,88 $\pm$ 0,612	2,76 $\pm$ 0,615	1,35 $\pm$ 0,337	3,49 $\pm$ 0,461	1,45 $\pm$ 0,529	3,47 $\pm$ 0,816

Für alle Proben von T1 werden Werte erreicht, die über der für die Gesamtfarbdifferenz sensorisch wahrnehmbaren Grenze von 1,0 liegen. Die geringste Gesamtfarbdifferenz weist die Probe auf, die mit CS in der Konzentration von 5 % (2 ml) behandelt wurde ( $\Delta E$  1,30) auf, dicht gefolgt von der Probe mit der gleichen Konzentration an CS, aber größerer Aufbringungsmenge (4 ml). Die Proben, die mit einer höheren Konzentration an CS (10 %)

behandelt wurden, besitzen mit  $\Delta E$  1,45 (4 ml) und  $\Delta E$  1,88 (2 ml) insgesamt höhere Gesamtfarbdifferenzen. Die Gesamtfarbdifferenz der Kontrolle liegt mit einem Wert von  $\Delta E$  1,84 bis auf die letztgenannte Probe höher als die behandelten Proben.

Durch die Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) nehmen auch die Gesamtfarbdifferenzen zu. Die niedrigste Gesamtfarbdifferenz ( $\Delta E$  2,36) wurde für die Kontrolle ermittelt. Für die Proben, die mit 2 ml CS behandelt wurden, konnten Werte im Bereich von  $\Delta E$  2,72 (5 %) bzw.  $\Delta E$  2,76 (10 %) errechnet werden, während die Werte für die Proben, die mit 4 ml behandelt wurden, etwa eine Einheit höher liegen.

4.3.3.2.3 PH- UND  $A_w$ -WERTE

In den Tabellen 31 und 32 werden die **pH-Werte** der Kontrolle (K) und der mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (2 ml; 4 ml) behandelten Proben aus sechs untersuchten Chargen (n = 576) für **T1** und **T2** dargestellt (MW  $\pm$  SD).

**Tabelle 31: pH-Werte der Kontrolle (K) und der Proben nach Zugabe von CS (5 % bzw. 10 %; 2 ml) über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 oder T2**

	K		C5 2 ml		C10 2 ml	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	6,20 $\pm$ 0,027 <sup>a</sup>	-	6,07 $\pm$ 0,058 <sup>e(1)†</sup>	-	5,92 $\pm$ 0,093 <sup>g(2)†</sup>	-
<b>L3</b>	6,21 $\pm$ 0,050 <sup>a</sup>	6,15 $\pm$ 0,037 <sup>B*</sup>	6,16 $\pm$ 0,076 <sup>f(1)</sup>	6,02 $\pm$ 0,059 <sup>E3†*</sup>	5,96 $\pm$ 0,136 <sup>g(2)†</sup>	5,92 $\pm$ 0,068 <sup>H4†</sup>
<b>L5</b>	6,19 $\pm$ 0,041 <sup>a</sup>	6,15 $\pm$ 0,030 <sup>B</sup>	6,08 $\pm$ 0,121 <sup>f(1)†</sup>	6,10 $\pm$ 0,017 <sup>F3†</sup>	5,97 $\pm$ 0,186 <sup>g(1)†</sup>	5,95 $\pm$ 0,026 <sup>H4†</sup>
<b>L7</b>	6,19 $\pm$ 0,064 <sup>a</sup>	6,16 $\pm$ 0,034 <sup>B</sup>	6,08 $\pm$ 0,099 <sup>f(1)</sup>	6,08 $\pm$ 0,021 <sup>F3†</sup>	5,98 $\pm$ 0,118 <sup>g(1)†</sup>	5,97 $\pm$ 0,033 <sup>H4†</sup>
<b>L10</b>	6,24 $\pm$ 0,033 <sup>a</sup>	6,13 $\pm$ 0,027 <sup>B*</sup>	6,11 $\pm$ 0,190 <sup>f(1)</sup>	6,07 $\pm$ 0,021 <sup>F3†</sup>	6,00 $\pm$ 0,190 <sup>g(1)</sup>	6,00 $\pm$ 0,028 <sup>H4†</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Spalte für **T1** = **Kleinbuchstaben**, für **T2** = **Großbuchstaben**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Zeile zwischen den CS-Konzentrationen für **T1**= (**Zahlen**), für **T2** = **Zahlen**; gleiche Zahlen innerhalb eines Tages =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Die pH-Werte der Kontrolle bleiben bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) über den zehntägigen Verlauf relativ konstant und unterliegen keinen signifikanten Veränderungen ( $p > 0,05$ ). Nach Aufbringung von 2 ml CS liegen die pH-Werte für beide Konzentrationen (5 %, 10 %) bereits zu Beginn der Lagerung unterhalb der Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ). Die pH-Werte der Proben nach Aufbringung von CS in der Konzentration von 10 % (2 ml) liegen ebenso am fünften und

ERGEBNISSE

siebten Lagerungstag mit pH < 6,0 signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als die der Kontrolle. Statistische Tagesunterschiede im Laufe der Lagerung bestehen für die pH-Werte der behandelten Proben nicht ( $p > 0,05$ ). Nach Aufbringung der CS in der Konzentration von 10 % (2 ml) liegen die pH-Werte insgesamt niedriger, als nach Einsatz der Konzentration von 5 % (2 ml), am Herstellungstag und dritten Lagerungstag ist dieser Unterschied signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Die Werte der Proben, die einem simulierten Verbraucherverhalten ausgesetzt wurden (**T2**), unterscheiden sich nur geringfügig von denen, die kontinuierlich bei **T1** gelagert wurden. Der pH-Wert der Kontrolle ändert sich ebenso wie bei **T1** nur geringfügig ( $p > 0,05$ ). Mit einem Ausgangswert von pH 6,15 unterscheidet sich der pH-Wert am dritten Lagerungstag von **T2** allerdings signifikant ( $p \leq 0,05$ ) von **T1**. Die pH-Werte der behandelten Proben sind nahezu identisch mit denen von **T1** ( $p > 0,05$ ).

**Tabelle 32: pH-Werte der Kontrolle (K) und der Proben nach Zugabe von CS (5 % bzw. 10 %; 4 ml) über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 oder T2**

	K		C5 4 ml		C10 4 ml	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	6,20 ± 0,027 <sup>a</sup>	-	5,93 ± 0,156 <sup>k(1)†</sup>	-	5,66 ± 0,156 <sup>m(1)†</sup>	-
<b>L3</b>	6,21 ± 0,050 <sup>a</sup>	6,15 ± 0,037 <sup>B*</sup>	6,06 ± 0,092 <sup>k(1)†</sup>	5,90 ± 0,015 <sup>L3†</sup>	5,79 ± 0,140 <sup>m(1)†</sup>	5,71 ± 0,074 <sup>P4†</sup>
<b>L5</b>	6,19 ± 0,041 <sup>a</sup>	6,15 ± 0,030 <sup>B</sup>	5,98 ± 0,168 <sup>k(1)</sup>	5,95 ± 0,030 <sup>L3†</sup>	5,69 ± 0,248 <sup>m(1)†</sup>	5,71 ± 0,075 <sup>P4†</sup>
<b>L7</b>	6,19 ± 0,064 <sup>a</sup>	6,16 ± 0,034 <sup>B</sup>	5,97 ± 0,160 <sup>k(1)</sup>	6,01 ± 0,007 <sup>L3†</sup>	5,86 ± 0,126 <sup>m(1)†</sup>	5,83 ± 0,010 <sup>P4†</sup>
<b>L10</b>	6,24 ± 0,033 <sup>a</sup>	6,13 ± 0,027 <sup>B*</sup>	6,04 ± 0,195 <sup>k(1)</sup>	6,03 ± 0,007 <sup>L3†</sup>	5,96 ± 0,257 <sup>m(1)</sup>	5,84 ± 0,036 <sup>P4†</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Spalte für **T1** = **Kleinbuchstaben**, für **T2** = **Großbuchstaben**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) innerhalb einer Zeile zwischen den CS-Konzentrationen für **T1** = (**Zahlen**), für **T2** = (**Zahlen**); gleiche Zahlen innerhalb eines Tages =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

Nach Aufbringung von 4 ml CS kommt es für die Proben beider Konzentrationen (5 %, 10 %) zwischen den untersuchten Lagerungstagen zu keinen signifikanten pH-Wert-Änderungen ( $p > 0,05$ ). Die pH-Werte der Proben, die mit CS in einer Konzentration von 5 % (4 ml) behandelt wurden, liegen am Herstellungstag (pH 5,93) und am dritten Lagerungstag (6,06) signifikant niedriger als die der Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ). Die Probe, die mit CS in der Konzentration 10 % (4 ml) behandelt wurde, weist am Tag der Herstellung (pH 5,66), am



dritten (pH 5,79), fünften (pH 5,69) und siebten (pH 5,86) Lagerungstag im Vergleich zur Kontrolle signifikant niedrigere pH-Werte auf ( $p \leq 0,05$ ). Infolge der Temperaturerhöhung (**T2**) kommt es zwischen den untersuchten Lagerungstagen für die behandelten Proben zu keinen nennenswerten Veränderungen der pH-Werte ( $p > 0,05$ ). Mit Ausnahme der Probe mit einer CS-Konzentration von 5 % (4 ml) am dritten Lagerungstag bestehen zwischen den pH-Werten von **T1** und **T2** keine Unterschiede ( $p > 0,05$ ).

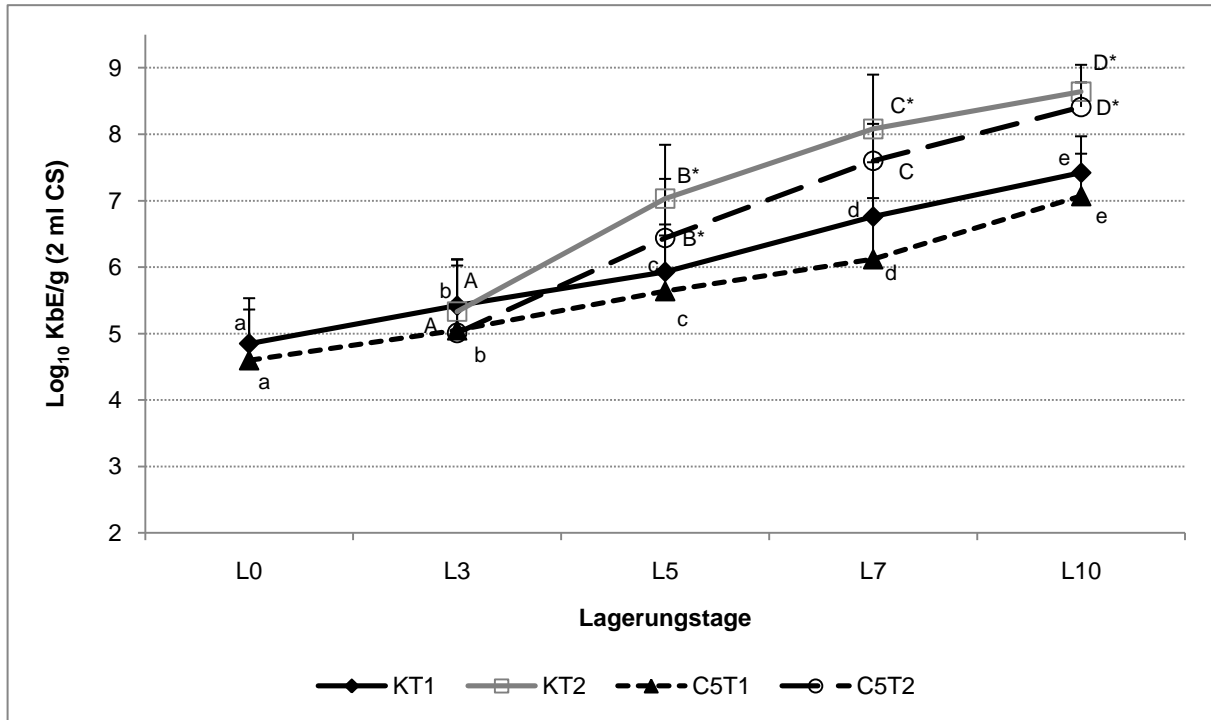
Es wurden zudem die folgenden  **$a_w$ -Werte** für die Proben ermittelt, wobei zwischen den unbehandelten und behandelten Proben keine Unterschiede ( $p > 0,05$ ) in der zweiten Nachkommastelle bestehen: 0,9900 (K), 0,9901 (5 %, 2 ml), 0,9901 (10 %, 2 ml), 0,9902 (5 %, 4 ml) und 0,9903 (10 %, 4 ml).

#### 4.3.3.3 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

In den Abbildungen 39 bis 46 werden die Wachstumsverläufe der erhobenen Keimzahlen nach Behandlung der Proben mit kaltvernebelter Citronensäure (5 % bzw. 10 %; 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle über einen Lagerungszeitraum von zehn Tagen bei beiden Temperaturen (**T1**, **T2**) mit Untersuchungen am Herstellungstag (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag dargestellt. Die X-Achse zeigt die untersuchten Lagerungstage, auf der primären Y-Achse werden die logarithmierten Keimzahlen ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g Hackfleisch) als arithmetische Mittelwerte mit ihren Standardabweichungen ( $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) aufgezeigt. Auf die graphische Darstellung der Ergebnisse nach Zugabe von 4 ml (5 % bzw. 10 %), wie bereits in Kapitel 4.2.3.2.1 beschrieben, auch in diesem Abschnitt des Ergebnisteils verzichtet. Diese befinden sich im Anhang (vgl. Kapitel 8.1.1).

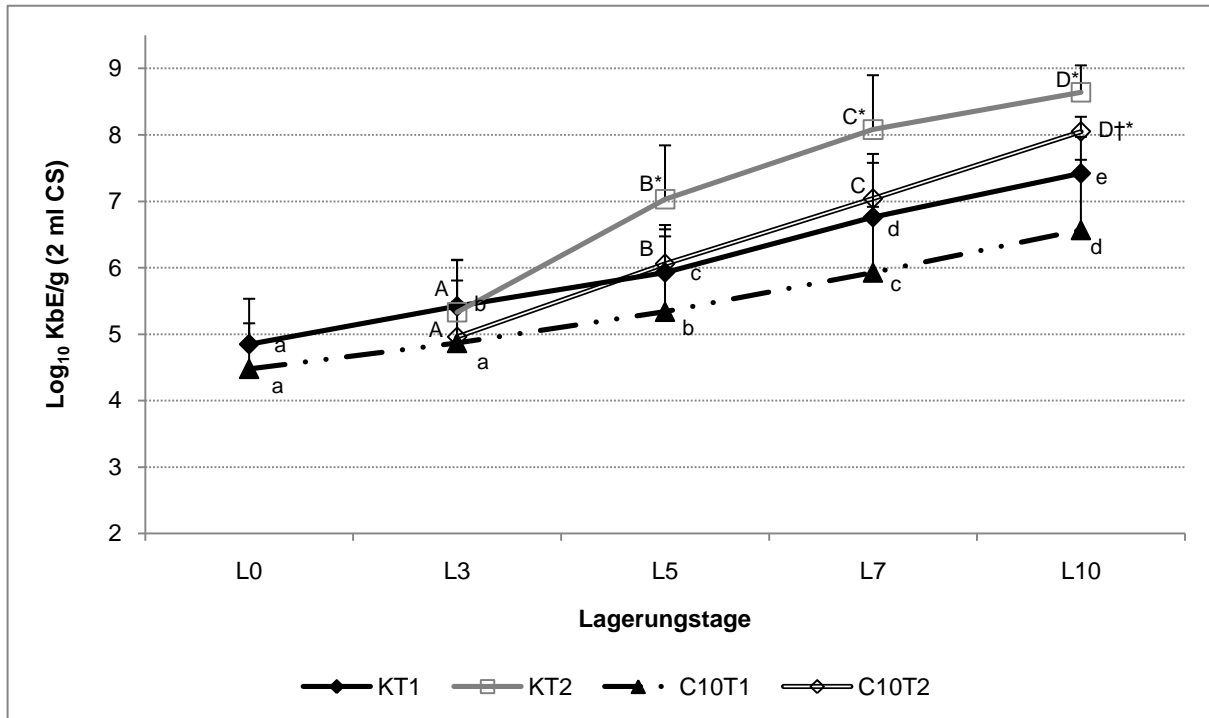
4.3.3.3.1 AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

Die Abbildungen 39 und 40 zeigen die Wachstumsverläufe der **aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ)** nach Zugabe von 2 ml sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % im Vergleich zur Kontrolle bei **T1** und **T2**.



**Abbildung 39: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432). Signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur = p > 0,05. \* = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Die aerobe mesophile GKZ der Kontrolle steigt für die Proben von **T1** zwischen allen aufeinanderfolgenden Untersuchungstagen signifikant ( $p \leq 0,05$ ) an. Der Ausgangskeimgehalt von Log<sub>10</sub> 4,9 KbE/g erreicht bereits nach sieben Lagerungstagen Werte > Log<sub>10</sub> 6,0 KbE/g und liegt am Ende der Lagerung bei Log<sub>10</sub> 7,4 KbE/g. Auch für die behandelten Proben kommt während der Lagerung bei +2 °C (**T1**) zwischen dem Herstellungstag und dem Lagerungsende zu einer kontinuierlichen Keimzahlzunahme ( $p \leq 0,05$ ). Die GKZ liegt nach Aufbringen der sprühvernebelten CS in der Konzentration von 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle jedoch bis zu 0,7 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger und erreicht am Ende der Lagerung Keimzahlen von Log<sub>10</sub> 7,1 KbE/g. Infolge der Temperaturerhöhung (**T2**), kommt es für alle Proben ab dem dritten Lagerungstag zu einer sprunghaften Erhöhung der aeroben mesophilen GKZ ( $p \leq 0,05$ ). Dabei liegt die GKZ der mit CS in der Konzentration 5 % (2 ml) behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle über die Lagerung etwa 0,3 bis 0,6 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger.



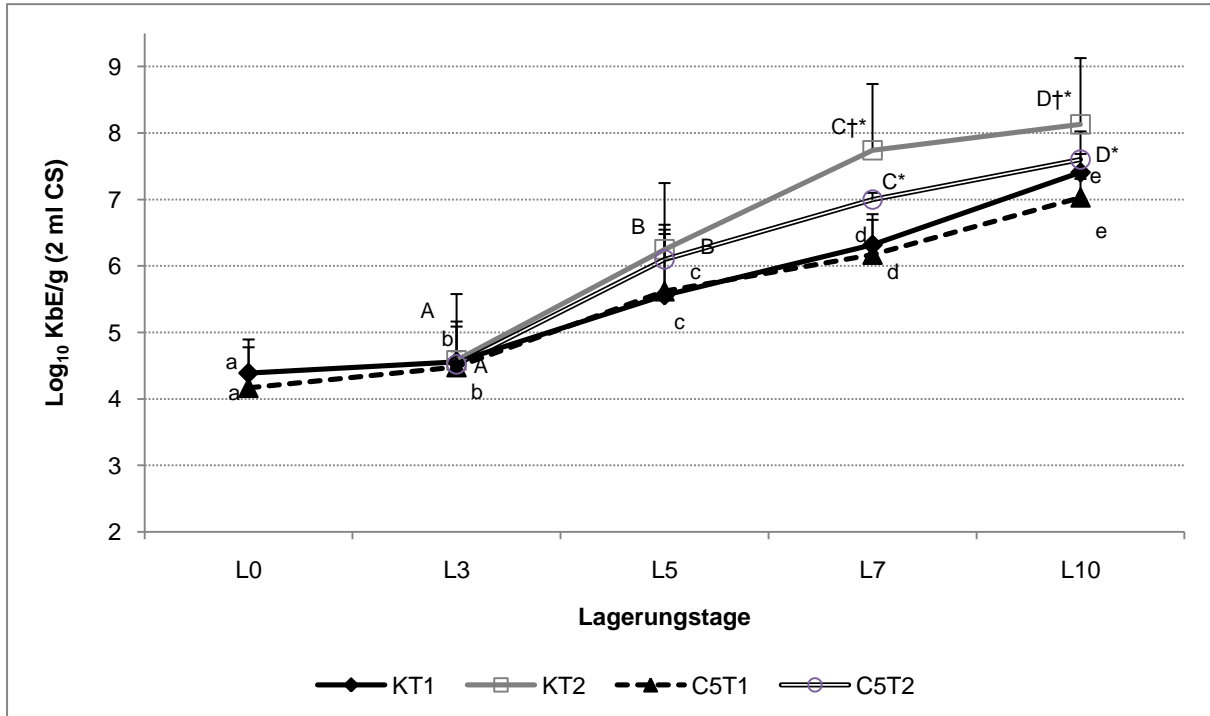
**Abbildung 40: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Nach Zugabe der sprühvernebelten CS in der hohen Konzentration (10 %, 2 ml) kommt es für die Proben, die bei +2 °C (T1) gelagert werden, ab dem dritten Lagerungstag zu einem kontinuierlichen Keimwachstum ( $p \leq 0,05$ ) (Abb. 40). Die GKZ liegt für die behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle an allen untersuchten Lagerungstagen zwischen 0,4 und 0,9 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger. Am Ende der Lagerung erreichen die behandelten Proben Keimzahlen von Log<sub>10</sub> 6,6 KbE/g, während die Kontrolle bei Log<sub>10</sub> 7,4 KbE/g liegt.

Die Erhöhung der Temperatur (T2) bewirkt auch nach Zugabe der CS in einer Konzentration von 10 % (2 ml) ein sprunghaftes Keimzahlwachstum ( $p \leq 0,05$ ). Innerhalb von zehn Tagen erhöht sich die GKZ um etwa drei Log<sub>10</sub>-Einheiten auf Log<sub>10</sub> 8,1 KbE/g. Allerdings liegt die GKZ im Vergleich zur Kontrolle über die Lagerungsdauer durchschnittlich 0,3 bis 0,9 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger, wobei der Unterschied zwischen behandelter Probe und Kontrolle am zehnten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ) ist.

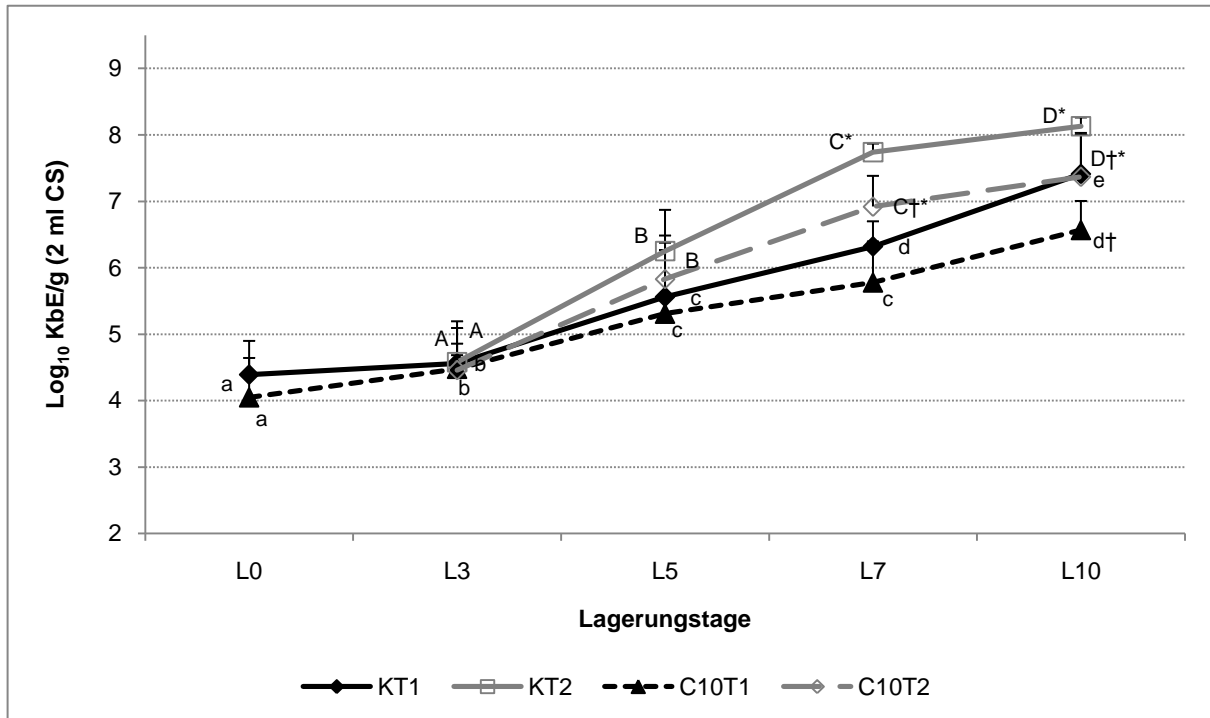
4.3.3.3.2 *PSEUDOMONAS* SPP.

In den Abbildungen 41 und 42 wird der Wachstumsverlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. nach Aufbringung der CS (5 % bzw. 10 %; 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle für T1 und T2 aufgezeigt.



**Abbildung 41: Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen;  $n = 432$ ). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Wie es der Abbildung 41 zu entnehmen ist, kommt es bei einer Lagerung bei +2 °C (T1) für alle Proben bis zum Lagerungsende insgesamt zu einem größtenteils signifikanten ( $p \leq 0,05$ ) Keimwachstum. Dabei nehmen die Keimzahlen der Kontrolle vom Tag der Herstellung mit einem Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  4,4 KbE/g bis zum Ende der Lagerung um drei  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten zu. Die Zugabe der CS in sprühvernebelter Form (5 %, 2 ml) bewirkt im Vergleich zur Kontrolle Keimzahlen, die bis zu 0,4  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger liegen ( $p > 0,05$ ). Infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (T2) kommt es zu einem stärkeren Keimzahlenanstieg ( $p \leq 0,05$ ). Die Keimzahlen der Kontrolle steigen bis zum Ende der Lagerung von  $\text{Log}_{10}$  4,6 KbE/g auf  $\text{Log}_{10}$  8,1 KbE/g. Die Keimzahlen der mit CS behandelten Proben (5 %, 2 ml) liegen dabei am siebten und zehnten Lagerungstag mit einer Differenz von 0,7  $\text{Log}_{10}$ - (L7) bzw. 0,5 (L10)  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten im Vergleich zur Kontrolle signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ).

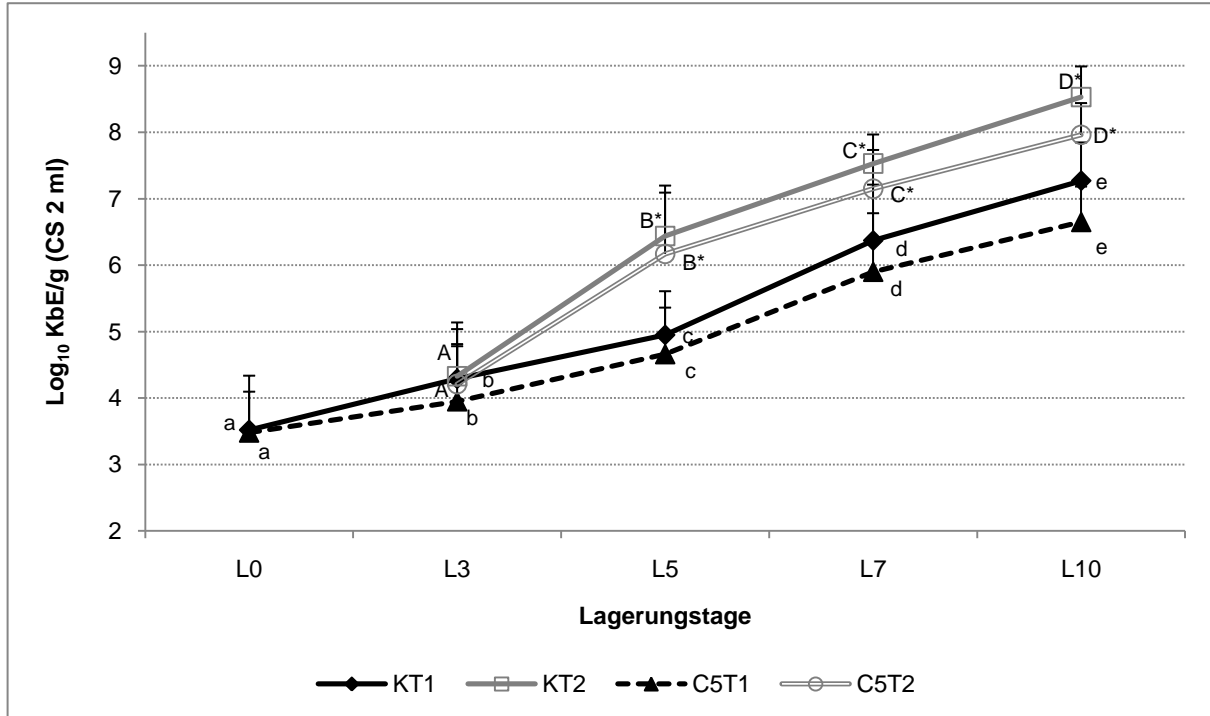


**Abbildung 42: Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen;  $n = 432$ ). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).**

Nach Behandlung der Proben mit CS in der Konzentration 10 % (2 ml) findet für die Lagerung bei T1 ein größtenteils signifikantes Keimwachstum statt ( $p \leq 0,05$ ). Im Vergleich zur Kontrolle liegen die Keimzahlen durchschnittlich bis zu 0,8  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger ( $p > 0,05$ ). Nach der Temperaturerhöhung, wie sie für T2 erfolgte, kommt es auch in diesem Fall zu einem stärkeren Keimzahlwachstum ( $p \leq 0,05$ ). Dabei liegt die Keimzahl der behandelten Probe am siebten um 0,8  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten und zehnten Lagerungstag um 0,7  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als die der Kontrolle (Abb. 42)

4.3.3.3.3 *BROCHOTHRIX THERMOSPACTA*

In den Abbildungen 43 und 44 werden die Wachstumsverläufe der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* nach Aufbringung der CS (5 % bzw. 10 %; 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle für **T1** und **T2** dargestellt.

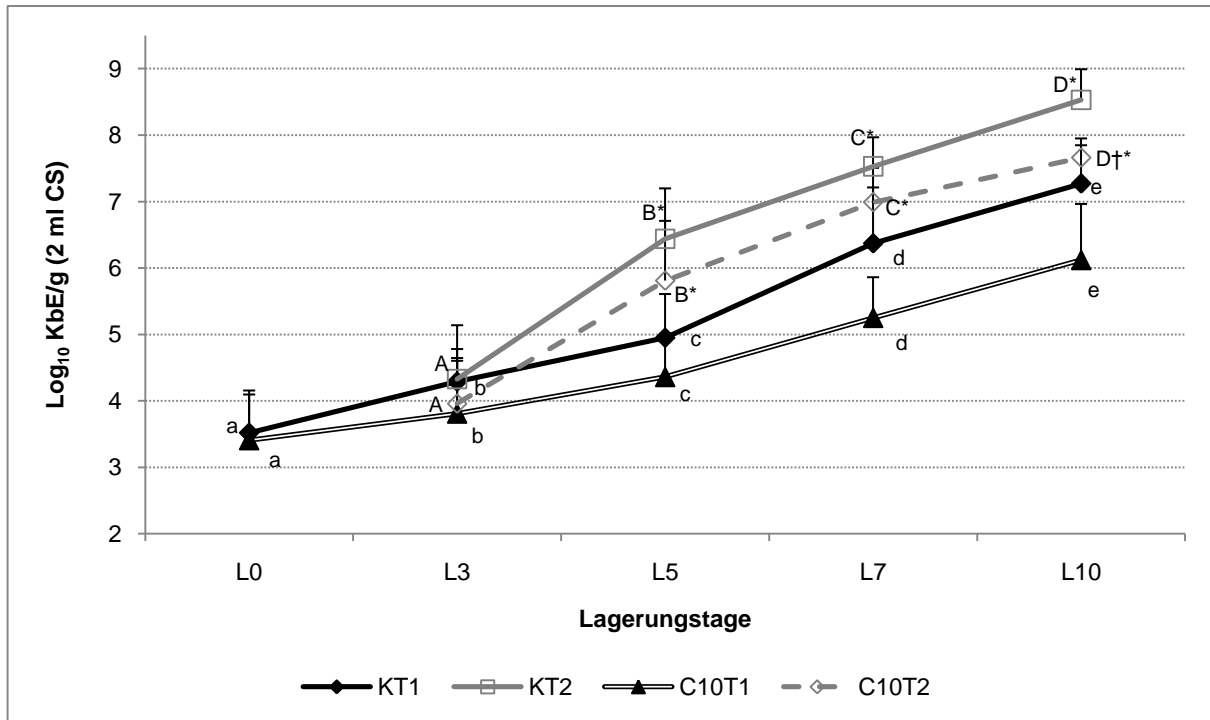


**Abbildung 43: Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* (Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432). Signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur = p > 0,05. \* = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Im Verlauf der zehntägigen Lagerung kommt es für alle Proben mit einem Ausgangskeimgehalt von Log<sub>10</sub> 3,5 KbE/g zu einem kontinuierlichen und statistisch signifikanten Keimzahlenanstieg (p ≤ 0,05) von *Brochothrix thermosphacta*. Die Keimzahlen der mit CS in der Konzentration von 5 % (2 ml) behandelten Proben liegen im Vergleich zur Kontrolle an den untersuchten Lagerungstagen bis zu 0,6 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger. Nach Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) kommt es für alle Proben ebenso zu einem sprunghaften Anstieg der Keimzahlen (p ≤ 0,05). Allerdings liegen die Keimzahlen nach CS-Behandlung (5 %, 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle bis zu 0,4 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger (p > 0,05) (Abb. 43). Dabei werden für **T2** am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag im Vergleich zu **T1** sowohl für die Kontrolle als auch die mit CS behandelten Proben höhere Keimzahlen signifikant (p ≤ 0,05) nachgewiesen.

Der Einsatz einer höheren Konzentration an sprühvernebelter CS (10 %) führt bei einer Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) ebenfalls zu einem signifikanten Keimwachstum (p ≤ 0,05). Dabei liegen die Keimzahlen der behandelten Proben im Vergleich zur Kontrolle bis zu

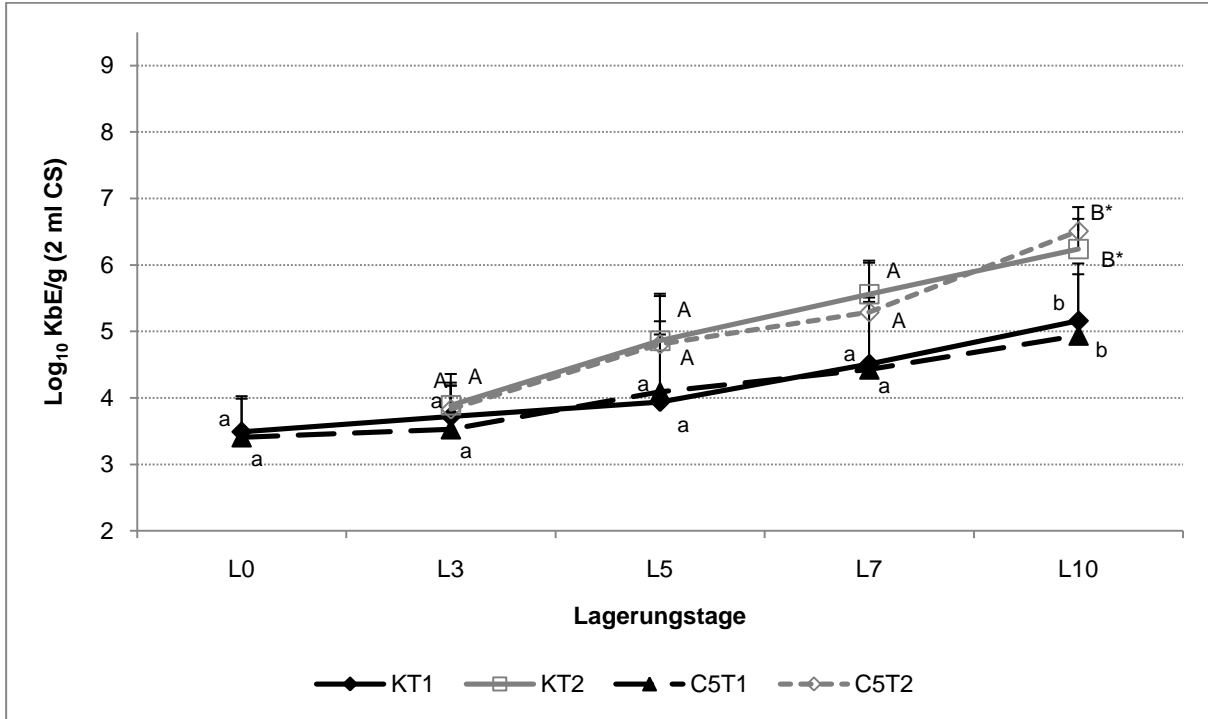
1,2 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger ( $p > 0,05$ ). Nach Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) nimmt das Keimwachstum auch für diese Proben weiter zu, wobei der Anstieg nur bis zum siebten Lagerungstag signifikant ist ( $p \leq 0,05$ ). Die Keimzahlen der mit CS behandelten Proben (10 %, 2 ml) liegen über den Lagerungsverlauf im Vergleich zur Kontrolle durchschnittlich zwischen 0,3 und 0,7 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger. Zwischen den Keimzahlen von **T1** und **T2** bestehen für die behandelten Proben am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).



**Abbildung 44:** Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* (Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

4.3.3.3.4 *ENTEROBACTERIACEAE*

Die Abbildungen 45 und 46 zeigen die Wachstumsverläufe der Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* nach Aufbringung kaltvernebelter CS (5 % bzw. 10 %; 2 ml) im Vergleich zur Kontrolle für **T1** und **T2**.



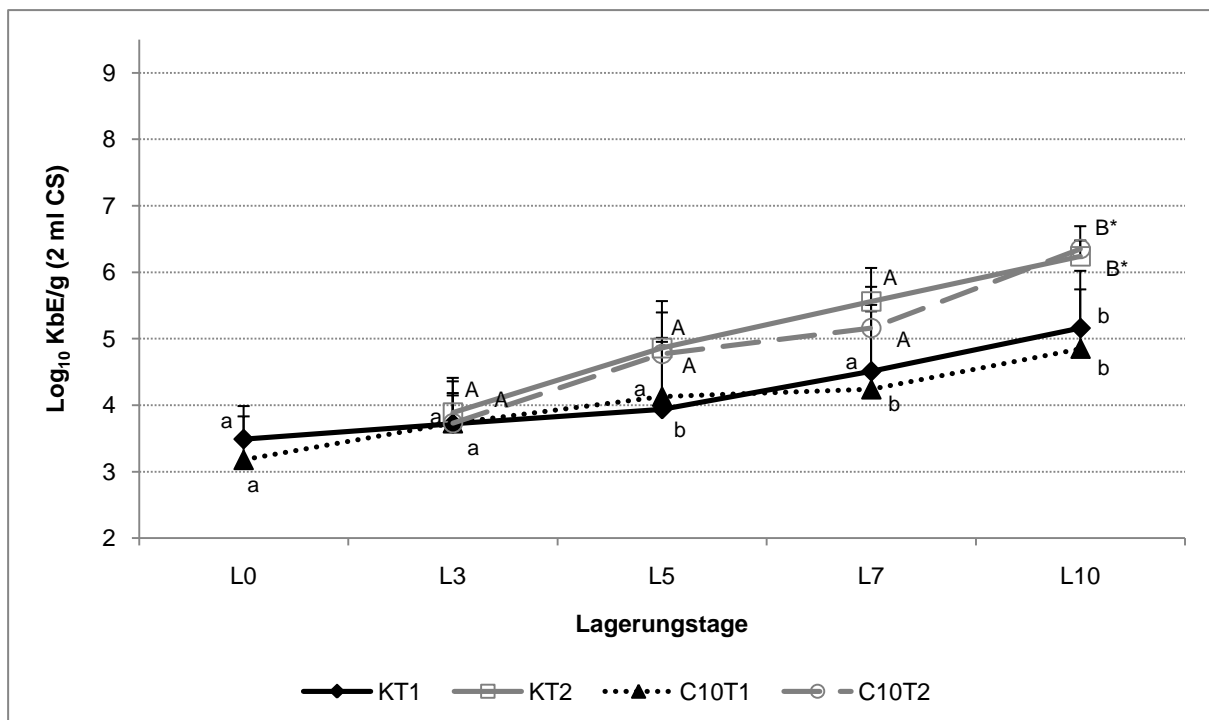
**Abbildung 45: Verlauf der Keimzahlen der Enterobacteriaceae (Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 5 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen; n = 432). Signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur = p > 0,05. \* = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Bei einer konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (**T1**) kommt es sowohl für die Kontrolle (Ausgangskeimgehalt: Log<sub>10</sub> 3,5 KbE/g) als auch die mit CS in der Konzentration von 5 % (2 ml) behandelten Proben (Ausgangskeimgehalt: Log<sub>10</sub> 3,4 KbE/g) erst zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag zu einem signifikanten Keimzahlanstieg (p ≤ 0,05). Zwischen den behandelten Proben und der Kontrolle bestehen über den Lagerungsverlauf keine erkennbaren Keimzahlunterschiede (p > 0,05). Auch nach Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) zeigt sich ebenso zwischen den unbehandelten und behandelten Proben nahezu kein Unterschied. Insgesamt erfolgt für **T2** ab dem dritten Lagerungstag eine stärkere Keimzahlzunahme, die auch in diesem Fall erst zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ist (p ≤ 0,05). Am Ende der Lagerung liegen die Keimzahlen der behandelten Proben mit Log<sub>10</sub> 6,5 KbE/g sogar 0,3 Log<sub>10</sub>-Einheiten höher als die unbehandelte Kontrolle (p > 0,05). (Abb. 45). Unterschiede (p ≤ 0,05) in den Keimzahlen



zwischen **T1** und **T2** bestehen sowohl für die Kontrolle und die mit CS behandelte Probe nur am letzten untersuchten Lagerungstag.

Auch nach einer höheren Konzentration an aufgesprühter CS (10 %) zeigt sich für die Proben von **T1** ein nahezu identischer Keimzahlverlauf. Signifikante Unterschiede zu den Keimzahlen der Kontrolle bestehen während des gesamten Untersuchungszeitraumes nicht ( $p > 0,05$ ), was ebenso für die Proben von **T2** zutrifft (Abb. 46). Zwischen den Keimzahlen von **T1** und **T2** bestehen für die behandelten Proben am letzten untersuchten Lagerungstag signifikante ( $p \leq 0,05$ ) Unterschiede.



**Abbildung 46:** Verlauf der Keimzahlen der Enterobacteriaceae ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) nach Behandlung mit sprühvernebelter CS in der Konzentration 10 % (2 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen;  $n = 432$ ). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.3.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER HAUPTVERSUCHE DES UNTERSUCHUNGSABSCHNITTES III

In den Hauptversuchen des Untersuchungsabschnittes III wurde die Applikation von CS als Sprühnebel auf ihre Eignung als zusätzliche mikrobiologische Hürde zur Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität in frischem Putenhackfleisch überprüft. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Es bestehen für die erzielten Ergebnisse sowohl zwischen den eingesetzten Konzentrationen (5 %, 10 %) als auch zwischen den Aufbringungsmengen (2 ml, 4 ml) größtenteils keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ); Ausnahme:  $a^*$ -Werte, pH-Werte (vgl. Anhang, Kapitel 8.1.2)
- Die Untersuchungsparameter der chemischen Vollanalyse zeigen zwischen den Chargen keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ).
- Die Entwicklung der Schutzatmosphäre ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) erfolgt für beide Lagerungstemperaturen (**T1**, **T2**) über die zehntägige Lagerung unabhängig von der Zugabe der CS, wie bereits für Untersuchungsabschnitt I und II beschrieben. Allerdings liegen die  $O_2$ -Gehalte der behandelten Proben zwischen dem dritten Lagerungstag und dem Lagerungsende größtenteils signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als die der unbehandelten Kontrolle.
- Im Rahmen der untersuchten L\*a\*b\*-Farbwerte erfolgt die größte Veränderung über die Lagerung für den  $a^*$ -Wert, v. a. nach Zugabe der CS. Je höher die Konzentration und Menge, desto stärker ist der Abfall des Rotwertes. Durch steigende Lagerungstemperaturen (**T2**) wird dieser Effekt verstärkt.
- Es kommt unabhängig von der Zugabe der CS bei nahezu allen untersuchten Mikroorganismen sowohl für **T1** als auch für **T2** über die zehntägige Lagerung zu signifikanten Keimzahlanstiegen. Die Zugabe der CS als Sprühnebel (5 %, 10 %) führt im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bei der aeroben mesophilen GKZ sowie bei *Pseudomonas spp.* und *Brochothrix thermosphacta* zu niedrigeren Keimzahlen. Diese Differenzen sind, insbesondere gegen Lagerungsende, teilweise statistisch signifikant ( $p \leq 0,05$ ). Auf die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* hat die Zugabe der CS im Vergleich zur Kontrolle keinen keimhemmenden Effekt.

## 4.4 QUALITÄTSVERBESSERUNG DURCH ZUGABE EINER GEWÜRZMISCHUNG

In Untersuchungsabschnitt IV wurde eine Gewürzmischung auf ihre Eignung als zusätzliche mikrobiologische Hürde in frischem Putenhackfleisch auf die ausgewählten chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Qualitätsparameter untersucht (n = 108).

### 4.4.1 CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Tabelle 33 stellt die Ergebnisse der chemischen Vollanalyse aus den sechs untersuchten Chargen dar. Zwischen den einzelnen Chargen wurden keine signifikanten Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung festgestellt ( $p > 0,05$ ). Die Ergebnisse werden als Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen in Prozent (%) angegeben.

**Tabelle 33: Ergebnisse der chemischen Vollanalysen des zubereiteten Hackfleisches aus dem Putenflügel (in %) (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, MW  $\pm$  SD)**

Untersuchungsparameter	
Aschegehalt	2,2 $\pm$ 0,089
Trockensubstanz	27,4 $\pm$ 0,636
Gesamtwasser	72,6 $\pm$ 0,636
Gesamtfett	3,2 $\pm$ 1,03
Gesamteiweiß	22,2 $\pm$ 0,391
Fleischiweiß	21,0 $\pm$ 1,541
Hydroxyprolin	0,1 $\pm$ 0,052
Bindegewebsweiß (BE)	1,1 $\pm$ 0,445
BEFFE	19,9 $\pm$ 1,557
Kochsalz	1,3 $\pm$ 0,311

#### 4.4.2 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

##### 4.4.2.1 GASANALYSEN

Tabelle 34 stellt die Entwicklung der Schutzatmosphäre (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) innerhalb der Verpackung für **T1** und **T2** über die zehntägige Lagerung mit den Untersuchungen am Tag der Herstellung (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag dar.

**Tabelle 34: Entwicklung der Anteile von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> (in Vol. %) im Verlauf der zehntägigen Lagerung in zubereitetem Putenhackfleisch bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben).**

	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>	
	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	71,4 ± 3,5 <sup>a</sup>		22,4 ± 4,6 <sup>f</sup>	
<b>L3</b>	67,7 ± 3,1 <sup>a</sup>	64,3 ± 2,5 <sup>B</sup>	24,8 ± 2,8 <sup>f</sup>	27,1 ± 3,8 <sup>G</sup>
<b>L5</b>	67,3 ± 3,0 <sup>a</sup>	64,5 ± 3,2 <sup>B</sup>	25,8 ± 3,6 <sup>f</sup>	27,6 ± 3,5 <sup>G</sup>
<b>L7</b>	67,1 ± 3,0 <sup>a</sup>	61,8 ± 6,0 <sup>C</sup>	25,3 ± 3,1 <sup>f</sup>	27,9 ± 2,9 <sup>G</sup>
<b>L10</b>	66,1 ± 1,9 <sup>b</sup>	55,4 ± 6,5 <sup>C*</sup>	25,5 ± 3,0 <sup>f</sup>	35,3 ± 5,1 <sup>H*</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) für das jeweilige Gas zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = **Kleinbuchstaben**, bei **T2** = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen.

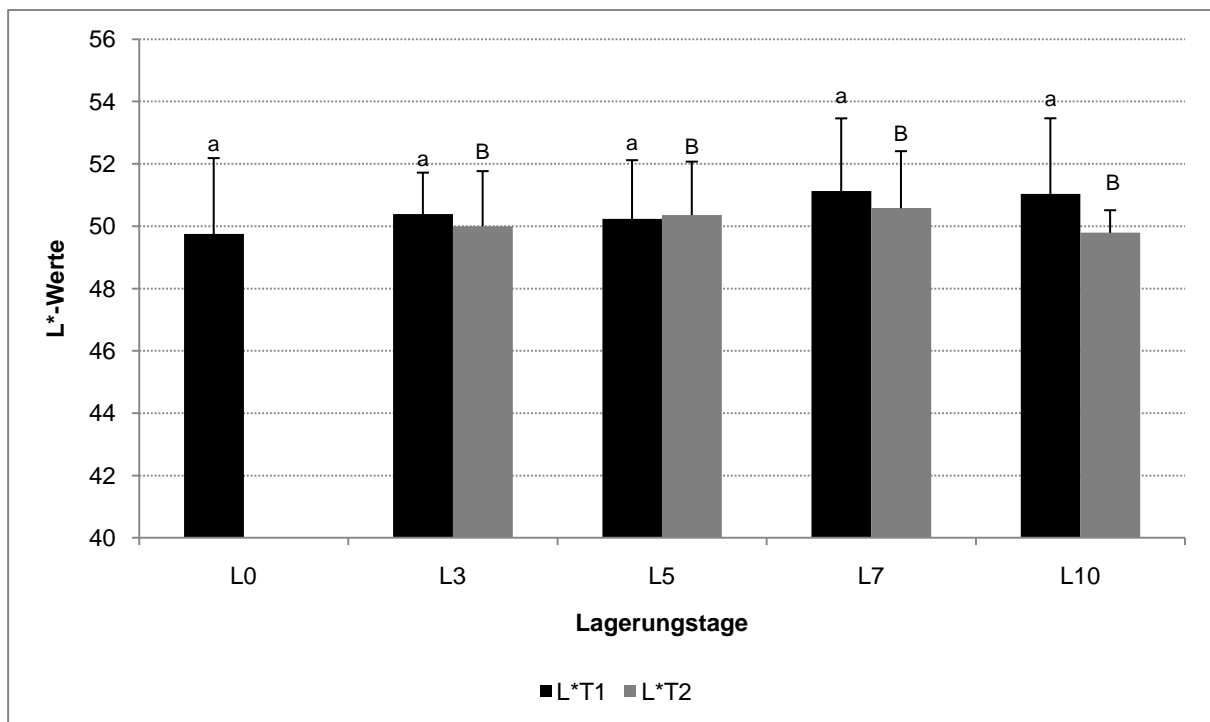
Der O<sub>2</sub>-Gehalt von 71,4 Vol. % fällt bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) bis zum Lagerungsende auf 66,1 Vol. % ab, wobei die Abnahme zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ist ( $p \leq 0,05$ ). Der Gehalt an CO<sub>2</sub> variiert während vom Tag der Herstellung bis zum Lagerungsende zwischen Werten von 22,4 Vol. % und 25,5 Vol. % ( $p > 0,05$ ), wobei es insgesamt zu einer Zunahme kommt. Der O<sub>2</sub>-Gehalt für die Proben von **T2** liegt anfänglich bei einem Wert von 64,3 Vol. % und fällt zwischen dem fünften und siebten sowie siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ( $p \leq 0,05$ ) auf 55,5 Vol. % ab. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt verändert sich mit einem anfänglichen Wert von 27,1 % bis zum siebten Lagerungstag kaum ( $p > 0,05$ ), zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kann ein statistisch signifikanter Anstieg ( $p \leq 0,05$ ) des Gehaltes auf 43,2 Vol. % verzeichnet werden. Zwischen den Werten von **T1** und **T2** bestehen am zehnten Lagerungstag sowohl für den Gehalt an O<sub>2</sub> als auch für den Gehalt an CO<sub>2</sub> statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

4.4.2.2 L\*a\*b\*-FARBWERTE

Die Abbildungen 47 bis 49 zeigen die Entwicklung der über die zehntägige Lagerung gemessenen **L\*a\*b\*-Farbwerte** für **T1** und **T2**. Auf der X-Achse des Säulendiagrammes werden die untersuchten Lagerungstage (L0, L3, L5, L7 und L10) dargestellt. Die Y-Achse gibt die gemessenen Werte als absolute dimensionslose Zahlen des dreidimensionalen L\*a\*b\*-Farbraumes wieder.

Helligkeit (L\*-Wert)

Abbildung 47 stellt den Verlauf der **Helligkeitswerte (L\*-Werte)** in zubereitetem Putenhackfleisch bei **T1** und **T2** dar.



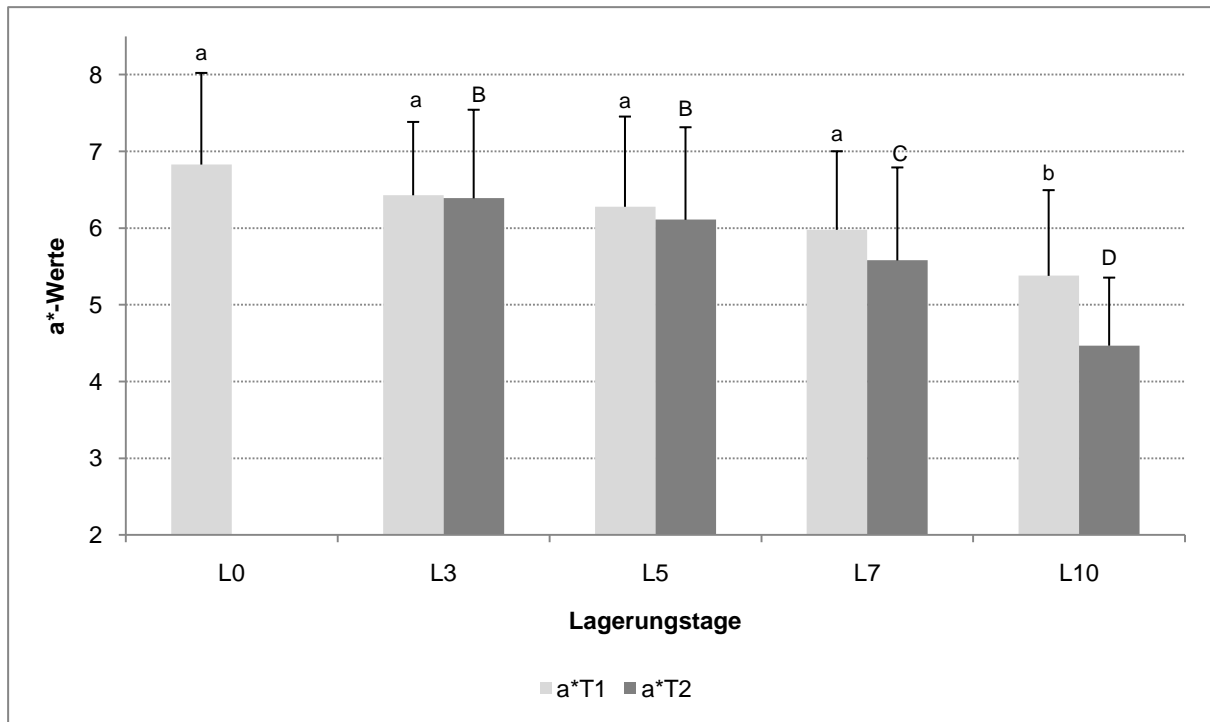
**Abbildung 47: Entwicklung der L\*-Werte (MW ± SD) in zubereitetem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur = p > 0,05. \* = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Die L\*-Werte steigen für die Lagerungstemperatur **T1** im Laufe der Lagerung leicht, aber statistisch nicht signifikant (p > 0,05), mit einem Ausgangswert von L\* 49,8 auf einen Endwert von L\* 51,0 an.

Auch bei Lagerung der Proben bei erhöhten Lagerungstemperaturen (**T2**) verändert sich der L\*-Wert nur in geringem Maße und statistisch nicht signifikant (p > 0,05). Der zu Beginn der Simulation des Verbraucherverhaltens ermittelte Helligkeitswert von L\* 50,0 nimmt bis zum Lagerungsende auf einen Wert von L\* 49,8 zu.

Rotwert (a\*-Wert)

In Abbildung 48 wird der Verlauf der **Rotwerte (a\*-Werte)** für das zubereitete Putenhackfleisch für **T1** und **T2** dargestellt.



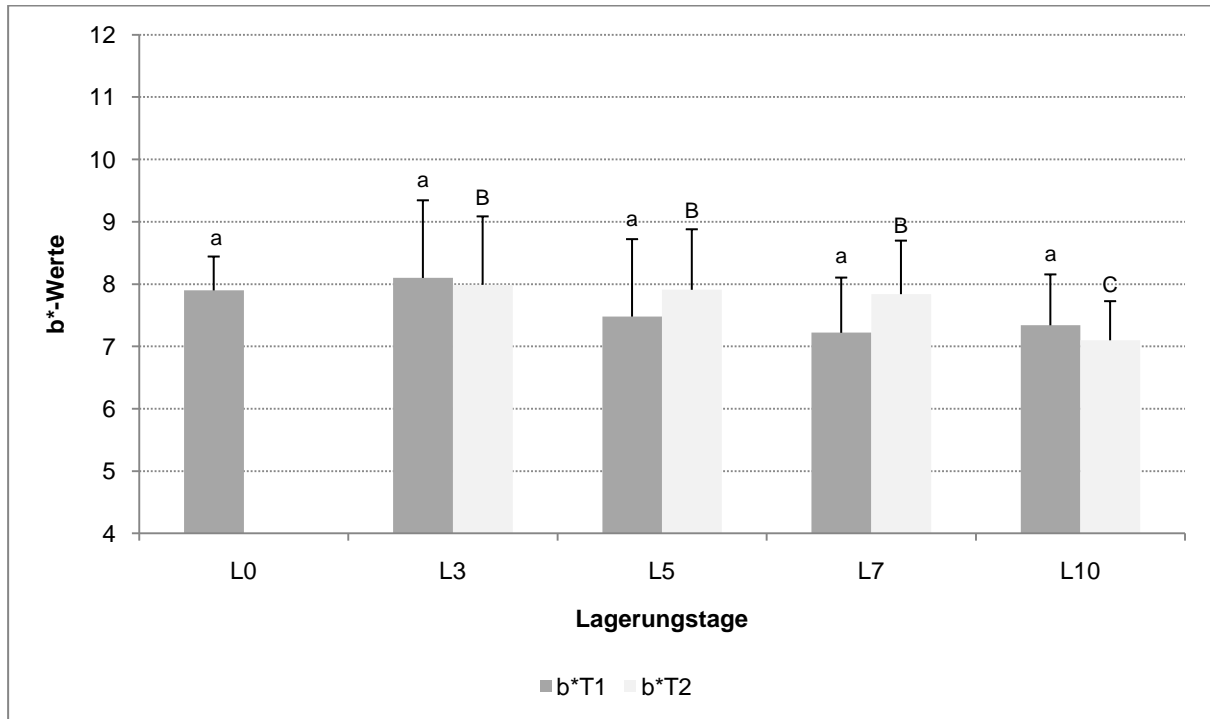
**Abbildung 48: Entwicklung der a\*-Werte (MW ± SD) in zubereitetem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = **Kleinbuchstaben**, bei T2 = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Die a\*-Werte für die Proben von **T1** nehmen vom Tag der Herstellung mit a\* 6,8 bis zum siebten Lagerungstag auf a\* 6,0 ab ( $p > 0,05$ ). Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einer statistisch signifikanten Rotwertabnahme ( $p \leq 0,05$ ) auf a\* 5,4.

Für die Proben von **T2** kann ein stärkerer Abfall des Rotwertes verzeichnet werden. Bis zum Lagerungsende kommt zu einer Abnahme auf a\* 4,5, die zwischen dem fünften und siebten sowie siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ist ( $p \leq 0,05$ ). Zwischen den a\*-Werten von **T1** und **T2** bestehen am zehnten Lagerungstag statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

Gelbwert (b\*-Wert)

In Abbildung 49 werden die **Gelbwerte (b\*-Werte)** für **T1** und **T2** dargestellt.



**Abbildung 49: Entwicklung der b\*-Werte (MW ± SD) in zubereitetem Putenhackfleisch während der Lagerung über zehn Tage bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108; je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Die b\*-Werte nehmen für die Proben von **T1** bis zum dritten Lagerungstag zunächst zu (b\* 8,1). Im weiteren Verlauf der zehntägigen Lagerung kommt es zu einem kontinuierlichen Abfall des Wertes auf b\* 7,3 ( $p > 0,05$ ). Wie es aus der Abbildung ersichtlich ist, kommt es auch für die Proben von **T2** insgesamt zu einer Abnahme des Gelbwertes. Der zu Beginn der Simulation des Verbraucherverhaltens gemessene Wert von b\* 8,0 nimmt bis zum siebten Lagerungstag auf b\* 7,8 ab. Zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag kommt es zu einer stärkeren Abnahme auf einen Endwert von b\* 7,1 ( $p \leq 0,05$ ).

Gesamtfarbdifferenzen

Für das zubereitete Putenhackfleisch lassen sich am Ende der Lagerung für **T1** und **T2** die folgenden **Gesamtfarbdifferenzen** ermitteln (Tab. 35):

**Tabelle 35: Ermittelte Gesamtfarbdifferenzen für T1 und T2 aus (sechs Chargen, n = 108)**

$\Delta E$ HZ1-HZ6 T1	$\Delta E$ HZ1-HZ6 T2
2,50 ± 0,802	2,51 ± 0,733

Beide Proben weisen eine nahezu identische Gesamtfarbdifferenz von 2,50 (**T1**) bzw. 2,51 (**T2**) auf. Auch in diesem Fall wird der Wert von 1,0, bei dem ein visueller Unterschied wahrgenommen werden kann, überschritten.

#### 4.4.2.3 PH- UND $a_w$ -WERTE

Die gemessenen **pH-Werte** für das zubereitete Putenhackfleisch an den untersuchten Lagerungstagen bei **T1** und **T2** gibt Tabelle 36 wieder.

**Tabelle 36: Gemessene pH-Werte des zubereiteten Putenhackfleisches während der zehntägigen Lagerung für T1 und T2 (sechs Chargen; n = 108).**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>
L0	5,95 ± 0,113 <sup>a</sup>	-
L3	5,96 ± 0,181 <sup>a</sup>	5,95 ± 0,160 <sup>B</sup>
L5	5,97 ± 0,112 <sup>a</sup>	5,93 ± 0,130 <sup>B</sup>
L7	5,95 ± 0,148 <sup>a</sup>	5,95 ± 0,170 <sup>B</sup>
L10	5,96 ± 0,165 <sup>a</sup>	5,89 ± 0,152 <sup>B</sup>

Signifikante Tagesunterschiede ( $p > 0,05$ ) innerhalb einer Spalte für **T1** = **Kleinbuchstaben**, für **T2** = **(Großbuchstaben)**, gleiche Buchstaben zwischen zwei Lagerungstagen =  $p > 0,05$ ).

Für die bei **T1** und **T2** gelagerten Proben kommt es im Lagerungsverlauf insgesamt zu keinen signifikanten Veränderungen ( $p > 0,05$ ) der gemessenen Werte. Der Ausgangswert am Herstellungstag liegt bei 5,95, ebenso wie der für **T2** am dritten Lagerungstag gemessene Wert. Der pH-Wert für **T2** fällt bis zum Lagerungsende auf einen Wert von pH 5,89 ab, für **T1** wurde ein Endwert von pH 5,96 ermittelt.

Für das zubereitete Putenhackfleisch konnte aus den sechs untersuchten Chargen (HZ1-HZ6) ein  **$a_w$ -Wert** von durchschnittlich 0,9814 ermittelt werden.

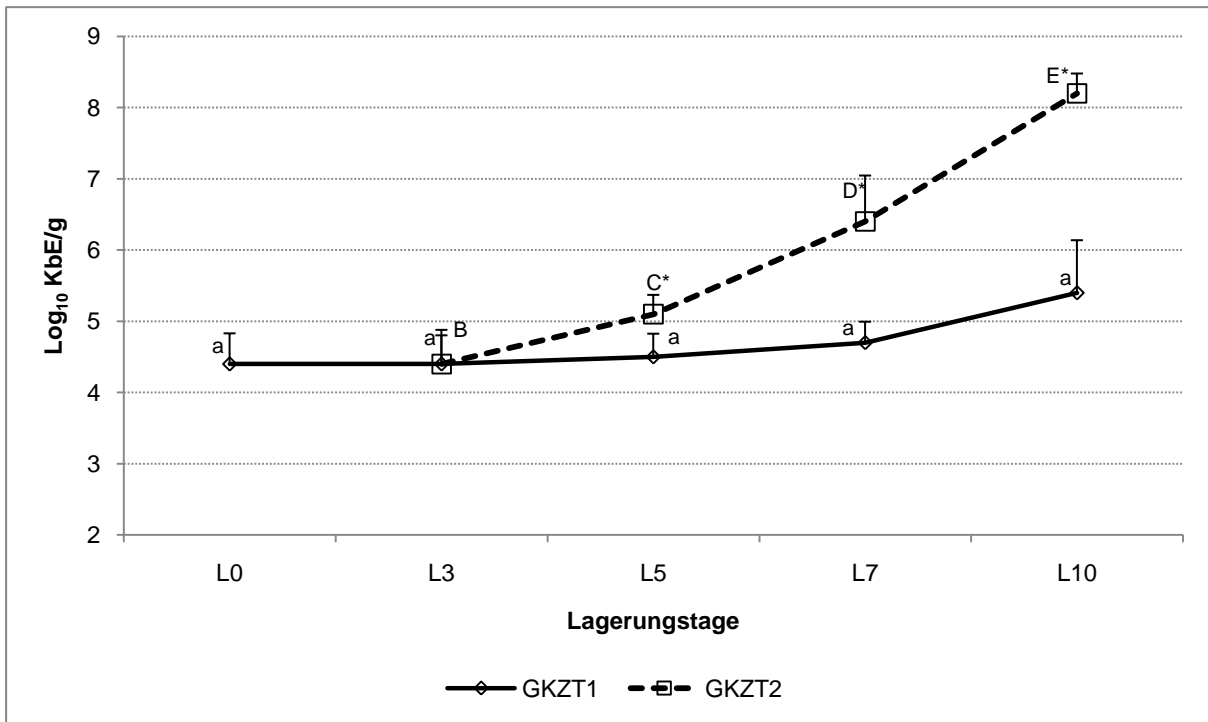
#### 4.4.3 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Abbildungen 50 bis 53 stellen den Verlauf der Keimzahlen der untersuchten Mikroorganismen bei **T1** oder **T2** in den sechs Chargen des zubereiteten Putenhackfleisches dar, mit Untersuchungen am Tag der Herstellung (L0), dritten (L3), fünften (L5), siebten (L7) und zehnten (L10) Lagerungstag. Die Wachstumsverläufe der Keimzahlen werden als Liniendiagramm aufgeführt. Auf der X-Achse wird die Lagerungsdauer in Tagen dargestellt. Auf der Y-Achse werden die arithmetischen Mittelwerte (MW) der erhobenen Einzelwerte mit ihren Standardabweichungen (SD) logarithmisch ( $\log_{10}$  KbE/g Hackfleisch) angegeben.



4.4.3.1 AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

In Abbildung 50 wird die Entwicklung der **aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ)** bei **T1** und **T2** zusammenfassend dargestellt.



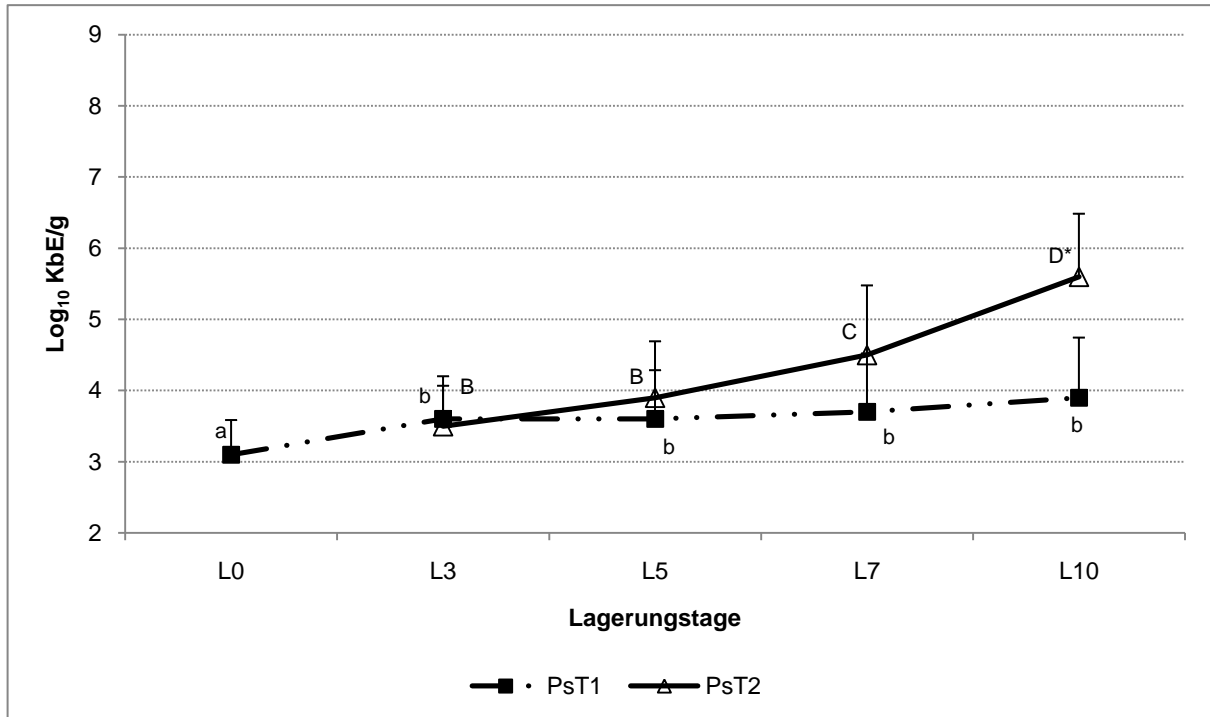
**Abbildung 50: Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log<sub>10</sub> KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.**

Die Ergebnisse zeigen, dass die aerobe mesophile GKZ nach Zugabe der Gewürzmischung und der konsequenten Lagerung der Proben bei +2 °C (T1) bis zum siebten Lagerungstag mit einem Ausgangskeimgehalt von Log<sub>10</sub> 4,4 KbE/ nahezu konstant bleibt. Erst zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag findet ein leichter Keimzahlenanstieg, statistisch nicht signifikanter Anstieg ( $p \leq 0,05$ ) auf Log<sub>10</sub> 5,4 KbE/g statt ( $p > 0,05$ ).

Des weiteren ist erkennbar, dass es bei den Proben von T2 infolge der Temperaturerhöhung zu einem kontinuierlichen und statistisch signifikantem Keimzahlenanstieg kommt ( $p \leq 0,05$ ). Am Ende der Lagerung werden Keimzahlen von Log<sub>10</sub> 8,2 KbE/g erreicht. Bei einem Vergleich der Keimzahlen zwischen T1 und T2 zeigt sich, dass sich diese zwischen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant voneinander unterscheiden ( $p \leq 0,05$ ).

4.4.3.2 *PSEUDOMONAS* SPP.

Den Wachstumsverlauf für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. für das zubereitete Putenhackfleisch bei **T1** und **T2** zeigt Abbildung 51.



**Abbildung 51:** Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei **T1** und **T2** (sechs Chargen,  $n = 108$ , je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1** = Kleinbuchstaben, bei **T2** = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen **T1** und **T2** an den jeweiligen Untersuchungstagen.

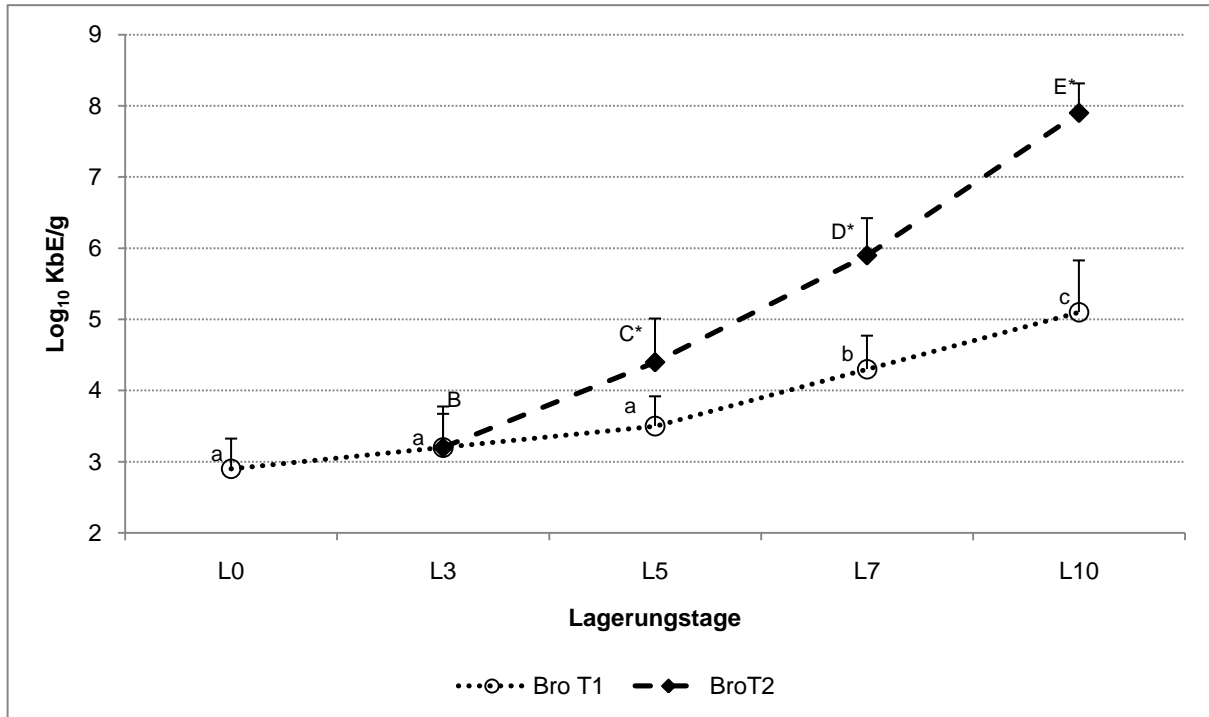
Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. bleiben bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) nach einem signifikanten Anstieg ( $p \leq 0,05$ ) zwischen dem Tag der Herstellung und dem dritten Lagerungstag im weiteren Verlauf der Lagerung relativ stabil und erhöhen sich während der gesamten Lagerzeit insgesamt nur um 0,8  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten von  $\text{Log}_{10}$  3,1 KbE/g auf  $\text{Log}_{10}$  3,9 KbE/g ( $p > 0,05$ ).

Bei einer Erhöhung der Lagerungstemperatur, wie es für **T2** erfolgte, steigen die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. kontinuierlich an (ab dem fünften Lagerungstag  $p \leq 0,05$ ) und erreichen am Lagerungsende einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  5,6 KbE/g.

Am zehnten Lagerungstag besteht zwischen den Keimzahlen von **T1** und **T2** ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ).

4.4.3.3 *BROCHOTHRIX THERMOSPACTA*

Der Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* für T1 und T2 wird in Abbildung 52 gezeigt.



**Abbildung 52:** Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* (Log<sub>10</sub> KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = **Kleinbuchstaben**, bei T2 = **Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

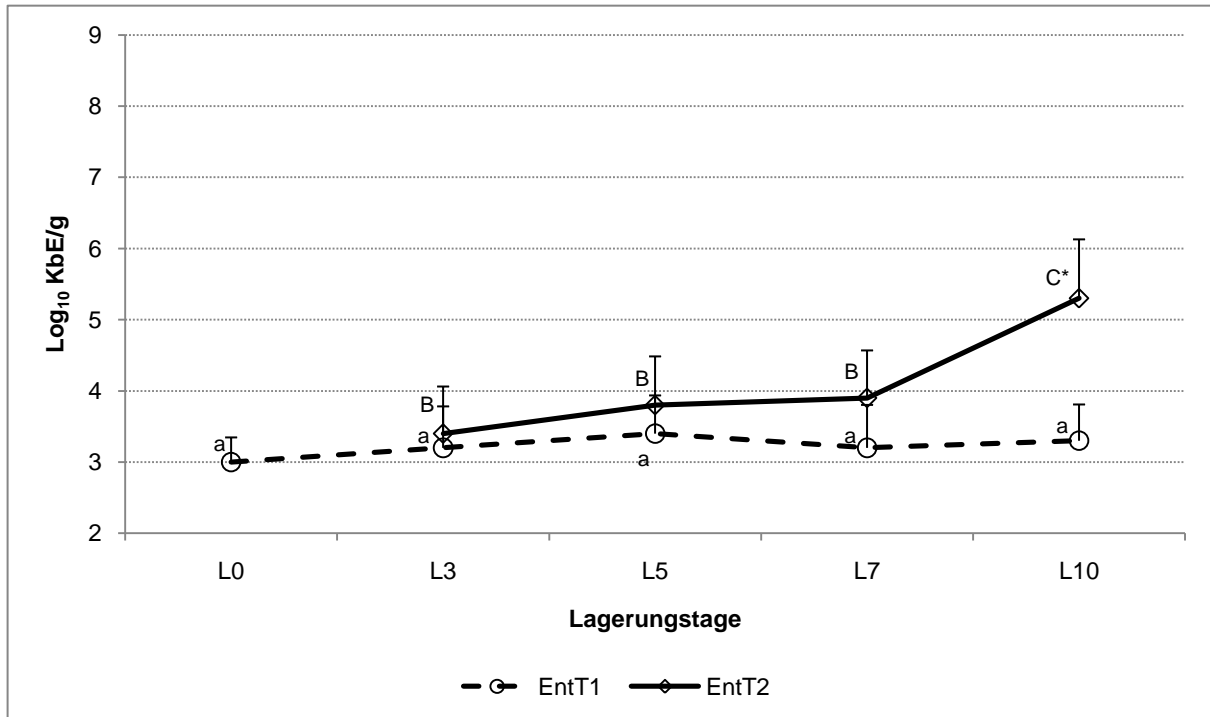
Bei der Lagerungstemperatur +2 °C (T1) sind die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* bis zum fünften Lagerungstag relativ stabil. Danach kommt es zu statistisch signifikanten Keimzahlanstiegen ( $p \leq 0,05$ ), bei denen sich die Keimzahlen bis zum Lagerungsende auf Log<sub>10</sub> 5,1 KbE/g erhöhen.

Bei der Lagerungstemperatur +7 °C (T2) kommt es infolge der Temperaturerhöhung zu einem kontinuierlichen Keimzahlanstieg. Für die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* bestehen zwischen allen aufeinander folgenden Lagerungstagen statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ), wobei sich der anfängliche Wert von Log<sub>10</sub> 3,2 KbE/g zum Ende der Lagerung auf Log<sub>10</sub> 7,9 KbE/g erhöht.

Zwischen den Keimzahlen von T1 und T2 bestehen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag statistisch signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

4.4.3.4 *ENTEROBACTERIACEAE*

Abbildung 53 zeigt den Verlauf der Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* bei T1 und T2.



**Abbildung 53:** Verlauf der Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* (Log<sub>10</sub> KbE/g) in zubereitetem Putenhackfleisch über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (sechs Chargen, n = 108, je 2 Proben). Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei T1 = Kleinbuchstaben, bei T2 = Großbuchstaben; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

Der Anfangswert für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* liegt für die Proben von T1 bei Log<sub>10</sub> 3,0 KbE/g. Im Laufe der weiteren Lagerung kommt es für diese zu keiner nennenswerten Veränderung und bleiben mit einem Endwert von Log<sub>10</sub> 3,3 KbE/g insgesamt nahezu unverändert ( $p > 0,05$ ).

Anders verhält es sich für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* bei T2. Während sie zu Beginn des simulierten Verbraucherverhaltens Keimgehalte von Log<sub>10</sub> 3,4 KbE/g aufweisen, die sich bis zum siebten Lagerungstag nur leicht erhöhen ( $p > 0,05$ ), kommt es zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag zu einem signifikanten Keimzahlanstieg ( $p \leq 0,05$ ), infolgedessen eine Keimzahl von Log<sub>10</sub> 5,3 KbE/g erreicht wird.

Am zehnten Lagerungstag liegt diese Keimzahl signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als der für T1 ermittelte Wert.

#### 4.4.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES UNTERSUCHUNGSABSCHNITTES IV

Für den Untersuchungsabschnitt IV lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Die Daten der chemischen Vollanalyse unterscheiden sich hinsichtlich der untersuchten Parameter zwischen den sechs unterschiedlichen Chargen nicht voneinander ( $p > 0,05$ ).
- Die Schutzatmosphärenanteile  $O_2$  und  $CO_2$  verändern sich, ebenso wie in den Untersuchungsabschnitten I, II und III, bei einer Lagerung der Proben bei **T1** über die Lagerung nur gering und statistisch größtenteils nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Auch hier kommt es im Falle des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**), insbesondere zum Ende der Lagerung, zu stärkeren Veränderungen ( $p \leq 0,05$ ) (vgl. Kapitel 4.1.4; 4.2.3; 4.3.4).
- Für die  $L^*a^*b^*$ -Werte wurden für den  $L^*$ - als auch  $b^*$ -Wert sowohl bei **T1** als auch bei **T2** über den Lagerungsverlauf nur geringfügige Veränderungen gemessen. Analog zu den Untersuchungsabschnitten I bis III erfolgten die stärksten Veränderungen für den  $a^*$ -Wert zum Ende der Lagerung, v. a. für die Proben von **T2**.
- Die pH-Werte bleiben für beide Temperaturen über die gesamte Lagerung stabil.
- Für die mikrobiologischen Untersuchungen lässt sich feststellen, dass es bei einer zehntägigen Lagerung bei **T1** zu keinen signifikanten Anstiegen der aeroben mesophilen GKZ und *Pseudomonas spp.* kommt ( $p > 0,05$ ). Die Keimzahlen erhöhen sich maximal um eine  $\log_{10}$ -Einheit. Auch für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* kommt es zu keinen signifikanten Anstiegen, wobei diese insgesamt, wie auch in den Untersuchungsabschnitten I bis III, den geringsten Anteil an der Mikroflora ausmachen. Im Gegensatz dazu erhöhen sich die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* für die bei **T1** gelagerten Proben ab dem fünften Lagerungstag kontinuierlich ( $p \leq 0,05$ ). Infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) kommt es für die GKZ und für *Brochothrix thermosphacta* ab dem dritten Lagerungstag zu einer sprunghaften Keimzahlerhöhung ( $p \leq 0,05$ ). Die Keimzahlen von *Pseudomonas spp.* und *Enterobacteriaceae* steigen vergleichsweise später an.

#### 4.5 GRUPPENVERGLEICHE

Eine umfassende Auswertung der zahlreichen in der vorliegenden Arbeit erhobenen Parameter erfordert neben der abschnittswisen Überprüfung signifikanter Unterschiede auch einen abschnittsübergreifenden Vergleich mittels der eingesetzten statistischen Testverfahren. Aufgrund der Übersichtlichkeit wird von einer Darstellung der Ergebnisse an dieser Stelle abgesehen. Die Tabellen 41 bis 60 befinden sich in Kapitel 8.1.3 im Anhang. Im nachfolgenden Diskussionsteil werden relevante signifikante Unterschiede, die zwischen den Untersuchungsabschnitten aufgetreten sind, diskutiert.

## **5 DISKUSSION**

### **5.1 EINFÜHRUNG**

Frisches Putenhackfleisch ist in Deutschland als neues „Frische-Convenience-Produkt“ in SB-Verpackungen im Handel erhältlich. Auf Basis des neuen EU-Hygienepaketes und den dazugehörigen Verordnungen ist es erst seit dem 01. Januar 2006 für zugelassene Betriebe erlaubt, dieses herzustellen und unter Kühlbedingungen (+2 °C) zu vermarkten. Der Hersteller steht in der Verantwortung, die Unbedenklichkeit des Produktes bis zum Verzehr durch den Verbraucher sicherzustellen (VO EG 178/2002; VO EG 853/2004). Geflügelfleisch ist ein leicht verderbliches Lebensmittel, das neben einer Belastung mit pathogenen Keimen auch eine hohe Verderbnisanfälligkeit aufweist (AKPOLAT et al. 2004; BAJAJ et al. 2003; JIMÉNEZ et al. 1999; MAYRHOFER 2004; WEISE 2003; ZHAO und DOYLE 2006). Die Herstellung von Hackfleisch begünstigt die Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, Voraussetzungen für eine sichere und stabile SB-Vermarktung von frischem Putenhackfleisch zu schaffen, um ein über den Zeitraum des erforderlichen Verbrauchsdatums für Produzenten und Verbraucher mikrobiologisch stabiles Produkt gewährleisten zu können. Dazu wurde in einem ersten Schritt der mikrobiologische Status quo von frischem Putenhackfleisch erfasst und der Herstellungsprozess untersucht. Nachfolgend wurde die Eignung von Citronensäure und einer Gewürzmischung als zusätzliche mikrobiologische Hürden zur Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität überprüft.

### **5.2 DISKUSSION VON MATERIAL UND METHODE**

#### **5.2.1 HERSTELLUNG DER PROBEN**

Zur Herstellung des Putenhackfleisches wurde nur Fleisch eingesetzt, dass gemäß den rechtlichen Vorgaben VO (EG) 2160/2003 und VO (EG) 2073/2005 negativ auf Salmonellen getestet worden war. Die Herstellung erfolgte im Produktionsbetrieb an einer industriellen Produktionslinie in einer handelsüblichen Menge in MAP-Schalen (400 g). Die Transport- und Lagerungsbedingungen wurden nach den Vorgaben der VO (EG) 853/2004 eingehalten.

#### **5.2.2 PROZESSSCHRITTANALYSE**

Die Haltbarkeit von Geflügelprodukten, wie Putenhackfleisch, wird durch eine Vielzahl von Prozessfaktoren beeinflusst. Die initialen Mikroorganismenzahlen während des Herstellungsprozesses bestimmen die Dauer, die die Mikroflora benötigt, um Keimzahlen zu erreichen, die mikrobielle Verderberscheinungen hervorrufen (BOLDER 2007). Die

Stufenanalyse der einzelnen Prozessschritte im Produktionsbetrieb diente zur Überprüfung möglicher kritischer Produktionsstufen. Durch eine solche Kontrolle der Prozessschritte ist es möglich, Aussagen zu treffen, inwieweit jeder einzelne Schritt eine Kontamination, ein Überleben oder eine Hemmung bzw. Wachstum von Mikroorganismen beeinflusst (LEBERT und LEBERT 2006).

### **5.2.3 ZUSATZSTOFFE**

Wie in den Abbildungen 9 und 10 (vgl. Kapitel 3.4) sowie 11 (vgl. Kapitel 3.5) dargestellt, erfolgte in den Untersuchungsabschnitten III und IV die Zugabe von Citronensäure (CS) und einer Gewürzmischung als mikrobiologische Hürde mit dem Ziel, die mikrobiologische Stabilität des untersuchten Putenhackfleisches zu erhöhen.

#### Untersuchungsabschnitt III: Citronensäure (CS)

Zur Abschätzung der optimalen Applikationsform von CS zu frischem Putenhackfleisch erfolgte in den Vorversuchen (vgl. Kapitel 3.4.1) die Zugabe als Pulver, Lösung und Sprühnebel. Die eingesetzten Konzentrationen der kristallinen und flüssigen CS betragen 0,1 %, 1 % und 3 % (w/v) und orientierten sich an Vorgaben aus der Literatur (SMULDERS und GREER 1998; OKOLOCHA und ELLERBROEK 2005; DEL RIO et al. 2007). Nach PIPEK et al. (2004), SIRAGUSA (1995) und SMULDERS und GREER (1998) können Konzentrationen im Bereich von 1 bis 3 % ohne einen nachteiligen Einfluss auf die Fleischqualität eingesetzt werden. Zusätzlich wurde die Applikation als Sprühnebel auf die Oberfläche der Proben gewählt. Zur Dekontamination von Schlachtkörpern ist die Aufbringung organischer Säuren durch Aufsprühen das gängigste Verfahren (SMULDERS 1995). Die Aufbringung von CS als Sprühnebel auf Putenhackfleisch wurde in der Literatur bisher noch nicht beschrieben. Beim Aufsprühen einer Säurelösung sind Sprühdruck, Durchflussmenge, Düsenart, Konfiguration und Sprühwinkel von besonderer Bedeutung (SMULDERS 1995). Die für diese Untersuchungen anfänglich ermittelten Einstellungsparameter (Sprühdruck, Entfernung zwischen Sprühvorrichtung und Probe; vgl. Kapitel 3.4.1.1) wurden für alle Durchgänge beibehalten. Es wurde eine CS-Lösung in den Konzentrationen von 5 %, 10 % und 50 % (w/v) bei einer Aufbringungsmenge von 2 ml eingesetzt. Da das Verfahren hinsichtlich Farberhaltung im Gegensatz zu den anderen Applikationsformen (Pulver, Lösung) bei gleichzeitiger Keimzahlreduktion als vielversprechend erschien, wurde es für die Hauptversuche (vgl. Kapitel 3.4.2) ausgewählt. Die CS wurde in zwei Konzentrationen (5 %, 10 %) und Mengen (2 ml, 4 ml) auf die Produktoberfläche aufgebracht, um auf dieser gezielt gegen Mikroorganismen zu wirken. Wie BOHNSACK und HÖPKE (1990) und MCNAMARA (1997) zeigen konnten, geht das Wachstum von aeroben Mikroorganismen überwiegend von der Oberfläche aus.

#### Untersuchungsabschnitt IV: Gewürzmischung

Die Zugabe der Gewürzmischung „WÜRZEX PLUS A 1405“ der Fa. Chr. Hansen GmbH erfolgte während des Mischvorganges gemäß den Herstellerempfehlungen für Fleisch- und Wurstwaren (1,4 kg/100 kg). Dabei waren in 100 g der Mischung 94 g Kochsalz (NaCl) enthalten.

#### **5.2.4 VERPACKUNG**

Die Schutzgasverpackung ist ein verbreitetes Instrument zur Verlängerung der Haltbarkeit und Aufrechterhaltung der charakteristischen roten Frischfleischfarbe (CHURCH 1994; KEOKAMNERD et al. 2007; MÜLLER et al. 2009; SEYDIM et al. 2006; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2005; NYCHAS und SKANDAMIS 2005). Die Proben wurden in Tiefziehschalen aus Polypropylen (PP) abgefüllt und an einer Schalenversiegelungsanlage verschlossen. Die Zusammensetzung der Gasatmosphäre beeinflusst sowohl Keimpektrum als auch Farberhaltung. Die Verpackung der Proben (70 Vol. % O<sub>2</sub>, 30 Vol. % CO<sub>2</sub>) entsprach einer handelsüblichen Gaszusammensetzung für Frischfleisch (CHURCH 1994; DHANANJAYAN et al. 2006; MÜLLER et al. 2009; PFEIFFER und MENNER 1999).

#### **5.2.5 TRANSPORT**

Der Transport in sterilen Transportbehältern aus PVC erfolgte unter Einhaltung der Kühlkette (+1 °C) in einem Kühltransporter. Die Behälter wurden zusätzlich mit Trockeneis gekühlt, um einen Anstieg der Produkttemperatur zu verhindern. Der Transport dauerte durchschnittlich 1,5 bis 2 Stunden. Zur Kontrolle möglicher Temperaturabweichungen wurden stichprobenartig Temperaturkontrollen durchgeführt.

#### **5.2.6 LAGERUNG**

Die Kühllagerung wurde bei zwei unterschiedlichen Lagerungstemperaturen durchgeführt. Ein Teil der Proben wurde während des gesamten Untersuchungszeitraumes konsequent bei einer Temperatur von +2 °C aufbewahrt (Lagerungsversuche: T1). Diese Temperatur richtet sich nach den Vorgaben der VO (EG) 853/2004, nach der Putenhackfleisch unmittelbar nach Herstellung und Verpackung auf eine Kerntemperatur von  $\leq +2$  °C gekühlt werden muss. Zudem repräsentiert sie die Temperatur, die zur Lagerung von gekühltem Putenhackfleisch auf der Verpackung angegeben wird. Durch eine Lagerung von Geflügelfleisch bei Temperaturen zwischen -2 ° und +2 °C kann die Haltbarkeit bedeutend erhöht werden (MCNAMARA 1997). Parallel zu einer konsequenten Lagerung bei +2 °C erfolgte in Anlehnung an die Literatur (MARKLINDER et al. 2004; NAUTA et al. 2003) die Simulation eines Verbraucherverhaltens (T2) unter „Worst-Case-Bedingungen“. Eine Unterbrechung der Kühlkette oder eine Lagerung bei erhöhten Temperaturen bewirkt einen vermehrten



Keimzahlanstieg (BOLDER 2007). Für die Simulation des Verbraucherverhaltens wurde am dritten Lagerungstag nach der Herstellung eine festgelegte Anzahl an Verpackungen jeweils 45 Minuten bei +25 °C gelagert (Simulation Transport) und anschließend für den restlichen Untersuchungszeitraum bei einer Temperatur von +7 °C (Simulation Kühlschrank Verbraucher) weiter aufbewahrt. Die erhöhte Lagerungstemperatur wurde in Anlehnung an die Vorgaben der durchschnittlichen Temperaturen von Haushaltskühlschränken nach JAMES (2004) und MARKLINDER et al. (2004) ausgewählt. Die Lagerung der Proben erfolgte über zehn Tage, da zum Zeitpunkt der Untersuchungen davon ausgegangen worden ist, dass der Handel ein Verbrauchsdatum von bis zu zehn Tagen bei +2 °C für frisches Putenhackfleisch fordert.

### **5.2.7 UNTERSUCHUNGSPARAMETER**

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen wurden nur amtliche Methoden oder in der wissenschaftlichen Literatur beschriebene Verfahren eingesetzt.

#### Chemische Vollanalyse

Die chemische Bestimmung der Parameter Gesamtwasser, Trockensubstanz, Aschegehalt, Gesamtfett, Gesamteiweiß, Bindegewebeisweiß und Kochsalz (Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren, § 64 LFGB) wurde in allen Untersuchungsabschnitten jeweils einmal durchgeführt. Es sollte überprüft werden, ob sowohl zwischen den jeweiligen Chargen als auch den Untersuchungsabschnitten I, II, III und IV signifikante Abweichungen ( $p \leq 0,05$ ) in der Probenzusammensetzung bestehen.

#### L\*a\*b\*-Farbmessung

Die Farbmessung erfolgte mittels Spektrophotometer, bei der die Fleischfarbe durch die Messung der Farbmaßzahlen L\*, a\* und b\* charakterisiert wird (KLETTNER und STIEBING 1980). Farbveränderungen, die über den Lagerungsverlauf in Abhängigkeit von Faktoren wie Lagerungsdauer, Gasatmosphäre und Temperatur aufgetreten sind, wurden auf diese Weise dokumentiert. Ebenso sollte ein möglicher Einfluss der mikrobiologischen Hürden (Citronensäure, Gewürzmischung) auf die Fleischfarbe beurteilt werden. Für die Messung der Fleischfarbe liegt keine amtliche Methode nach LFGB bzw. ISO o. ä. vor (HONIKEL 1997). Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Autoren, wurde die nach der Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) standardisierte Methode ausgewählt, die in der Literatur beschrieben ist (HONIKEL 1997, HONIKEL 1998). Die Farbmessung wurde bei einer Probendicke von etwa 2,5 cm durchgeführt, um die Mindestdicke von 1,5 cm zu überschreiten und damit eine Beeinflussung der Messung durch den Hintergrund zu verhindern (BAÉZA 2004; HONIKEL 1998; TOTOSAUS et al. 2007).

### Messung der Schutzatmosphäre

Die Messung der Schutzatmosphäre wurde instrumentell mithilfe eines Gasanalysegerätes durchgeführt. Die instrumentelle Messung ist neben der Gaschromatographie eine in der Literatur verbreitete Methode zur Erfassung der Gaszusammensetzung im Kopfraum der Verpackung (FRIEDRICH et al. 2008; KOUTSOUMANIS et al. 2008; PFEIFFER und MENNER 1999; ROTABAKK et al. 2006; SAUCIER et al. 2006). Durch die Kenntnis der Gaszusammensetzung können Aussagen über die Stabilität des verpackten Produktes getroffen werden (DO CARMO HESPANHOL DA SILVA et al. 1999). Um zu vermeiden, dass Umgebungsluft fälschlicherweise in das Gasanalysegerät aufgenommen wird, erfolgte die Abdichtung der Verpackung vor dem Einstechen der Nadel, ebenso wie bei ROTABAKK et al. (2006), mit einem Schaumgummikleber. Der nach Abzug der Anteile von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> noch verbleibende Restgasgehalt (N<sub>2</sub>) reflektiert die Veränderungen der eingesetzten Schutzgase. Da er keine zusätzliche Funktion erfüllt und sich nicht auf die Qualitätsparameter auswirkt, wurde er nicht weiter erfasst bzw. diskutiert.

### pH- und a<sub>w</sub>-Wert-Messung

Die Messung der pH- und a<sub>w</sub>-Werte wurde nach den Methoden der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren (§ 64 LFGB) durchgeführt. Die a<sub>w</sub>-Werte wurden in jedem Abschnitt pro Charge einmalig zu Beginn der Lagerung gemessen. Die Bestimmung der pH-Werte diente der Überprüfung von Veränderungen im Lagerungsverlauf und erfolgte an jedem untersuchten Lagerungstag. Nach Zugabe der CS in den Vor- und Hauptversuchen sollte zudem überprüft werden, inwieweit es, in Abhängigkeit von Applikationsform und Konzentration, zu einer pH-Wert-Absenkung kommt. Eine zu starke Säuerung war nicht erwünscht, um die Produkteigenschaften des Fleisches zu erhalten.

### Mikrobiologische Untersuchungen

In Abhängigkeit vom jeweiligen Untersuchungsabschnitt wurden quantitative (aerobe mesophile Gesamtkeimzahl, *Pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae*) und qualitative Nachweise (*L. monocytogenes*, *Salmonella* spp., thermophile *Campylobacter*) gemäß den Referenzmethoden für Fleisch und Fleischerzeugnisse der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB bzw. in Anlehnung an ISO (10272:2006) durchgeführt. Für den Nachweis von *Pseudomonas* spp. wurde GSP-Agar eingesetzt, da mit diesem Agar laborinterne Erfahrungen vorhanden waren. Diese Methode wurde von PICHARDT (1998) sowie BOHNSACK und HÖPKE (1990) beschrieben. Für die quantitative Bestimmung von *Brochothrix thermosphacta* ist kein amtliches Verfahren vorgegeben. Sie erfolgte in Anlehnung an BAUMGART (2004). Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Mikroorganismen wurden als ausgewählt, da sie in der Geflügelfleischindustrie als Indikator für die Prozesshygiene, die Lagerqualität und die mögliche Haltbarkeit von Fleisch, das unter

einer Sauerstoffatmosphäre verpackt wurde, herangezogen werden (DEL RIO et al. 2007). Der qualitative Nachweis von *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp. und thermophile *Campylobacter* zeigt eine Kontamination mit pathogenen Keimen an, die eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen können. Dieser Nachweis erfolgte ausschließlich im Rahmen der Prozessschrittanalyse und den sich anschließenden Lagerungsversuchen (Untersuchungsabschnitt II). Der Schwerpunkt der mikrobiologischen Untersuchungen lag auf der quantitativen Bestimmung ausgewählter Verderbniserreger.

## 5.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

### 5.3.1 CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Für Geflügelfleisch werden in den Nährwerttabellen unterschiedliche Angaben über den Nährstoffgehalt gemacht, die beispielsweise aus unterschiedlichen Fütterungsbedingungen resultieren (SEUß-BAUM 2007). Es gibt derzeit nur wenig Referenzwerte für die chemische Zusammensetzung von zerkleinertem Putenfleisch bzw. zerkleinerten Teilstücken wie dem Putenflügel. In der vorliegenden Arbeit wurde als Rohstoff ausschließlich Flügelmuskulatur von der Pute mit anhaftendem Fett und Bindegewebe eingesetzt. Der Wassergehalt des Putenhackfleisches lag bei durchschnittlich bei 72,8 %. Im Vergleich dazu konnten RISTIC et al. (2008) für Putenfleisch einen geringfügig abweichenden Wassergehalt von 73,9 bis 75,4 % ermitteln. Der Aschegehalt ist für die Untersuchungsabschnitte I, II und III mit einem Wert von 1,1 % konstant und stimmt mit den Angaben von BAÉZA (2004), BELITZ et al. (2008), SIELAF (1996) und RISTIC et al. (2008) überein. Der Aschegehalt der Proben im Untersuchungsabschnitt IV lag hingegen bei 2,2 %, was auf den hohen Anteil an NaCl in der zugegebenen Gewürzmischung zurückzuführen ist. Für alle Proben der vier Untersuchungsabschnitte wurde ein durchschnittlicher Gesamteinweißanteil von 22,4 % ermittelt, Abweichungen zwischen den Untersuchungsabschnitten waren gering. Diese Werte stimmen mit Literaturdaten für rohes Geflügelfleisch überein (BAÉZA 2004). Der prozentualen Anteile des Fleischeiweißes schwankte geringfügig zwischen den Proben der vier Untersuchungsabschnitte (20,0 bis 21,3 %). Der Gesamtfettgehalt lag durchschnittlich bei 3,6 %. Direkte Vergleichswerte sind in der Literatur nicht vorhanden. Die verschiedenen Teilstücke von Putenfleisch weisen grundsätzlich unterschiedliche Fettgehalte auf. Für Putenflügel mit Haut geben SEUß-BAUM (2007) einen Fettgehalt von 12,3 % an. Bei der Herstellung des Putenhackfleisches, das in der vorliegenden Arbeit untersucht wurde, wurde auf eine Zugabe der Haut verzichtet. Dieses begründet den niedrigen Fettgehalt, da Geflügelhaut einen sehr hohen Fettanteil enthält (SEUß-BAUM 2007). Die Werte an Hydroxyprolin sind für alle vier Abschnitte konstant. Der Anteil an Bindegewebeseiweiß liegt für die Proben der Untersuchungsabschnitte II und IV doppelt so hoch wie in den

Untersuchungsabschnitten I und III. Im Untersuchungsabschnitt IV wurde ein Kochsalzgehalt von 1,3 % nachgewiesen, dies stimmt mit dem Kochsalzanteil (94 g/100 g) der zugegebenen Gewürzmischung überein.

### 5.3.2 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

#### 5.3.2.1 ENTWICKLUNG DER SCHUTZATMOSPHEREN (O<sub>2</sub>/ CO<sub>2</sub>)

##### 5.3.2.1.1 LAGERUNGSVERSUCHE BEI +2 °C (T1)

Die eingesetzte Schutzatmosphäre unterliegt im Lagerungsverlauf durch chemische, enzymatische und mikrobiologische Aktivitäten dynamischen Schwankungen, die eine kontinuierliche Änderung der ursprünglichen Konzentration bewirken (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002; PFEIFFER und MENNER 1999; SAUCIER et al. 2000). Über die Lagerung bei +2 °C (T1) kommt es in allen Untersuchungsabschnitten zu einer gleichen Veränderung der Schutzatmosphäre. Während der O<sub>2</sub>-Gehalt abfällt, steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt in ähnlicher Intensität an.

#### ENTWICKLUNG DER O<sub>2</sub>-GEHALTE

Die O<sub>2</sub>-Gehalte sinken in den **Untersuchungsabschnitten I, II, III und IV** über den Lagerungsverlauf um etwa 5,3 bis 7,8 Vol. % ab. DHANANJAYAN et al. (2006) konnten in ihren Untersuchungen bei einer Lagerungstemperatur von +4 °C in einer sauerstoffreichen Schutzatmosphäre eine vergleichbare Abnahme der Sauerstoffkonzentration feststellen. Innerhalb von zwölf Tagen nahm die Sauerstoffkonzentration im Kopfraum der Verpackung um 5 Vol. % ab. Laut PFEIFFER und MENNER (1999) haben Veränderungen der Gasatmosphäre um etwa 5 % keinen Einfluss auf die mikrobielle Stabilität und die Aufrechterhaltung der Rotfärbung. Die O<sub>2</sub>-Gehalte der vorliegenden Arbeit befinden sich in allen vier Untersuchungsabschnitten auf einem ähnlichen Niveau. Statistisch signifikante Unterschiede bestehen nur in wenigen Ausnahmen. Mögliche Gründe für den Verbrauch an O<sub>2</sub> sind in der Respiration des Fleisches und mikrobiologischen Stoffwechselprozesse zu sehen (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002; PFEIFFER und MENNER 1999). Während ersteres jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Verpackungsatmosphäre besitzt, beeinflusst die mikrobiologische Respiration den O<sub>2</sub>-Gehalt nach einigen Lagerungstagen deutlich (PFEIFFER und MENNER 1999). Im Verlauf der Lagerung nutzt ein Großteil der im Fleisch vorhandenen Mikroorganismen den verfügbaren Sauerstoff aus dem Kopfraum der Verpackung, was sich neben der Haltbarkeit auch auf die Entwicklung der Fleischfarbe auswirkt (NYCHAS 1994).

#### ENTWICKLUNG DER CO<sub>2</sub>-GEHALTE

Im Laufe der zehntägigen Lagerung steigen die CO<sub>2</sub>-Gehalte in den **Untersuchungsabschnitten I, II, III und IV** um 1,6 bis 4,2 Vol. %. Zwischen den CO<sub>2</sub>-

Gehalten, die in den Untersuchungsabschnitten I und III gemessenen wurden, bestehen über die gesamte Lagerungsdauer größtenteils keine signifikanten Unterschiede. Ebenso liegen zwischen den CO<sub>2</sub>-Gehalten der Untersuchungsabschnitte II und IV in dem Großteil der Fälle keine signifikanten Unterschiede vor. Im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-Gehalten der Untersuchungsabschnitte I und III liegen sie jedoch zumeist signifikant höher. Die CO<sub>2</sub>-Gehalte der Proben des Untersuchungsabschnittes II liegen vom Tag der Herstellung bis zum fünften Lagerungstag signifikant höher als die der Untersuchungsabschnitte I und III. Für die Proben des Untersuchungsabschnittes IV trifft diese Aussage vom dritten bis zum siebten Lagerungstag zu. Als mögliche Ursache für die Unterschiede zwischen den Abschnitten müssen anlagebedingte Schwankungen, die über den gesamten Untersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit aufgetreten sein können, berücksichtigt werden. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es unabhängig vom Untersuchungsabschnitt zu einer Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes kommt. KEOKAMNERD et al. (2007) konnten während der Lagerung von Putenhackfleisch (Hühnchen) in einer sauerstoffreichen Schutzatmosphäre bei +4 °C eine steigende CO<sub>2</sub>-Konzentration um durchschnittlich 8 Vol. % nachweisen. Auch DHANANJAYAN et al. (2006) bestätigen den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei einer Lagerungstemperatur von +4 °C in einer sauerstoffreichen Schutzatmosphäre. Ein steigender CO<sub>2</sub>-Gehalt wird durch Stoffwechselprozesse aerober Mikroorganismen verursacht (JAKOBSEN und BERTELSEN 2002), deren Wachstum durch den Sauerstoff innerhalb der Schutzatmosphäre gefördert wird (CHURCH 1994; KEOKAMNERD et al. 2007; NYCHAS und SKANDAMIS 2005).

#### 5.3.2.1.2 SIMULATION EINES VERBRAUCHERVERHALTENS (T<sub>2</sub>)

Falsche Lagerungstemperaturen reduzieren in erheblichem Maße die positiven Effekte des MAP. Bei einer Lagerung bei erhöhten Temperaturen werden mikrobiologisches Wachstum und chemische Reaktionen gemäß der Van't Hoff'schen Regel gefördert, wodurch sich die Verpackungsatmosphäre verändert. Der Verderb tritt somit in den meisten Fällen vor dem jeweilig festgesetzten Verbrauchsdatum ein (LIMBO et al. 2010). Bei der Simulation des Verbraucherverhaltens mit erhöhten Lagerungstemperaturen (T<sub>2</sub>) kommt es in allen Schutzgasverpackungen zu einem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes und einem Abfall des O<sub>2</sub>-Gehaltes. Dieser nimmt in einer mit dem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes vergleichbaren Intensität ab. Die Veränderungen fallen vergleichsweise stärker aus als bei T<sub>1</sub>. Am Ende der Lagerung sind die Werte beider Schutzgase, unabhängig vom Untersuchungsabschnitt, ungefähr gleich hoch.

#### ENTWICKLUNG DER O<sub>2</sub>-GEHALTE

Die O<sub>2</sub>-Gehalte entwickeln sich entgegengesetzt zur CO<sub>2</sub>-Konzentration. Die Proben des Untersuchungsabschnittes IV besitzen im Vergleich zu den Abschnitten I, II und III am Ende

der Lagerung mit 55,4 Vol. % die höchste O<sub>2</sub>-Konzentration. KOUTSOUMANIS et al. (2008) untersuchten in verpacktem Schweinehackfleisch die Entwicklung einer sich durch die Respiration von Mikroorganismen eigenständig entwickelnden modifizierten Atmosphäre. Sie konnten nachweisen, dass der O<sub>2</sub>-Gehalt bei einer Lagerungstemperatur von 0 °C von 18,7 Vol. % auf 7 Vol. % abnahm. Bei einer Erhöhung der Lagerungstemperatur auf +5 °C führte zu einem Abfall des O<sub>2</sub>-Gehaltes auf 1,5 Vol. %. Ebenso wie schon für die Proben von **T1** beschrieben, ist eine Abnahme des O<sub>2</sub>-Gehaltes innerhalb der Schutzgasverpackung größtenteils auf mikrobielle Stoffwechselprozesse zurückzuführen (PFEIFFER und MENNER 1999). Diese nehmen infolge des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) im Vergleich zu zuvor beschriebenen Proben temperaturbedingt zu, was sich in allen vier Untersuchungsabschnitten insbesondere am Lagerungsende durch signifikant niedrigere O<sub>2</sub>-Gehalte der Proben von **T2** im Vergleich zu denen von **T1** äußert.

#### ENTWICKLUNG DER CO<sub>2</sub>-GEHALTE

Unabhängig vom Untersuchungsabschnitt konnte für alle Proben zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag ein sprunghafter und statistisch signifikanter Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes gemessen werden. Die geringste Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration erfolgt, in den Proben, denen eine Gewürzmischung zugesetzt wurde (Untersuchungsabschnitt IV). Die antimikrobielle Wirkung des in der Gewürzmischung enthaltenen NaCl führt möglicherweise zu reduzierteren mikrobiologischen Stoffwechselprozessen und bewirkt damit eine größere mikrobiologische Stabilität dieser Proben. KOUTSOUMANIS et al. (2008) konnten für verpacktes Schweinehackfleisch nachweisen, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei einer Temperatur von 0 °C von 3 Vol. % auf 15 Vol. % anstieg, während es infolge einer Temperaturerhöhung auf +5 °C zu einem Anstieg auf 16,5 Vol. % kam.

#### 5.3.2.2 L\*A\*B\*-FARBWERTE

##### 5.3.2.2.1 LAGERUNGSVERSUCHE BEI +2 °C (**T1**)

Die Fleischfarbe ist ein entscheidendes Qualitätsmerkmal und beeinflusst maßgeblich das Kaufverhalten der Verbraucher (FLETCHER 1999; HONIKEL 1998; JAYASINGH et al. 2002; WERNER und WICKE 2008). Sie verändert sich im Lagerungsverlauf und ihre Ausprägung wird vom gegenwärtigen Myoglobinstatus auf der Fleischoberfläche bestimmt (BAÉZA 2004), der wiederum vom Sauerstoffanteil in der Umgebung abhängt (NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Durch einen hohen Sauerstoffgehalt in der Verpackung soll die kirschrote Farbe des Fleisches, die durch Oxy-myoglobin hervorgerufen wird, erhalten werden (FRIEDRICH et al. 2008; NARASIMHA RAO und SACHINDRA 2002). Die Bildung des graubraunen Metmyoglobins hängt von verschiedenen Faktoren ab. Hierzu gehören Sauerstoffpartialdruck, pH-Wert, Temperatur und mikrobiologisches Wachstum (MANCINI und HUNT 2005).

### HELLIGKEITSWERTE (L\*-WERTE)

In **Untersuchungsabschnitt I** findet bei einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) bis zum Ende der Lagerung ein leichter Abfall des Helligkeitswertes (L\*-Wert) von L\* 50,0 auf L\* 48,3 statt. Die Abnahme der Helligkeit zeigt grundsätzlich eine Zunahme der dunkleren Pigmente Deoxymyoglobin und Metmyoglobin im Verhältnis zum helleren Pigment Oxymyoglobin auf der Fleischoberfläche an (DAWSON et al. 1995). Ein Abfall des L\*-Wertes während einer zehntägigen Lagerung von Geflügelhackfleisch aus Hühnerkeulen in der gleichen Intensität, von L\* 53,7 auf L\* 51,6, wird auch von DAWSON et al. (1995) berichtet. KEOKAMNERD et al. (2007) konnten dagegen für Geflügelhackfleisch (Huhn), das unter einer Schutzatmosphäre von 90 Vol. % O<sub>2</sub> und 10 Vol. % CO<sub>2</sub> verpackt wurde, über eine sechstägige Lagerung eine leichte Zunahme der Werte von L\* 60,7 auf L\* 61,7 feststellen. Auch in Untersuchungen von DHANANJAYAN et al. (2006) wurde für rohe Geflügelbratlinge aus Putenfleisch unter einer sauerstoffreichen Atmosphäre (80 Vol. % O<sub>2</sub>) innerhalb von zwölf Lagertagen ein leichter Anstieg der Helligkeit nachgewiesen. Der in diesen beiden Studien nachgewiesene Anstieg der L\*-Werte resultiert möglicherweise aus dem vergleichsweise höheren Sauerstoffgehalt in der Verpackung. Ebenso wie in Untersuchungsabschnitt I kommt es auch in **Untersuchungsabschnitt II** über den Lagerungsverlauf zu einer geringen Helligkeitsabnahme. Wie bereits beschrieben, zeigt eine Helligkeitsabnahme eine Zunahme der dunkleren Pigmente Deoxymyoglobin und Metmyoglobin an. In vielen Studien findet die Beachtung der Fleischfarbe nach Zugabe antimikrobieller Wirkstoffe nur wenig Beachtung. Im Idealfall führen sie zu einer Verlängerung der Haltbarkeit, ohne sich negativ auf die Farbe des Produktes auszuüben (MANCINI und HUNT 2005). Der Einsatz organischer Säuren kann auf der Oberfläche von Geflügelfleisch Verfärbungen verursachen (BILGILI et al. 1998). In **Untersuchungsabschnitt III** zeigen die Proben nach dem Zusatz der CS in den eingesetzten Konzentrationen (5 %, 10 %) und Mengen (2 ml, 4 ml) hinsichtlich der Helligkeitswerte nur geringe, größtenteils nicht signifikante Unterschiede. Die mit 5 %iger CS behandelten Proben (2 ml, 4 ml) zeigen im Lagerungsverlauf eine leichte Abnahme der L\*-Werte, ebenso wie die unbehandelte Kontrollprobe. Lediglich für die Proben, die mit CS als Sprühnebel in der Konzentration von 10 % (2 ml, 4 ml) behandelt wurden, wurde am siebten und am zehnten Lagerungstag eine Zunahme der Helligkeit ermittelt. An diesen Lagerungstagen lagen die L\*-Werte signifikant höher als die der unbehandelten Kontrollproben. In Übereinstimmung damit haben SERDAROĞLU et al. (2006) gezeigt, dass Putenbrustscheiben nach dem Eintauchen in Citronensäurelösungen unterschiedlicher Konzentrationen (0,1 M; 0,2 M; 0,5 M) signifikant heller waren als unbehandelte Proben. Dahingegen waren Hühnerflügel, die für zehn Minuten in eine 1 %ige Citronensäurelösung (w/v) eingetaucht wurden, grundsätzlich dunkler als die Kontrollprobe und zeigten dementsprechend niedrigere L\*-Werte, wobei diese bis

zum Ende der Lagerung insgesamt anstiegen (KIM und MARSHALL 2000). YOUNG und WEST (2001) geben an, dass Fleisch durch die Zugabe einer Säure eine höhere Reflexion und damit eine hellere Fleischfarbe zur Folge hat. Während die L\*-Werte der Proben der ersten drei Untersuchungsabschnitte während der Lagerung größtenteils leicht abfallen, kommt es für die Proben des **Untersuchungsabschnittes IV** nach Zugabe einer Gewürzmischung, die sich hauptsächlich aus NaCl zusammensetzt, im Verlauf der Lagerung zu einer leichten Helligkeitszunahme. PATERSON et al. (1988) und FENNEMA (1990) konnten nach Zugabe von NaCl zu Fleisch ebenfalls eine solche Zunahme beschreiben.

#### ROTWERTE (A\*-WERTE)

Der wahrscheinlich wichtigste Farbparameter der Fleischqualität ist der Rotwert ( $a^*$ -Wert) (FRIEDRICH et al. 2008). Er korreliert positiv mit Gesamtpigment, Eisenkonzentration und Myoglobin im Fleisch (BOULIANNE und KING 1995). In **Untersuchungsabschnitt I** kommt es für die untersuchten Proben ab dem dritten Lagerungstag zu einer leichten Abnahme des Rotwertes, während er innerhalb der ersten drei Tage konstant blieb. In Untersuchungen von DHANANJAYAN et al. (2006) nimmt der  $a^*$ -Wert von rohen Bratlingen aus Putenfleisch bei einer Atmosphäre von 80 Vol. %  $O_2$  und 20 Vol. %  $CO_2$  innerhalb von zwölf Tagen von  $a^*$  6,15 auf  $a^*$  0,36 ab. Dagegen bleibt der  $a^*$ -Wert unter einer Atmosphäre mit 97 Vol. %  $CO_2$  mit einem Endwert von  $a^*$  5,69 relativ stabil. KEOKAMNERD et al. (2007) konnten für Geflügelhackfleisch (Huhn) direkt nach der Verpackung unter einer Atmosphäre von 90 Vol. %  $O_2$  und 10 Vol. %  $CO_2$  einen Verlust des Rotwertes ab dem dritten Lagerungstag nachweisen. Ebenso berichten MASTROMATTEO et al. (2009) während der Lagerung von rohen Geflügelbratlingen von einer schnellen Abnahme des Rotwertes nach dem ersten Lagerungstag bei einer Verpackungsatmosphäre mit 80 Vol. %  $O_2$ . Hingegen blieben die  $a^*$ -Werte bei einer Lagerung der Proben unter Vakuum während der ersten drei Tage konstant. DHANANJAYAN et al. (2006) schreiben Putenfleisch im Vergleich zum Rind- oder Schweinefleisch eine geringere Fähigkeit zum „Bloomen“, d. h. der Bildung von Oxymyoglobin in einer sauerstoffreichen Atmosphäre (SEYDIM et al. 2006), zu. Die niedrigere Kapazität zum „Bloomen“ wird sowohl für Hühnchen- als auch für Putenfleisch diskutiert (MERCIER et al. 1998). MILLAR et al. (1994) konnten für Geflügelfleisch selbst nach 48 Stunden bei +5 °C nur eine sehr geringe Oxymyoglobinbildung nachweisen, die durch den geringen Gehalt an Myoglobin in Geflügelfleisch begründet wird. Die hohe Sauerstoffverbrauchsrate der Muskeln ( $OCR = \underline{O}xygen \underline{C}onsumption \underline{R}ate$ ) fördert zudem die Metmyoglobinbildung auf der Oberfläche. Die vorliegenden Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes I lassen den Schluss zu, dass die Verwendung einer sauerstoffreichen Atmosphäre anfänglich, d. h. in diesem Fall bis zum dritten Lagerungstag, den Rotwert des Putenhackfleisches fördert. Dieses haben auch SEYDIM et al. (2006)



berichtet. Es kommt dann aber zu einem Abfall des  $a^*$ -Wertes und dem damit verbundenen Verlust der roten Farbe. Allerdings fällt der Rotwertverlust in den vorliegenden Untersuchungen geringer aus, als in der Literatur (DHANANJAYAN et al. 2006; KEOKAMNERD et al. 2007) beschrieben. Eine Abnahme des  $a^*$ -Wertes wird durch die Oxidation des zentralen Eisenatoms ( $Fe^{2+}$  in  $Fe^{3+}$ ) verursacht (DHANANJAYAN et al. 2006; KEOKAMNERD et al. 2007; SEYDIM et al. 2006), wodurch aus Oxy-myoglobin Metmyoglobin als dominierendes Pigment auf der Fleischoberfläche entsteht (CHATELAIN et al. 2007; KEOKAMNERD et al. 2007). In **Untersuchungsabschnitt II** erfolgt ab dem dritten Lagerungstag ebenso ein Rotwertverlust, der zwischen dem fünften und siebten Lagerungstag signifikant ist. Die Gründe dieses Rotwertverlustes sind, wie bereits beschrieben, der mangelnden Befähigung zur Oxy-myoglobinbildung (MASTROMATTEO et al. 2009; MILLAR et al. 1994; SEYDIM et al. 2006) und der Oxidation des zentralen Eisenatoms geschuldet (DHANANJAYAN et al. 2006; KEOKAMNERD et al. 2007; SEYDIM et al. 2006).

In **Untersuchungsabschnitt III** unterliegen die mit CS behandelten Proben während der Lagerung im Vergleich zu den unbehandelten Proben größtenteils stärkeren Rotwertverlusten. Für die mit 5 %iger CS (2 ml) behandelten Proben wurden nahezu gleiche Werte wie für die Kontrolle ermittelt. Die  $a^*$ -Werte der anderen mit CS behandelten Proben (5 %: 4 ml; 10 %: 2 ml, 4 ml) weichen stärker von den Werten der unbehandelten Kontrolle ab. Die deutlichste Veränderung über den Lagerungsverlauf zeigt sich für die Probe, die mit 10 %iger CS (4 ml) behandelt wurde. Über die gesamte Lagerung ist der Rotwert dieser Probe, im Vergleich zur Kontrolle und zur Probe, die mit 5 %iger CS (2 ml) behandelt wurde, signifikant niedriger. Ein deutlicher Einfluss der CS auf die Farbentwicklung ist erkennbar. Im Hinblick auf die Erhaltung des Rotwertes ist der Einsatz der 5 %igen Lösung in der Aufbringungsmenge von 2 ml somit vertretbar, während die 10 %ige CS, insbesondere in der Aufbringungsmenge von 4 ml, zu einer starken Abnahme des Rotwertes führt. Auch ARAGOSA und MARRIOT (1989) berichten von einem Abfall der  $a^*$ -Werte restrukturierter Rindersteaks nach Citronensäurebehandlung durch eine erhöhte Umwandlung von Myoglobin zu Metmyoglobin. CS kann durch ihre Eigenschaft als Chelatbildner durch die Bindung von Metallionen eine Oxidationshemmung bewirken, aber auch Metallkomplexe bilden, die eine Oxidation fördern (LIU 1970). Steigende Säurekonzentrationen erhöhen die Metmyoglobinbildung (OGDEN et al. 1995), was auch für die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden kann. Nach MANCINI et al. (2007) tragen Konzentrationen im Bereich von 1 bis 3 % zu einer kurzfristigen Verbesserung der Farbe bei, während sich steigende Konzentrationen bis zu 10 % durch signifikante Veränderungen nachteilig auf die Farbe auswirken. KIM und MARSHALL (2000) konnten nach dem Eintauchen von Hühnerflügeln in eine Citronensäurelösung (1 % w/v) nur geringe Unterschiede zwischen den  $a^*$ -Werten der

behandelten im Vergleich zu den unbehandelten Proben feststellen. Insgesamt kam es während des zwölf-tägigen Lagerungsverlaufes zu einer Zunahme der  $a^*$ -Werte. Die antimikrobielle Wirksamkeit von CS nimmt mit steigender Konzentration zu. Dem Einsatz möglichst hoher Konzentrationen stehen dabei, wie es die vorliegenden Ergebnisse zeigen, unerwünschte Veränderungen der Fleischqualität, wie der Fleischfarbe, insbesondere des  $a^*$ -Wertes, gegenüber (SIRAGUSA 1995).

Wie schon für die vorherigen Untersuchungsabschnitte beschrieben, nehmen die Rotwerte auch im **Untersuchungsabschnitt IV**, nach Zugabe der Gewürzmischung (NaCl-Gehalt von 94 %), über den gesamten Lagerungsverlauf ab. Zwischen dem siebten und dem zehnten Lagerungstag ist der Verlust des Rotwertes statistisch signifikant. Die Abnahme des  $a^*$ -Wertes stimmt mit Aussagen von TAN und SHELEF (2002) überein. Natriumchlorid (NaCl), das frischem Schweinehackfleisch in den Konzentrationen 1 % und 2 % zugefügt wurde, führte nach einer kurzfristigen Erhöhung des  $a^*$ -Wertes bereits nach kurzer Zeit zu einer signifikanten Abnahme. Nach acht Tagen Lagerung waren die  $a^*$ -Werte etwa 50 bis 70 % niedriger als die Ausgangswerte. Die Farbstabilität war über den Lagerungszeitraum in dem unbehandelten Fleisch deutlich höher als in den mit NaCl behandelten Proben. Auch SØRHEIM et al. (2009) geben an, dass sich die Zugabe von 1 % NaCl zu Rinderhackfleisch negativ auf die Fleischfarbe auswirkt, da mit steigenden NaCl-Konzentrationen die  $a^*$ -Werte abnehmen. Mögliche Ursache hierfür ist die prooxidative Wirkung des NaCl, die zu einer Beschleunigung der Fettoxidation führt, wodurch eine Myoglobinoxidation ausgelöst wird (SØRHEIM et al. 2009; TAN und SHELEF 2002; TORRES et al. 1988). In Untersuchungen von FERNÁNDEZ-LOPÉZ et al. (2004) nehmen die  $a^*$ -Werte in Schweinehackfleisch nach Zugabe von NaCl hingegen mit steigenden Konzentrationen (1,5 %; 3 %) zu. Sie begründen diese Zunahme auf Basis von Literaturangaben (PÉREZ-ALVAREZ et al. 1997) mit einer möglichen Extraktion sarkoplasmatischer Proteine, zu denen auch das Myoglobin gehört, an die Fleischoberfläche, wodurch es zu einer Anreicherung von Komponenten kommt, die zur roten Fleischfarbe beitragen.

#### GELBWERTE ( $b^*$ -WERTE)

Der  $b^*$ -Wert repräsentiert nach der Methode der CIE den Gelbwert des Fleisches. In der Literatur findet dieser nur wenig Beachtung. In **Untersuchungsabschnitt I** bleibt der  $b^*$ -Wert während der zehntägigen Lagerung nahezu konstant. Auch bei MASTROMATTEO et al. (2009) verändern sich die  $b^*$ -Werte roher Geflügelbratlinge während der Lagerung nur unerheblich. Es kommt auch in **Untersuchungsabschnitt II**, analog zum Untersuchungsabschnitt I, zu keiner nennenswerten Veränderung der  $b^*$ -Werte. In **Untersuchungsabschnitt III** nimmt die Aufbringung der sprühvernebelten CS keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Gelbwerte über den Lagerungsverlauf. Die  $b^*$ -Werte der Kontrolle verbleiben während des

Lagerungsverlaufes ebenfalls bei ihren Ausgangswerten. Auch restrukturierte Rindersteaks zeigten nach Citronensäurezugabe keine Unterschiede hinsichtlich ihrer  $b^*$ -Werte (ARAGOSA und MARRIOT 1989). FRIEDRICH et al. (2008) begründen höhere  $b^*$ -Werte nach einer Säurebehandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle durch eine säureinduzierte Proteindenaturierung. KIM und MARSHALL konnten nach dem Eintauchen von Hühnchenflügeln in eine Citronensäurelösung (1 %, w/v) über den gesamten Lagerungsverlauf niedrigere  $b^*$ -Werte messen. In **Untersuchungsabschnitt IV** liegen die  $b^*$ -Werte während des gesamten Lagerungszeitraums deutlich niedriger als in übrigen Untersuchungsabschnitten. Auch FERNÁNDEZ-LOPÉZ et al. (2004) berichten von einer Abnahme der  $b^*$ -Werte in Schweinehackfleisch infolge steigender NaCl-Konzentrationen im Vergleich zur Kontrolle. Die Gründe dafür werden auch hier in einer Förderung von Fettoxidationen durch die Zugabe von NaCl zu Fleisch gesehen (RHEE et al. 1983; SALLAM und SAMEJIMA 2004; TAN und SHELEF 2002). Die Abnahme des  $b^*$ -Wertes könnte darüber hinaus dadurch verursacht worden sein, dass das Myoglobin durch Salz denaturiert wird und dieses durch die Oxidation des Eisenatoms zu einer Zunahme des braunen Metmyoglobins führt (JUDGE et al. 1989). LUCERA et al (2009) sowie SAUCIER et al. (2000) geben allerdings an, dass die Bildung von Metmyoglobin durch Oxidationsprozesse und der damit verbundenen Verfärbung des Fleisches mit steigenden  $b^*$ -Werten verbunden sind.

#### 5.3.2.2.2 SIMULATION EINES VERBRAUCHERVERHALTENS (T2)

Lagerungstemperaturen bestimmen nicht nur die Haltbarkeit des Fleisches, sondern auch biochemische und physikochemische Eigenschaften, die wiederum die Fleischqualität beeinflussen (RATHGEBER et al. 1999). Die Lagerungstemperatur muss damit als ein kritischer Punkt zur Erhaltung der Fleischfarbe angesehen werden. Steigende Temperaturen können die Farbstabilität verringern (O'KEEFE und HOOD 1981).

#### HELLIGKEITSWERTE ( $L^*$ -WERTE)

In **Untersuchungsabschnitt I** nimmt der Helligkeitswert bis zum siebten Lagerungstag zunächst leicht ab und steigt bis zum zehnten Lagerungstag wieder an. In **Untersuchungsabschnitt II** kommt es dagegen ebenfalls zu einer leichten Abnahme, allerdings nur bis zum fünften Lagerungstag. Ein ähnlicher Verlauf ist im **Untersuchungsabschnitt III** nach Zusatz von CS, mit Ausnahme der Proben, die mit 10 %iger CS (4 ml) behandelt wurden, zu beobachten. Bei den letztgenannten Proben kommt es allerdings während des gesamten Untersuchungszeitraumes zu einer Helligkeitszunahme. Der in den Untersuchungsabschnitten I, II und III gemessene Anstieg bewirkt, dass die  $L^*$ -Werte am Ende der Lagerung höher liegen als zu Beginn. Im Gegensatz zu den beschriebenen Abschnitten bleibt der  $L^*$ -Wert des **Untersuchungsabschnittes IV** über die Lagerungsdauer stabil. Die gemessenen Werte der beschriebenen Abschnitte

unterscheiden sich nicht von den Helligkeitswerten, die für **T1** ermittelt wurden, so dass für die beschriebenen Ergebnisse ein Einfluss der Lagerungstemperaturen auf den L\*-Wert nicht erkennbar ist. Dies stimmt mit Aussagen von JEREMIAH und GIBSON (2001) überein, die angeben, dass die Lagerungstemperatur nur einen geringen Einfluss auf den L\*-Wert besitzt.

#### ROTWERTE (A\*-WERTE)

Es kommt für alle Proben mit zunehmender Lagerungsdauer zu einem kontinuierlichen Rotwertverlust. Dieser ist für die Proben des **Untersuchungsabschnittes I** unter den Bedingungen des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) im Vergleich zu einer konsequenten Lagerung bei +2 °C (**T1**) stärker und zwischen den untersuchten Lagerungstagen größtenteils statistisch signifikant. Für die Proben des **Untersuchungsabschnittes II** ist bis zum siebten Lagerungstag ein nahezu identischer Verlauf erkennbar. Allerdings nimmt der Rotwert bis zum Lagerungsende sprunghaft ab, wodurch im Vergleich zum Untersuchungsabschnitt I ein noch deutlicherer, statistisch signifikanter Rotwertverlust stattfindet. Während die a\*-Werte für die Proben des Untersuchungsabschnittes I am letzten Lagerungstag noch bei a\* 4,7 liegen, erreichen diese für die Proben des Untersuchungsabschnittes II nur noch Werte von a\* 3,2. Die Ergebnisse der beiden Abschnitte verdeutlichen, dass der Rotwertverlust über den Lagerungsverlauf mit steigender Temperatur zunimmt. Auch in Untersuchungen zum Einfluss von Lagerungstemperatur und -dauer auf die Farbstabilität von Rindfleisch von JEREMIAH und GIBSON (2001) kam es, unabhängig von der Lagerungstemperatur, zu einem Abfall des a\*-Wertes. Allerdings bestätigen sie ebenso, dass es, wie in den vorliegenden Untersuchungen, mit steigenden Temperaturen zu einem erhöhten Verlust kommt. Auch O'KEEFE und HOOD (1981) berichten von einer stärkeren Verfärbung des Fleisches, in Kombination mit einer Verkürzung der Haltbarkeit, wenn die Lagerungstemperatur von -1 °C auf +5 °C angehoben wird. Nach JAKOBSEN und BERTELSEN (2000) sollte zur Erhaltung der Fleischfarbe im Oxymyoglobinstatus und dem Schutz vor Fettoxidationen die Temperatur auf Werte < +4 °C herabgesetzt werden. Steigende Lagerungstemperaturen erhöhen die Aktivität sauerstoffverbrauchender Enzyme, wodurch das für die Bildung von Oxymyoglobin zur Verfügung stehende O<sub>2</sub> begrenzt ist. Zudem können andere sauerstoffverbrauchende Vorgänge, wie Fettoxidationen, niedrige Sauerstoffspannungen verursachen, die die Autoxidation von Myoglobin fördern und zu einem Anstieg des Metmyoglobinanteils führen (GIDDINGS 1977; RENERRE 1990). Im **Untersuchungsabschnitt III** ist der Einfluss von CS für die Entwicklung der Rotwerte bei erhöhten Lagerungstemperaturen (**T2**) deutlich erkennbar. Auch bei diesen Proben nimmt der Rotwertverlust zunächst mit steigender Lagerungstemperatur zu. Dieser Effekt wird durch die Zugabe der CS scheinbar zusätzlich verstärkt. Die niedrigsten a\*-Werte werden am Ende der Lagerung nach Aufbringung von

4 ml mit a\* 3,2 (5 %) und a\* 2,5 (10 %) ermittelt. Die a\*-Werte der Proben, die mit CS als Sprühnebel in der Konzentration von 10 % (2 ml, 4 ml) behandelt wurden, liegen an allen untersuchten Lagerungstagen signifikant niedriger als die der Kontrolle. Im **Untersuchungsabschnitt IV** erfolgt ebenso eine Rotwertabnahme über den Lagerungsverlauf wie bereits für die Untersuchungsabschnitte I, II und III beschrieben.

#### GELBWERTE (B\*-WERTE)

Die b\*-Werte bleiben während der Lagerung der Proben in allen Untersuchungsabschnitten bei **T2**, ähnlich der Lagerung bei **T1**, nahezu konstant. Geringfügig auftretende Schwankungen erreichen keine Signifikanz. Die Temperatur scheint den Verlust des Gelbwertes nur unwesentlich zu beschleunigen. Die zentrale Determinante, die die Entwicklung des b\*-Wertes beeinflusst, scheint die Lagerungsdauer zu sein. JEREMIAH und GIBSON (2001) konnten ebenfalls feststellen, dass der Verlust des Gelbwertes, über die Lagerungsdauer steigt.

### 5.3.2.3 MESSUNG DER PH-WERTE

#### 5.3.2.3.1 LAGERUNGSVERSUCHE BEI +2 °C (**T1**)

Der pH-Wert von Geflügel variiert zwischen den einzelnen Muskeln, bedingt durch Muskelaufbau und Glykogenreserven (MCNAMARA 1996). Für Putenfleisch werden Werte im Bereich von 5,8 und 6,2 angegeben (MALLIA et al. 2000; TOTOSAUS et al. 2007). Die pH-Werte des Hackfleisches aus dem Putenflügel bleiben im **Untersuchungsabschnitt I** mit einem durchschnittlichen Wert von 6,2 während des gesamten zehntägigen Lagerungsverlaufes in dem von der Literatur vorgegebenen Bereich. In **Untersuchungsabschnitt II** wurden über die Lagerung pH-Werte zwischen pH 6,1 bis 5,9 gemessen. Trotz der leichten Abnahme im Verlauf der zehntägigen Lagerung liegen die gemessenen Werte nach wie vor in dem von der Literatur (MALLIA et al. 2000; TOTOSAUS et al. 2007) angegebenen Bereich. Durch die Zugabe von CS kommt es in **Untersuchungsabschnitt III** größtenteils zu einer Abnahme der pH-Werte. Dadurch unterschreiten die gemessenen pH-Werte, in Abhängigkeit von Applikationsform und Konzentration der zugefügten CS, die in der Literatur angegebenen Werte. In den Vorversuchen liegen die pH-Werte nach Applikation als Pulver und Lösung bei einer Endkonzentration von 1 % und 3 % an allen untersuchten Lagerungstagen signifikant niedriger als die der Kontrolle. Die Zugabe von CS bewirkt einen maximalen Abfall auf pH-Werte von 4,0. Bei einer Endkonzentration von 0,1 % liegen die pH-Werte auch nach Behandlung in dem von der Literatur beschriebenen pH-Bereich für Putenfleisch. Nach Aufbringung des Sprühnebels liegen die Werte für die Konzentrationen 5 % und 10 % (2 ml) im normalen Bereich, während das Aufbringen der 50 %igen Lösung einen Abfall auf pH 5,7

verursacht. Das Ausmaß des pH-Wert-Abfalles nach Zugabe der Säure wird durch die Pufferkapazität des Fleisches bestimmt (HEESCHEN 2005). Eine zu starke Säuerung kann unerwünschte sensorische Qualitätseinbußen bewirken (LÜCKE und TROEGER 2007). Hierdurch wird der Einsatz der CS eingeschränkt. Aufgrund der zu starken Abnahme der pH-Werte nach Aufbringung von Pulver und Lösung in den Endkonzentrationen 1 % und 3 % sowie des Sprühnebels in der höchsten Konzentration (50 %) wurden diese Applikationsformen für einen weiteren Einsatz ausgeschlossen. Die Zugabe der CS als Pulver und Lösung in der Endkonzentration 0,1 % veränderte den pH-Wert zwar nur unerheblich, aufgrund farblicher Veränderungen erschien der weitere Einsatz jedoch ebenso nicht zielführend. In den Hauptversuchen des Untersuchungsabschnittes III wurde CS als Sprühnebel in den Konzentrationen 5 % und 10 % und einer Menge von 2 ml und 4 ml aufgebracht. Die Zugabe der CS führte auch hier im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle zu signifikant niedrigeren pH-Werten. Die Abnahme der pH-Werte durch die Säurebehandlung der Proben stieg mit zunehmender Konzentration und Menge. In allen Proben konnte während der Lagerung jedoch eine Zunahme der pH-Werte beobachtet werden. Am Ende der zehntägigen Lagerung sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den behandelten Proben und der Kontrolle messbar. Während die Zugabe von Citronensäure (1,5 % v/v) zu Schweinekoteletts keinen Einfluss auf den pH-Wert hatte (FU et al. 1994), führte das Eintauchen von Hühnerbeinen in eine Citronensäurelösung (2 % w/v) zu einem Abfall des pH-Wertes (DEL RIO et al. 2007). Wie GONZÁLEZ-FANDOS et al. (2009) zeigen konnten, nimmt der pH-Wert-Abfall, wie auch in den vorliegenden Untersuchungen, mit steigender Säurekonzentration zu. Ebenso konnten sie jedoch nachweisen, dass die pH-Werte über den Lagerungsverlauf wieder anstiegen. Die in Untersuchungsabschnitt III festgestellte Erhöhung der pH-Werte in den Normbereich zum Lagerungsende wird durch die Pufferkapazität des Fleisches verursacht (DEL RIO et al. 2007). Die pH-Werte, die in **Untersuchungsabschnitt IV** nach Zugabe der Gewürzmischung gemessen werden konnten, liegen mit einem durchschnittlichen Wert von 6,0 über den gesamten Lagerungsverlauf in dem von der Literatur angegebenen Normbereich (MALLIA et al. 2000; TOTOSAUS et al. 2007). Im Vergleich zu den unbehandelten Proben des Untersuchungsabschnittes I liegen die pH-Werte an allen untersuchten Lagerungstagen signifikant niedriger. Untersuchungen von SALLAM und SAMEJIMA (2004) bestätigen diese Beobachtungen. Auch sie geben an, dass nach Zugabe von NaCl zu Rinderhackfleisch, die pH-Werte im Vergleich zu nicht behandelten Proben über die gesamte Lagerungsdauer signifikant niedriger sind.

#### 5.3.2.3.2 SIMULATION EINES VERBRAUCHERVERHALTENS (T2)

Die Simulation des Verbraucherverhaltens mit einer Unterbrechung der Kühlkette und erhöhten Lagerungstemperaturen (T2) führte in Abhängigkeit vom Untersuchungsabschnitt zu unterschiedlichen Verläufen der pH-Werte. Für Veränderungen der pH-Werte im Fleisch während der Lagerung werden im Allgemeinen die Produktion von Stoffwechselprodukten durch mikrobiologisches Wachstum oder das Auftreten biochemischer Reaktionen im Fleischgewebe verantwortlich gemacht (KEOKAMNERD et al. 2007). Ein Anstieg des pH-Wertes kennzeichnet den Verderb von Fleisch (DROSINOS und BOARD 1995). Hohe pH-Werte am Ende der Lagerung können durch die Proteolyse fluoreszierender *Pseudomonas*-Spezies verursacht werden (JAYE et al. 1962; BOND et al. 2001). Die pH-Werte der Proben des **Untersuchungsabschnittes I** bleiben über die Lagerung hinweg stabil. In **Untersuchungsabschnitt II** kommt es hingegen zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag zu einem signifikanten Abfall. Ein Abfall des pH-Wertes von Fleisch während der Lagerung kann mit dem Wachstum von Milchsäurebakterien und der Bildung von Milchsäure verbunden sein (GILL 1996). Dementsprechend scheint das Wachstum von Milchsäurebakterien für diese Proben möglicherweise eine größere Bedeutung zu besitzen, als für die Proben des Untersuchungsabschnittes I. In **Untersuchungsabschnitt III** kommt es durch die Zugabe der CS zu signifikant niedrigeren pH-Werten als in den unbehandelten Proben. Die Abnahme des pH-Wertes durch die Säurebehandlung des Fleisches steigt mit zunehmender Konzentration und Menge. Nach Zugabe der Gewürzmischung bleiben die pH-Werte in **Untersuchungsabschnitt IV** über die Lagerung hinweg stabil, liegen jedoch im Vergleich zu den pH-Werten der Proben des Untersuchungsabschnittes I signifikant niedriger. Generell zeigt sich, dass der Einfluss der Lagerungstemperatur auf die Entwicklung des pH-Wertes nur gering ist. Die in den jeweiligen Untersuchungsabschnitten erhobenen pH-Werte weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lagerungstemperaturen T1 und T2 auf.

#### 5.3.2.4 MESSUNG DER $a_w$ -WERTE

Der  $a_w$ -Wert stellt das Maß für das den Mikroorganismen frei zur Verfügung stehende Wasser dar (LÜCKE und TROEGER 2007). Die zu Beginn eines jeden Untersuchungsabschnittes ermittelten  $a_w$ -Werte unterscheiden sich in den ersten drei Untersuchungsabschnitten nicht. Die Zugabe der Gewürzmischung führt zu einer erkennbaren Verringerung des  $a_w$ -Wertes in der zweiten Nachkommastelle. Durch das NaCl kann freies Wasser gebunden und das Wachstum bestimmter Mikroorganismen somit unterdrückt werden (KRÄMER 2002). Insbesondere das Wachstum gram-negativer aerober Mikroorganismen der typischen Verderbsflora von frischem Fleisch kann bereits durch  $a_w$ -Werte ab 0,98 gehemmt werden (LÜCKE und TROEGER 2007).

### 5.3.3 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

#### 5.3.3.1 LAGERUNGSVERSUCHE BEI +2 °C (T1)

Hackfleisch ist aufgrund seines Convenience-Grades ein beliebtes Produkt. Durch die Vergrößerung der Oberfläche während der Herstellung besitzt es jedoch nur eine begrenzte Haltbarkeit (LIMBO et al. 2010). Im Vergleich zum intakten Muskel können Mikroorganismen im Hackfleisch aufgrund der erhöhten Substratverfügbarkeit schneller wachsen (BOHNSACK und HÖPKE 1990). Die Haltbarkeit wird entscheidend bestimmt von der Art und Anzahl der anfänglichen Bakterienflora und ihrem weiteren Wachstum während der Lagerung, das wiederum durch die Parameter pH-Wert, Gasatmosphäre und Temperatur beeinflusst wird (RUSSO et al. 2006).

#### AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

Während des Schlacht- und Zerlegeprozesses von Geflügel dient die aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ) als Hinweis auf mangelhafte Herstellungsbedingungen und repräsentiert den allgemeinen mikrobiologischen Status des untersuchten Fleisches (GONZÁLEZ-MIRET et al. 2006; WEISE 2003). Die Untersuchungen des **Untersuchungsabschnittes I** zum Status quo zeigen, dass das frische Putenhackfleisch nach der Herstellung einen Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  5,0 KbE/g besitzt. Grundsätzlich entspricht es zu diesem Zeitpunkt den Vorgaben der VO (EG) 2073/2005 und VO (EG) 1441/2007 (Prozesshygienekriterien m:  $\text{Log}_{10}$  5,7 KbE/g) über mikrobiologische Kriterien in Lebensmitteln. ISMAIL et al. (2000) geben für Putenhackfleisch nach der Herstellung eine aerobe GKZ von durchschnittlich  $\text{Log}_{10}$  4,5 KbE/g an. Höhere Keimgehalte konnten MASTROMATTEO et al. (2009) nachweisen. Sie untersuchten rohe, unter MAP verpackte (80 Vol. % O<sub>2</sub>, 20 Vol. % CO<sub>2</sub>), Bratlinge aus zerkleinertem Strauß-, Hühnchen- und Putenfleisch und ermittelten Ausgangskeimgehalte von  $\text{Log}_{10}$  7,5 KbE/g. Der hohe Ausgangskeimgehalt wurde nach Meinung der Autoren durch zu hohe Temperaturen während Verarbeitung, Lagerung, Transport oder Distribution des Rohmaterials verursacht. ÁLVAREZ-ASTORGA et al. (2002) konnten für weiterverarbeitete Geflügelfleischprodukte eine höhere GKZ nachweisen als für Teilstücke. Sie sehen die Ursachen in Kreuzkontaminationen und/oder, ebenso wie MASTROMATTEO et al. (2009), in Temperaturabweichungen. Je niedriger der Ausgangskeimgehalt, desto länger ist die Haltbarkeit des Endproduktes (BOLDER 2007). In dem vorliegenden Untersuchungsabschnitt I steigt der Ausgangskeimgehalt bis zum Ende der Lagerung kontinuierlich und statistisch signifikant um mehr als zweieinhalb  $\text{Log}_{10}$ -Stufen auf einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  7,6 KbE/g an. ISMAIL et al. (2000) geben ihr untersuchtes Putenhackfleisch für die gleiche Lagerzeit, aber höhere Lagerungstemperatur (+5 °C), einen Endwert von durchschnittlich  $\text{Log}_{10}$  8,0 KbE/g an. Ähnliche Werte wurden auch von FRAQUEZA et al. (2008) ermittelt. Trotz der konsequenten Kühlung bei +2 °C (T1)



werden in der vorliegenden Arbeit durch den hohen Ausgangskeimgehalt bereits am fünften Lagerungstag Keimzahlen von  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g erreicht. Bei Keimzahlen zwischen  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g bis  $\text{Log}_{10}$  8,0 KbE/g treten bei Geflügelfleisch bereits die ersten Verderberscheinungen, in Form sogenannter Off-Odors, auf (MEAD 2004c). Hohe Ausgangskeimgehalte des Endproduktes können nur durch eine Verbesserung der mikrobiologischen Qualität herabgesetzt werden (MASTROMATTEO et al. 2009). Der Eintrag von Mikroorganismen erfolgt im Schlacht- und Zerlegeprozess zunächst durch das Tier selbst. Im Verlauf der Verarbeitung kommt es zu einem weiteren Anstieg der mikrobiologischen Belastung. Neben der Fleischzusammensetzung nehmen vor allem die Hygienemaßnahmen während des Schneidens, Zerkleinern, etc. Einfluss auf die Produktqualität (BOLDER 2007; LIMBO et al. 2010). Grundsätzlich gibt es für die Keimzahlen von rohem Geflügelfleisch in Abhängigkeit vom jeweiligen Teilstück eine große Schwankungsbreite, die Werte variieren in einem Bereich zwischen  $\text{Log}_{10}$  1,0 und 7,0 KbE/cm<sup>2</sup> und liegen durchschnittlich bei  $\text{Log}_{10}$  4,0 KbE/cm<sup>2</sup> (MCNAMARA 1996; MCKEE 2007b). Die Zerkleinerung erhöht die Fleischoberfläche und führt zu einer Verteilung der Mikroorganismen, die sich auf der Oberfläche befunden haben, im gesamten Fleisch (MCNAMARA 1996; USDA 1996). Für die vorliegende Arbeit wurde zur Herstellung des Hackfleisches als Rohstoff in allen vier Untersuchungsabschnitten ausschließlich die Flügelmuskulatur der Pute mit anhaftendem Fett- und Bindegewebe eingesetzt.

Die Ergebnisse der **Prozessschrittanalyse aus dem Untersuchungsabschnitt II** zeigen, dass die aerobe mesophile GKZ der Rohstoffproben (Putenflügel) vor der Weiterverarbeitung zu Hackfleisch bei  $\text{Log}_{10}$  3,8 KbE/g liegt. Der Keimgehalt unterschreitet die Angaben von FRAQUEZA et al. (2008), die für Putenflügelfleisch einen aerobe mesophile GKZ von  $\text{Log}_{10}$  4,7 KbE/g angeben. Die Produzenten von Putenhackfleisch sind gezwungen, während der Herstellung die mikrobiologische Belastung des Rohmaterials, die Hygiene des Equipments und vor allem die Temperatur zu kontrollieren, um eine Minimierung der Keimzahlen herbeizuführen (JAMES 2002; USDA 1996). Die Temperaturkontrolle zwischen den einzelnen Prozessstufen zeigt, dass sich die Temperatur des Rohstoffes durch den Prozess des Wolfens von durchschnittlich  $+3,6 \pm 0,65$  °C auf  $+5,1 \pm 1,21$  °C erhöht. Zur Absenkung der Temperatur wurde das Putenhackfleisch in einem sich unverzüglich anschließenden Mengvorgang durch CO<sub>2</sub> auf eine Durchschnittstemperatur von  $-0,5 \pm 0,80$  °C herunter gekühlt. Für die GKZ ist durch diese kurzzeitige Erhöhung der Fleischtemperatur kein signifikanter Keimzahlanstieg zwischen diesen Prozessschritten zu verzeichnen. Um die mikrobielle Belastung gering zu halten sind Geflügelfleischhersteller bestrebt, vor der Distribution im Endprodukt Temperaturen von 0 bis +2 °C zu erreichen (MEAD 2004b). Der sich anschließende Abfüllvorgang des fertigen Produktes in MAP-Schalen führt erneut zu

einer geringfügigen Erhöhung der Temperatur ( $+2,7 \pm 1,52$  °C). Diese Erhöhung ist mit einem signifikanten Anstieg der GKZ auf einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  4,5 KbE/g verbunden. Das US-Landwirtschaftsministerium (United States Department of Agriculture: USDA) konnte 1996 in ihren landesweiten Untersuchungen von rohem Putenhackfleisch für das fertige Produkt vor dem Verpacken am Ende der Produktionslinie eine nahezu identische GKZ nachweisen ( $\text{Log}_{10}$  4,6 KbE/g).

Die aerobe mesophile GKZ des Putenhackfleisches liegt im **Untersuchungsabschnitt II während der Lagerungsversuche** anfänglich bei einem Wert von  $\text{Log}_{10}$  4,5 KbE/g und damit eine halbe  $\text{Log}_{10}$ -Stufe unter GKZ des Untersuchungsabschnittes I. Diese Ergebnisse stimmen auch mit den Untersuchungen von CHOULIARA et al. (2007) überein, die für Hackfleisch vom Huhn einen Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  4,3 KbE/g nachweisen konnten. PATSIAS et al. (2008) geben an, dass anfängliche Werte für die GKZ im Bereich von 4,3 bis 4,6  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten eine gute Produktqualität anzeigen. Während die Keimzahlen im Untersuchungsabschnitt I auch bei einer konsequenten Kühlung bei  $+2$  °C (**T1**) kontinuierlich ansteigen ( $p \leq 0,05$ ), bleiben die Keimzahlen der Proben des Untersuchungsabschnittes II bis zum siebten Lagerungstag mikrobiologisch stabil. Erst ab diesem Zeitpunkt kommt es zu einem signifikanten Anstieg der GKZ bis zum Ende der Lagerung auf Keimzahlen von  $\text{Log}_{10}$  6,3 KbE/g. Die GKZ der Proben dieses Untersuchungsabschnittes liegt am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag statistisch signifikant niedriger als die GKZ der Proben des Untersuchungsabschnittes I. Da bereits zu Lagerungsbeginn eine erhöhte Keimzahl in den Proben des Untersuchungsabschnittes I vorliegt, ist es möglich, dass dadurch auch die weitere Entwicklung der GKZ in der vorliegenden Art und Weise beeinflusst wurde. Wie von BOLDER (2007) angegeben, bestimmt der Ausgangskeimgehalt die Zeitspanne, die die Mikroflora benötigt um auf unerwünschte Keimzahlen anzusteigen. Generell scheint die Produktqualität des Fleisches aus Untersuchungsabschnittes I unter der des Untersuchungsabschnittes II zu liegen. Da es sich bei dem Ausgangsmaterial um ein natürliches Produkt handelt, sind solche Schwankungen nicht ungewöhnlich. Dennoch sollte stets der Einsatz eines mikrobiologisch einwandfreien Ausgangsmaterials angestrebt werden.

Wie in den Untersuchungsabschnitten I und II gezeigt werden konnte, handelt es sich bei dem untersuchten Putenhackfleisch um ein Lebensmittel mit einem hohen Verderbspotential. Citronensäure (CS) wurde daher in Untersuchungsabschnitt III als zusätzliche mikrobiologische Hürde eingesetzt. Sie ist nach der geltenden Zusatzstoff-Zulassungsverordnung (ZZuV, 1998) für Fleischerzeugnisse *quantum satis* (qs) zugelassen. Durch die Kombination mit einer Verpackung stellt der Einsatz von organischen Säuren, im Sinne des Hürdenkonzeptes nach LEISTNER (1978), eine gute Möglichkeit dar, die Haltbarkeit von

frischem Fleisch und Fleischerzeugnissen zu verlängern (OUATTARA et al. 1997). In den **Vorversuchen des Untersuchungsabschnittes III** wird nach Integration der CS erkennbar, dass die antimikrobielle Wirksamkeit auf die aerobe mesophile GKZ der getesteten Applikationsformen (Pulver, Lösung, Sprühnebel) mit steigenden Konzentrationen zunimmt. Dieser Effekt wird auch von JAMILAH et al. (2008) bestätigt. Die eingesetzte Konzentration wird neben Faktoren wie Säureart, Zeitpunkt und Art der Säureanwendung, Temperatur oder pH-Wert in der Literatur als entscheidender Faktor für die Wirksamkeit zur Keimzahlreduktion von organischen Säuren angegeben (GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009; SAMARA und KOUTSOUMANIS 2009; SAMELIS UND SOFOS 2005; PIPEK et al. 2004). In den Vorversuchen hemmt die Zugabe von CS in Pulverform das Keimwachstum. Ab dem dritten Lagerungstag führt dieses zu signifikant niedrigeren Keimzahlen in den mit CS behandelten Proben. Am deutlichsten wird der Unterschied zwischen den Keimzahlen der unbehandelten Probe und der mit CS behandelten Proben am letzten untersuchten Lagerungstag. Die Zugabe von CS als Lösung hemmt das Keimwachstum in ähnlicher Form. Auch hier sind nach der Zugabe der CS-Lösung ab dem dritten Lagerungstag signifikant niedrigere Keimzahlen nachweisbar als in der unbehandelten Kontrollprobe. Beide Applikationsformen zeigen eine antimikrobielle Wirksamkeit. Sie nimmt mit steigender Konzentration der CS zu. Dieses stimmt mit Untersuchungen von MIN et al. (2007) überein. Die Zugabe von CS in Form einer Lösung (0,2 M; 100 ml/kg) zu zerkleinertem Brust- und Beinflisch vom Huhn führte zu einer signifikanten Keimzahlreduktion. Laut OUATTARA et al. (1997) wird die Hemmung des Mikroorganismenwachstums durch längere Lag-Phasen, niedrigere Wachstumsraten und/oder niedrigere Mikroorganismenzahlen in der stationären Phase verursacht. GONZÁLEZ-FANDOS et al. (2009) gehen davon aus, dass eine Reduktion der Bakterienpopulation nach Zugabe von CS zunächst durch die Wirkung des sauren pH-Wertes hervorgerufen wird, da die Absenkung des pH-Wertes eine für das Wachstum von Bakterien ungünstige Umgebung verursacht (DOORES 2005). Auch BOOTH (1985) und DEL RIO et al. (2008) vermuten, dass die antimikrobielle Wirksamkeit aus der pH-Wert-Absenkung resultiert. Das pH-Minimum liegt für den Großteil der Verderbnis erregenden Mikroorganismen, die ihr Wachstumsoptimum bei pH 7,0 haben, bei pH-Werten zwischen 4,4 und 4,5 (KRÄMER 2002). Neben der antimikrobiellen Wirkung, die über die Senkung des pH-Wertes vermittelt wird, werden wie im Literaturteil (vgl. Kapitel 2.5.6 und 2.6.3) besprochen, zwei weitere Wirkmechanismen diskutiert. Zum einen über den undissoziierten Anteil des Säuremoleküls (CARRASCO et al. 2006; YOUNG und FOEGEDING 1993; DEL RIO et al. 2008; BOOTH 1985) und zum anderen über die Fähigkeit von Citronensäure zur Bildung von Chelaten mit Metallionen aus dem Medium (GRAHAM und LUND 1986; NIELSEN und ARNEBORG 2007; STRATFORD 2000). In den Vorversuchen zeigte sich, dass zu hohe Konzentrationen an CS verschiedene Parameter der Fleischqualität nachhaltig beeinträchtigen. Dadurch wird ihr Einsatz als antimikrobieller

Wirkstoff limitiert. Neben der Hemmung des Keimwachstums führte der Einsatz von CS als Pulver oder Lösung zu starken Verfärbungen und textuellen Veränderungen. Solche qualitativen Abweichungen entstanden bereits nach Einsatz der geringsten Endkonzentration (0,1 % w/v). Zudem ist die Zugabe von CS in Pulverform eingeschränkt, da eine gleichmäßige Verteilung nicht gewährleistet werden kann. Aus den genannten Gründen schieden beide Applikationsformen für den weiteren Einsatz aus. Auch die dritte, in den Vorversuchen getestete Applikationsform, zeigte im Vergleich zur unbehandelten Kontrollprobe eine antimikrobielle Wirksamkeit. Ab dem dritten Lagerungstag konnten ebenso signifikant niedrigere Keimzahlen nach Einsatz der CS beobachtet werden. Im Vergleich zu den beiden anderen Applikationsformen zeigte der Einsatz von CS als Sprühnebel nur nach Aufbringung von Konzentrationen > 10 % ähnliche Qualitätsabweichungen. Eine Absenkung der GKZ nach einer Oberflächenbehandlung des Fleisches mit CS (Einsprühen, Eintauchen) wird ebenfalls von Autoren wie DEL RIO et al. (2007), FU et al. (1994) oder GONZÁLEZ-FANDOS et al. (2009) berichtet. GONZÁLEZ-FANDOS et al. (2009) konnten durch das Eintauchen von Hühnerbeinen in eine CS-Lösung (1 %, 2 %, 3 % w/v) eine antimikrobielle Wirkung erzielen. Die höchste Konzentration bewirkte eine signifikante Reduktion der GKZ. DEL RIO et al. (2007) konnten feststellen, dass durch das Eintauchen von Hühnerbeinen in eine CS-Lösung von 2 % (w/v) die Keimzahlen innerhalb der ersten 24 Stunden der Untersuchungen konstant blieben. Über den fünftägigen Lagerungsverlauf kam es für die behandelten Proben, im Vergleich zur unbehandelten Kontrollprobe, zu einem geringeren Keimwachstum. Untersuchungen von PIPEK et al. (2004) bestätigen ebenfalls, dass das Aufsprühen einer CS-Lösung (2 % w/v) auf Schweine- und Rinderschlachtkörpern über eine fünftägige Lagerung (+3 °C) die GKZ um ein bis zwei Log<sub>10</sub>-Stufen senken kann. Die Anwendung organischer Säuren auf Fleischoberflächen führt zu einer Reduktion von Verderbniserregern und pathogenen Mikroorganismen, wodurch die Haltbarkeit erhöht und die Gefahr lebensmittelbedingter Erkrankungen minimiert wird (DEL RIO et al. 2007; FU et al. 1994; GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009). Die durch den Sprühnebel auf die Produktoberfläche aufgebrachte CS soll dort gezielt gegen Mikroorganismen wirken. Damit soll ein Verderb, der durch das Wachstum von aeroben Mikroorganismen überwiegend von der Oberfläche ausgeht, eingeschränkt werden (BOHNSACK und HÖPKE 1990; MCNAMARA 1997). Der Einsatz von CS (5 %, 10 %; 2 ml) als Sprühnebel führte in den **Hauptversuchen des Untersuchungsabschnittes III** über die zehntägige Lagerung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle zu einer niedrigeren GKZ. Dennoch ist der Anstieg der GKZ der behandelten Proben, ebenso wie im Falle der unbehandelten Kontrolle, signifikant. Auch nach Verwendung einer höheren Aufbringungsmenge (5 % bzw. 10 %; 4 ml) zeigt sich eine ähnliche Entwicklung der GKZ. Dieses stimmt mit den Untersuchungsergebnissen von DYKES et al. (1996) und ACUFF et al. (1987) überein. Sie

konnten feststellen, dass die Zugabe von CS als Bestandteil einer Säuremischung zu keinen signifikanten Unterschieden in den Keimzahlen, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle führte. DYKES et al. (1996) berichten darüber hinaus, dass die Aufbringung einer Säuremischung, die CS enthielt, die Haltbarkeit von Wiener Würstchen verkürzte. Während die GKZ im Falle der behandelten Wurst bereits am neunten Lagerungstag den vorgegeben Grenzwert überschritt, erreichte die unbehandelte Kontrolle diesen Wert erst am vierzehnten Tag der Lagerung. Laut der Autoren ist die Ursache hierfür die unzureichende Absenkung des pH-Wertes aufgrund der Pufferkapazität der Wurst. Zudem muss berücksichtigt werden, dass CS im Vergleich zu anderen Genusssäuren eine niedrigere Dissoziationskonstante aufweist. Dieses resultiert in einer weniger schädlichen Wirkung gegenüber Mikroorganismen (GONZÁLEZ-FANDOS et al. 2009). BUCHANAN und GOLDEN (1994) sowie YOUNG und FOEGEDING (1993) schreiben CS sogar neben der keimhemmenden ebenso eine wachstumsfördernde Wirkung zu. Diese wird durch geringe Konzentrationen und pH-Werte im Bereich von 5,0 und 6,0 gefördert. Bestimmte Mikroorganismen sind über aktive Transportmechanismen in der Lage dissoziierte Säuremoleküle aufzunehmen und zu verstoffwechseln. Über die Citrat-Permease kann Citrat aufgenommen und zu Produkten wie Diacetyl, Acetoin, Butandiol oder Acetaldehyd fermentiert werden (HUGENHOLTZ 1993). Ebenso kann CS über eine Komplexbildung mit Kationen, die für Mikroorganismen toxisch sind, eine Wachstumsstimulierung dieser bewirken (YOUNG und FOEGEDING 1993). Die GKZ der vorliegenden Untersuchungen liegt nach dem Aufbringen der CS allerdings an allen untersuchten Lagerungstagen unter der der unbehandelten Kontrollprobe. Bei FU et al. (1994) führte die Aufbringung von CS in Konzentrationen zwischen 1 % und 5 % auf Schlachtkörper und den daraus hergestellten Teilstücken sogar zu einer signifikanten Reduktion der GKZ. Auch KIM und MARSHALL (2000) konnten durch das Eintauchen von Hühnerflügeln in einer CS-Lösung eine signifikant niedrigere GKZ erzielen und die Haltbarkeit entsprechend verlängern.

In **Untersuchungsabschnitt IV** bleibt die aerobe mesophile GKZ nach Zugabe einer Gewürzmischung bis zum siebten Lagerungstag nahezu konstant. Auch zwischen dem siebten und dem zehnten Lagerungstag ist kein signifikanter Anstieg nachweisbar. Am Ende der Lagerung liegt die GKZ bei  $\text{Log}_{10}$  5,4 KbE/g. In den Proben des Untersuchungsabschnittes I erreicht die GKZ nach signifikanten Keimzahlanstiegen einen Endwert von  $\text{Log}_{10}$  7,6 KbE/g. Für die Proben des Untersuchungsabschnittes II liegt diese am Ende der Lagerung bei  $\text{Log}_{10}$  6,3 KbE/g. Die Keimzahldifferenz zwischen den Untersuchungsabschnitten I und II beruht dabei, wie bereits beschrieben, auf einer abweichenden Ausgangsqualität des eingesetzten Materials. Im Vergleich zu den unbehandelten Putenhackfleischproben der Untersuchungsabschnitte I und II bewirkt die

Zugabe der Gewürzmischung scheinbar ein mikrobiologisch stabileres Produkt. Den Hauptbestandteil der Gewürzmischung stellt Natriumchlorid (NaCl) dar (94 g/100g). NaCl kann durch die Erniedrigung des  $a_w$  Wertes oder eine osmotische Wirksamkeit außerhalb der Bakterienzelle das Wachstum dieser negativ beeinflussen (BARBUT 2004; KRÄMER 2002; SALLAM und SAMEJIMA 2004). Durch die Zugabe von NaCl in Konzentrationen von 1 % und 2 % (w/v) konnte in Untersuchungen von TAN und SHELEF (2002) die Haltbarkeit von gekühltem Schweinehackfleisch (+2 °C) von sieben auf 14 Tage verlängert werden. In frischem Schweinehackfleisch bewirkte NaCl in den Konzentrationen 1 % und 1,5 % ebenso eine Verringerung der Keimzahlzunahme. Während die Keimzahlen der unbehandelten Kontrolle nach 14 Tagen bei  $\text{Log}_{10}$  7,6 KbE/g lagen, erreichten diese nach der NaCl-Zugabe Werte von  $\text{Log}_{10}$  4,1 KbE/g (O'CONNOR et al. 1993).

#### QUANTITATIVE ZUSAMMENSETZUNG DER MIKROFLORA DER UNTERSUCHUNGSABSCHNITTE I BIS IV

Die anfängliche Mikroflora von Putenhackfleisch reflektiert die des gekühlten Schlachtkörpers (USDA 1996). Dabei können von Rinder-, Schweine-, Schaf- und Geflügelschlachtkörpern generell gleiche Mikroorganismenarten isoliert werden (LABADIE 1999). Eine nähere Betrachtung zeigt für die Anzahl der untersuchten Mikroorganismen des **Untersuchungsabschnittes I** die folgende Reihenfolge auf: *Pseudomonas* spp. > *Brochothrix thermosphacta* > *Enterobacteriaceae*. Während sich die Anzahl der einzelnen Mikroorganismen während des Lagerungszeitraumes verändert, bleibt die beschriebene Reihenfolge gleich. Das mikrobiologische Profil der vorliegenden Untersuchungen wurde bereits von anderen Autoren beschrieben. Nach GALLO et al. (1988) machen bei einer aeroben Lagerung bei +4 °C *Pseudomonas* spp. nach fünf bis sieben Tagen etwa 80 % der gesamten Mikroflora von frischem Hühnchen aus. Die zweitgrößte Bedeutung haben *Brochothrix thermosphacta*. Das Wachstum der *Enterobacteriaceae* erfolgt zu einem geringeren Ausmaß und die Keimzahlen liegen etwa 3  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten niedriger als die GKZ (GALLO et al. 1988). In Untersuchungsabschnitt I liegt diese Differenz etwas niedriger und beträgt 1,5 bis 2,5  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten. Auch andere Autoren konnten für die Keimflora von frischen Geflügel filets (NYCHAS 1997) oder von frischem Schweine-Rinder-Hackfleisch (KOUTSOUMANIS et al. 2006) *Pseudomonas* spp. als dominierende Mikroorganismen nachweisen. Aus quantitativer Sicht folgen *Brochothrix thermosphacta*. *Enterobacteriaceae* kommen, ebenso wie Milchsäurebakterien, als restliche Mitglieder der mikrobiellen Assoziation in geringeren Mengen vor (KOUTSOUMANIS et al. 2006). Während der **Prozessschrittanalyse des Untersuchungsabschnittes II** entspricht die untersuchte Keimflora in ihrer Zusammensetzung ebenso den Angaben aus der Literatur (FRAQUEZA et al. 2008). Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta* und *Enterobacteriaceae* liegen für die untersuchten Rohstoffproben (Putenflügel) vor ihrer

Verarbeitung zu Hackfleisch in einem ähnlichen Bereich, wobei *Pseudomonas* spp. mit  $\text{Log}_{10}$  2,6 KbE/g im Rohstoff den höchsten Ausgangskeimgehalt besitzt, gefolgt von den *Enterobacteriaceae* ( $\text{Log}_{10}$  2,4 KbE/g). Den geringsten Anteil an der Mikroflora macht *Brochothrix thermosphacta* mit  $\text{Log}_{10}$  2,2 KbE/g aus. Auch im weiteren Verlauf der Prozessschritte besitzt *Pseudomonas* spp. im Vergleich zu den anderen untersuchten Mikroorganismen die höchsten Keimzahlen. In den **Lagerungsversuchen des Untersuchungsabschnittes II** setzt sich die Mikroflora bis zum siebten Lagerungstag, ebenso wie für Untersuchungsabschnitt I beschrieben, zusammen. Ab dem siebten Lagerungstag wird *Brochothrix thermosphacta* zur dominierenden Mikroorganismenart. Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. liegen am letzten Untersuchungstag etwa eine  $\text{Log}_{10}$ -Einheit niedriger. Aus quantitativer Sicht sind die *Enterobacteriaceae* auch in diesem Abschnitt von geringster Bedeutung. Die Keimzahlen für *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta* liegen in Untersuchungsabschnitt II im Vergleich zum Untersuchungsabschnitt I an den Lagerungstagen fünf, sieben und zehn signifikant niedriger. Die Keimflora der Proben des **Untersuchungsabschnittes III** (Hauptversuche) setzte sich über die gesamte Lagerung, unabhängig von der Säurezugabe, wie für Untersuchungsabschnitt I beschrieben zusammen. Die jeweils vorherrschende Mikroorganismenart bestimmt den Erfolg der Säurewirkung (DOORES 2005). Mikroorganismen reagieren unterschiedlich sensitiv gegenüber der Wirkung von CS. Dieses zeigt sich insbesondere bei niedrigen Säurekonzentrationen (OUATTARA et al. 1997). Nach Zugabe der Gewürzmischung in **Untersuchungsabschnitt IV** stellen auch in diesem Fall bis zum siebten Lagerungstag *Pseudomonas* spp. die dominierende Mikroflora dar. An zweiter Stelle stehen *Brochothrix thermosphacta*. *Enterobacteriaceae* sind quantitativ von geringster Bedeutung. Ab dem siebten Lagerungstag machen *Brochothrix thermosphacta* den größten Anteil aus.

#### PSEUDOMONAS SPP.

*Pseudomonas* spp. sind durch ihre starken proteolytischen Eigenschaften durch Schleimbildung und Entwicklung von Off-Odors hauptsächlich für den Verderb von aerob gelagertem Geflügelfleisch verantwortlich (GONZÁLEZ-MIRET et al. 2006; KREYENSCHMIDT et al. 2002; NYCHAS et al. 2008). Zu Beginn der Lagerung des **Untersuchungsabschnittes I** liegt ihr Keimgehalt bei  $\text{Log}_{10}$  4,3 KbE/g. Ab dem dritten Lagerungstag kommt es zwischen den untersuchten Lagerungstagen zu einem kontinuierlichen und signifikanten Anstieg von etwa einer  $\text{Log}_{10}$ -Einheit. Nach KOUTSOUMANIS et al. (2006) dienen Veränderungen der *Pseudomonas*-Populationen als guter Indikator für den Verderb von aerob gelagertem Hackfleisch. Durch  $\text{CO}_2$  soll das Wachstum und die Vermehrung von aeroben, psychrotrophen gram-negativen Mikroorganismen eingeschränkt werden (HOLZAPFEL 2003).

In Verpackungen, in denen die Konzentration an O<sub>2</sub> ab- und die an CO<sub>2</sub> zunimmt, wird nach MEAD (2004b) das Wachstum von *Pseudomonas* spp. deutlich reduziert. NARASIMHA RAO und SACHINDRA (2002) geben an, dass bereits Konzentrationen von CO<sub>2</sub> im Bereich von 10 bis 20 % effektiv das Wachstum von Verderbniserregern in frischem Fleisch hemmen können. Trotz des Vorhandenseins von CO<sub>2</sub> innerhalb der Schutzatmosphäre in einer Konzentration von durchschnittlich 19,6 bis 23,5 Vol. % kommt es für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. in Untersuchungsabschnitt I dennoch zu einem statistisch signifikanten Anstieg. Auch DEL NOBILE et al. (2009) konnten während der Lagerung von rohen Bratlingen aus zerkleinertem Rindfleisch unter einer Schutzatmosphäre, die sich aus 40 Vol. % O<sub>2</sub>, 15 Vol. % CO<sub>2</sub> und 45 Vol. % N<sub>2</sub> zusammensetzte, keinen Einfluss des MAP auf das Wachstum von *Pseudomonas* spp. feststellen.

In **Untersuchungsabschnitt II** steigen die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. innerhalb der zehntägigen Lagerung nur um 1,3 Log<sub>10</sub>-Einheiten. Im Vergleich dazu kommt es für die Proben in Untersuchungsabschnitt I unter den gleichen Bedingungen zu einem Anstieg um 3,2 Log<sub>10</sub>-Einheiten. Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. der Proben des Untersuchungsabschnittes I weisen bereits zu Beginn der Lagerung einen vergleichsweise höheren Ausgangskeimgehalt (Log<sub>10</sub> 4,3 KbE/g) auf als in Untersuchungsabschnitt II (Log<sub>10</sub> 3,4 KbE/g). Trotz der gleichen Schutzgaszusammensetzung (70 Vol. % O<sub>2</sub>, 30 Vol. % CO<sub>2</sub>) kommt es innerhalb des Lagerungsverlaufes in Untersuchungsabschnitt I zu einem signifikanten Anstieg, während der Keimzahlanstieg in Untersuchungsabschnitt II während der gesamten Lagerung nicht signifikant ist. Die Wirksamkeit des CO<sub>2</sub> wird neben der Konzentration auch durch den Keimgehalt des Fleisches beeinflusst. Je weiter das Wachstum von Mikroorganismen bereits vorangeschritten ist, desto weniger wirksam ist es (LAMBERT et al. 1991; SMITH et al. 1990). Die anfänglichen Hygienebedingungen und der daraus resultierende Ausgangskeimgehalt des Fleisches vor dem Verpacken beeinflussen damit in erheblichem Maße die Wirksamkeit der eingesetzten Atmosphäre (MASTROMATTEO et al. 2009). Ein positiver Einfluss der MAP-Verpackung auf das mikrobiologische Wachstum von rohen Geflügelbratlingen kann nach MASTROMATTEO et al. (2009) nur durch geringe Ausgangskeimgehalte erzielt werden. Ein hoher Ausgangskeimgehalt erhöht zudem die Wahrscheinlichkeit für die Anwesenheit von Bakterien, die resistenter gegenüber der antimikrobiellen Wirksamkeit der Schutzatmosphäre sind (KOUTSOUMANIS et al. 2008). Die geringere Keimzahlzunahme von *Pseudomonas* spp. in Untersuchungsabschnitt II resultiert aus einem wachstumshemmenden Effekt des CO<sub>2</sub>. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Untersuchungsabschnitt I wird deutlich, dass ein solcher Effekt, wie er auch in der Literatur beschrieben wird, durch einen niedrigen Ausgangskeimgehalt begünstigt wird.



In **Untersuchungsabschnitt III** kommt es für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. für alle Proben bis zum zehnten Lagerungstag zu einem konstanten, statistisch signifikanten Anstieg. Die Keimzahlen der Proben, die mit 2 ml CS in einer Konzentration von 5 % behandelt wurden, zeigen an keinem der untersuchten Lagerungstage einen signifikanten Unterschied zu den Keimzahlen der unbehandelten Kontrolle. Der Einsatz von CS in einer Konzentration von 10 % (2 ml) führte im Vergleich zur Kontrolle am zehnten Lagerungstag zu einer signifikant niedrigeren Keimzahl. Ein identischer Verlauf der Keimzahlentwicklung ist nach Zugabe von 4 ml CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % nachweisbar. Auch CUTTER und SIRAGUSA (1994) konnten zeigen, dass CS (1 %, 3 %, 5 % w/v) während der Dekontamination von Rindfleisch, insbesondere in der höchsten Konzentration geeignet war, das Wachstum von *Pseudomonas fluorescens* zu reduzieren. In Übereinstimmung geben DEL RIO et al. (2007) an, dass *Pseudomonas* spp. sehr empfindlich gegenüber CS sind. Sie konnten durch das Eintauchen von Hühnerbeinen in eine CS-Lösung die Anzahl von *Pseudomonas* spp. reduzieren. Demgegenüber verdeutlichen Untersuchungen von QUATTARA et al. (1997) das *Pseudomonas fluorescens* gegenüber CS, insbesondere bei niedrigen Konzentrationen, eine große Resistenz aufweist. CS war in einer Konzentration von 0,1 % (w/v) im Nährmedium nicht in der Lage, das Wachstum von *Pseudomonas fluorescens* zu unterdrücken. Höhere Konzentrationen (> 0,5 %, w/v) konnten das Wachstum für maximal 120 Stunden einschränken.

In **Untersuchungsabschnitt IV** liegen die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. zu Beginn der Lagerung bei  $\text{Log}_{10}$  3,1 KbE/g. Dieser Ausgangskeimgehalt erhöht sich über die zehntägige Lagerung nur um 0,8  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten. Im Vergleich dazu fand in Untersuchungsabschnitt I ein Anstieg der *Pseudomonas* spp. um 3,2  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten auf einen Endwert von  $\text{Log}_{10}$  7,5 KbE/g statt. Die Keimzahlen des Untersuchungsabschnittes II steigen nach zehn Tagen Lagerung um 1,3  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten auf einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  4,7 KbE/g. Wie bereits für den Untersuchungsabschnitt II beschrieben, kann auch in diesem Abschnitt zunächst von einer Hemmung des mikrobiellen Wachstums durch das  $\text{CO}_2$  innerhalb der Schutzgasatmosphäre ausgegangen werden. Hinzu kommt, dass die Zugabe der Gewürzmischung scheinbar eine zusätzliche Wachstumshemmung von *Pseudomonas* spp. bewirkt. Wie von BREWER (2000) angemerkt, zählen bestimmte *Pseudomonas*-Stämme, wie *Pseudomonas fluorescens*, zu den salzempfindlichen Bakterien, deren Wachstum bereits bei einem  $a_w$ -Wert von 0,98 Wachstum gehemmt wird.

#### BROCHOTHRIX THERMOSPACTA

Die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* liegen nach GALLO et al. (1988) bei einer aeroben Lagerung nicht niedriger als eine  $\text{Log}_{10}$ -Stufe unter der GKZ. Diese Aussage kann durch die Ergebnisse des **Untersuchungsabschnittes I** bestätigt werden. Die Keimzahlen

dieser fakultativ-anaeroben, gram-positiven Mikroorganismen machen die zweitgrößte Gruppe der Keimflora des untersuchten Putenhackfleisches aus. Sie steigen mit einem Ausgangskeimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  3,7 KbE/g signifikant zwischen den untersuchten Lagerungstagen an und erreichen zum Lagerungsende einen Wert von  $\text{Log}_{10}$  7,3 KbE/g. KOUTSOUMANIS et al. (2008) konnten bei mikrobiologischen Untersuchungen von Schweinehackfleisch nachweisen, dass es mit steigenden  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zu einem signifikant niedrigeren Wachstum von *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta* kommt. Die Wachstumshemmung von *Pseudomonas* spp. fiel vergleichsweise stärker aus. Als Grund hierfür geben sie die erhöhte Toleranz von *Brochothrix thermosphacta* gegenüber sauerstoffverbrauchten und  $\text{CO}_2$ -angereicherten Umgebungen an. Auch GILL und TAN (1980) geben an, dass  $\text{CO}_2$  keinen signifikanten Hemmeffekt auf *Brochothrix thermosphacta* besitzt. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen des vorliegenden Untersuchungsabschnittes geben auch DEL NOBILE et al. (2009) an, dass die bei ihnen eingesetzte Verpackung unter MAP (40 Vol. %  $\text{O}_2$ , 15 Vol. %  $\text{CO}_2$ , 45 Vol. %  $\text{N}_2$ ) nicht wirkungsvoll genug war, um das Wachstum von *Brochothrix thermosphacta* zu hemmen.

Die Zunahme der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* ist in **Untersuchungsabschnitt II** während des gesamten Lagerungszeitraumes doppelt so groß wie für *Pseudomonas* spp. und beträgt 2,6  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten (von  $\text{Log}_{10}$  3,2 KbE/g auf  $\text{Log}_{10}$  5,8 KbE/g). Im Untersuchungsabschnitt I beträgt der Anstieg der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* 3,6  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten. Diese Differenz zwischen den Keimzahlen der Untersuchungsabschnitte I und II fällt geringer aus als bei *Pseudomonas* spp., wo die Keimzahldifferenz ca. 2,0  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten beträgt. Dennoch kommt es für beide Untersuchungsabschnitte zu einer unterschiedlichen Keimzahlentwicklung. Während es bei den Proben des Untersuchungsabschnittes I über die gesamte Lagerungsdauer zwischen allen Untersuchungstagen zu einem signifikanten Anstieg kommt, ist ein solcher in Untersuchungsabschnitt II erst zwischen dem siebten und dem zehnten Lagerungstag messbar. Dieses verdeutlicht, wie bereits beschrieben, möglicherweise eine vergleichsweise geringere mikrobiologische Qualität der Proben des Untersuchungsabschnittes I. Der wachstumshemmende Effekt von  $\text{CO}_2$  ist gegenüber *Brochothrix thermosphacta* weniger stark ausgeprägt als gegenüber *Pseudomonas* spp.. Dies wird durch den signifikanten Anstieg der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag bestätigt. Ab dem siebten Lagerungstag stellt *Brochothrix thermosphacta* die dominierende Mikroflora dar. LOSS und HOTCHKISS (2001) bestätigen, dass *Brochothrix thermosphacta* gegenüber  $\text{CO}_2$  resistent ist. LIMBO et al. (2010) geben hingegen an, dass durch die Verwendung von  $\text{CO}_2$  im MAP nicht nur das Wachstum von *Pseudomonas* spp., sondern ebenso von *Brochothrix thermosphacta* eingeschränkt werden kann.

In **Untersuchungsabschnitt III** steigen die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* unabhängig von der eingesetzten Menge und Konzentration an CS über die zehntägige Lagerung signifikant an. Nach Einsatz von 2 ml CS (5 % bzw. 10 %) liegen die Keimzahlen während der zehntägigen Lagerung jedoch niedriger als in der unbehandelten Kontrolle. Am letzten Lagerungstag ist diese Keimzahldifferenz signifikant. Der Einsatz von CS in der Menge von 4 ml (5 % bzw. 10 %) zeigt eine ähnliche Entwicklung. Dieser Verlauf der Keimzahlen stimmt mit dem überein den DEL RIO et al. (2007) in ihren Untersuchungen durch das Eintauchen von Hühnerbeinen in eine CS-Lösung (2 %) erzielt haben. OUATTARA et al. (1997) konnten im Nährmedium für Citronensäurekonzentrationen ab 0,5 % (w/v) ebenfalls eine Wachstumshemmung von *Brochothrix thermosphacta* verzeichnen. Wie in einer in-vitro-Studie aus dem Jahr 2008 gezeigt, führt der Einsatz von CS (0,27 % w/v) bei *Brochothrix thermosphacta* zu längeren Lag-Phasen und niedrigeren Wachstumsraten. Niedrigere Konzentrationen (0,09 % w/v) haben wiederum keinen Einfluss auf das Wachstum (DEL RIO et al. 2008).

In **Untersuchungsabschnitt IV** liegt der Ausgangskeimgehalt zu Beginn der Lagerung bei  $\text{Log}_{10}$  3,2 KbE/g und erreicht am Ende der Lagerung Werte von  $\text{Log}_{10}$  7,9 KbE/g. Ab dem fünften Lagerungstag kommt es für die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* zu einem signifikanten Anstieg. Am Ende der Lagerung wird ein Keimgehalt von  $\text{Log}_{10}$  5,1 KbE/g erreicht. Während dieser im Untersuchungsabschnitt I am Ende der Lagerung bei  $\text{Log}_{10}$  7,3 KbE/g liegt, steigen im Untersuchungsabschnitt II die Keimzahlen auf einen Endwert von  $\text{Log}_{10}$  5,8 KbE/g. Die Ursache für die teilweise deutlichen Keimzahldifferenzen zwischen den Untersuchungsabschnitten I und II wurden bereits zuvor erörtert. Trotz Zugabe der Gewürzmischung stellt *Brochothrix thermosphacta* im Untersuchungsabschnitt IV ab dem siebten Lagerungstag die dominierende Flora dar. Dieses lässt vermuten, dass das enthaltende NaCl nur einen geringen wachstumshemmenden Effekt auf diesen Keim ausübt.

#### ENTEROBACTERIACEAE

Den geringsten Anteil an der Mikroflora des Status quo des Untersuchungsabschnittes I, insbesondere gegen Ende der Lagerungszeit, machen die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* aus. *Enterobacteriaceae*, eine große Gruppe fakultativ anaerober Mikroorganismen, dienen als Hygiene-Indikatoren in Lebensmitteln. Ihre Bestimmung dient als ein Hinweis auf mögliche Fäkalkontaminationen aus der Umgebung der Tiere oder des Menschen (GONZÁLEZ-MIRET et al. 2006; PATSIAS et al. 2008). *Enterobacteriaceae* sind bei niedrigen Temperaturen durch ihre kältetoleranten Arten vertreten (KREYENSCHMIDT et al. 2002). Die Keimzahlen liegen in **Untersuchungsabschnitt I** ab dem siebten Lagerungstag durchschnittlich zwei  $\text{Log}_{10}$ -Stufen unter denen von *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta*. Insgesamt findet für diese Keimgruppe während des Lagerverlaufes auch

nur ein geringes und statistisch nicht signifikantes Wachstum statt. MASTROMATTEO et al. (2009) konnten dagegen für rohe Geflügelbratlinge, die unter einer sauerstoffreichen Schutzatmosphäre gelagert wurden, nach einer achttägigen Lagerung bei +4 °C *Enterobacteriaceae* als dominierende Flora mit der größten Wachstumsrate nachweisen. Die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta* lagen eine bzw. zwei Log<sub>10</sub>-Stufen darunter. Grund für eine geringe Bedeutung der *Enterobacteriaceae* ist laut LABADIE (1999), dass Fleisch für *Enterobacteriaceae* keine spezielle ökologische Nische darstellt, weshalb sie auch nur schlecht unter MAP-verpacktem, gekühlten Bedingungen wachsen. Der schwache Verlauf ihres Stoffwechsels zeigt an, dass diese Mikroorganismen nicht optimal an das Lebensmittel Fleisch angepasst sind. Allerdings gibt ihre Bestimmung Auskunft über die Produktqualität und ist außerdem ein Indikator für eine mögliche Kontamination mit pathogenen *Enterobacteriaceae*, beispielsweise *Salmonella* spp. an.

Die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* steigen in **Untersuchungsabschnitt II** im Laufe der zehntägigen Lagerung um 0,7 Log<sub>10</sub>-Einheiten. Sie haben im Vergleich zu den anderen untersuchten Mikroorganismen aus quantitativer Sicht auch in diesem Fall die geringste Bedeutung. Allerdings liegen die Keimzahlen des Untersuchungsabschnittes II am Ende der Lagerung mit Log<sub>10</sub> 3,8 KbE/g 1,3 Log<sub>10</sub>-Einheiten niedriger als in den Proben des Untersuchungsabschnittes I, was erneut auf eine höhere mikrobiologische Qualität dieser Proben hinweist.

In **Untersuchungsabschnitt III** zeigen die Ergebnisse für die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* nach Zugabe der CS, unabhängig von der eingesetzten Konzentration und Menge, nahezu keinen Unterschied zur Kontrolle auf. Über die zehntägige Lagerung kommt es zu einem vergleichsweise niedrigeren Keimzahlanstieg. Die Keimzahlen der unbehandelten Kontrolle und den behandelten Proben (5 %, 10 %; 2 ml, 4 ml) zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Die von DEL RIO et al. (2007) festgestellte antimikrobielle Wirksamkeit von CS auf *Enterobacteriaceae* ließ sich in dem vorliegenden Untersuchungsabschnitt nicht bestätigen.

In **Untersuchungsabschnitt IV** liegt der Keimgehalt der *Enterobacteriaceae* zu Beginn der Lagerung bei Log<sub>10</sub> 3,0 KbE/g und erhöht sich über die Lagerung nur um 0,3 Log<sub>10</sub>-Einheiten. Das ist der geringste Anstieg in allen vier Untersuchungsabschnitten. Im Vergleich dazu wurden für den Untersuchungsabschnitt I am Lagerungsende Keimzahlen von Log<sub>10</sub> 5,1 KbE/g und für den Untersuchungsabschnitt II Keimzahlen von Log<sub>10</sub> 3,8 KbE/g erreicht. Das in der Gewürzmischung enthaltene NaCl scheint über die gesamte Lagerungsdauer einen keimhemmenden Effekt zu haben, wie er auch schon von KRÄMER (2007) beschrieben wird. Auch SALLAM und SAMEJIMA (2004) konnten nachweisen, dass die Keimzahlen von *Enterobacteriaceae* in gekühltem Rinderhackfleisch nach einer Lagerungsdauer von 21

Tagen (+2 °C) nach Zugabe von NaCl (30 g/kg) ( $\text{Log}_{10}$  5,2 KbE/g) signifikant ( $p \leq 0,05$ ) niedriger lagen, als die der unbehandelten Kontrolle ( $\text{Log}_{10}$  7,4 KbE/g).

#### BESTIMMUNG THERMOPHILER *CAMPYLOBACTER*, *SALMONELLA* SPP. UND *LISTERIA MONOCYTOGENES*

Viele lebensmittelbedingte Erkrankungen werden durch den Verzehr von Geflügelfleisch hervorgerufen. Für Geflügelfleisch und daraus hergestellte Produkte haben als pathogene Mikroorganismen *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Staphylococcus aureus*, gelegentlich *Bacillus cereus* sowie psychrotrophe Pathogene wie *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica* und *Listeria (L.) monocytogenes* die größte Bedeutung (MONTERRAT und YUSTE 2010). In Untersuchungsabschnitt II erfolgte zusätzlich zu den quantitativen Untersuchungen auch der qualitative Nachweis ausgewählter pathogener Mikroorganismen. Während der Prozessschrittanalyse konnten in den Proben *Salmonella* spp. und *L. monocytogenes*, nicht jedoch thermophile *Campylobacter* qualitativ nachgewiesen werden. Das lebende Geflügel stellt ein Hauptreservoir für *Salmonella* spp. und *Campylobacter* dar (MEAD 2004a). Die Prävalenz von *Salmonella* erhöht sich im geschlachteten Geflügel, im Gegensatz zum lebenden Tier um etwa das Zehn- bis Fünfzehnfache. Grund hierfür sind auftretende Kreuzkontaminationen (FEHLHABER 2005). Die Nachweisrate von *Salmonella* während der Prozessstufenanalyse ist gering, was dadurch begründet werden kann, dass das Rohmaterial vor der Weiterverarbeitung gemäß den rechtlichen Vorgaben (VO (EG) 2160/2003; VO (EG) 2073/2005) bereits auf *Salmonella* getestet wurde. *Salmonella* konnte in den Proben trotz dieser Voruntersuchungen allerdings einmal im Rohstoff vor Weiterverarbeitung nachgewiesen werden. Im Schlachthof sowie während des Schlacht- und Zerlegeprozesses kann es durch Schlachtkörper oder Arbeitsgeräte auch zu einer Kontamination mit *L. monocytogenes* kommen. Dieser Keim besitzt die Fähigkeit, sich auch noch bei Kühlschranktemperaturen zu vermehren und wird sehr häufig in Geflügelfleisch sowie Hackfleisch nachgewiesen (MEAD 2004a). Insbesondere die Flügel von Hähnchen und Pute sind häufig kontaminiert (MCKEE 2007a). *L. monocytogenes* wurde während der Prozessstufenanalyse in 14,6 % der Proben nachgewiesen. Prävalenzen von 26 % sind für den Nachweis von *L. monocytogenes* in frischen Geflügelfleischprodukten nicht unüblich (MAYRHOFER et al. 2004).

Während der Lagerungsversuche des Untersuchungsabschnittes II wurde bei der qualitativen Bestimmung der drei untersuchten pathogenen Mikroorganismen nur *L. monocytogenes* in 12,0 % der Proben nachgewiesen. Zahlreiche Studien belegen, dass *L. monocytogenes* nicht nur bei sehr niedrigen Temperaturen (+2 bis +4 °C) überleben, sondern sich sogar vermehren kann (GLASS UND DOYLE 1989; LIANOU et al. 2007; WEISE 2003; ZHU et al. 2005). In Untersuchungen von LIANOU et al. (2007) konnte in beimpfter

Putenbrust im Verlauf einer 25-tägigen aeroben Lagerung bei +4 °C ein Anstieg von *L. monocytogenes* von  $\text{Log}_{10}$  1,6 KbE/cm<sup>2</sup> auf 7,3 KbE/cm<sup>2</sup> ermittelt werden. WEISE und TEUFEL (1989) konnten auf geschlachtetem Hühnchen im Verlauf einer 10-tägigen Kühllagerung ebenfalls einen Anstieg von *Listeria* spp. nachweisen. Durch die Lagerung des Fleisches bei höheren Temperaturen wird das Wachstum von *L. monocytogenes* begünstigt. Eine Erhöhung der Lagerungstemperatur bewirkt einen Anstieg der maximalen Wachstumsrate von *L. monocytogenes* (BURNETT et al. 2005). Bei einer Lagerung bei +7 °C steigt die Anzahl an *L. monocytogenes* in Putenbrust bereits nach 12 Tagen Lagerung um bis zu 4,5  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten an (LIANOU et al. 2007). Auch Untersuchungen von BURNETT et al. (2005) bestätigen, dass bei einer 14-tägigen aeroben Lagerung, insbesondere bei Temperaturen von +7 oder +10 °C, das Wachstum diesen pathogenen Keimes gefördert wird. Die vorliegenden Studien zeigen, dass aufgrund des ubiquitären Vorkommens und ihrer Fähigkeit sich auch noch bei niedrigen Temperaturen zu vermehren, die alleinige Kühllagerung von weiterverarbeiteten Fleischprodukten nicht genug ist, um eine ausreichende mikrobiologische Sicherheit gegenüber *L. monocytogenes* bieten zu können (ZHU et al. 2005). Um Kontaminationen mit *L. monocytogenes* zu vermeiden sollte an erster Stelle ein effektives und richtiges Hygieneprogramm stehen (GLASS UND DOYLE 1989). Da eine mikrobielle Belastung mit *L. monocytogenes* nicht ausgeschlossen werden kann, muss zur Verhinderung von lebensmittelbedingten Erkrankungen eine Aufklärung der Verbraucher erfolgen. Dies stimmt mit Aussagen von BOLDER (2007) überein.

#### ZUSAMMENFÜHRENDE BETRACHTUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN ERGEBNISSE (T1)

Die Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes I verdeutlichen, dass es sich bei frischem Putenhackfleisch um ein leicht verderbliches Lebensmittel handelt. In der Literatur (MCKEE 2007b; MEAD 2004b; SENTER et al. 2000) werden unterschiedliche Grenzwerte angegeben, nach denen bei Geflügelfleisch erste Verderberscheinungen auftreten. Nach MEAD (2004b) treten diese bereits bei Keimzahlen ab  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g auf. In Untersuchungsabschnitt I wird bereits nach fünf Tagen Lagerung, trotz einer konsequenten Kühltemperatur von +2 °C, eine GKZ von  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g erreicht. Parallel dazu kommt es für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. als auch *Brochothrix thermosphacta*, die als typische Verderbniserreger von frischem Geflügelfleisch angesehen werden können, über den Lagerungsverlauf ebenso zu signifikanten Anstiegen.

Grundsätzlich kann jeder einzelne Prozessschritt während der Hackfleischproduktion eine zusätzliche Kontaminationsquelle darstellen. In Kombination mit erhöhten Ausgangskeimgehalten kann dieses zu einer verminderten Haltbarkeit führen, weshalb geeignete Hygienemaßnahmen während der Fleischverarbeitung essentiell sind, um die

Haltbarkeit zu verlängern (BOHNSACK und HÖPKE 1990). Für die Prozessschrittanalyse des Untersuchungsabschnittes II lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die einzelnen Prozessstufen unter den gegebenen Bedingungen nur einen geringen Einfluss auf die mikrobiologische Belastung des Endproduktes ausüben. Für *Brochothrix thermosphacta*, *Pseudomonas* spp. und *Enterobacteriaceae* kommt es während des gesamten Herstellungsprozesses zu keinen signifikanten Keimzahlanstiegen ( $p > 0,05$ ). Eine Ausnahme stellt der Abfüllprozess in die MAP-Verpackung dar, der zu einem geringen, jedoch statistisch signifikanten Anstieg der GKZ führt. Die folgenden Lagerungsversuche des Untersuchungsabschnittes II konnten über geringere Keimzahlanstiege verdeutlichen, dass eine niedrigere Ausgangskeimbelastung zu einer höheren mikrobiologischen Stabilität über die Lagerung führen kann.

In den Hauptversuchen des Untersuchungsabschnittes III sollte überprüft werden, ob der Einsatz von CS als Sprühnebel über eine Minimierung der Keimbelastung auf der Oberfläche den mikrobiellen Verderb des Produktes verzögert. Dieser geht gemäß BOHNSACK und HÖPKE (1990) und MCNAMARA (1997) von der Oberfläche aus. Die in der Literatur vielfach beschriebene antimikrobielle Wirksamkeit von CS konnte jedoch nur partiell bestätigt werden. Wie bereits von DEL RIO et al. (2007) und OKALOCHA und ELLERBROEK (2005) angemerkt, wird zudem ein Vergleich der antimikrobiellen Wirksamkeit von CS in Fleisch und Fleischerzeugnissen zwischen verschiedenen Studien durch verschiedene Faktoren erschwert. Dazu zählen die Probenahmeart sowie die Bedingungen während der Behandlung mit CS, wie beispielsweise Zeit, Temperatur, Methode sowie Konzentration. Die vergleichsweise positiven Ergebnisse aus Studien von ACUFF et al. (1987), DEL RIO et al. (2007) und FU et al. (1994) resultieren möglicherweise aus der abweichenden Probenentnahmemethode. Während in den vorliegenden Untersuchungen die Entnahme einer Gesamtprobe erfolgte, wurde in den zuvor genannten Studien nur eine Oberflächenprobe entnommen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass es sich bei dem in den vorliegenden Untersuchungen verwendeten Putenhackfleisch um ein leicht verderbliches Lebensmittel handelt. Im Gegensatz dazu wurde in den Studien von CUTTER und SIRAGUSA (1994), DEL RIO et al. (2007), FU et al. (1994), GONZÁLEZ-FANDOS et al. (2009), KIM und MARSHALL (2000) und MIN et al. (2007) größtenteils unverarbeitete Teilstücke mit CS behandelt. Diese wiesen möglicherweise ein anderes Keimspektrum auf, als das untersuchte Putenhackfleisch und besaßen zudem aus mikrobiologischer Sicht ein geringeres Verderbspotential. Außerdem wurden andere Applikationsformen und Konzentrationen für die CS gewählt, so dass ein direkter Vergleich erschwert ist. Laut DEL RIO et al. (2007) muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass es in Abhängigkeit des Schlachthofes zu einer variierenden Zusammensetzung der Mikroflora kommen kann und

diese die Effizienz von Säuren zur Dekontamination beeinflusst. Die Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes III zeigen, dass CS grundsätzlich eine antimikrobielle Wirksamkeit besitzt. Dabei muss in Abhängigkeit der Applikationsform aber beachtet werden, dass auftretende Farb- und Konsistenzveränderungen den Einsatz der CS in Pulver- und Lösungsform stark einschränken. Wie in den Vorversuchen gezeigt, ist Anwendung als Sprühnebel hinsichtlich der Erhaltung dieser Parameter bei gleichzeitiger antimikrobieller Wirkung besser geeignet. In den Hauptversuchen zeigt sich jedoch nur eine partielle Bestätigung dieser Wirkung. Eine Erhöhung der Aufbringungsmenge und Konzentration zur Verbesserung der antimikrobiellen Wirksamkeit ist allerdings unter gleichzeitiger Bewahrung der Fleischqualität nur eingeschränkt möglich.

Die in der Literatur beschriebene antimikrobielle Wirksamkeit von NaCl lässt sich in Untersuchungsabschnitt IV bestätigen. Dies wird besonders deutlich, wenn die Werte der aeroben mesophilen GKZ am Ende der Lagerung betrachtet werden. Diese liegen noch nach einer zehntägigen Lagerung bei +2 °C (**T1**) mit  $\text{Log}_{10} 5,4 \text{ KbE/g}$  deutlich unter der GKZ der Untersuchungsabschnitte I, II und III. Zudem kommt es für die GKZ über den Lagerungsverlauf zu keinen signifikanten Anstiegen. Das NaCl hat dabei scheinbar eine größere Wirksamkeit auf die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. und *Enterobacteriaceae* als auf die von *Brochothrix thermosphacta*. Allerdings steigt durch den hohen NaCl-Gehalt der Gewürzmischung (NaCl-Gehalt von 94 %) der Kochsalzgehalt des Putenhackfleisches auf 1,3 % an. Hierdurch handelt es sich per se nach VO (EG) 853/2004 nicht mehr um Hackfleisch, sondern um eine Fleischzubereitung (zubereitetes Putenhackfleisch).

#### 5.3.3.2 SIMULATION EINES VERBRAUCHERVERHALTENS (**T2**)

Die Lagerungstemperatur ist der wichtigste extrinsische Parameter für die Haltbarkeit von leicht verderblichen Lebensmitteln (KOUTSOUMANIS et al. 2006; REGEZ et al. 1988). Sie beeinflusst das mikrobielle Wachstum entscheidend (MCNAMARA 1996). Wichtig ist ebenso die Einhaltung der Kühlkette, denn eine Nicht-Unterbrechung der Kühlkette ist nach BOLDER (2007) der Schlüssel zur Kontrolle des Wachstums von Verderbniserregern. Ein Temperaturmissbrauch während der Kühlkette kann zu einem unerwarteten Qualitätsverlust und zu einer signifikanten Verringerung der Haltbarkeit des Fleisches führen (KOUTSOUMANIS et al. 2006). Über das Einkaufsverhalten von Verbrauchern, dem anschließendem Transport und der Lagerung in Haushaltskühlschränken liegen zahlreiche Studien vor. Viele dieser Untersuchungen konnten nachweisen, dass die vom Hersteller vorgegebenen Temperaturen nach dem Kauf durch den Verbraucher nicht eingehalten werden. Die Aufrechterhaltung der Kühlkette gilt als das schwächste Segment für die Erhaltung von Sicherheit und Qualität eines gekühlten Lebensmittels (KOUTSOUMANIS und TAOUKIS 2005; NYCHAS und SKANDAMIS



2005). Es ist hinreichend bekannt, dass es während des Transports von gekühlten Produkten durch den Verbraucher oft zu einer Unterbrechung der Kühlkette kommt (NAUTA et al. 2003), die eine Erwärmung des Produktes bewirkt. Die Simulation des Verbraucherverhaltens (**T2**) in der vorliegenden Arbeit soll Informationen darüber geben, wie sich die Keimzahlen in frischem Putenhackfleisch unter solchen Lagerungsbedingungen entwickeln.

#### AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)

Ab dem dritten Lagerungstag kommt es bei den Proben aller Untersuchungsabschnitte zu einem sprunghaften und statistisch signifikanten Anstieg der aeroben mesophilen GKZ. Die Zugabe einer mikrobiologischen Hürde (CS, Gewürzmischung) kann diesen Anstieg nicht verhindern. Auch KREYENSCHMIDT et al. (2002) bestätigen, dass mit zunehmender Temperatur die Wachstumskurven steiler verlaufen und die charakteristischen Phasen des Wachstums zeitlich enger beieinander liegen. Nach SENTER et al. (2000) sind Geflügelfleischprodukte nicht mehr verzehrfähig, wenn sie eine aerobe mesophile GKZ von  $\text{Log}_{10}$  7,0 KbE/g erreicht haben. Der beschriebene mikrobiologische Grenzwert wird von den Proben des **Untersuchungsabschnittes I** bereits am fünften Lagerungstag mit  $\text{Log}_{10}$  7,1 KbE/g erreicht. Im Vergleich dazu wird dieser Wert bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) erst am zehnten Lagerungstag überschritten. Am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag liegt die GKZ beim simulierten Verbraucherverhalten signifikant höher als bei **T1**. Die Proben, die in **Untersuchungsabschnitt II** untersucht wurden, erreichen am siebten Tag der Lagerung mit  $\text{Log}_{10}$  7,1 KbE/g den vorgegebenen Grenzwert von SENTER et al. (2000), während dieser bei **T1** mit  $\text{Log}_{10}$  6,3 KbE/g bis zum Ende der Lagerung nicht erreicht wird. Im Vergleich zu **T1** ist die GKZ unter Simulierung des Verbraucherverhaltens (**T2**) an den Tagen fünf, sieben und zehn der Lagerung signifikant höher. In beiden Untersuchungsabschnitten wird der Einfluss der Lagerungstemperatur auf das Keimwachstum deutlich. Dies stimmt auch mit den Angaben aus der Literatur überein. GRANDISON und JENNINGS (1993) geben an, dass unter einer sauerstoffreichen Atmosphäre verpacktes zerkleinertes Hähnchenfleisch bei einer Lagerung bei +12 °C bereits am fünften Tag verdorben war. Auch bei SENTER et al. (2000) führte eine Lagerung bei erhöhten Temperaturen (+13 °C) zu einem verstärkten Anstieg der GKZ von Hühnchenflügeln, die bereits am zweiten Lagerungstag Keimzahlen von  $\text{Log}_{10}$  8,9 KbE/g erreichten. Basierend auf den Werten von SENTER et al. (2000) geben SMOLANDER et al. (2004) an, dass sich bei Herabsetzen der Lagerungstemperatur um durchschnittlich +5 °C die Dauer der Haltbarkeit um mehr als die Hälfte verdoppeln kann. Geflügelteilstücke, die konsequent bei einer Temperatur von ca. +3 °C gelagert wurden, erreichten den festgelegten Grenzwert am zwölften Tag der Lagerung. Dahingegen überschritten Teilstücke, die eine

kurzfristige Temperaturerhöhung auf +22 °C erfuhren und anschließend bei etwa +8 °C gelagert wurden, diesen bereits am fünften Lagerungstag.

Bei den in **Untersuchungsabschnitt III** untersuchten Proben wurde der mikrobiologische Grenzwert im Falle der unbehandelten Kontrolle am fünften Lagerungstag mit  $\text{Log}_{10}$  7,0 KbE/g erreicht. Bei den bei **T1** gelagerten Proben wird dieser Grenzwert erst am zehnten Lagerungstag mit  $\text{Log}_{10}$  8,4 KbE/g überschritten. Die unbehandelte Kontrolle wies für die Proben von **T2** ab dem fünften Lagerungstag eine signifikant höhere GKZ auf als für die Proben von **T1**. Im Vergleich dazu wurde der mikrobiologische Grenzwert unter dem simulierten Verbraucherverhalten (**T2**) bei den mit CS behandelten Proben (5 %, 10 %; 2 ml, 4 ml) erst am siebten Tag überschritten. Für die mit CS behandelten Proben, die bei **T1** gelagert wurden, wurde der Grenzwert am zehnten Lagerungstag nur von der Probe, die in der Konzentration von 5 % (2 ml) behandelt wurde, erreicht. Die übrigen Proben überschritten den Grenzwert während der Lagerungsdauer nicht. Signifikante Unterschiede in der GKZ zwischen **T1** und **T2** zeigen sich bei diesen Proben ab dem siebten Lagerungstag. Auch hier wird der Einfluss der Lagerungstemperatur deutlich. Bei **T2** liegt im Vergleich zu **T1** bei allen Proben des Untersuchungsabschnittes eine höhere GKZ vor und die mikrobiologischen Grenzwerte werden früher erreicht. Durch die Zugabe von CS kommt es jedoch im Vergleich zu der unbehandelten Kontrolle zu einer Verzögerung des Verderbsprozesses. Dies zeigt sich vor allem in dem verspäteten Erreichen des mikrobiologischen Grenzwertes von SENTER et al. (2000). In **Untersuchungsabschnitt IV** erreichen die Proben den vorgegebenen mikrobiologischen Grenzwert von  $\text{Log}_{10}$  7,0 KbE/g erst am zehnten Lagerungstag ( $\text{Log}_{10}$  8,2 KbE/g), die Proben von **T1** erreichen diesen dagegen während der gesamten Lagerungsdauer nicht ( $\text{Log}_{10}$  5,4 KbE/g). Im Vergleich zu den Proben, die konsequent bei +2 °C (**T1**) gelagert wurden, liegt die GKZ für die Proben von **T2** am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher. Auch hier ist der Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung der GKZ deutlich. Im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsabschnitten fällt jedoch auf, dass bei **T2** unter Einsatz der Gewürzmischung der mikrobiologische Grenzwert von  $\text{Log}_{10}$  7,0 KbE/g erst wesentlich später, am letzten Lagerungstag überschritten wird. Dies zeigt einen keimhemmenden Effekt des NaCl in der Gewürzmischung auch bei höheren Temperaturen, wenn auch in abgeschwächter Form.

#### QUANTITATIVE ZUSAMMENSETZUNG DER MIKROFLORA DER UNTERSUCHUNGSABSCHNITTE I BIS IV BEI ERHÖHTEN LAGERUNGSTEMPERATUREN (**T2**)

In den vier Untersuchungsabschnitten zeigt sich, dass bei erhöhten Lagerungstemperaturen (**T2**) *Brochothrix thermosphacta* zumeist ab dem fünften Lagerungstag die dominierende Mikroflora darstellt. Eine Ausnahme hiervon stellen die mit 10 %iger (2 ml, 4 ml) sowie die mit 5 %iger (4 ml) CS behandelten Proben dar. In diesen Proben dominiert *Brochothrix*

*thermosphacta* erst ab dem siebten Lagerungstag. Zuvor sind *Pseudomonas* spp. aus quantitativer Sicht in allen Untersuchungsabschnitten von größter Bedeutung. Bei einer konsequenten Kühllagerung bei +2 °C (**T1**) stellt *Pseudomonas* spp. im Gegensatz dazu bis zum zehnten Lagerungstag oder über diesen hinweg die dominierende Flora dar. Nur in den Proben des Untersuchungsabschnittes IV macht *Brochothrix thermosphacta* bereits am siebten Lagerungstag die vorherrschende Mikroflora aus. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt damit, dass die erhöhte Lagerungstemperatur (**T2**) das Wachstum von *Brochothrix thermosphacta* begünstigt. Dies stimmt mit den Aussagen von MCNAMARA (1997) überein, der angibt, dass durch steigende Lagerungstemperaturen gram-positive Bakterien zunehmend an Bedeutung gewinnen.

#### PSEUDOMONAS SPP.

Es kommt für die Proben aus allen vier Untersuchungsabschnitten während der Simulation des Verbraucherverhaltens (**T2**) zu einem kontinuierlichen Keimzahlanstieg von *Pseudomonas* spp.. Dieser fällt für diese Proben größtenteils stärker aus als für die Proben, die konsequent bei +2 °C (**T1**) gelagert werden. In **Untersuchungsabschnitt I** erfolgt für die Proben von **T2** über die zehntägige Lagerung ein signifikanter Anstieg der Keimzahlen auf  $> \text{Log}_{10} 8,0 \text{ KbE/g}$ , während die Proben des **Untersuchungsabschnittes II** nach einem kontinuierlichem Keimzahlanstieg am Lagerungsende einen Wert von  $> \text{Log}_{10} 6,0 \text{ KbE/g}$  erreichen. Diese Keimzahldifferenzen resultieren möglicherweise aus dem höheren Ausgangskeimgehalt der Proben des Untersuchungsabschnittes I. Der Einfluss der Lagerungstemperatur auf das Keimwachstum von *Pseudomonas* spp. zeigt sich bei einem Vergleich von **T1** und **T2** in signifikant höheren Keimzahlen am siebten und zehnten (Untersuchungsabschnitt I) bzw. zehnten Lagerungstag (Untersuchungsabschnitt II). Auch KREYENSCHMIDT et al. (2002) haben nachgewiesen, dass sich eine Unterbrechung der Kühlkette und eine Lagerung bei erhöhten Temperaturen negativ auf die mikrobiologische Qualität von Hühnerbrustfilets auswirkt. Durch die Erhöhung der Lagerungstemperatur verkürzte sich die Lag-Phase und der Zeitpunkt der maximalen Vermehrungsrate von *Pseudomonas* spp., was den Einfluss der Lagerungstemperatur auf die Keimentwicklung verdeutlicht. Neben den verbesserten Wachstumsbedingungen, die durch eine erhöhte Temperatur geschaffen werden, beeinflusst diese auch die keimhemmende Wirkung des CO<sub>2</sub>. Laut KOUTSOUMANIS et al. (2008), ÖZBAS (1996) und SMITH (1990) kommt es zu einer Erniedrigung der antimikrobiellen Eigenschaften. Hingegen kommt es mit abnehmender Temperatur zu einer erhöhten Löslichkeit von CO<sub>2</sub> in der wässrigen Phase des Produktes und damit zu einer Verbesserung der antimikrobiellen Wirksamkeit (GILL 1988; FARBER 1991). In **Untersuchungsabschnitt III** kommt es für alle Proben infolge der Temperaturerhöhung (**T2**) im Vergleich zu **T1** zu einem stärkeren Keimzahlanstieg. Am

siebten und am zehnten Lagerungstag ist der Keimgehalt von *Pseudomonas* spp. der Proben, die bei **T2** gelagert wurden, signifikant höher als bei den Proben von **T1**. Hier zeigt sich erneut, dass eine Erhöhung der Temperatur die Wachstumsbedingungen für *Pseudomonas* spp. verbessert. Gleichzeitig weisen die behandelten Proben von **T2** an diesen Lagerungstagen signifikant niedrigere Keimgehalte auf, als die unbehandelten Proben. In Folge der erhöhten Temperatur kommt es für die Kontrolle zu einem starken Keimzahlanstieg. Diese temperaturbedingte Zunahme der Keimgehalte von *Pseudomonas* spp. wird durch die Zugabe der CS scheinbar abgeschwächt, so dass signifikante Unterschiede entstehen. In den Proben des **Untersuchungsabschnittes IV** führt die erhöhte Lagerungstemperatur zu einem stärkeren Keimzahlanstieg von *Pseudomonas* spp. als bei einer Lagerungstemperatur von +2 °C (**T1**). Am zehnten Lagerungstag unterscheiden sich die Keimzahlen von **T1** ( $\text{Log}_{10}$  3,9 KbE/g) und **T2** ( $\text{Log}_{10}$  5,6 KbE/g) signifikant voneinander. Im Vergleich zu den mit einer Gewürzmischung behandelten Proben liegen die Keimgehalte des Untersuchungsabschnittes I am Lagerungsende 2,6  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten höher, die des Untersuchungsabschnittes II 0,7  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten. Wie bereits für **T1** diskutiert besteht die zugefügte Gewürzmischung größtenteils aus NaCl, wodurch das Wachstum von *Pseudomonas* spp. gehemmt werden kann (KRÄMER 2002). Auch wenn das in der Gewürzmischung enthaltene Kochsalz bei niedrigen Konzentrationen nur als ein Hemmfaktor innerhalb des Hürdenkonzeptes anzusehen ist (HILDEBRANDT 2004), führt die Zugabe der Gewürzmischung im vorliegenden Untersuchungsabschnitt, auch bei einer höheren Lagerungstemperatur, zu einem keimhemmenden Effekt.

#### BROCHOTHRIX THERMOSPACTA

*Brochothrix thermosphacta* stellt, wie bereits beschrieben, in den vier Untersuchungsabschnitten zumeist ab dem fünften Lagerungstag die dominierende Flora dar. Aufgrund der erhöhten Lagerungstemperatur (**T2**) fällt der Keimzahlanstieg während Lagerung höher aus als bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**). In den **Untersuchungsabschnitten I und II** kommt es für die Proben von **T2** zu einem kontinuierlichen Anstieg ( $p \leq 0,05$ ) der Keimzahlen auf  $\text{Log}_{10} > 8,0$  KbE/g. Die signifikant höheren Keimzahlen am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag bei einem Vergleich mit den Proben von **T1** verdeutlichen den Einfluss der Lagerungstemperatur. Entgegen diesen Ergebnissen besagen Untersuchungen von KOUTSOUMANIS et al. (2006), dass die Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* in Hackfleisch (Schwein, Rind) unabhängig von der Lagerungstemperatur die gleiche Entwicklung zeigen und immer Endkeimgehalte von  $\text{Log}_{10}$  8,0 KbE/g erreichen. MCNAMARA (1997) geben an, dass bei höheren Lagerungstemperaturen gram-positiven Mikroorganismen, zu denen auch *Brochothrix thermosphacta* zählt, eine größere Bedeutung zukommt. Entgegen diesen Aussagen, die

von den eigenen Untersuchungen gestützt werden, konnten NYCHAS (1997) bei einer siebentägigen Lagerung von Geflügelfilets bei +10 °C *Pseudomonas* spp. als dominierende Flora nachweisen. *Brochothrix thermosphacta* machte dagegen nur den zweitgrößten Anteil aus. Auch in den **Untersuchungsabschnitten III und IV** kommt es in Folge der erhöhten Lagerungstemperatur (**T2**) zu höheren Keimzahlenanstiegen als bei **T1**, die größtenteils signifikant sind. In Folge dessen weisen die bei **T2** gelagerten Proben am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höhere Keimzahlen auf als die Proben von **T1**. Darüber hinaus zeigt sich in Untersuchungsabschnitt III ein keimhemmender Effekt der eingesetzten CS. Während die unbehandelte Kontrolle am Ende der Lagerung eine Keimzahl von  $\text{Log}_{10} > 8,0$  KbE/g erreicht, sind die mit CS behandelten Proben zum gleichen Zeitpunkt mit Keimzahlen  $\text{Log}_{10} < 8,0$  KbE/g weniger stark belastet. Für die CS-Konzentration von 10 % (2 ml, 4 ml) ist dieser Unterschied signifikant. Auch nach Zugabe der Gewürzmischung im Untersuchungsabschnitt IV erfolgt ein signifikanter Anstieg auf Keimzahlen von  $\text{Log}_{10} 7,9$  KbE/g. Die Ergebnisse zeigen, dass das NaCl in der Gewürzmischung infolge der erhöhten Lagerungstemperatur (**T2**) im Vergleich zu Untersuchungsabschnitt I und II keinen keimhemmenden Effekt ausübt.

#### ENTEROBACTERIACEAE

Die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* machen für die Proben des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) in den vier Untersuchungsabschnitten im Vergleich zu *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta* den geringsten Anteil an der Mikroflora aus. In den **Untersuchungsabschnitten I und II** kommt es bis zum siebten bzw. zehnten Lagerungstag zu signifikanten Keimzahlenanstiegen. Im Untersuchungsabschnitt I führt dieser Anstieg dazu, dass die bei **T2** gelagerten Proben am fünften, siebten und zehnten Lagerungstag signifikant höher liegen als die Proben für **T1**. Am Ende der Lagerung wird eine Keimzahl von  $> \text{Log}_{10} 6,0$  KbE/g ermittelt, während diese für **T1** eine  $\text{Log}_{10}$ -Einheit niedriger liegt. Im Untersuchungsabschnitt II lassen sich signifikant höhere Keimzahlen für **T2** an den Lagerungstagen sieben und zehn feststellen. Mit einem Endwert von  $> \text{Log}_{10} 5,0$  liegt die Keimzahl der *Enterobacteriaceae* für **T2** 1,6  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten höher als für **T1**. Laut VAIKOUSI et al. (2009) verursachen Temperaturen zwischen +10 und +15 °C für *Enterobacteriaceae* erhöhte Keimzahlen und beschleunigte Wachstumsraten auf Werte von  $\text{Log}_{10} 5,0$  bis 7,0 KbE/g. SMOLANDER et al. (2004) bestätigen ebenso, dass eine Erhöhung der Lagerungstemperatur in einer verstärkten Zunahme der Keimzahlen von *Enterobacteriaceae* resultiert. In ihren Untersuchungen stiegen innerhalb von zwölf Lagerungstagen die Keimzahlen bei Lagerungstemperaturen  $> +5,4$  °C jedoch um vier bis sechs  $\text{Log}_{10}$ -Einheiten an. Bei niedrigeren Temperaturen (+3,4 °C) kam es hingegen im gleichen Zeitraum nur zu einer Keimzahlzunahme um eine  $\text{Log}_{10}$ -Einheit. Dieser

temperaturabhängige Anstieg der Keimzahlen ließ sich in den vorliegenden Untersuchungen nur in einer abgeschwächten Intensität bestätigen. Dies resultiert möglicherweise aus der Verwendung einer anderen Zusammensetzung der Schutzatmosphäre. Die Keimzahldifferenzen von einer  $\text{Log}_{10}$ -Einheit zwischen den Untersuchungsabschnitten I und II lassen sich auf die unterschiedliche Ausgangskeimbelastung zurückführen. In den **Untersuchungsabschnitten III und IV** kommt es ebenso zu einem, im Vergleich zu **T1**, höheren Keimzahlanstieg, der jedoch erst zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag signifikant ist. Eine signifikant höhere Keimzahl besteht im Vergleich zu **T1** für beide Untersuchungsabschnitte nur am zehnten Lagerungstag. Ein keimhemmender Effekt der CS ist im Untersuchungsabschnitt III nicht nachzuweisen, da sowohl die Kontrolle als auch die behandelten Proben am Ende der Lagerung eine Keimzahl von  $> \text{Log}_{10} 6,0 \text{ KbE/g}$  erreichen und keine signifikanten Unterschiede zwischen den behandelten und unbehandelten Proben vorliegen. So zeigte der Einsatz der CS in sprühvernebelter Form auch hier nicht die erhoffte Wirkung. Im Untersuchungsabschnitt IV bleiben die Keimzahlen der *Enterobacteriaceae* bis zum siebten Lagerungstag stabil. Dies lässt sich auf den keimhemmenden Effekt des NaCl zurückführen, der auch schon für die Proben von **T1** beobachtet werden konnte (vgl. Kapitel 5.3.3.4). Allerdings kommt es zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag zu einem signifikanten Anstieg, der für die Proben von **T1** nicht beobachtet werden konnte. NaCl aus der Gewürzmischung wirkt insbesondere durch die Absenkung des  $a_w$ -Wertes antimikrobiell. Möglicherweise führt dieses, ähnlich wie bei anderen antimikrobiellen Agentien, zu einer Verlängerung der Lag-Phase (OUATTARA et al. 1997). Infolge der Temperaturerhöhung (**T2**) kommt es scheinbar zu einer Verkürzung dieses Effektes, wodurch es zu dem signifikanten Keimzahlanstieg kommt.

#### ZUSAMMENFÜHRENDE BETRACHTUNG DER MIKROBIOLOGISCHEN ERGEBNISSE BEI ERHÖHTEN LAGERUNGSTEMPERATUREN (**T2**)

Infolge der Temperaturerhöhung kommt in den Untersuchungsabschnitten I, II, III und IV zu einer Verstärkung der bereits für die Proben von **T1** beschriebenen Vorgänge, weshalb an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung der einzelnen Abschnitte verzichtet wird. Es kommt unabhängig vom jeweiligen Untersuchungsabschnitt größtenteils zu statistisch signifikanten Keimzahlanstiegen. Dabei wird deutlich, dass sich antimikrobielle Effekte, insbesondere die der zugefügten Gewürzmischung, durch erhöhte Lagerungstemperaturen minimieren. Das simulierte Verbraucherverhalten verdeutlicht, dass die mikrobiologische Stabilität neben einem niedrigen Ausgangskeimgehalt, wie es die Ergebnisse von **T1** zeigen, nur erhöht werden kann, wenn die Lagerungstemperatur möglichst niedrig ist und die Kühlkette nicht unterbrochen wird (SMOLANDER et al. 2004).

### 5.3.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die erzielten Ergebnisse liefern einen Überblick über die mikrobiologische Stabilität von Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre als neues Frische-Convenience-Produkt in Deutschland. Darüber hinaus wurden neben den mikrobiologischen Analysen ausgewählte chemische und physikalische Parameter zur weiteren Beurteilung der Produktqualität über eine zehntägige Lagerung bestimmt. Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit hatten das Ziel, neben einer umfassenden Analyse der Produktbeschaffenheit und des Herstellungsprozesses, ein über den Zeitraum des Verbrauchsdatums für Produzenten und Verbraucher mikrobiologisch stabiles Produkt gewährleisten zu können. Dieses Ziel lässt sich auf Grundlage der erzielten Ergebnisse jedoch nur unter bestimmten Bedingungen realisieren. Die vorliegenden Daten dieser Arbeit lassen die nachfolgenden Schlüsse zu.

Grundsätzlich kann, wie bereits beschrieben, bestätigt werden, dass es sich beim neuen Frische-Convenience-Produkt „Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre“ um ein leicht verderbliches Lebensmittel handelt. Es kommt in allen vier Untersuchungsabschnitten, unabhängig von der Zugabe der zusätzlichen Hürden (CS, Gewürzmischung), über die Kühllagerung hinweg mit steigenden Keimzahlen grundsätzlich zu einem zunehmenden Verlust der Produktqualität. Im Hinblick auf die physikalisch-chemischen Parameter erfolgen die stärksten Veränderungen für den Rotwert ( $a^*$ -Wert) des Putenhackfleisches ebenso wie für die Schutzatmosphärenanteile  $O_2$  und  $CO_2$ , insbesondere zwischen dem siebten und zehnten Lagerungstag. Das mikrobiologische Wachstum führt innerhalb der Schutzgasverpackung infolge zunehmender mikrobieller Stoffwechselprozesse von aeroben Mikroorganismen, wie *Pseudomonas* spp., zu einem Verbrauch von  $O_2$  und einem Anstieg von  $CO_2$ . Dies ist als Ursache für die in allen Untersuchungsabschnitten nachgewiesene, über den Lagerungsverlauf zunehmende Abnahme des Rotwertes anzusehen, da weniger  $O_2$  zur Bildung von Oxymyoglobin zur Verfügung steht. Infolgedessen kommt es zu einer erhöhten Bildung von Metmyoglobin. Dabei scheint die Zugabe von CS als Sprühnebel (Untersuchungsabschnitt III/Hauptversuche) mit steigenden Konzentrationen (5 % bzw. 10 %) und Aufbringungsmengen (2 ml, 4 ml) den Effekt des Rotwertverlustes, ebenso wie eine Abnahme des pH-Wertes, zu verstärken. Die unbehandelten Proben zeigen hinsichtlich der pH-Werte über den Lagerungsverlauf keine signifikanten Veränderungen. Die Lagerungstemperatur stellt für die Produktqualität eine zentrale Determinante dar. Der Verlust der Produktqualität von Putenhackfleisch ist daher besonders ausgeprägt, wenn die Proben unter einem simulierten Verbraucherverhalten, d. h. mit Unterbrechung der Kühlkette und erhöhten Lagerungstemperaturen, aufbewahrt werden.

In allen vier Untersuchungsabschnitten entspricht das Putenhackfleisch am Tag der Herstellung bei einer Lagerung bei +2 °C (T1) mit einer maximalen GKZ von  $\log_{10} 5,0$  KbE/g

(Untersuchungsabschnitt I) jeweils den Vorgaben der VO (EG) 2073/2005 und VO (EG) 1441/2007 (m:  $\text{Log}_{10}$  5,7 KbE/g) über mikrobiologische Kriterien in Lebensmitteln. Die Status quo-Untersuchungen verdeutlichen aber, dass es trotz konsequenter Kühlung der Proben (+2 °C) über die zehntägige Lagerung zu signifikanten Keimzahlanstiegen der untersuchten Mikroorganismen kommt. Die Ergebnisse des Untersuchungsabschnittes II zeigen darüber hinaus, dass im Putenhackfleisch vereinzelt pathogene Mikroorganismen, insbesondere *Listeria monocytogenes*, vorkommen können, so dass ein Eintrag dieser in das Produkt nie ausgeschlossen werden kann.

Eine Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität über die zehntägige Lagerung im Vergleich zu den Ergebnissen des Untersuchungsabschnittes I ist möglich, wenn Rohstoffe mit einer niedrigeren Ausgangskeimbelastung eingesetzt werden. So ist bei einer strikten Einhaltung der Lagerungstemperatur von +2 °C (T1) und einer Ausgangskeimbelastung mit einer aeroben mesophilen GKZ von  $< \text{Log}_{10}$  5,0 KbE/g für das Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre eine mikrobiologische Stabilität von maximal sieben Tagen gegeben, wie es die Lagerungsversuche des Untersuchungsabschnittes II verdeutlichen. Die Zugabe von CS als Sprühnebel in den Hauptversuchen, die unter den gegebenen Bedingungen als optimale Applikationsform aus den Vorversuchen ausgewählt wurde, zeigte nur eine partielle antimikrobielle Wirkung und stellte somit als zusätzliche mikrobiologische Hürde keine ausreichenden keimzahlreduzierenden Effekte zur Stabilisierung der Produktqualität zur Verfügung. Signifikante Keimzahlanstiege konnten über die zehntägige Lagerung durch diese Applikation der CS auf die Probenoberfläche nicht verhindert werden. Eine mikrobiologische Stabilität über zehn Tage, die den Forderungen des Handels nach einem zehntägigen Verbrauchsdatum entspricht, ist für die vorliegende Arbeit nur durch die Zugabe der Gewürzmischung mit einem erhöhtem NaCl-Gehalt bei einer konsequenten Kühlung (+2 °C) zu realisieren. Allerdings handelt es sich bei diesem Produkt mit einem NaCl-Gehalt von 1,3 % nach den gesetzlichen Vorgaben (VO (EG) 853/2004) nicht mehr um frisches Hackfleisch, sondern um eine Fleischzubereitung. Darüber hinaus sollte der Einsatz zusätzlicher mikrobiologischer Hürden keinen Ersatz für eine ausreichende Produktionshygiene darstellen. Es muss vom Hersteller stets darauf geachtet werden, dass grundsätzlich eine gute Hygiene- und Herstellungspraxis eingehalten wird.

Bei einer Simulation des Verbraucherverhaltens (T2) steigen die untersuchten Keimzahlen unmittelbar nach Unterbrechung der Kühlkette deutlich an. Die Erhöhung der Lagerungstemperatur scheint zudem die keimzahlreduzierenden Wirkungen der zusätzlichen Hürden, insbesondere der Gewürzmischung, einzuschränken. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer niedrigen Lagerungstemperatur und die Einhaltung der Kühlkette. Eine Aufklärung bzw. Weiterbildung des Verbrauchers hinsichtlich des Umgangs mit leicht



verderblichen Lebensmitteln ist unverzichtbar, um die Haltbarkeit, den richtigen Umgang und die richtige Verarbeitung gewährleisten zu können (ÁLVAREZ-ASTORGA et al. 2002; BOLDER 2007).

Als wichtigste Grundlage für die mikrobiologische Stabilität des Produktes „Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre“ sind somit eine konsequente Kühlung (+2 °C) sowie die Verwendung von qualitativ hochwertigen Rohstoffen anzusehen. Der Einsatz mikrobiologischer Hürden kann, in Abhängigkeit von der jeweiligen Hürde, zu einer Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität, unter Bewahrung der Produktqualität, beitragen.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Kerstin Koch

### **Untersuchungen zur mikrobiologischen Stabilität von Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre**

Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre ist aufgrund gesetzlicher Neuregelungen in der EU seit dem 01. Januar 2006 als neues Frische-Convenience-Produkt im SB-Segment des deutschen Handels erhältlich. Nach dem derzeitigen Stand wird vom Handel für dieses Produkt ein Verbrauchsdatum von bis zu zehn Tagen bei +2 °C gefordert. Allerdings stellt es neben einer möglichen Belastung mit pathogenen Keimen ein Lebensmittel mit einem erhöhten mikrobiologischen Verderbspotential dar, was eine Lagerung unter Bewahrung der Produktqualität erschwert. Die Gründe hierfür sind vielfältig und u. a. in der Ausgangskeimbelastung des Rohmaterials, dem Herstellungsprozess sowie dem Produkt selbst zu sehen. Im Rahmen des Herstellungsprozesses kommt es bedingt durch die Zerkleinerung zu einer Vergrößerung der Oberfläche und einer tiefgreifenden Veränderung der strukturellen Merkmale, wodurch Mikroorganismen optimale Wachstumsbedingungen geboten werden. Die Vermehrung von Verderbniskeimen beeinflusst die Produktqualität negativ und kann letztlich zu einer Ablehnung des Produktes durch den Verbraucher führen. Auch nach der Herstellung müssen Faktoren, die die mikrobiologische Stabilität beeinflussen, berücksichtigt werden. Eine zentrale Determinante spielt das Verbraucherverhalten, das mit Unterbrechungen der Kühlkette sowie erhöhten Lagerungstemperaturen eine zusätzliche Belastung darstellt. Die Produktion von Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre ist in Deutschland ein neues Technologiegebiet und es liegen in der wissenschaftlichen Literatur bisher nur sehr wenige Erkenntnisse über die mikrobiologische Stabilität dieses Produktes in Deutschland vor.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, über den Zeitraum des Verbrauchsdatums für Produzenten und Verbraucher ein mikrobiologisch stabiles Produkt unter Bewahrung der Produktqualität gewährleisten zu können. Infolge dieser Zielsetzung wurde ein aus vier Untersuchungsabschnitten bestehendes Versuchsdesign konzipiert. Zu diesem Zweck wurde frisches Hackfleisch aus Putenflügelfleisch als Rohstoff in einer industriellen Produktionslinie hergestellt und unter Schutzatmosphäre (70 Vol. % O<sub>2</sub>, 30 Vol. % CO<sub>2</sub>) verpackt. In Untersuchungsabschnitt I wurde zunächst der mikrobiologische Status quo bestimmt. In Untersuchungsabschnitt II wurden im Rahmen einer Prozessstufenanalyse die einzelnen Prozessstufen zur Beurteilung der Produktions- und Produktqualität mikrobiologisch untersucht. In den Untersuchungsabschnitten III und IV erfolgte der Einsatz zusätzlicher

mikrobiologischer Hürden, die dem Putenhackfleisch vor dem Verpacken zugesetzt wurden. Dabei handelte es sich um Citronensäure (CS) (Untersuchungsabschnitt III) und die Gewürzmischung „WÜRZEX PLUS A 1405“ mit erhöhtem Kochsalzgehalt (94 g/100 g) (Untersuchungsabschnitt IV). Die Zugabe der Hürden hatte das Ziel, die mikrobiologische Stabilität des Putenhackfleisches zu erhöhen. Untersuchungsabschnitt III gliederte sich in Vor- und Hauptversuche. In ersteren wurden die optimale Applikationsform und Konzentration für die CS (Pulver: 0,1 %, 1 %, 3 % w/v; Lösung: 0,1 %, 1 %, 3 % w/v; Sprühnebel: 5 %, 10 %, 50 % w/v; 2 ml) ermittelt. In den Hauptversuchen kam es zur Überprüfung der Eignung von CS als Hürde in Form eines Sprühnebels, der, ebenso wie in den Vorversuchen, mithilfe einer Sprühvorrichtung (Aufbringungsdruck: 2 bar) auf die Probenoberfläche appliziert wurde. Eingesetzt wurden Konzentrationen von 5 % und 10 % sowie Aufbringungsmengen von 2 ml und 4 ml. Über die Applikation von CS auf die Oberfläche von Putenhackfleisch in der für diese Arbeit durchgeführten Form liegen in der wissenschaftlichen Literatur bisher keine Erkenntnisse vor. Der zugegebene Anteil an Gewürzmischung zum Putenhackfleisch betrug in Untersuchungsabschnitt IV 1,3 %.

Alle Untersuchungsabschnitte umfassten eine zehntägige Kühllagerung. Am Herstellungstag (L0) sowie an den Lagerungstagen drei (L3), fünf (L5), sieben (L7) und zehn (L10) erfolgten die mikrobiologischen Untersuchungen der Proben (aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ), *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta*, *Enterobacteriaceae*), die in Untersuchungsabschnitt II durch den qualitativen Nachweis von *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* und thermophile *Campylobacter* ergänzt wurden. Parallel dazu wurden in allen Abschnitten ausgewählte chemische und physikalische Parameter (chemische Vollanalyse, L\*a\*b\*-Farbwerte, pH- und a<sub>w</sub>-Werte, Gasanalysen) bestimmt. Neben einer konsequenten Kühllagerung bei +2 °C (**T1**) erfolgte durch eine Unterbrechung der Kühlkette (45 Minuten, +25 °C) am dritten Lagerungstag (L3) mit einer anschließenden Lagerung der Proben bei einer erhöhten Temperatur (+7 °C) bis zum Ende der Lagerung zusätzlich die Simulation eines Verbraucherverhaltens (**T2**). Zur Reproduzierbarkeit der Daten wurden die Untersuchungen der Abschnitte I, II, III und IV in sechs aufeinanderfolgenden, voneinander unabhängigen Chargen durchgeführt (n = 1242). Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mithilfe des Statistik-Programms SPSS für Windows.

Die Ergebnisse der chemische Vollanalyse zeigten, dass sowohl zwischen den Chargen eines Untersuchungsabschnittes als auch abschnittsübergreifend keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Fleischzusammensetzung vorliegen.

Die Gasanalysen der Schutzatmosphärenanteile Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wiesen in allen vier Untersuchungsabschnitten ähnliche Entwicklungen auf. Dabei kam es für die initial eingesetzte Schutzatmosphäre (70 Vol. % O<sub>2</sub>, 30 Vol. % CO<sub>2</sub>) über den Lagerungs-

verlauf grundsätzlich zu einer Abnahme des O<sub>2</sub>- und einer Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Steigende Lagerungstemperaturen, wie sie unter dem simulierten Verbraucherverhalten (**T2**) auftraten, verstärkten diese gegensätzliche Entwicklung und führten zu statistisch signifikanten Veränderungen. Die Veränderungen der Gasatmosphäre resultierten größtenteils aus dem mikrobiologischen Wachstum in der Verpackung. Infolge der Temperaturerhöhung kam es für Mikroorganismen zu verbesserten Wachstumsbedingungen. Nach Einsatz der zusätzlichen mikrobiologischen Hürden (CS, Gewürzmischung) konnten im Vergleich zu den unbehandelten Proben, insbesondere am Lagerungsende, höhere O<sub>2</sub>-Gehalte in der Verpackung gemessen werden. Dieses ist möglicherweise als Indikator einer verminderten mikrobiellen Stoffwechselaktivität infolge des keimzahlreduzierenden Einflusses der Hürden zu verstehen.

Die L\*a\*b\*-Farbwerte zeigten, ebenso wie die Gasanalysen, abschnittsübergreifend ähnliche Veränderungen, die in erster Linie von der Lagerungsdauer und -temperatur determiniert wurden. Die stärksten Veränderungen wurden, unabhängig von der Lagerungstemperatur, in allen Untersuchungsabschnitten für den Rotwert (a\*-Wert) gemessen, der mit zunehmender Lagerungsdauer abnahm. Die erhöhte Lagerungstemperatur des simulierten Verbraucherverhaltens (**T2**) führte im Vergleich zu einer konsequenten Kühlung bei +2 °C (**T1**) in allen Untersuchungsabschnitten über die Lagerungsdauer zu einem stärkeren, größtenteils signifikanten Rotwertverlust der Proben. Die Zugabe der CS bewirkte mit steigender Aufbringungsmenge und Konzentration eine zusätzliche Verstärkung dieses Verlustes.

Die pH-Werte der unbehandelten Proben veränderten sich über den Lagerungsverlauf nicht. Die Lagerungstemperatur (**T1**, **T2**) beeinflusste die Entwicklung der pH-Werte nur geringfügig. Die Zugabe der CS als Pulver oder Lösung führte in den Vorversuchen in allen Konzentrationen (0,1 %, 1 %, 3 %; w/v) zu einem starken Abfall der pH-Werte, mit minimalen Werten von pH 3,4. Aufgrund dieser pH-Wert-Abnahme und der zusätzlichen farblichen Veränderungen wurden diese beiden in den Vorversuchen getesteten Applikationsformen ebenso wie die Aufbringung des Sprühnebels in einer Konzentration von 50 % (2 ml) für den weiteren Einsatz ausgeschlossen. Die Zugabe von CS als Sprühnebel (5 % bzw. 10 %; 2 ml, 4 ml) bewirkte in den Hauptversuchen im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollproben ebenfalls signifikant niedrigere pH-Werte. Diese lagen nach dem Einsatz der Aufbringungsmenge von 2 ml (5 % bzw. 10 %) dennoch weiterhin in dem von der Literatur angegebenen Grenzbereich für Putenfleisch (pH 5,8 bis 6,2). Nach Aufbringung von 4 ml (5 % bzw. 10 %) kam es dagegen, insbesondere nach Applikation der 10 %igen Säure, zu einem Abfall der pH-Werte auf < 5,8, die jedoch bis zum Lagerungsende wieder anstiegen.

In allen Untersuchungsabschnitten kam es mit einer zunehmenden Lagerungsdauer zu einer zunehmenden Erhöhung der mikrobiologischen Belastung, die sich in steigenden

Keimzahlen manifestierte. Die Temperatur muss als zentrale Determinante der mikrobiologischen Entwicklung berücksichtigt werden, stellt sie doch einen bedeutsamen Einfluss für die Lebensbedingungen der Keimflora dar. Im Rahmen der mikrobiologischen Analysen des Untersuchungsabschnittes I wurde bestätigt, dass frisches Putenhackfleisch ein Lebensmittel mit einem erhöhtem Verderbspotential darstellt. Es kam während der gesamten Lagerungsdauer zu einem signifikanten Anstieg der GKZ, ebenso wie für die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta*. Durch die kurzfristige Unterbrechung der Kühlkette und der Erhöhung der Lagerungstemperatur (**T2**) fiel dieser Anstieg signifikant höher aus, als im Falle einer konsequenten Kühlung (+2 °C). In Untersuchungsabschnitt II konnte im Rahmen einer Prozessschrittanalyse gezeigt werden, dass der Einfluss des Herstellungsprozesses auf die mikrobiologische Belastung des Endproduktes nur gering ist. Zwischen den einzelnen Prozessschritten kam es größtenteils zu keinen signifikanten Anstiegen der Keimzahlen. Der Herstellungsprozess scheint unter den gegebenen Bedingungen keine Quelle einer signifikanten Keimbelastung darzustellen. In den angeschlossenen Lagerungsversuchen des Untersuchungsabschnittes II zeigte sich auch in diesem Fall, dass die mikrobielle Belastung mit zunehmender Lagerungstemperatur ansteigt. Insgesamt kam es jedoch hier im Vergleich zu Untersuchungsabschnitt I zu geringeren Keimzahlanstiegen, insbesondere bei einer konsequenten Kühlung bei +2 °C (**T1**). Möglicherweise sind diese auf Differenzen in der Ausgangskeimbelastung der eingesetzten Rohstoffe zurückzuführen. Dieses verdeutlicht, dass in einem Naturprodukt wie Putenhackfleisch, trotz einer einwandfreien Produktionshygiene, stets Schwankungen des Ausgangskeimgehaltes zu berücksichtigen sind. Diese können aus einer unterschiedlichen Keimbelastung des Ausgangsmaterials resultieren und/oder aus Kontaminationen in früheren Produktionsstufen (z. B. Schlacht- und Zerlegebetrieb). Der niedrigere Ausgangskeimgehalt der Proben des Untersuchungsabschnittes II führt möglicherweise zu einem geringeren Keimzahlanstieg im Vergleich zu den Proben des Untersuchungsabschnittes I. Zudem bewirkt der geringe Ausgangskeimgehalt von *Pseudomonas* spp. scheinbar eine bessere antimikrobielle Wirksamkeit von CO<sub>2</sub>. Hierdurch zeigt sich, dass die Verwendung von qualitativ hochwertigen Rohstoffen zentral zur Erzeugung eines mikrobiologisch stabilen Endproduktes beiträgt. Im Rahmen der Prozessschrittanalyse und der Lagerungsversuche konnten im Untersuchungsabschnitt II *Listeria monocytogenes* qualitativ nachgewiesen werden, während der Prozessschrittanalyse zusätzlich *Salmonella* spp. Eine Kontamination der Schlachttiere und damit ein Eintrag pathogener Keime in den Schlacht- und Zerlegebetrieb und in die Lebensmittelkette kann somit nicht vollständig ausgeschlossen werden. In Untersuchungsabschnitt III erfolgte die Zugabe von CS als weitere mikrobiologische Hürde. Über die Applikation von CS zu frischem Putenhackfleisch sind, unabhängig von der Applikationsform, nach dem derzeitigen Stand in Deutschland keine

wissenschaftlichen Studien zu finden. In den Vorversuchen wurde zunächst die optimale Applikationsform der CS ermittelt. Der Einsatz als Pulver oder Lösung kam trotz einer hohen antimikrobiellen Wirksamkeit mit größtenteils signifikant niedrigeren Keimzahlen nicht in Frage, da es zu starken Veränderungen der Fleischfarbe und -konsistenz kam. Diese qualitativen Einschränkungen waren unter Berücksichtigung der Verbraucherakzeptanz nicht akzeptabel. Ein Nutzen der CS ist nur gegeben, wenn die Applikationsform gewählt wird, die eine Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität unter gleichzeitiger Bewahrung der Produktqualität gewährleistet. Der Einsatz von CS in Form eines Sprühnebels auf die Oberfläche des Putenhackfleisches erwies sich in den Vorversuchen als möglicher Kompromiss. Verfärbungen und textuelle Veränderungen konnten, unter gleichzeitiger Beibehaltung einer antimikrobiellen Wirksamkeit der CS, auf ein akzeptables Maß minimiert werden und traten erst bei Konzentrationen > 10 % auf. Die antimikrobielle Wirksamkeit der CS in dieser Applikationsform war im Vergleich zum Pulver und zu der Lösung geringer. In den Hauptversuchen bestätigte sich die antimikrobielle Wirksamkeit der CS nur partiell. Trotz der Zugabe von CS als Sprühnebel kam es im Verlauf der zehntägigen Lagerung, unabhängig von der gewählten Lagerungstemperatur (**T1**, **T2**), zu signifikanten Anstiegen der untersuchten Mikroorganismen. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrollprobe konnten jedoch, meist zum Ende der zehntägigen Lagerung, größtenteils niedrigere Keimzahlen der GKZ, *Pseudomonas* spp. und *Brochothrix thermosphacta* gemessen werden. Diese Differenzen waren teilweise statistisch signifikant. Im Untersuchungsabschnitt IV konnte durch die Zugabe der Gewürzmischung bzw. des darin enthaltenen NaCl ein antimikrobieller Effekt erzielt werden. Unter einer konstanten Kühlung der Proben bei +2 °C (**T1**) kam es zu keinen signifikanten Anstiegen der aeroben mesophilen GKZ. Ebenso blieben die Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. sowie *Enterobacteriaceae* über den Lagerungsverlauf stabil. Bei erhöhten Lagerungstemperaturen (**T2**) war dennoch für die beschriebenen Mikroorganismen nahezu durchgehend ein signifikanter Keimzahlanstieg messbar. Die eingesetzte Gewürzmischung scheint aufgrund ihres hohen NaCl-Gehaltes eine antimikrobielle Wirkung zu besitzen und dadurch die mikrobiologische Stabilität zu erhöhen. Dies lässt sich effektiv bei einer konsequenten Kühlung (+2 °C) etablieren. Zudem führt der Einsatz dieser mikrobiologischen Hürde im Vergleich zur CS zu keinen nachteiligen Veränderungen der Produktqualität. Es muss jedoch bedacht werden, dass es durch das in der Gewürzmischung enthaltene NaCl im Putenhackfleisch zu einem Anstieg des Kochsalzgehaltes auf 1,3 % kommt. Dadurch handelt es sich bei diesem Produkt nach VO (EG) 853/2004 nicht mehr um frisches Hackfleisch, sondern um eine Fleischzubereitung (zubereitetes Putenhackfleisch).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, neben einer umfassenden Analyse des neuen Produktes „Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre“, ein über den Zeitraum des Verbrauchsdatums mikrobiologisch stabiles Produkt für Produzenten und Verbraucher gewährleisten zu können. In Anlehnung an Vorgaben des Handels, der für frisches Putenhackfleisch ein Verbrauchsdatum von zehn Tagen fordert, wurde diese Lagerungsdauer für die Untersuchungen gewählt. Wie die vorliegende Arbeit zeigen konnte, stellt der Umgang mit frischem Putenhackfleisch eine besondere Herausforderung für den Verbraucher dar. Im Hinblick auf das hohe Verderbspotential ist eine konsequente Kühlung (+2 °C) die Voraussetzung für die mikrobiologische Stabilität unter Erhaltung der Produktqualität. Zusätzliche mikrobiologische Hürden können vom Hersteller als potente antimikrobielle Wirkstoffe eingesetzt werden und die mikrobiologische Stabilität erhöhen. Bisher existieren mit Ausnahme der Kennzahlen, die in den Prozesshygienekriterien nach VO (EG) 2073/2005 und VO (EG) 1441/2007 angegeben sind, keine weiteren rechtlichen Grenzwerte, die zur Beurteilung der mikrobiologischen Stabilität von gelagertem Putenhackfleisch angewendet werden können. In der vorliegenden Arbeit lag die GKZ in allen Untersuchungsabschnitten am Tag der Herstellung bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) unter den gesetzlich vorgegebenen Grenzwerten von  $\text{Log}_{10}$  5,7 KbE/g. Allerdings kommt es in Untersuchungsabschnitt I während des gesamten Zeitraums zu signifikanten Keimzahlanstiegen, infolgedessen die GKZ bereits am fünften Lagerungstag Werte von  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g erreicht. Neben einer konsequenten Kühlung bei +2 °C spielt ebenso die mikrobiologische Qualität der Rohstoffe eine wichtige Rolle. Eine niedrige Ausgangskeimbelastung ist dabei die Grundlage für eine möglichst hohe mikrobiologische Stabilität unter Bewahrung der Produktqualität. Dieses verdeutlicht Untersuchungsabschnitt II. Unter den gleichen Lagerungsbedingungen, wie im vorherigen Untersuchungsabschnitt, bleibt die GKZ mit einem niedrigeren Ausgangskeimgehalt bis zum siebten Lagerungstag mikrobiologisch stabil und erhöht sich erst dann auf leicht kritische Werte. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit sollte das Produkt nach der Herstellung grundsätzlich eine aerobe mesophile GKZ von  $\text{Log}_{10}$  5,0 KbE/g aufweisen. Die Forderungen des Handels nach einem Verbrauchsdatum von zehn Tagen sind allerdings unter den gegebenen Bedingungen für frisches, unbehandeltes Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre selbst bei einer konsequenten Kühlung bei +2 °C für unbehandeltes Putenhackfleisch nicht realisierbar. Bei einer niedrigen Keimbelastung des Ausgangsmaterials kann bei einer konsequenten Kühlung (+2 °C) ein mikrobiologisch stabiles Produkt über eine maximale Lagerdauer von sieben Tagen erreicht werden. Die Zugabe zusätzlicher mikrobiologischer Hürden sollte auf Grundlage der zuvor erzielten Ergebnisse eine Erhöhung der mikrobiologischen Stabilität bewirken. Die in den Hauptversuchen des Untersuchungsabschnittes III mit CS als Sprühnebel behandelten Proben überschreiten, in

Abhängigkeit der gewählten Aufbringungsmenge und Konzentration, erst am siebten bzw. zehnten Lagerungstag eine GKZ von  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g, während die Kontrolle diese, ebenso wie die Proben des Untersuchungsabschnittes I, am fünften Lagerungstag erreicht. Diese Verzögerung resultierte aus der antimikrobiellen Wirksamkeit der CS. Allerdings konnten trotz Applikation der CS signifikante Keimzahlanstiege über die gesamte Lagerungsdauer nicht verhindert werden. Die Zugabe der CS in sprühvernebelter Form auf die Oberfläche des Putenhackfleisches bewirkte somit über die zehntägige Lagerungsdauer kein mikrobiologisch stabiles Produkt. Eine Erhöhung der aufgetragenen CS hinsichtlich Konzentration und Menge war nicht möglich, da dieses zu einer Beeinträchtigung bestimmter Qualitätsparameter (Farbe, pH-Werte) führte. In Untersuchungsabschnitt IV verhindert die Zugabe der Gewürzmischung durch ihren hohen NaCl-Gehalt im Gegensatz zum zuvor beschriebenen Untersuchungsabschnitt während der gesamten zehntägigen Lagerung einen signifikanten Anstieg der aeroben mesophilen GKZ. Auch nach zehn Tagen Lagerung liegt diese bei  $< \text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g. Das zubereitete Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre stellt damit ein über den Zeitraum der zehntägigen Lagerung mikrobiologisch stabiles Convenience-Produkt dar und entspricht somit den Forderungen des Handels nach einem Verbrauchsdatum von zehn Tagen. Die Zugabe von zusätzlichen mikrobiologischen Hürden sollte jedoch grundsätzlich keinen Ersatz für eine optimale Produktionshygiene sowie den Einsatz qualitativ hochwertiger Rohstoffe darstellen. Eine gute Produktions- und Herstellungspraxis sind grundsätzlich einzuhalten. Der für **T2** gewählte Versuchsaufbau orientiert sich nah am Verbraucherverhalten. Eine Unterbrechung der Kühlkette mit einer nachfolgenden Lagerung bei erhöhten Temperaturen, wie es für das Verbraucherverhalten typisch ist, begünstigt in allen vier Untersuchungsabschnitten die unverzügliche Keimzahlzunahme. Zusätzlich scheint dieses die antimikrobielle Wirksamkeit der CS und der Gewürzmischung einzuschränken. Bereits am fünften Lagerungstag wurde infolge des simulierten Verbraucherverhaltens in allen vier Untersuchungsabschnitten eine GKZ von  $\text{Log}_{10}$  6,0 KbE/g weit überschritten. Die bei einer Lagerung bei +2 °C (**T1**) bestehenden Keimzahlunterschiede zwischen den behandelten und den unbehandelten Proben nach Zugabe der Hürden in den Untersuchungsabschnitten III und IV gleichen sich an. Das simulierte Verbraucherverhalten verdeutlicht noch einmal die Notwendigkeit einer konsequenten Kühllagerung bei +2 °C. Dieses betrifft nicht nur die Zeit, in der das Produkt im Handel ausliegt, sondern v. a. auch den Zeitraum nach dem Kauf des Produktes durch den Verbraucher. Eine Aufklärung des Verbrauchers hinsichtlich des Umganges mit solch mikrobiologisch sensiblen Produkten wie Putenhackfleisch, insbesondere im Hinblick auf die Aufrechterhaltung der Kühlkette sowie der richtigen Lagerung, erscheint sinnvoll.



## 7 LITERATURVERZEICHNIS

**ACUFF, G. R.; VANDERZANT, C.; SAVELL, J. W.; JONES, D. K.; GRIFFIN, D. B.; EHLERS, J. G.** (1987): Effect of Acid Decontamination of Beef Subprimal Cuts on the Microbiological and Sensory Characteristics of Steaks. In: *Meat Science*, Vol. 19, S. 217–226.

**AKPOLAT, N. Ö.; ELCI, S.; ATMACA, S.; GÜL, K.** (2004): *Listeria monocytogenes* in products of animal origin in Turkey. In: *Veterinary Research Communications*, Vol. 28, S. 561–567.

**ÁLVAREZ-ASTORGA, M.; CAPITA, R.; ALONSO-CALLEJA, C.; MORENO, B.; GARCIA-FERNANDEZ, M.C.** (2002): Microbiological quality of retail chicken by-products in Spain. In: *Meat Science*, Vol. 62, S. 45–50.

**ÁLVAREZ-ORDÓÑEZ, A.; FERNÁNDEZ, A.; BERNADO, A.; LÓPEZ, M.** (2009): Comparison of acids on the induction of an Acid Tolerance Response in *Salmonella typhimurium*, consequences for food safety. In: *Meat Science*, Vol. 81, S. 65–70.

**ANDRAE, W.** (1996): Verpacken von Fleisch und Fleischerzeugnissen. In: Sielaff, Heinz (Hg.): *Fleischtechnologie*. 1. Aufl. Hamburg: Behr's Verlag, S. 511–558.

**ARGANOSA, G. C.; MARRIOT, N. G.** (1989): Organic acids as tenderizers of collagen in restructured beef. In: *Journal of Food Science*, Vol. 54, S. 1173–1176.

**BAÉZA, E.** (2004): Measuring quality parameters. In: Mead, G. C. (Hg.): *Poultry meat processing and quality*. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 304–331.

**BAJAJ, B.; SHARMA, V.; KOUL, S.; THAKUR, R. L.** (2003): Incidence of Salmonella in poultry and meats and growth inhibition of Salmonella Enteritidis by organic acids. In: *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 40, S. 556–558.

**BAKER, R. C.; HOTCHKISS, J. H.; QURESHI, R. A.** (1985): Elevated Carbon Dioxide Atmospheres for Packaging Poultry. I. Effects on Ground Chicken. In: *Poultry Science*, Vol. 64, S. 328–332.

**BARBUT, S.** (2004): Other poultry preservation techniques. In: Mead, G. C. (Hg.): *Poultry meat processing and quality*. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 186–210.

**BARBUT, S.; SOSNICKI, A. A.; LONERGAN, S. M.; KNAPP, T.; CIOBANU, D. C.; GATCLIFFE, L. J.** (2008): Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. In: *Meat Science*, Vol. 78, S. 46–63.

- BARKER, D.; LANKHAAR, J.; STALS, P.** (2004): Primary processing of poultry. In: Mead, G. C. (Hg.): Poultry meat processing and quality. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 90–107.
- BARON, C. P.; ANDERSEN, H.J.** (2002): Myoglobin-induced lipid oxidation: A review. In: Journal of Agriculture and Food Chemistry, S. 3887–3897.
- BARTELT, E.** (2005): LM-Infektionen, Zoonosen, Lebensmittelintoxikationen: Begriffe und Bedeutung: *Campylobacter; Listeria monocytogenes*. In: Fehlhaber, K.; Kleer, J.; Kley, F. (Hg.): Handbuch Lebensmittelhygiene. Praxisleitfaden mit wissenschaftlichen Grundlagen. Loseblattausgabe, Grundwerk 2005, 23. Aktualisierungs-Lieferung Mai 2010. Hamburg: Behr's Verlag.
- BAUMGART, J.** (Hg.) (2004): Mikrobiologische Untersuchung von Lebensmitteln. 5., aktualisierte und erw. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag.
- BELITZ, H.-D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P.** (2008): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 6., vollst. überarbeitete Auflage. Berlin (u.a.): Springer Verlag, S. 441-480; S. 580-635.
- BILGILI, S. F.; CONNER, D. E.; PINION, J. L.; TAMBLYN, K. C.** (1998): Broiler Skin Color as Affected by Organic Acids: Influence of Concentration and Method of Application. In: Poultry Science, Vol. 77, S. 751–757.
- BINKE, R.** (2003): Vom Muskel zum Fleisch. In: Bundesanstalt für Fleischforschung (Hg.): Chemie des Lebensmittels Fleisch. Kulmbacher Reihe Band 18. Kulmbach, S. 57–69.
- BOHNSACK, U.; HÖPKE, H.-U.** (1990): The shelf life of pieces of fresh meat as a function of degree of comminution. In: Fleischwirtschaft, Vol. 70, S. 786–788.
- BOLDER, N. M.** (1997): Decontamination of meat and poultry carcasses. In: Trends in Food Science and Technology, Vol. 8, S. 221–227.
- BOLDER, N. M.** (2007): Microbial challenges of poultry meat production. In: World's Poultry Science Journal, Vol. 63, S. 401–411.
- BOND, J. M.; MARCHELLO, M. J.; SLANGER, W. D.** (2001): Physical, chemical and shelf-life characteristics of low-fat ground beef patties formulated with waxy hull-less barley. In: Journal of Muscle Foods, S. 53-69.
- BOOTH, I. R.** (1985): Regulation of Cytoplasmic pH in Bacteria. In: Microbiological Reviews, Vol. 49, H. 4, S. 359–378.
- BOULIANNE, M.; KING, A. J.** (1995): Biochemical and color characteristics of skinless boneless pale chicken breast. In: Poultry Science, Vol. 74, S. 1693–1698.

- BRANSCHIED, W.** (2007): Produktion, Verbrauch und Vermarktung von Fleisch. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 1–48.
- BRANSCHIED, W.; SÖNNICHSEN, M.; VON LENGERKEN, G.** (2007): Die Erfassung der Schlachtkörperzusammensetzung und die Einstufung in Handelsklassen. In: Branscheid, W.; Honikel, K.O.; von Lengerken, G.; Troeger, K. (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 85–156.
- BREWER, M. S.** (2000): Traditional Preservatives – Sodium Chloride. In: Robinson, R.K.; Batt, C.A.; Patel, P.: Encyclopedia of Food Microbiology. San Diego: Acad. Press. S. 1723-1728.
- BREWER, M. S.; ROSTOGI, B. K.; ARGOUDELIS, L.; SPROULS, G. K.** (1995): Sodium Lactate/Sodium Chloride Effects on Aerobic Plate Counts and Color of Aerobically Packaged Ground Beef. In: Journal of Food Science, Vol. 60, S. 59–62.
- BRUL, S.; COOTE, P.** (1999): Preservative agents in foods. Mode of action and microbial resistance mechanisms. Review. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 50, S. 1–17.
- BUCHANAN, R. L.; GOLDEN, M. H.** (1994): Interaction of Citric Acid Concentration and pH on the Kinetics of *Listeria monocytogenes* Inactivation. In: Journal of Food Protection, Vol. 57, S. 567–570.
- BÜHL, A.** (2008): SPSS 16: Einführung in die moderne Datenanalyse. 11., überarb. und erw. Auflage. München (u. a.): Pearson Studium.
- BÜLTE, M.** (2004): Lebensmittelinfektionen und -intoxikationen. *Listeria monocytogenes*. In: Sinell, Hans-Jürgen (Hg.): Einführung in die Lebensmittelhygiene. Stuttgart: Parey, S. 52-55.
- BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG (BfR)** (2007): Bericht für das Jahr 2007. Berlin: BfR-Pressestelle.
- BURNETT, S. L.; MERTZ, E. L.; BENNIE, B.; FORD, T.; STAROBIN, A.** (2005): Growth or Survival of *Listeria monocytogenes* in Ready-to-Eat Meat Products and Combination Deli Salads during Refrigerated Storage. In: Journal of Food Science, Vol. 70, S. M301-M304.
- CARPENTER, C. E.; BROADBENT, J. R.** (2009): External Concentration of Organic Acid Anions and pH: Key Independent Variables for Studying How Organic Acids Inhibit Growth of Bacteria in Mildly Acidic Foods. In: Journal of Food Science, Vol. 74, S. R12-R15.
- CARPENTER, C. E.; CORNFORTH, D. P.; WHITTIER, D.** (2001): Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. In: Meat Science, Vol. 57, S. 359–363.

- CARRASCO, E.; GARCIA-GIMENO, R.; SESELOVSLY, R.; VALERO, A.; PEREZ, F.; ZURERA, G.; TODD, E.** (2006): Predictive Model of *Listeria monocytogenes`* Growth Rate Under Different Temperatures and Acids. In: Food Science and Technology International, Vol. 12, S. 47–56.
- CHARLES, N.; WILLIAMS, S. K.; RODRICK, G. E.** (2006): Effects of Packaging Systems on the Natural Microflora and Acceptability of Chicken Breast Meat. In: Poultry Science, Vol. 85, S. 1798–1801.
- CHATELAIN, Y.; GUGGISBERG, D.; DUFHEY, G.; VERGÈRES; HADORN, R.** (2007): Farbmessung an Fleisch und Fleischerzeugnissen. 1. Ausg. Bern: Forschungsanst. Agroscope Liebefeld-Posieux ALP (ALP-science). S. 1-23.
- CHOULIARA, E.; KARATAPANIS, A.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G.** (2007): Combined effect of oregano essential oil and modified atmosphere packaging on shelf-life of fresh chicken breast meat, stored at 4 °C. In: Food Microbiology, Vol. 24, S. 607–617.
- CHURCH, N.** (1994): Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. In: Trends in Food Science and Technology, Vol. 5, S. 345–352.
- CITAK, S.; KAMANLI, N.** (2007): Gram-negative Bakterien, ein Risiko für die Volksgesundheit. In: Fleischwirtschaft, H. 12, S. 106–110.
- CLASSEN, H.-G.** (2001): Toxikologisch-hygienische Beurteilung von Lebensmittelinhaltsstoffen und Zusatzstoffen. 2., gründl. überarb. u. aktualisierte Aufl. Hamburg: Behr's Verlag. S. 137-140.
- CORBO, M.R.; BEVILACQUA, A.; CAMPANIELLO, D.; D'AMATO, D.; SPERENZA, B.; SINIGAGLIA, M.** (2009): Prolonging microbial shelf life of foods through the use of natural compounds and non-thermal approaches - A review. In: International Journal of Food Science and Technology, H. 44, S. 223–241.
- CUTTER, C. N.; SIRAGUSA, G. R.** (1994): Efficacy of Organic Acids against *Escherichia coli* O157:H7 attached to Beef Carcasses Tissue using a Pilot Scale Model Carcass Washer. In: Journal of Food Protection, Vol. 57, S. 97–103.
- DAVIDSON, P. M.; TAYLOR, T. M.** (2007): Chemical Preservatives and Natural Antimicrobial Compounds. In: Doyle, Michael P.; Beuchat, Larry R. (Hg.): Food microbiology. Fundamentals and frontiers. 3. ed. Washington, DC: ASM Press, S. 713–745.
- DAVIES, A. R.** (1995): Advances in modified-atmophere packaging. In: Gould, G. W. (Hg.): New methods of food preservation. 1. ed. London: Blackie Academic & Professional, S. 304–320.

- DAWSON, P. L.; SPINELI, N.** (2007): Poultry Meat Flavor. In: Nollet, Leo M. L.; Boylston, Terri (Hg.): Handbook of meat, poultry and seafood quality. 1. ed. Ames, Iowa: Blackwell Publ., S. 439–453.
- DAWSON, P. L.; STEPHENS, C.** (2004): Poultry packaging. In: Mead, G. C. (Hg.): Poultry meat processing and quality. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 135–163.
- DEBEVERE, J. M.** (1987): The use of buffered acidulant systems to improve the microbiological stability of acid foods. In: Food Microbiology, Vol. 4, S. 105–114.
- DEL NOBILE, M. A.; CONTE, A.; CANNARSI, M.; SINIGAGLIA, M.** (2009): Strategies for Prolonging the Shelf Life of minced Beef Patties. In: Journal of Food Safety, Vol. 29, S. 14–25.
- DEL RIO, E.; GONZALEZ DE CASO, B.; PRIETO, M.; ALONSO-CALLEJA, C.; CAPITA, R.** (2008): Effect of poultry decontaminants concentration on growth kinetics for pathogenic and spoilage bacteria. In: Food Microbiology, Vol. 25, S. 888–894.
- DEL RIO, E.; PANIZO-MORAN, M.; ALONSO-CALLEJA, C.; CAPITA, R.** (2007): Effect of various chemical decontamination treatments on natural microflora and sensory characteristics of poultry. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 115, S. 268–280.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG** (2008): Ernährungsbericht 2008. Bonn: Dt. Gesellsch. für Ernährung, S. 19-49.
- DEVLIEGHIERE, F.; DEBEVERE, J.; VAN IMPE, J.** (1998a): Concentration of carbon dioxide in the water-phase as a parameter to model the effect of a modified atmosphere on microorganisms. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 43, S. 105–113.
- DEVLIEGHIERE, F.; DEBEVERE, J.; VAN IMPE, J.** (1998b): Effect of dissolved carbon dioxide and temperature on the growth of *Lactobacillus sake* in modified atmospheres. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 41, S. 231–238.
- DHANANJAYAN, R.; HAN, I. Y.; ACTON, J. C.; DAWSON, P. L.** (2006): Growth Depth Effects of Bacteria in Ground Turkey Meat Patties Subjected to High Carbon Dioxide or High Oxygen Atmospheres. In: Poultry Science, Vol. 85, S. 1821–1828.
- DOMINGUEZ, S. A.; SCHAFFNER, D. W.** (2007): Development and validation of a mathematical model to describe the growth of *Pseudomonas* spp. in raw poultry stored under aerobic conditions. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 120, S. 287–295.
- DOORES, S.** (2005): Organic Acids. In: Davidson, P. Michael (Hg.): Antimicrobials in food. 3. ed. Boca Raton, Fla.: Taylor & Francis . S. 91-142.

- DROSINOS, E. H.; BOARD, R. G.** (1995): Microbial and physicochemical attributes of minced lamb: sources of contamination with *pseudomonas*. In: Food Microbiology, Vol. 12, S. 189–197.
- DYKES, G. A.; MARSHALL, L. A.; MEISSNER, D.; VON HOLY, A.** (1996): Acid treatment and pasteurization affect the shelf life and spoilage ecology of vacuum-packaged Vienna sausages. In: Food Microbiology, Vol. 13, S. 69–74.
- FARBER, J. M.** (1991): Microbiological Aspects of Modified-Atmosphere Packaging Technology - A Review. In: Journal of Food Protection, Vol. 54, S. 58–70.
- FEHLHABER, K.** (2005): Lebensmittel tierischer Herkunft. Geflügelfleisch. In: Fehlhaver, K.; Kleer, J.; Kley, F. (Hg.): Handbuch Lebensmittelhygiene. Praxisleitfaden mit wissenschaftlichen Grundlagen. Loseblattausgabe, Grundwerk 2005, 23. Aktualisierungs-Lieferung Mai 2010. Hamburg: Behr's Verlag.
- FEHLHABER, K.** (2001a): Wirtschaftsgeflügelarten und Vermarktungsbezeichnungen. In: Fries, Reinhard; Bergmann, Volker; Fehlhaver, Karsten; Fries-Bergmann-Fehlhaver (Hg.): Praxis der Geflügelfleischuntersuchung. Hannover: Schlüter, S. 17–20.
- FEHLHABER, K.** (2001b): Bedeutung des Geflügelfleisches. In: Fries, Reinhard; Bergmann, Volker; Fehlhaver, Karsten; Fries-Bergmann-Fehlhaver (Hg.): Praxis der Geflügelfleischuntersuchung. Hannover: Schlüter, S. 11–16.
- FENNEMA, O. R.** (1990): Comparative water holding properties of various muscle foods: A critical review relating to definitions, methods of measurements, governing factors, comparative data and mechanistic matters. In: Journal of Muscle Foods, Vol. 4, S. 363-381.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ, E.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A.; ARANDA-CATALÁ, V.** (2004): Effect of Sodium Chloride, Sodium Tripolyphosphate and pH on Color Properties of Pork Meat. In: Color Research and Application, Vol. 29, S. 67-74.
- FLETCHER, D. L.** (1999): Broiler Breast Meat Color Variation, pH, and Texture. In: Poultry Science, Vol. 78, S. 1323–1327.
- FLETCHER, D. L.** (2004): Further processing of poultry. In: Mead, G. C. (Hg.): Poultry meat processing and quality. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 108–134.
- FOSTER, J. W.** (1999): When protons attack: microbial strategies of acid adaption. In: Current Opinion in Microbiology, Vol. 2, S. 170–174.
- FRAQUEZA, M. J.; FERREIRA, M. C.; BARRETO, A. S.** (2008): Spoilage of light (PSE-like) and dark turkey meat under aerobic or modified atmosphere package: microbial indicators and

their relationship with total volatile basic nitrogen. In: British Poultry Science, Vol. 49, S. 12–20.

**FRIEDRICH, L.; SIRO, I.; DALMADI, I.; HORVATH, K.; AGOSTON, R.; BALLA, C.** (2008): Influence of various preservatives on the quality of minced beef under modified atmosphere at chilled storage. In: Meat Science, Vol. 79, S. 332–343.

**FRIES, R.** (2001): Geflügelfleischerzeugung. In: Fries, R.; Bergmann, V.; Fehlhaber, K (Hg.): Praxis der Geflügelfleischuntersuchung. Hannover: Schlüter, S. 21–32.

**FU, A.-H.; SEBRANEK, J. G.; MURANO, E. A.** (1994): Microbial and Quality Characteristics of Pork Cuts from Carcasses Treated with Sanitizing Sprays. In: Journal of Food Science, Vol. 59, H. 2, S. 306–309.

**GALLO, L.; SCHMITT, R. E.; SCHMIDT-LORENZ, W.** (1988): Microbial Spoilage of Refrigerated Fresh Broilers. I. Bacterial Flora and Growth during Storage. In: LWT - Food Science and Technology, Vol. 21, S. 216–223.

**GAULT, N. F. S.** (1992): Structural aspects of raw meats. In: The chemistry of muscle-based foods. [the proceedings of a symposium organized jointly by the Food Chemistry Group of the Royal Society of Chemistry and the Society of Chemical Industry Meat Panel, The Queen's University of Belfast, 9-11 September 1991]. Cambridge: Royal Society of Chemistry, S. 79.

**GIANUZZI, L.; ZARITZKY, N.E.** (1996): Effect of Ascorbic Acid in Comparison to Citric and Lactic Acid on *Listeria monocytogenes* Inhibition at Refrigeration Temperatures. In: LWT - Food Science and Technology, Vol. 29, S. 278–285.

**GIDDINGS, G. G.** (1977): Symposium: The Basis of Quality in Muscle Foods. The Basis of Color in Muscle Foods. In: Journal of Food Science, Vol. 42, S. 288–294.

**GILL, C. O.** (1988): The Solubility of Carbon Dioxide in Meat. In: Meat Science, Vol. 22, S. 65–71.

**GILL, C. O.** (1996): Extending the Storage Life of Raw Chilled Meats. In: Meat Science, Vol. 43, S. 99–109.

**GILL, C. O.; TAN, K.H.** (1979): Effect of Carbon Dioxide on Growth of *Pseudomonas fluorescens*. In: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 38, H. 2, S. 237–240.

**GILL, C. O.; TAN, K. H.** (1980): Effect of Carbon Dioxide on Growth of Meat Spoilage Bacteria. In: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 39, H. 2, S. 317–319.

- GLASS, K.; DOYLE, M. P.** (1989): Fate of *Listeria monocytogenes* in Processed Meat Products during Refrigerated Storage. In: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 55, S. 1565–1569.
- GÖKSOY, E.; KIRKAN, S.; KÖK, F.** (2004): Microbiological Quality of Broiler Carcasses during Processing in Two Slaughterhouses in Turkey. In: Poultry Science, Vol. 83, S. 1427–1432.
- GONZÁLEZ-FANDOS, E.; HERRERA, B.; MAYA, N.** (2009): Efficacy of citric acid against *Listeria monocytogenes* attached to poultry skin during refrigerated storage. In: International Journal of Food Science and Technology, Vol. 44, S. 262–268.
- GONZÁLEZ-MIRET, M. L.; ESCUDERO-GILETE, M. L.; HEREDIA, F. J.** (2006): The establishment of critical control points at the washing and air chilling stages in poultry meat production using multivariate statistics. In: Food Control, Vol. 17, S. 935–941.
- GOULD, G. W.** (1996): Methods for preservation and extension shelf life. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 33, S. 51–64.
- GRAHAM, A. F.; LUND, B. M.** (1986): The effect of citric acid on growth of proteolytic strains of *Clostridium botulinum*. In: Journal of Applied Bacteriology, Vol. 61, S. 39–49.
- GRANDISON, A. S.; JENNINGS, A.** (1993): Extension of the shelf life of fresh minced chicken meat by electron beam irradiation combined with modified atmosphere packaging. In: Food Control, Vol. 4, H. 2, S. 83–88.
- GREER, G. G.; DILTS, B. D.** (1992): Factors affecting the susceptibility of meatborne pathogens and spoilage bacteria to organic acids. In: Food Research International, Vol. 25, S. 355–364.
- HAHN, A.; STRÖHLE, A.; WOLTERS, M.; SIEKMANN, D.; LECHLER, T.** (2005): Ernährung. Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, S. 46-64.
- HECHELMANN, H.** (1981): Vorkommen und Bedeutung von *Brochothrix thermosphacta* bei der Kühllagerung von Fleisch und Fleischerzeugnissen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, S. 4435–4437.
- HEESCHEN, W.** (2007): Vermehrung von Mikroorganismen in Lebensmitteln. In: Fehlhaber, K.; Kleer, J.; Kley, F. (Hg.): Handbuch Lebensmittelhygiene. Praxisleitfaden mit wissenschaftlichen Grundlagen. Loseblattausgabe, Grundwerk 2005, 23. Aktualisierungslieferung Mai 2010. Hamburg: Behr's Verlag.
- HESPANHOL DA SILVA DO CARMO, M.; GRIGOLI DE LUCA SARANTOPOULOS, C. I.; PIMENTA, N.; PASQUINI, C.** (1999): Development of an Analyzer to Determine the Oxygen and Carbon



Dioxide Levels in the Head-space of Packages. In: Packaging Technology and Science, Vol. 12, S. 271–275.

**HILDEBRANDT, G.** (2004): Haltbarmachung und sonstige Behandlung von Lebensmitteln. Chemische Verfahren. In: Sinell, Hans-Jürgen (Hg.): Einführung in die Lebensmittelhygiene. s.l.: Parey, S. 172–197.

**HINTON JR., A.; CASON, J. A.; INGRAM, K. D.** (2004): Tracking spoilage bacteria in commercial poultry processing and refrigerated storage of poultry carcasses. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 91, S. 155–165.

**HIRSHFIELD, I. N.; TERZULLI, S.; O'BYRNE, C.** (2003): Weak organic acids: a panoply of effects on bacteria. In: Science Progress, Vol. 86, S. 245–269.

**HOFMANN, K.** (1986): Der pH-Wert - Ein Qualitätskriterium für Fleisch. In: Bundesanstalt für Fleischforschung (Hg.): Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität. Kulmbacher Reihe Band 6. Kulmbach, S. 134–155.

**HOFMANN, K.; HONIKEL, K. O.** (2007): Der Qualitätsbegriff bei Fleisch. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 79–84.

**HOLZAPFEL, W. H.** (2003): Mikrobiologie verpackter Fleischerzeugnisse und des verpackten Fleisches. In: Weber, Herbert (Hg.): Mikrobiologie der Lebensmittel. Fleisch - Fisch - Feinkost. 1. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, S. 401–434.

**HONIKEL, K. O.** (2007): Physikalische Messmethoden zur Erfassung der Fleischqualität. Physikalische Messung der Fleischfarbe. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 864–868.

**HONIKEL, K. O.; SCHWÄGELE, F.** (2007): Biochemische Prozesse bei der Fleischreifung. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 727–754.

**HONIKEL, K. O.** (1997): Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. In: Food Chemistry, Vol. 59, S. 573–582.

**HONIKEL, K. O.** (1998): Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat. In: Meat Science, Vol. 49, S. 447–457.

- HUGENHOLTZ, J.** (1993): Citrate metabolism in lactic acid bacteria. In: FEMS Microbiology Reviews, Vol. 12, S. 165–178.
- HUI, Y. H.** (2007): Factors Affecting Food Quality: A Primer. In: Nollet, Leo M. L.; Boylston, Terri (Hg.): Handbook of meat, poultry and seafood quality. 1. ed. Ames, Iowa: Blackwell Publ., S. 3–6.
- HUGAS, M.; TSIGARIDA, E.** (2008): Pros and cons of carcass decontamination: The role of the European Safety Authority. In: Meat Science, Vol. 78, S. 43-52.
- HUNT, M. C.; MANCINI, R. A.; HACHMEISTER, K. A.; KROPF, D. H.; MERRIMAN, M.; DELDUCA, G.; MILLIKEN, G.** (2004): Carbon Monoxide in Modified Atmosphere Packaging Affects Color, Shelf Life, and Microorganisms of Beef Steaks and Ground Beef. In: Journal of Food Science, Vol. 69, S. 45–52.
- ISMAIL, S. A. S.; DEAK, T.; ABD EL-RAHMANN, H. A.; YASSIEN, M. A. M.; BEUCHAT, L. R.** (2000): Presence and changes in populations of yeasts on raw and processed poultry products stored at refrigeration temperature. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 62, S. 113–121.
- JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G.** (2000): Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time, and modified atmosphere composition. In: Meat Science, Vol. 54, S. 49–57.
- JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G.** (2002): The Use of CO<sub>2</sub> in Packaging of Fresh red Meats and its Effect on chemical Quality Changes in the Meat: A Review. In: Journal of Muscle Foods, Vol. 13, S. 143–168.
- JAKOBSEN, M.; BERTELSEN, G.** (2004): Predicting the amount of carbon dioxide absorbed in meat. In: Meat Science, Vol. 68, S. 603–610.
- JAMES, S. J.** (2002): New developments in the chilling and freezing of meat. In: Kerry, Joseph; Kerry, John; Ledward, David (Hg.): Meat processing. Improving quality. Cambridge: Woodhead Publ., S. 297–312.
- JAMES, S. J.** (2004): Poultry refrigeration. In: Mead, G. C. (Hg.): Poultry meat processing and quality. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 164–185.
- JAMES, S. J.; EVANS, J.; JAMES, C.** (2008): A review of the performance of domestic refrigerators. In: Journal of Food Engineering, Vol. 87, S. 2–10.

- JAMILAH, M. B.; ABBAS, K. A.; RAHMAN, R. A.** (2008): A Review on Some Organic Acids as Shelf Life Extenders of Fresh Beef Cuts. In: American Journal of Agricultural and Biological Sciences, Vol. 3, S. 566–574.
- JAYASINGH, P.; CORNFORTH, D. P.; BRENNAND, C. P.; CARPENTER, C. E.; WHITTIER, D. R.** (2002): Sensory Evaluation of Ground Beef Stored in High-Oxygen Modified Atmosphere Packaging. In: Journal of Food Science, Vol. 67, S. 3493–3496.
- JAYE, M.; KITAKA, R. S.; ORDAL, Z. J.** (1962): The effect of temperature and packaging material on the storage life and bacterial flora of ground beef. In: Food Technology, S. 95–98.
- JEREMIAH, L. E.; GIBSON, L. L.** (2001): The influence of storage temperature and storage time on color stability, retail properties and case-life of retail-ready beef. In: Food Research International, Vol. 34, S. 815–826.
- JIMÉNEZ, S. M.; SALSI, M. S.; TIBURZI, M. C.; RAFAGHELLI, R. C.; PIROVANI, M. E.** (1999): Combined use of acetic acid treatment and modified atmosphere packaging for extending the shelf life of chilled chicken breast portions. In: Journal of Applied Microbiology, Vol. 87, S. 339–344.
- JUDGE, M., ABERLE, E. D., FORREST, J. C., HEDRICK, H. B., MERKEL, R. A.** (1989): Principles of Meat Science. Dubuke, IA: Kendal & Hunt Publishing, S. 21-108.
- JUNEJA, V. K.; THIPPAREDDI, H.** (2004): Inhibitory effects of organic acid salts of *Clostridium perfringens* from spore inocula during chilling of marinated ground turkey breast. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 93, S. 155–163.
- KEOKAMNERD, T.; ACTON, J. C.; HAN, I. Y.; DAWSON, P. L.** (2007): Effect of Ethanol Rinse, *Lactobacillus fermentum* Inoculation, and Modified Atmosphere on Ground Chicken Meat Quality. In: Poultry Science, Vol. 86, S. 1424–1430.
- KIM, C. R.; MARSHALL, D. L.** (2000): Quality Evaluation of Refrigerated Chicken Wings treated with Organic Acids. In: Journal of Food Quality, Vol. 23, S. 327–335.
- KLEER, J.** (2004): Mikroorganismen in Lebensmitteln. In: Sinell, Hans-Jürgen (Hg.): Einführung in die Lebensmittelhygiene. Stuttgart: Parey, S. 9-33.
- KLETTNER, P.-G.; STIEBING, A.** (1980): Beitrag zur Bestimmung der Farbe bei Fleisch und Fleischerzeugnissen. I. Einführung in die Grundlagen der Farbmessung. In: Fleischwirtschaft, Vol. 60, S. 1970–1976.
- KNOCHEL, S.; GOULD, G.** (1995): Preservation microbiology and safety: Quo vadis. In: Trends in Food Science and Technology, Vol. 6, S. 127–131.

- KOUTSOUMANIS, K.; STAMATIOU, A.; SKANDAMIS, P.; NYCHAS, G.-J. E.** (2006): Development of a Microbial Model for the Combined Effect of Temperature and pH on Spoilage of Ground Meat, and Validation of the Model under Dynamic Temperature Conditions. In: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 72, S. 124–134.
- KOUTSOUMANIS, K.; TAOUKIS, P. S.** (2005): Meat safety, refrigerated storage and transport: modeling and management. In: Sofos, John Nikolaos (Hg.): Improving the safety of fresh meat. Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], S. 503–561.
- KOUTSOUMANIS, K. P.; STAMATIOU, A. P.; DROSINOS, E. H.; NYCHAS, G.-J. E.** (2008): Control of spoilage microorganisms in minced pork by self-developed modified atmosphere induced by respiratory activity of meat microflora. In: Food Microbiology, Vol. 25, S. 915–921.
- KRÄMER, J.** (2002): Lebensmittel-Mikrobiologie. 4., neu bearb. Aufl. Stuttgart: Ulmer. S. 22-82; S. 123-138; S. 139-149.
- KREYENSCHMIDT, J.; LOHMEYER, K.; STAHL, N.** (2002): Charakterisierung des Verderbs von Frischfleisch. In: Fleischwirtschaft, H. 10, S. 108–111.
- LABADIE, J.** (1999): Consequences of packing on bacterial growth. Meat is an ecological niche. In: Meat Science, Vol. 52, S. 299–305.
- LAMBERT, A. D.; SMITH, J. P.; DODDS, K. L.** (1991): Shelf life extension and microbiological safety of fresh meat - a review. In: Food Microbiology, Vol. 8, S. 267–297.
- LAMBERT, R. J. W.; STRATFORD, M.** (1999): Weak-acid preservatives: modelling microbial inhibition and response. In: Journal of Applied Microbiology, Vol. 86, S. 157–164.
- LAWRIE, R.A.** (1998): Lawrie's meat science. 6. ed. Cambridge: Woodhead.
- LEBERT, I.; LEBERT, A.** (2006): Quantitative prediction of microbial behavior during food processing using an integrated modelling approach: a review. In: International Journal of Refrigeration, Vol. 29, S. 968–984.
- LEISTNER, L.** (1978): Hurdle Effect and Energy Saving. In: Downey, W. K. (Hg.): Food Quality and Nutrition. Research Priorities for Thermal Processing, S. 553–557.
- LEISTNER, L.** (1994): Further Developments in the Utilization of Hurdle Technology for Food Preservation. In: Journal of Food Engineering, Vol. 22, S. 421–432.
- LEISTNER, L.; GORRIS, L. G. M.** (1995): Food preservation by hurdle technology. In: Trends in Food Science and Technology, Vol. 6, S. 41–46.
- LEISTNER, L.** (1995): Principles and applications of hurdle technology. In: Gould, G. W. (Hg.): New methods of food preservation. 1. ed. London: Blackie Academic & Professional, S. 1–21.

- LEISTNER, L.** (2000): Basic aspects of food preservation by hurdle technology. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 55, S. 181–186.
- LIANOU, A.; GEORNARAS, I.; KENDALL, P. A.; SCANGA, J. A.; SOFOS, J. N.** (2007): Behaviour of *Listeria monocytogenes* at 7 °C in commercial turkey breast, with or without antimicrobials, after simulated contamination for manufacturing, retail and consumer settings. In: Food Microbiology, Vol. 24, S. 433–443.
- LIENAU, J.; KLEIN, G.; ELLERBROEK, L.** (2003): *Campylobacter* spp. beim Geflügel. Untersuchungen zum Vorkommen in der Mast, während der Schlachtung und auf dem Endprodukt. In: Fleischwirtschaft, H. 1, S. 86–87.
- LIMBO, S.; TORRI, L.; FRANZETTI, L.; CASIRAGHI, E.** (2010): Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. In: Meat Science, Vol. 84, S. 129–136.
- LIU, H.** (1970): Catalysts of lipid peroxidation in meats. 2. Linoleate oxidation catalyzed by tissue homogenates. In: Journal of Food Science, H. 35, S. 593–595.
- LOSS, C. R.; HOTCHKISS, J. H.** (2002): Inhibition of microbial growth by low-pressure and ambient pressure gases. In: Juneja, Vijay K.; Sofos, John Nikolaos (Hg.): Control of foodborne microorganisms. New York: Dekker, S. 245–281.
- LUCERA, A.; MATROMATTEO, M.; SINIGAGLIA, M.; CORBO, M. R.** (2009): Combined effects of thymol, carvacrol and grapefruit seed extract on lipid oxidation and color stability of poultry meat preparations. In: International Journal of Food Science and Technology, Vol. 44, S. 2256–2267.
- LÜCKE, F.-K.; TROEGER, K.** (2007): Mikrobiologische Risiken. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl. S. 553-624.
- MALLIA, J. G.; BARBUT, S.; MARTIN, J. P.; MCEVEN, S. A.** (2000): A dark, firm-dry like condition in turkeys condemned for cryanosis. In: Poultry Science, H. 79, S. 281–285.
- MANCINI, R. A.; HUNT, M. C.** (2005): Current Research in meat color. In: Meat Science, Vol. 71, S. 100–121.
- MANCINI, R. A.; HUNT, M. C.; SEYFERT, M.; KROPF, D. H.; HACHMEISTER, K. A.; HERALD, T. J.; JOHNSON, D. E.** (2007): Effects of ascorbic acid on beef lumbar vertebrae marrow colour. In: Meat Science, Vol. 76, S. 568–573.

- MARKLINDER, I. M.; LINDBLAD, M.; ERIKSSON, L. M.; LINDQVIST, R.** (2004): Home Storage Temperatures and Consumer Handling of Refrigerated Foods in Sweden. In: *Journal of Food Protection*, Vol. 67, S. 2570–2577.
- MASTROMATTEO, M.; LUCERA, A.; SINIGAGLIA, M.; CORBO, M. R.** (2009): Microbiological characteristics of poultry patties in relation to packaging atmosphere. In: *International Journal of Food Science and Technology*, H. 44, S. 2620–2628.
- MATHES, M.; MÖLLERHERM, L.; KRELL, U.** (1997): Geflügel. Warenkunde - Einkauf - Verkauf. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 61-95.
- MAYRHOFER, S.; PAULSEN, P.; SMULDERS, F. J. M.; HILBERT, F.** (2004): Antimicrobial resistance profile of five major food-borne pathogens isolated from beef, pork and poultry. In: *International Journal of Food Microbiology*, H. 97, S. 23–29.
- MCKEE, L.** (2007a): General Attributes of Fresh and Frozen Poultry Meat. In: Nollet, Leo M. L.; Boylston, Terri (Hg.): *Handbook of meat, poultry and seafood quality*. 1. ed. Ames, Iowa: Blackwell Publ., S. 429–437.
- MCKEE, L.** (2007b): Microbiological and Sensory Properties of Fresh and Frozen Poultry. In: Nollet, Leo M. L.; Boylston, Terri (Hg.): *Handbook of meat, poultry and seafood quality*. 1. ed. Ames, Iowa: Blackwell Publ., S. 487–496.
- McMILLIN, K. W.** (2008): Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. In: *Meat Science*, Vol. 80, S. 43–65.
- McNAMARA, A. M.** (1997): Generic HACCP Application in Broiler and Slaughter Processing. National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods. In: *Journal of Food Protection*, Vol. 60, S. 579–604.
- MEAD, G. C.** (2004a): Microbial hazards in production and processing. In: Mead, G. C. (Hg.): *Poultry meat processing and quality*. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 232–257.
- MEAD, G. C.** (2004b): Shelf-life and spoilage of poultry meat. In: Mead, G. C. (Hg.): *Poultry meat processing and quality*. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 283–303.
- MEAD, G. C.** (2004c): Meat quality and consumer requirements. In: Mead, G. C. (Hg.): *Poultry meat processing and quality*. Boca Raton: CRC Press (Woodhead Publishing in food science and technology), S. 1–10.

- MERCIER, Y.; GATELLIER, P.; REMIGNON, H.; RENERRE, M.** (1998): Effect of Dietary Fat and Vitamin E on Colour Stability and on Lipid and Protein Oxidation in Turkey Meat during Storage. In: *Meat Science*, Vol. 48, H. 3/4, S. 301–318.
- MILLAR, S.; WILSON, R.; MOSS, B. W.; LEDWARD, D. A.** (1994): Oxymyoglobin Formation in Meat and Poultry. In: *Meat Science*, Vol. 36, S. 397–406.
- MILLER, A. J.; CALL, J. E.; WHITING, R. C.** (1993): Comparison of Organic Acid Salts for *Clostridium botulinum* Control in an Uncured Turkey Product. In: *Journal of Food Protection*, Vol. 56, S. 958–962.
- MILLER, R. J.** (2002): Factors affecting the quality of raw meat. In: Kerry, Joseph; Kerry, John; Ledward, David (Hg.): *Meat processing. Improving quality*. Cambridge: Woodhead Publ., S. 27–63.
- MIN, J. S.; LEE, S. O.; JANG, A.; JOHNSON, C.; LEE, M.** (2007): Control of Microorganisms and Reduction of Biogenic Amines in Chicken Breasts and Thigh by Irradiation and Organic Acids. In: *Poultry Science*, Vol. 86, S. 2034–2041.
- MONTERRAT, M.-M.; YUSTE, J.** (2010): Emerging Bacterial Pathogens in Meat and Poultry: An Overview. In: *Food Bioprocess Technol*, Vol. 3, S. 24–35.
- MONTVILLE, T. J.; MATTHEWS, K. R.** (2007): Factors of Special Significance to Food Microbiology. Growth, Survival, and Death of Microbes in Foods. In: Doyle, Michael P.; Beuchat, Larry R. (Hg.): *Food microbiology. Fundamentals and frontiers*. 3. ed. Washington, DC: ASM Press, S. 3–22.
- MORTIMER, C. E.; MÜLLER, U.** (2007): *Chemie. Das Basiswissen der Chemie ; mit Übungsaufgaben ; 123 Tabellen*. 6., völlig Neubearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme. S. 293-318; S. 543-572.
- MOTOYAMA, M.; KOBAYASHI, M.; SASAKI, K.; NOMURA, M.; MITSUMOTO, M.** (2010): *Pseudomonas* spp. convert metmyoglobin into deoxymyoglobin. In: *Meat Science*, Vol. 84, S. 202–207.
- MÜLLER, K.; GIBIS, D.; SCHMID, M.** (2009): Schutzgasverpackungen von Frischfleisch und Wurstwaren. In: *Ernährung aktuell*, Vol. 20, S. 25–29.
- NAKAI, S. A.; SIEBERT, K. J.** (2003): Validation of bacterial growth inhibition models based on molecular properties of organic acids. In: *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 86, S. 249–255.
- NARASIMHA RAO, D.; RAMESH, B. S.** (1988): Microbial Profiles of Minced Meat. In: *Meat Science*, Vol. 23, S. 279–291.

- NARASIMHA RAO, D.; SACHINDRA, N. M.** (2002): Modified Atmosphere and Vacuum Packaging of Meat and Poultry Products. In: Food Reviews International, Vol. 18, H. 4, S. 263–293.
- NAUTA, M. J.; LITMAN, S.; BARKER, G. C.; CARLIN, F.** (2003): A retail and consumer phase model for exposure assessment of *Bacillus cereus*. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 83, S. 205–218.
- NAZER, A. I.; KOBILINSKY, A.; THOLOZAN, J.-L.; DUBOIS-BRISSENET, F.** (2005): Combinations of food antimicrobials at low levels to inhibit the growth of *Salmonella sv. Typhimurium*: a synergistic effect. In: Food Microbiology, Vol. 22, S. 391–398.
- NIELSEN, M. K.; ARNEBORG, N.** (2007): The effect of citric acid and pH on growth and metabolism of anaerobic *Saccharomyces cerevisiae* and *Zygosaccharomyces bailii* cultures. In: Food Microbiology, Vol. 24, S. 101–105.
- NOWAK, B.; VON MUEFFLING, T.; GROTHEER, J.; KLEIN, G.; WATKINSON, B. M.** (2007): Energy Content, Sensory Properties, and Microbiological Shelf Life of German Bologna-Type Sausages Produced with Citrate or Phosphate and with Inulin as Fat Replacer. In: Journal of Food Science, Vol. 72, S. 629-638.
- NYCHAS, G.-J. E.** (1994): Modified atmosphere packaging of Meats. In: Singh, R Paul (Hg.): Minimal processing of foods and process optimization. An interface. Boca Raton, Fla.: CRC Press (Food engineering and manufacturing series), S. 417–436.
- NYCHAS, G.-J. E.** (1997): Spoilage Processes and Proteolysis in Chicken as Detected by HPLC. In: Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol. 74, S. 199–208.
- NYCHAS, G.-J. E.; SKANDAMIS, P. N.** (2005): Fresh meat spoilage and modified atmosphere packaging (MAP). In: Sofos, John Nikolaos (Hg.): Improving the safety of fresh meat. Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], S. 461–502.
- NYCHAS, G.-J. E.; MARSHALL, D. L.; SOFOS, J. N.** (2007): Microbial Spoilage and Public Health Concerns. Meat, Poultry, and Seafood. In: Doyle, Michael P.; Beuchat, Larry R. (Hg.): Food microbiology. Fundamentals and frontiers. 3. ed. Washington, DC: ASM Press, S. 105–140.
- NYCHAS, G.-J. E.; SKANDAMIS, P. N.; TASSOU, C. C.; KOUTSOUMANIS, K. P.** (2008): Meat spoilage during distribution. In: Meat Science, Vol. 78, S. 77–89.
- O'CONNOR, P. L.; BREWER, S. M.; MCKEITH, F. K.; NOVAKOFSKI, J. E.; CARR, ET.R.** (1993): Sodium Lactate/Sodium Chloride Effects on Sensory Characteristics and Shelf-Life of Fresh Ground Pork. In: Journal of Food Science, Vol. 58, H. 5, S. 978–986.



- OELKER, P.** (1996): Postmortale Veränderungen. In: Sielaff, Heinz (Hg.): Fleischtechnologie. 1. Aufl. Hamburg: Behr, S. 123–132.
- OGDEN, S.K.; GUERRERO, I.; TAYLOR, A. J.; ESCALONA BUENDIA, H.; GALLARDO, F.** (1995): Changes in Odour, Colour and Texture during the Storage of Acid Preserved Meat. In: LWT - Food Science and Technology, Vol. 28, S. 521–527.
- O'KEEFFE, M.; HOOD, D. E.** (1981): Anoxic storage of fresh beef. 2: Colour stability and weight loss. In: Meat Science, Vol. 5, H. 4, S. 267–281.
- OKOLOCHA, E. C.; ELLERBROEK, L.** (2005): The influence of acid and alkaline treatments on pathogens and the shelf life of poultry meat. In: Food Control, Vol. 16, S. 217–225.
- OLSEN, J. E.; BROWN, D. J.; MADSEN, M.; BISGAARD, M.** (2003): Cross-contamination with Salmonella on an broiler slaughterhouse line demonstrated by use of epidemiological markers. In: Journal of Applied Microbiology, Vol. 94, S. 826–835.
- OUATTARA, B.; SIMARD, R. E.; HOLLEY, R. A.; PIETTE, G. J.-P.; BEGIN, A.** (1997): Inhibitory Effect of Organic Acids upon Meat Spoilage Bacteria. In: Journal of Food Protection, Vol. 60, H. 3, S. 246–253.
- ÖZBAS, Z. Y.; VURAL, H.; AYTAC, S. A.** (1996): Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on the growth of spoilage and inoculated pathogenic bacteria on fresh poultry. In: Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung, Vol. 203, S. 326–332.
- PATERSON, B. C.; PARRISH, F. C.; STROMER, M. H.** (1988): Effects of salt and pyrophosphate on the physical and chemical properties of beef muscle. In: Journal of Food Science, Vol. 53, S. 1258-1265.
- PATSIAS, A.; CHOULIARA, I.; BADEKA, A.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G.** (2006): Shelf-Life of a chilled precooked chicken product stored in air and under modified atmospheres: microbiological, chemical, sensory attributes. In: Food Microbiology, Vol. 23, S. 423–429.
- PATSIAS, A.; BADEKA, A.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G.** (2008): Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. In: Food Microbiology, Vol. 25, S. 575–581.
- PERÉZ-ÁLVAREZ, J. A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J., GAGO-GAGO, M. A., RUÍZ-PELUFFO, C., ROSMINI, M., PAGÁN-MORENO, M. J; LÓPEZ-SANTOVEÑA, F.; ARANDA-CATALÁ, V.** (1997): Chemical and color characteristics of "lomo embuchado" during salting seasoning. In: Journal of Muscle Foods, Vol. 8, S. 395-411.

- PERÉZ-ÁLVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LOPEZ, J.** (2009): Color Characteristics of Meat and Poultry Processing. In: Nollet, Leo M. L.; Toldrá, Fidel (Hg.): Handbook of processed meats and poultry analysis. Boca Raton, Fla.: CRC Press, S. 355–373.
- PETRACCI, M.; FLETCHER, D.L.** (2002): Broiler Skin and Meat Color Changes during Storage. In: Poultry Science, Vol. 81, S. 1589–1597.
- PFEIFFER, T.; MENNER, M.** (1999): Schutzgas-Verpackung für SB-Frischfleisch. In: Fleischwirtschaft, H. 12, S. 79–83.
- PICHHARDT, K.** (1998): Lebensmittelmikrobiologie. Grundlagen für die Praxis. Berlin: Springer.
- PIN, C.; GONZALO, D. G.; ORDONEZ, J. A.** (2002): Effect of Modified Atmosphere Composition on the Metabolism of Glucose by *Brochothrix thermosphacta*. In: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 68, S. 4441–4447.
- PINGEL, H.; WICKE, M.; VON LENGERKEN, G.** (2007): Schlachttierwert und Gewinnung von Geflügelfleisch. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 329–372.
- PIPEK, P.; FÍLA, P.; JELENÍKOVÁ, J.; BRYCHTA, J.; MIYAHARA, M.** (2004): Technological Aspects of Acid Decontamination of Carcasses. In: Chemicke Listy, Vol. 98, H. 9, S. 865–869.
- POHLOUDEK-FABINI, R.** (1954): Studien über die Chemie und Physiologie der Citronensäure. Habilitationsschrift. Humboldt-Universität Berlin, Math.-nat. Fakultät.
- POTTHAST, K.** (1986): Fleischfarbe, Farbstabilität und Umrötung. In: Bundesanstalt für Fleischforschung (Hg.): Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität. Kulmbacher Reihe Band 6. Kulmbach, S. 89–110.
- QIAO, M.; FLETCHER, D. L.; NORTHCUTT, J. K.; SMITH, D. P.** (2002): The Relationship between Raw Broiler Breast Color and Composition. In: Poultry Science, Vol. 81, S. 422–427.
- RATHGEBER, B. M.; BOLES, J. A.; SHAND, P. J.** (1999): Rapid Postmortem pH Decline and Delayed Chilling Reduce Quality of Turkey Breast Meat. In: Poultry Science, Vol. 78, S. 477–484.
- REGEZ, P.; GALLO, L.; SCHMITT, R. E.; SCHMIDT-LORENZ, W.** (1988): Microbial Spoilage of Refrigerated Fresh Broilers. III. Effect of Storage Temperature on the Microbial Association of Poultry Carcasses. In: LWT - Food Science and Technology, Vol. 21, S. 229–233.

- RENERRE, M.** (1990): Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. In: International Journal of Food Science and Technology, Vol. 25, S. 613–630.
- REMM, K.; KOCH, K.; VON MÜFFLING, T.; NOWAK, B.** (2009): Study on the microbial status of unseasoned ground turkey meat from an EU producer – a new product with risk potential? In: British Poultry Science, Vol. 50, S. 495-503.
- REUTER, G.** (2003): Mikrobiologie des Fleisches. In: Weber, Herbert (Hg.): Fleisch - Fisch - Feinkost. Mikrobiologie der Lebensmittel. 1. Auflage. Hamburg: Behr, S. 1–111.
- RHEE, K. S.; TERRELL, R. N.; QUINTANILLA, M.; VANDERZANT, C.** (1983): Effect of Addition of Chloride Salts on Rancidity of Ground Pork Inoculated with *Moraxella* or a *Lactobacilla* Species. In: Journal of Food Science, Vol. 48, S. 302–303.
- RICKE, S. C.** (2003): Perspectives on the Use of Organic Acids and Short Chain Fatty Acids as Antimicrobials. In: Poultry Science, Vol. 82, S. 632–639.
- RISTIC, M.; FREUDENREICH, P.; DAMME, K.** (2008): Die chemische Zusammensetzung des Geflügelfleisches. In: Fleischwirtschaft, H. 9, S. 124–126.
- ROBERT KOCH-INSTITUT (RKI)** (2007): Epidemiologisches Bulletin Nr. 36 vom 07.09.2007. Berlin: Robert Koch-Institut.
- ROE, A. J.; O'BYRNE, C.; MCLAGGAN, D.; BOOTH, I. R.** (2002): Inhibition of *Escherichia coli* growth by acetic acid: a problem with methionine biosynthesis and homocysteine toxicity. In: Microbiology, Vol. 148, S. 2215–2222.
- ROTABAKK, B. T.; BIRKELAND, S.; JEKSRUD, W. K.; SIVERTSVIK, M.** (2006): Effect of Modified Atmosphere Packaging and Soluble Gas Stabilization on the Shelf Life of Skinless Chicken Breast Fillets. In: Journal of Food Science, Vol. 71, H. 2, S. 124–131.
- RUSSO, F.; ERCOLINO, D.; MAURIELLO, G.; VILLANI, F.** (2006): Behaviour of *Brochothrix thermosphacta* in presence of other meat spoilage microbial groups. In: Food Microbiology, Vol. 23, S. 797–802.
- SALLAM, K. I.; SAMEJIMA, K.** (2004): Microbiological and chemical quality of ground beef treated with sodium lactate and sodium chloride during refrigerated storage. In: LWT - Food Science and Technology, Vol. 37, S. 865–871.
- SAMARA, A.; KOUTSOUMANIS, K.P.** (2009): Effect of treating lettuce surfaces with acidulants on the behavior of *Listeria monocytogenes* during storage at 5 and 20 °C and subsequent exposure to simulated gastric fluid. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 129, S. 1–7.

- SAMELIS, J.; SOFOS, J. N.** (2005): Meat decontamination and stress adaption. In: Sofos, J.N.: Improving the Safety of Fresh Meat. New York and Washington D.C.: CRC Press, S. 563-591.
- SAUCIER, L.; GENDRON, C.; GARIEPY, C.** (2000): Shelf Life of Ground Poultry Meat Stored Under Modified Atmosphere. In: Poultry Science, Vol. 79, S. 1851–1856.
- SCHWÄGELE, F.** (2003): Struktur und Funktion des Muskels. In: Bundesanstalt für Fleischforschung (Hg.): Chemie des Lebensmittels Fleisch. Kulmbacher Reihe Band 18. Kulmbach, S. 39–56.
- SEIDEMANN, S. C.; DURLAND, P. R.** (1984): The Utilization of Modified Gas Atmosphere Packaging for Fresh Meat: A Review. In: Journal of Food Quality, Vol. 6, S. 239–252.
- SENER, S. D.; ARNOLD, J. W.; CHEW, V.** (2000): APC values and volatile compounds formed in commercially processed, raw chicken parts during storage at 4 and 13 °C and under simulated temperature abuse conditions. In: Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol. 80, S. 1559–1564.
- SERDAROĞLU, M.; ABDRAIMOV, K.; ÖNENC, A.** (2007): The Effects of marinating with Citric acid solutions and Grapefruit Juice on cooking and eating quality of turkey breast. In: Journal of Muscle Foods, Vol. 18, S. 162–172.
- SEuß-BAUM, I.** (2007): Ernährungsphysiologische Bedeutung von Fleisch und Fleischerzeugnissen. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 755–778.
- SEYDIM, A. C.; ACTON, J. C.; HALL, M. A.; DAWSON, P. L.** (2006): Effects of packaging atmospheres on shelf-life quality of ground ostrich meat. In: Meat Science, Vol. 73, S. 503–510.
- SIELAFF, H.** (1996): Zusammensetzung von Tierkörperteilen. In: Sielaff, Heinz (Hg.): Fleischtechnologie. 1. Aufl. Hamburg: Behr, S. 49–86.
- SIRAGUSA, G. R.** (1995): The Effectiveness of Carcass Decontamination Systems for Controlling the Presence of Pathogens on the Surfaces of Meat Animal Carcasses. In: Journal of Food Safety, Vol. 15, S. 229–238.
- SMITH, J. P.; RAMASWAMY, H. S.; SIMPSON, B. K.** (1990): Developments in food packaging technology. Part II: Storage aspects. In: Trends in Food Science and Technology, Vol. 1, H. 5, S. 111–118.

- SMOLANDER, M.; ALAKOMI, H.-L.; RITVANEN, T.; VAINIONPÄÄ, J.; AHVENAINEN, R.** (2004): Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts stored in different temperature conditions. A. Time-temperature indicators as quality-indicating tools. In: *Food Control*, Vol. 15, S. 217–229.
- SMULDERS, F. J. M.** (1995): Preservation by microbial decontamination; the surface treatment of meats by organic acids. In: Gould, G. W. (Hg.): *New methods of food preservation*. 1. ed. London: Blackie Academic & Professional, S. 253–279.
- SMULDERS, F. J. M.; GREER, G. G.** (1998): Integrating microbial decontamination with organic acids in HACCP programmes for muscle foods: prospects and controversies. In: *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 44, S. 149–169.
- SØRHEIM, O.; OFSTAD, R.; LEA, P.** (2004): Effects of carbon dioxide on yield, texture and microstructure of cooked ground beef. In: *Meat Science*, Vol. 67, S. 231–236.
- STOLLE, A.; WEBER, H.** (2004): Haltbarmachung und sonstige Behandlung von Lebensmitteln. Physikalische Verfahren zur Haltbarmachung. Neuere Technologien zur Haltbarmachung. In: Sinell, Hans-Jürgen (Hg.): *Einführung in die Lebensmittelhygiene*. s.l.: Parey, S. 168–171.
- STRATFORD, M.; LAMBERT, R. J. W.** (1999): Weak-acid preservatives: mechanisms of adaption and resistance by yeasts. In: *Food Australia*, Vol. 51, H. 1, 2, S. 26–29.
- STRATFORD, M.** (2000): Traditional Preservatives – Organic Acids. In: Robinson, R.K.; Batt, C.A.; Patel, P.: *Encyclopedia of Food Microbiology*. San Diego: Acad. Press. S. 1729-1737.
- SWATLAND, H. J.** (2008): How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. In: *Meat Science*, Vol. 80, S. 396–400.
- TAN, W.; SHELEF, L. A.** (2002): Effects of sodium chloride and lactates on chemical and microbiological changes in refrigerated and frozen fresh ground pork. In: *Meat Science*, Vol. 62, S. 27–32.
- THERON, M. M.; LUES, J. F. R.** (2007): Organic acids and meat preservation: A review. In: *Food Reviews International*, Vol. 23, S. 141–158.
- TORRES, E.; PEARSON, A. M.; GRAY, J. I.; BOOREN, A. M.; SHIMOKOMAKI, M.** (1988): Effect of salt on oxidative changes in pre- and post-rigor ground beef. In: *Meat Science*, Vol. 23, S. 151-163.
- TOTOSAUS, A.; KURI, V.** (2007): Packaging of Fresh and Frozen Poultry. In: Nollet, Leo M. L.; Boylston, Terri (Hg.): *Handbook of meat, poultry and seafood quality*. 1. ed. Ames, Iowa: Blackwell Publ., S. 475–485.

- TOTOSAUS, A.; PEREZ-CHABELA, M. L.; GUERRERO, I.** (2007): Color of Fresh and Frozen Poultry. In: Nollet, Leo M. L.; Boylston, Terri (Hg.): Handbook of meat, poultry and seafood quality. 1. ed. Ames, Iowa: Blackwell Publ., S. 455–465.
- TUNCER, B.; SIRELI, U. T.** (2008): Microbial Growth on Broiler Carcasses Stored at Different Temperatures After Air- or Water-Chilling. In: Poultry Science, Vol. 87, S. 793–799.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA)** (1996): Nationwide Raw Ground Chicken Microbiological Survey. Herausgegeben von Food Safety and Inspection Service. Science and Technology, S. 1–8.
- UNTERSTEINER, H.** (2007): Statistik - Datenauswertung mit Excel und SPSS. Für Naturwissenschaftler und Mediziner. 2., überarb. Aufl. Wien: Facultas.
- VAIKOUSI, H.; BILIADERIS, C. G.; KOUTSOUMANIS, K. P.** (2008): Development of a Microbial Time/Temperature Indicator Prototype for Monitoring the Microbiological Quality of Chilled Foods. In: Applied and Environmental Microbiology, Vol. 74, H. 10, S. 3242–3250.
- VALERO, A.; CARRASCO, E.; PÉREZ-RODRIGUEZ, F.; GARCIA-GIMENO, R. M.; ZURERA, G.** (2006): Growth/no growth model of *Listeria monocytogenes* as a function of temperature, pH, citric acid and ascorbic acid. In: European Food Research and Technology, Vol. 224, H. 1, S. 91–100.
- VIRTO, R.; SANZ, D.; ÁLVAREZ, I.; CONDÓN, R. J.** (2005): Inactivation kinetics of *Yersinia enterocolitica* by citric and lactic acid at different temperatures. In: International Journal of Food Microbiology, Vol. 103, S. 251–257.
- WALSH, H. M.; KERRY, J. P.** (2002): Meat packaging. In: Kerry, Joseph; Kerry, John; Ledward, David (Hg.): Meat processing. Improving quality. Cambridge: Woodhead Publ., S. 417–451.
- WAN, T.-C.; LIN, L.-C.; SAKATA, R.** (2007): Effect of organic acids on the microbial quality of Taiwanese-style sausages. In: Animal Science Journal, Vol. 78, S. 407–412.
- WEBER, H.** (2003): Mikrobiologie der Rohwurst. In: Weber, Herbert (Hg.): Mikrobiologie der Lebensmittel. Fleisch - Fisch - Feinkost. 1. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, S. 317-343.
- WEISE, E.** (2003): Geflügel als Träger und Überträger von Mikroorganismen. In: Weber, Herbert (Hg.): Mikrobiologie der Lebensmittel. Fleisch - Fisch - Feinkost. 1. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, S. 563–643.
- WEISE, E.; TEUFEL, P.** (1989): Listerien in Lebensmittel - ein ungelöstes Problem. In: Ärztliches Laboratorium, H. 35, S. 205–208.

**WERNER, C.; WICKE, M.** (2008): Farbvariabilität und -stabilität von Hähnchenbrust in Schutzgasverpackung. In: Fleischwirtschaft, H. 9, S. 130–132.

**WICKE, M.; MAAK, S.; REHFELDT, C.; VON LENGERKEN, G.** (2007): Anatomisch-physiologische Grundlagen der Fleischqualität. In: Branscheid, Wolfgang; Honikel, Karl O.; Lengerken, Gerhard von; Troeger, Klaus (Hg.): Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2., vollständig überarb. und erweiterte Auflage. Frankfurt am Main: Dt. Fachverl., S. 689–726.

**WIEDER, G.** (Hg.) (1989): Genusssäuren und ihre Salze. Anwendung und Wirkung in Lebensmitteln. Gesellschaft Deutscher Chemiker, Fachgruppe Lebensmittelchemie und Gerichtliche Chemie. Hamburg: Behr's Verlag. S. 39-61.

**YOUNG, K. M.; FOEGEDING, P. M.** (1993): Acetic, lactic and citric acids and pH inhibition of *Listeria monocytogenes* Scott A and the effect on intracellular pH. In: Journal of Applied Bacteriology, Vol. 74, S. 515–520.

**YOUNG, L. L.; REVIERE, R. D.; COLE, A. B.** (1988): Fresh Red Meats: A Place to Apply Modified Atmospheres. In: Food Technology, S. 65–69.

**YOUNG, O. A.; WEST, J.** (2001): Meat color. In: Hui, Y. H (Hg.): Meat science and applications. New York, NY: Dekker, S. 39–71.

**ZHAO, T.; DOYLE, M. P.** (2006): Reduction of *Campylobacter jejuni* on Chicken Wings by Chemical Treatments. In: Journal of Food Protection, Vol. 69, S. 762–767.

**ZHU, M. J.; MENDONCA, A.; ISMAIL, H. A.; DU, M.; LEE, E. J.; AHN, D. U.** (2005): Impact of Antimicrobial Ingredients and Irradiation on the Survival of *Listeria monocytogenes* and the Quality of Ready-to-Eat Turkey Ham. In: Poultry Science, Vol. 84, S. 613–620.

**GESETZE UND VERORDNUNGEN**

LEBENSMITTEL- UND FUTTERMITTELGESETZBUCH (LFGB), neugefasst durch Bek. vom 26.04.2006

VERFAHREN DER AMTLICHEN SAMMLUNG VON UNTERSUCHUNGSVERFAHREN nach § 64 LFGB:

L 00.00-20 (2004)	Horizontales Verfahren zum Nachweis von <i>Salmonella</i> spp. in Lebensmitteln
L 00.00-22 (1991)	Horizontales Verfahren zum Nachweis und die Zählung von <i>Listeria monocytogenes</i> , Teil 2: Zählverfahren
L 00.00-32 (2006)	Horizontales Verfahren zum Nachweis und die Zählung von <i>Listeria monocytogenes</i> , Teil 1: Nachweisverfahren
L 06.00-1 (1980)	Vorbereitung von Fleisch und Fleischerzeugnissen zur chemischen Untersuchung
L 06.00-2 (1980)	Messung des pH-Wertes in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-3 (2004)	Bestimmung der Trockenmasse in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-4 (2007)	Bestimmung der Asche in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-5 (1980)	Bestimmung des Kochsalzgehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-6 (1980)	Bestimmung des Gesamtfettgehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-7 (2007)	Bestimmung des Rohproteingehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-8 (1980)	Bestimmung des Hydroxyprolinegehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-16 (2004)	Vorbereitung von Untersuchungsproben und Herstellung von Erstverdünnungen und Dezimalverdünnungen für mikrobiologische Untersuchungen von Fleisch und Fleischerzeugnissen
L 06.00-18 (1984)	Bestimmung der aeroben Keimzahl bei 30 °C in Fleisch und Fleischerzeugnissen; Spatel- und Plattengussverfahren (Referenzverfahren)
L 06.00-24 (1987)	Bestimmung von <i>Enterobacteriaceae</i> in Fleisch - Spatelverfahren (Referenzverfahren)
L 06.00-43 (1998)	Zählung von <i>Pseudomonas</i> spp. in Lebensmitteln

DIN/ISO-NORMEN

DIN EN ISO 10272-1 (2006) Mikrobiologie von Lebensmitteln und Futtermitteln  
Horizontales Verfahren zum Nachweis und zur Zählung von *Campylobacter* spp. - Teil 1: Nachweisverfahren



DIN 6174:2007                      Farbmetrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbenraum

#### VERORDNUNGEN

**VERORDNUNG (EG) Nr. 178/2002** DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit.

**VERORDNUNG (EG) Nr. 2160/2003** DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. November 2003 zur Bekämpfung von Salmonellen und bestimmten anderen durch Lebensmittel übertragbaren Zoonoseerregern.

**VERORDNUNG (EG) NR. 853/2004** DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs.

**VERORDNUNG (EG) Nr. 854/2004** DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 mit besonderen Verfahrensvorschriften für die amtliche Überwachung von zum menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen tierischen Ursprungs.

**VERORDNUNG (EG) Nr. 2073/2005** DER KOMMISSION vom 15. November 2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel.

**VERORDNUNG (EG) Nr. 1441/2007** DER KOMMISSION vom 5. Dezember 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2073/2005 über mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel.

**VERORDNUNG (EG) Nr. 543/2008** DER KOMMISSION vom 16. Juni 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 1234/2007 des Rates hinsichtlich der Vermarktungsnormen für Geflügelfleisch.

**VERORDNUNG ÜBER DIE ZULASSUNG VON ZUSATZSTOFFEN** von Lebensmitteln zu technologischen Zwecken (Zusatzstoff-Zulassungsverordnung – ZzulV); vom 29.01.1998, zuletzt geändert am 21.05.2010.

#### **INTERNETQUELLEN**

[http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2009/11/PD09\\_431\\_413,templateId=renderPrint.psm](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2009/11/PD09_431_413,templateId=renderPrint.psm) vom 19.11.2009.

[http://www.ngg.net/branche\\_betrieb/fleisch/branchen\\_info/bb\\_info\\_fleisch\\_lang.pdf](http://www.ngg.net/branche_betrieb/fleisch/branchen_info/bb_info_fleisch_lang.pdf) vom 19.11.2009

## **8 ANHANG**

### **8.1 ABBILDUNGS- UND TABELLENANHANG**

#### **8.1.1 ERGEBNISSE**

Die aus den Untersuchungsabschnitten I bis IV für die einzelnen Chargen jeweils erzielten Ergebnisse (MW) werden in den nachfolgenden Tabellen jeweils pro Charge und untersuchten Lagerungstag (L0, L3, L5, L7, L10) dargestellt.

ANHANG

**Tabelle 37: Einzelergebnisse (MW) aus den Chargen der Untersuchungsabschnitte I bis IV (T1)**

US-Tag	Chargen	O <sub>2</sub> Vol. %	CO <sub>2</sub> Vol. %	pH	L*	a*	b*	GKZ Log <sub>10</sub>	Ps Log <sub>10</sub>	Bro Log <sub>10</sub>	Ent Log <sub>10</sub>
L0	H1	70,70	19,20	6,16	51,52	7,18	10,56	4,48	4,41	3,51	3,22
	H2	68,95	19,65	6,27	52,88	6,85	9,58	4,40	4,41	3,35	3,29
	H3	73,45	17,75	6,26	49,21	6,61	9,38	5,45	5,06	4,20	3,39
	H4	70,85	20,20	6,14	49,66	7,64	10,23	3,92	3,32	2,39	2,74
	H5	66,70	21,05	6,22	48,15	6,51	10,84	5,78	4,43	4,41	4,12
	H6	73,30	19,55	6,21	48,32	6,64	10,05	5,76	4,36	4,52	4,04
L3	H1	69,05	21,15	6,16	49,59	6,86	9,98	4,72	4,67	3,84	3,70
	H2	68,55	21,35	6,15	51,47	6,86	9,53	4,75	4,77	3,76	3,69
	H3	67,65	18,90	6,27	49,92	7,01	9,41	6,15	5,65	4,99	4,60
	H4	65,30	20,70	6,30	47,38	7,61	9,71	5,00	3,55	3,11	2,55
	H5	62,45	21,55	6,24	48,74	6,36	10,89	6,28	4,57	4,75	3,93
	H6	71,40	19,70	6,24	46,56	6,61	10,52	6,49	4,71	5,77	4,53
L5	H1	68,90	21,90	6,15	49,49	6,70	9,57	5,34	5,73	4,81	3,82
	H2	67,25	21,10	6,18	51,56	6,70	10,02	5,18	5,71	5,50	3,15
	H3	72,35	19,55	6,27	49,71	7,18	9,74	6,37	6,07	6,02	4,82
	H4	68,35	21,80	5,97	47,05	7,55	9,57	5,19	3,85	3,91	2,72
	H5	63,75	22,10	6,22	46,13	5,69	9,83	6,85	6,2	5,80	4,57
	H6	67,15	19,80	6,22	45,89	5,53	10,49	7,18	6,59	5,97	5,71
L7	H1	59,30	21,35	6,21	49,24	6,34	9,26	5,69	6,77	5,66	4,47
	H2	65,65	21,75	6,16	50,61	6,51	9,13	5,68	6,77	6,39	4,39
	H3	69,40	19,25	6,29	49,56	6,95	9,71	6,67	6,45	6,57	4,57
	H4	68,70	21,45	6,01	47,02	6,80	9,58	5,97	5,31	4,69	3,17
	H5	65,45	22,05	6,21	47,08	5,82	10,52	7,68	6,72	7,51	5,33
	H6	68,75	23,80	6,20	47,04	5,40	10,50	7,83	6,77	6,61	5,99
L10	H1	62,30	22,70	6,20	50,41	6,44	9,55	7,27	7,78	7,42	5,06
	H2	63,70	22,00	6,18	48,85	6,38	9,35	7,18	7,8	7,50	4,75
	H3	65,50	22,25	6,64	48,73	6,71	10,05	7,81	7,56	7,57	5,10
	H4	66,95	23,50	6,06	46,52	6,83	9,53	6,83	6,71	5,70	3,66
	H5	64,65	24,85	6,17	47,26	5,68	10,79	8,27	7,71	8,02	5,66
	H6	60,65	25,60	6,19	47,79	5,26	10,36	8,24	7,38	7,50	6,32
L0	HR1	73,00	21,6	5,98	56,10	5,25	9,95	4,91	3,42	3,43	2,86
	HR2	70,50	25,20	6,21	55,08	6,64	10,32	5,16	3,81	3,11	3,58
	HR3	67,30	26,70	5,91	52,40	5,98	8,91	5,06	3,12	3,36	3,94
	HR4	76,20	19,60	5,84	54,46	7,06	10,36	4,15	2,51	2,73	2,58
	HR5	72,90	20,60	5,87	50,27	7,65	9,36	3,81	2,64	2,50	2,94
	HR6	68,30	27,60	6,22	51,83	8,93	11,46	4,36	3,12	2,48	2,89
L3	HR1			6,06	53,87	4,47	8,85	5,02	3,69	3,96	3,34
	HR2	64,50	27,40	6,19	54,46	5,67	9,41	5,29	4,54	3,11	4,36
	HR3	66,10	28,70	5,88	53,55	6,81	9,98	4,89	3,59	3,41	4,07
	HR4	73,60	21,70	6,00	53,80	5,66	9,50	4,45	2,84	3,27	3,26
	HR5	67,00	22,50	5,85	52,63	7,19	9,95	4,34	3,15	3,12	3,27
	HR6	67,40	28,30	6,33	50,95	7,39	9,54	4,52	3,95	2,51	2,10
L5	HR1			6,09	53,02	5,59	8,70	5,04	4,49	4,14	4,10
	HR2	64,50	28,40	6,23	54,70	6,57	9,70	5,48	4,36	3,66	4,00
	HR3	68,30	27,90	5,92	52,94	6,29	9,29	4,90	3,84	3,36	4,58
	HR4	70,10	23,20	5,95	54,88	5,92	8,94	4,62	3,15	3,72	2,32
	HR5	67,40	21,50	5,86	49,64	7,54	8,59	4,71	2,86	3,53	3,11
	HR6	66,10	28,60	6,28	50,69	7,17	9,64	4,88	3,18	2,89	3,47
L7	HR1	75,00	15,10	6,07	52,80	3,99	8,33	5,18	4,28	4,83	3,10
	HR2	64,30	26,80	6,30	54,37	6,49	9,82	5,76	4,96	4,12	4,72
	HR3	65,60	28,70	5,91	53,19	6,10	8,39	5,16	3,79	4,06	4,48
	HR4	71,70	22,30	6,02	54,11	5,72	9,35	4,70	2,62	4,88	3,38
	HR5	67,00	24,90	5,91	49,42	6,91	8,08	4,81	3,25	4,14	3,38
	HR6	67,10	25,70	6,24	52,00	6,72	10,29	5,25	3,44	3,68	3,40
L10	HR1	73,00	16,30	6,09	54,60	4,51	8,45	6,22	5,13	6,10	3,21
	HR2	51,60	37,30	6,10	53,55	5,22	8,09	7,66	4,76	5,32	4,96
	HR3	64,80	28,70	5,88	53,43	5,76	8,66	5,54	3,58	4,28	4,46
	HR4	70,50	22,50	6,01	53,21	5,75	8,41	5,27	2,96	4,95	3,04
	HR5	66,80	24,10	5,89	51,38	7,10	9,09	7,09	3,43	5,67	3,64

ANHANG

	HR6	57,7	21,8	6,33	49,19	6,87	10,57	6,00	3,60	4,34	3,42
L0	CV1 0,1P			6,26				4,55			
	CV2 0,1P			6,17				4,43			
	CV3 0,1P			6,19				4,41			
L3	CV1 0,1P			6,02				4,77			
	CV2 0,1P			6,02				4,61			
	CV3 0,1 P			5,76				4,89			
L5	CV1 0,1P			5,62				5,18			
	CV2 0,1P			5,62				5,09			
	CV3 0,1 P			5,63				5,01			
L7	CV1 0,1P			5,93				6,01			
	CV2 0,1P			5,97				5,84			
	CV3 0,1 P			5,92				6,19			
L0	CV1 1P			5,23				4,00			
	CV2 1P			5,29				4,11			
	CV3 1 P			5,06				4,07			
L3	CV1 1P			5,24				4,13			
	CV2 1P			5,12				4,06			
	CV3 1P			5,28				4,20			
L5	CV1 1P			4,59				4,09			
	CV2 1P			4,70				4,41			
	CV3 1P			4,64				4,30			
L7	CV1 1P			5,07				4,51			
	CV2 1P			4,92				4,71			
	CV3 1 P			4,96				4,95			
L0	CV1 3P			4,96				3,88			
	CV2 3P			4,73				3,53			
	CV3 3 P			4,83				3,83			
L3	CV1 3P			4,04				3,57			
	CV2 3P			4,55				3,71			
	CV3 3P			4,21				3,37			
L5	CV1 3P			4,12				3,81			
	CV2 3P			3,98				4,51			
	CV3 3P			4,13				3,77			
L7	CV1 3P			4,32				3,84			
	CV2 3P			4,19				3,81			
	CV3 3P			4,01				3,94			
L0	CV1 0,1L			6,24				4,27			
	CV2 0,1L			6,25				4,37			
	CV3 0,1L			6,28				4,59			
L3	CV1 0,1L			5,77				4,71			
	CV2 0,1L			5,73				4,57			
	CV3 0,1L			5,84				4,70			
L5	CV1 0,1L			5,49				4,97			
	CV2 0,1L			5,50				5,13			
	CV3 0,1L			5,44				5,15			
L7	CV1 0,1L			5,83				5,25			
	CV2 0,1L			5,87				5,34			
	CV3 0,1L			5,75				5,48			
L0	CV1 1L			5,16				3,97			
	CV2 1L			5,21				3,82			
	CV3 1L			5,01				3,96			
L3	CV1 1L			4,83				3,78			
	CV2 1L			4,85				3,98			
	CV3 1L			4,67				3,84			
L5	CV1 1L			4,52				4,13			
	CV2 1L			4,44				4,16			
	CV3 1L			4,46				3,79			
L7	CV1 1L			4,69				4,59			
	CV2 1L			4,81				3,90			
	CV3 1L			4,70				4,40			
L0	CV1 3L			4,43				3,54			

ANHANG

	CV2 3L			4,55				3,24			
	CV3 3L			4,63				3,08			
L3	CV1 3L			3,90				2,87			
	CV2 3L			3,89				2,86			
	CV3 3L			3,78				3,24			
L5	CV1 3L			3,45				3,22			
	CV2 3L			3,47				3,80			
	CV3 3L			3,36				3,39			
L7	CV1 3L			4,00				3,50			
	CV2 3L			4,06				3,57			
	CV3 3L			3,76				3,97			
L0	CV1 5N			6,46				4,47			
	CV2 5N			6,47				4,35			
	CV3 5N			6,53				4,48			
L3	CV1 5N			6,12				4,88			
	CV2 5N			6,06				4,82			
	CV3 5N			6,17				4,88			
L5	CV1 5N			5,71				5,03			
	CV2 5N			5,73				5,17			
	CV3 5N			5,70				5,24			
L7	CV1 5N			6,07				5,88			
	CV2 5N			6,01				6,11			
	CV3 5N			6,05				6,14			
L0	CV1 10N			6,32				4,11			
	CV2 10N			6,42				4,32			
	CV3 10N			6,44				4,34			
L3	CV1 10N			6,11				4,80			
	CV2 10N			6,09				4,63			
	CV3 10N			6,03				4,75			
L5	CV1 10N			5,70				5,06			
	CV2 10N			5,74				4,93			
	CV3 10N			5,71				5,05			
L7	CV1 10N			6,09				6,21			
	CV2 10N			6,04				5,97			
	CV3 10N			6,07				6,04			
L0	CV1 50N			5,88				4,28			
	CV2 50N			5,90				4,23			
	CV3 50N			5,59				3,92			
L3	CV1 50N			5,63				4,61			
	CV2 50N			5,70				4,74			
	CV3 50N			5,55				4,56			
L5	CV1 50N			5,43				4,36			
	CV2 50N			5,39				4,45			
	CV3 50N			5,24				4,71			
L7	CV1 50N			5,46				5,47			
	CV2 50N			5,68				5,27			
	CV3 50N			5,88				5,41			
L0	CV1 K			6,58				4,50			
	CV2 K			6,58				4,21			
	CV3 K			6,54				4,62			
L3	CV1 K			6,15				5,07			
	CV2 K			6,13				4,96			
	CV3 K			6,09				5,07			
L5	CV1 K			5,77				6,21			
	CV2 K			5,69				6,41			
	CV3 K			5,72				6,13			
L7	CV1 K			5,92				7,33			
	CV2 K			5,89				7,36			
	CV3 K			6,00				6,74			
L0	CH1 5% 2ml	69,60	18,20	6,06	51,23	6,82	9,21	4,25	4,24	3,16	2,93
	CH2 5% 2ml	72,30	19,40	6,07	52,37	6,81	9,77	4,09	4,24	3,11	3,00
	CH3 5 % 2ml	73,00	18,40	6,16	48,99	6,61	9,56	4,25	5,00	4,15	3,77

ANHANG

	CH4 5% 2ml	70,35	19,75	6,05	49,65	7,47	10,43	3,87	3,10	2,09	2,68
	CH5 5% 2ml	70,25	18,65	6,09	47,43	6,68	10,83	5,56	4,11	4,22	4,00
	CH6 5% 2ml	73,10	19,60	5,97	48,68	6,47	10,08	5,57	4,31	4,19	4,09
L3	CH1 5% 2ml	68,70	20,40	6,13	52,05	7,00	9,76	4,38	4,41	3,59	3,51
	CH2 5% 2ml	72,05	20,55	6,14	50,96	6,90	9,49	4,49	4,52	3,66	3,65
	CH3 5 % 2ml	71,85	19,65	6,30	50,01	7,03	9,97	4,99	5,6	4,70	3,98
	CH4 5% 2ml	68,55	20,85	6,19	47,85	6,91	9,87	3,98	3,43	2,51	2,22
	CH5 5% 2ml	69,75	20,05	6,11	48,53	6,45	10,88	6,20	4,39	4,64	3,57
	CH6 5% 2ml	71,20	20,30	6,07	48,32	6,28	10,65	6,28	4,51	4,56	4,24
L5	CH1 5% 2ml	70,50	21,30	6,11	51,08	6,85	10,41	4,95	5,87	4,15	3,39
	CH2 5% 2ml	70,85	21,75	6,10	49,95	6,45	9,19	4,99	5,89	4,75	3,50
	CH3 5 % 2ml	70,40	19,20	6,20	50,41	7,07	9,79	5,34	6,1	5,34	4,81
	CH4 5% 2ml	64,60	20,70	5,82	48,23	6,41	9,60	5,14	3,74	3,51	2,72
	CH5 5% 2ml	69,70	20,55	6,15	46,92	5,64	10,35	6,81	5,98	5,15	4,62
	CH6 5% 2ml	68,40	19,80	6,13	46,88	5,94	10,73	6,58	6,16	5,06	5,54
L7	CH1 5% 2ml	69,75	22,65	6,11	49,98	6,51	10,15	4,99	6,29	5,47	3,78
	CH2 5% 2ml	67,80	21,85	6,08	49,10	6,12	8,67	5,16	6,19	5,61	4,32
	CH3 5 % 2ml	69,85	19,30	6,25	49,79	6,44	9,56	6,19	6,33	6,41	4,39
	CH4 5% 2ml	68,55	21,25	5,92	48,50	6,87	9,50	6,11	4,98	4,47	3,02
	CH5 5% 2ml	69,05	21,20	6,04	48,05	5,75	10,08	7,06	6,65	6,76	5,16
	CH6 5% 2ml	68,95	23,20	6,11	48,31	5,24	10,58	7,18	6,6	6,66	5,90
L10	CH1 5% 2ml	65,85	22,85	6,14	50,18	6,19	9,59	6,70	6,83	6,22	4,70
	CH2 5% 2ml	66,80	22,15	6,10	52,59	6,36	9,80	6,78	7,22	6,83	4,72
	CH3 5 % 2ml	65,95	21,60	6,36	49,57	6,63	10,24	7,78	7,35	7,10	5,35
	CH4 5% 2ml	67,45	20,85	5,97	48,17	6,00	9,51	6,12	6,68	5,78	3,41
	CH5 5% 2ml	64,30	23,20	6,03	48,77	5,60	10,67	7,53	7,27	7,04	5,29
	CH6 5% 2ml	65,70	26,50	6,10	48,75	5,49	10,57	7,50	6,83	6,97	6,15
L0	CH1 10% 2ml	74,95	17,95	6,01	53,09	6,76	9,77	4,00	4,02	2,95	2,62
	CH2 10% 2ml	72,00	17,95	5,93	54,16	7,06	10,03	4,28	3,98	3,06	2,57
	CH3 10% 2ml	72,00	17,80	6,00	50,07	6,78	9,50	4,17	4,95	4,10	3,70
	CH4 10% 2ml	71,55	20,90	5,93	50,26	6,90	10,45	3,75	3,09	2,30	2,57
	CH5 10% 2ml	74,45	18,75	5,90	48,43	6,14	10,37	5,32	4,13	3,91	3,69
	CH6 10% 2ml	72,95	18,25	5,76	49,21	6,05	10,56	5,33	4,13	4,11	3,91
L3	CH1 10% 2ml	71,80	19,30	5,92	51,61	7,04	10,19	4,28	4,35	3,13	3,59
	CH2 10% 2ml	69,65	19,60	5,82	52,37	6,94	9,79	4,25	4,31	3,61	3,68
	CH3 10% 2ml	70,55	18,40	6,04	51,00	6,60	9,50	4,75	5,71	4,70	4,43
	CH4 10% 2ml	71,20	19,05	6,13	48,57	6,62	9,61	3,88	3,49	2,62	2,55
	CH5 10% 2ml	72,05	19,60	5,92	48,80	6,22	10,41	6,00	4,49	4,23	3,74
	CH6 10% 2ml	72,00	18,85	5,92	48,80	5,73	10,58	6,04	4,55	4,59	4,37
L5	CH1 10% 2ml	72,00	20,45	6,13	51,43	6,64	9,80	4,52	5,22	3,99	3,81
	CH2 10% 2ml	69,70	19,75	6,06	51,76	6,23	9,60	4,66	5,08	3,96	3,71
	CH3 10% 2ml	70,05	19,35	6,11	50,97	6,13	9,52	5,37	6,07	5,04	4,82
	CH4 10% 2ml	70,30	19,50	5,58	49,06	6,35	9,56	4,10	3,58	3,45	2,77
	CH5 10% 2ml	72,80	20,55	5,98	48,57	5,69	10,70	6,62	5,78	4,74	4,44
	CH6 10% 2ml	71,75	20,20	5,95	48,44	5,40	10,70	6,78	6,15	4,99	5,21
L7	CH1 10% 2ml	69,80	21,40	6,03	51,95	5,77	9,32	5,18	5,61	4,64	3,24
	CH2 10% 2ml	68,25	21,00	6,05	50,67	5,66	9,28	5,11	5,53	4,95	3,48
	CH3 10% 2ml	70,50	19,55	6,16	50,79	6,08	9,29	5,97	6,46	5,71	4,83
	CH4 10% 2ml	69,95	21,25	5,79	48,98	5,97	9,46	5,06	4,89	4,57	2,91
	CH5 10% 2ml	71,35	21,20	5,94	50,48	4,64	10,37	7,19	5,68	5,66	5,43
	CH6 10% 2ml	69,90	22,50	5,95	49,94	5,29	10,32	7,06	6,50	6,00	5,56
L10	CH1 10% 2ml	68,15	22,05	6,02	52,02	5,43	9,66	6,00	6,41	5,66	4,62
	CH2 10% 2ml	66,15	22,55	5,98	51,37	6,12	9,99	6,11	6,15	5,69	4,83
	CH3 10% 2ml	65,95	21,85	6,37	50,07	5,43	10,04	6,36	7,26	6,16	5,29
	CH4 10% 2ml	69,90	21,05	5,76	49,35	5,67	9,71	5,24	6,11	5,02	3,24
	CH5 10% 2ml	67,70	22,85	5,95	50,07	4,68	10,58	7,83	6,77	7,04	5,77
	CH6 10% 2ml	65,25	21,65	5,95	49,86	4,99	10,48	7,85	6,69	7,17	5,38
L0	CH1 5% 4ml	72,40	17,85	6,06	49,36	6,57	9,72	4,73	4,82	3,19	3,21
	CH2 5% 4ml	73,20	17,30	5,98	49,36	6,95	10,49	3,81	3,20	2,45	2,57
	CH3 5 % 4ml	72,75	19,50	5,86	48,24	5,95	10,96	4,79	4,16	4,02	3,88
	CH4 5% 4ml	74,20	18,20	5,81	49,28	6,01	10,55	4,64	4,09	3,99	3,88
	CH5 5% 4ml										

ANHANG

	CH6 5% 4ml											
L3	CH1 5% 4ml	71,25	19,20	6,14	48,83	7,13	9,55	5,17		5,29	4,09	3,97
	CH2 5% 4ml	70,90	17,90	6,14	49,01	6,75	10,03	3,90		3,38	2,46	2,42
	CH3 5 % 4ml	71,45	20,55	5,93	49,71	6,30	10,65	5,08		4,53	4,25	3,76
	CH4 5% 4ml	73,70	19,95	6,06	48,67	6,41	10,60	5,59		4,51	4,34	4,33
	CH5 5% 4ml											
	CH6 5% 4ml											
L5	CH1 5% 4ml	70,40	18,50	6,19	50,94	6,38	9,59	5,97		6,02	4,99	4,71
	CH2 5% 4ml	71,60	18,15	5,73	48,55	5,98	9,64	4,00		3,64	3,57	2,77
	CH3 5 % 4ml	71,10	19,95	6,02	48,61	5,86	10,65	5,78		5,99	4,98	4,74
	CH4 5% 4ml	72,40	19,85	5,97	48,66	5,60	10,62	5,97		6,02	4,99	4,72
	CH5 5% 4ml											
	CH6 5% 4ml											
L7	CH1 5% 4ml	70,10	19,30	6,23	50,61	6,42	9,76	6,46		6,37	5,62	4,24
	CH2 5% 4ml	71,25	18,15	5,79	49,14	5,74	9,74	4,66		4,93	4,62	3,27
	CH3 5 % 4ml	68,70	21,00	5,93	49,10	5,45	10,38	6,43		5,70	6,02	5,02
	CH4 5% 4ml	67,70	22,05	5,95	49,21	4,81	10,38	6,42		6,58	6,24	5,08
	CH5 5% 4ml											
	CH6 5% 4ml											
L10	CH1 5% 4ml	67,20	21,35	6,38	49,19	5,70	10,18	7,68		6,60	6,36	4,86
	CH2 5% 4ml	66,30	20,00	5,89	49,46	5,76	9,17	5,67		6,61	5,55	3,73
	CH3 5 % 4ml	64,20	24,20	5,95	49,53	5,42	10,61	7,07		7,22	6,65	5,28
	CH4 5% 4ml	66,75	24,20	5,94	49,95	5,04	10,72	7,42		6,78	6,99	5,85
	CH5 5% 4ml											
	CH6 5% 4ml											
L0	CH1 10% 4ml	74,85	16,85	5,78	50,91	5,68	9,46	4,65		4,98	3,02	2,81
	CH2 10% 4ml	72,85	18,75	5,83	51,35	6,34	10,21	3,77		2,88	2,35	2,50
	CH3 10% 4ml	74,30	19,15	5,53	49,87	5,21	10,73	4,49		4,14	3,27	3,40
	CH4 10% 4ml	72,90	19,10	5,49	49,51	5,54	10,45	4,37		4,02	4,08	3,85
	CH5 10% 4ml											
	CH6 10% 4ml											
L3	CH1 10% 4ml	74,70	17,95	5,82	51,60	5,58	9,91	5,04		4,99	4,02	3,53
	CH2 10% 4ml	73,05	19,05	5,99	49,55	5,89	9,66	3,76		3,10	2,65	2,29
	CH3 10% 4ml	71,05	20,55	5,61	51,29	5,18	10,61	5,40		4,40	3,92	3,65
	CH4 10% 4ml	71,00	19,30	5,73	50,01	5,61	10,54	5,08		4,34	4,36	4,14
	CH5 10% 4ml											
	CH6 10% 4ml											
L5	CH1 10% 4ml	71,60	18,50	5,93	50,92	5,30	9,43	5,43		5,92	4,55	3,84
	CH2 10% 4ml	69,20	20,25	5,28	49,67	5,79	9,49	3,88		3,46	3,36	2,65
	CH3 10% 4ml	71,35	20,80	5,73	50,15	4,68	10,61	5,89		5,64	4,43	4,38
	CH4 10% 4ml	68,65	20,75	5,82	50,66	5,30	10,29	5,68		5,98	4,87	4,85
	CH5 10% 4ml											
	CH6 10% 4ml											
L7	CH1 10% 4ml	69,70	18,15	6,04	51,46	5,58	9,61	6,29		6,02	5,63	4,02
	CH2 10% 4ml	68,40	20,50	5,69	50,83	5,40	9,58	4,50		4,73	4,43	2,84
	CH3 10% 4ml	68,55	22,90	5,87	51,00	4,56	10,60	6,51		5,65	5,30	4,99
	CH4 10% 4ml	68,55	22,40	5,83	50,39	4,45	10,02	6,51		6,08	5,36	5,06
	CH5 10% 4ml											
	CH6 10% 4ml											
L10	CH1 10% 4ml	65,90	23,90	6,38	51,23	5,52	10,16	6,85		6,87	6,44	4,54
	CH2 10% 4ml	65,85	22,15	5,74	50,82	5,16	9,41	5,26		5,97	5,19	3,85
	CH3 10% 4ml	66,90	21,65	5,88	51,11	4,57	10,63	6,97		6,65	6,02	5,45
	CH4 10% 4ml	65,00	21,70	5,83	50,94	4,22	11,18	7,02		6,43	6,23	5,41
	CH5 10% 4ml											
	CH6 10% 4ml											
L0	CH1 K	73,24	21,13	6,21	51,82	7,23	10,41	4,62		4,35	3,23	2,99
	CH2 K	67,99	22,44	6,22	52,34	6,97	9,65	4,23		4,61	3,44	3,44
	CH3 K	72,16	18,74	6,19	49,72	6,56	9,49	5,18		4,98	3,98	3,45
	CH4 K	68,45	18,21	6,21	49,52	7,43	10,42	3,99		3,57	2,56	2,92
	CH5 K	73,61	19,01	6,15	48,35	6,57	10,99	5,71		4,75	4,12	3,97
	CH6 K	70,21	18,99	6,22	48,21	6,84	10,01	5,39		4,1	3,78	4,14
L3	CH1 K	70,56	19,22	6,14	49,71	6,92	9,95	4,69		4,45	3,77	3,99

## ANHANG

	CH2 K	66,55	21,41	6,18	51,37	6,99	9,64	4,66	4,69	3,45	3,96
	CH3 K	70,23	20,63	6,25	49,86	7,11	9,29	5,68	5,51	4,84	4,24
	CH4 K	70,80	21,58	6,28	47,45	7,62	9,85	5,11	3,96	3,75	2,64
	CH5 K	67,41	19,84	6,22	48,59	6,40	10,92	6,23	4,22	4,23	3,25
	CH6 K	65,20	22,41	6,21	46,99	6,33	10,62	6,13	4,52	5,71	4,22
L5	CH1 K	65,12	20,99	6,17	49,61	6,68	9,62	5,12	5,55	4,42	3,65
	CH2 K	70,23	21,56	6,14	51,42	6,72	10,09	5,23	5,29	5,12	2,95
	CH3 K	68,12	23,41	6,23	49,86	7,09	9,86	5,98	5,89	4,87	3,96
	CH4 K	65,41	20,13	6,18	47,96	7,59	9,49	5,85	3,94	4,11	2,84
	CH5 K	68,91	20,03	6,15	46,02	5,72	9,74	6,43	5,98	5,19	4,88
	CH6 K	69,33	20,31	6,24	45,99	5,48	10,56	6,99	6,69	5,99	5,34
L7	CH1 K	65,02	22,45	6,19	49,55	6,39	9,35	5,96	6,25	5,64	4,22
	CH2 K	67,94	20,76	6,22	50,33	6,48	9,46	5,87	6,53	5,97	3,86
	CH3 K	66,84	20,58	6,28	49,46	6,97	9,57	7,41	6,27	6,89	4,97
	CH4 K	68,31	21,31	6,09	46,98	6,81	9,42	6,75	5,66	5,32	3,10
	CH5 K	61,77	24,88	6,15	46,89	5,82	10,89	7,97	6,43	7,42	4,96
	CH6 K	66,12	20,96	6,19	47,01	5,24	10,42	6,61	6,78	6,98	5,95
L10	CH1 K	62,33	25,19	6,24	50,21	6,38	9,62	7,11	7,59	7,22	4,96
	CH2 K	64,56	23,37	6,22	48,66	6,29	9,51	7,21	7,88	7,23	4,22
	CH3 K	61,22	26,13	6,3	48,62	6,75	10,21	7,68	7,96	7,44	5,35
	CH4 K	64,98	23,09	6,21	46,83	6,79	9,38	6,99	6,25	6,23	4,20
	CH5 K	65,30	22,46	6,22	47,81	5,62	10,87	7,12	7,35	7,95	5,99
	CH6 K	65,74	22,22	6,24	47,22	5,24	10,44	8,43	7,41	7,56	6,22
L0	HZ1	76,30	15,40	6,11	49,83	5,00	7,20	5,10	3,40	3,40	3,40
	HZ2	68,70	25,30	6,00	50,35	6,80	8,72	4,60	3,80	3,10	3,20
	HZ3	68,10	28,10	5,84	51,81	6,38	7,73	4,50	3,10	3,40	3,30
	HZ4	74,10	19,40	5,84	51,74	7,35	7,69	4,10	2,50	2,70	2,70
	HZ5	72,70	21,10	5,86	45,15	6,79	7,69	3,90	2,60	2,50	2,70
	HZ6	68,50	25,00	6,04	49,59	8,65	8,35	4,30	3,10	2,50	2,60
L3	HZ1	0	23,80	5,95	50,33	4,65	6,77	5,10	3,70	4,00	3,80
	HZ2	64,60	26,10	6,11	51,91	6,59	8,76	4,80	4,50	3,10	3,60
	HZ3	66,10	28,00	5,76	50,74	6,14	7,64	4,20	3,60	3,40	3,40
	HZ4	71,40	21,30	5,97	51,48	7,07	9,42	3,90	2,80	3,30	3,40
	HZ5	70,60	22,10	5,78	48,21	7,25	6,67	3,90	3,10	3,10	2,70
	HZ6	66,00	27,50	6,16	49,68	6,89	9,35	4,40	3,90	2,50	2,30
L5	HZ1	65,00	28,20	5,98	50,35	4,21	6,41	5,10	4,50	4,10	4,30
	HZ2	66,30	28,60	6,11	52,16	6,23	8,38	4,70	4,40	3,70	3,80
	HZ3	71,00	22,10	5,88	50,55	5,93	8,47	4,30	3,80	3,40	3,30
	HZ4	69,90	21,60	5,94	52,27	6,83	7,89	4,30	3,20	3,70	3,30
	HZ5	64,30	28,30	5,82	47,69	6,87	5,48	4,20	2,90	3,50	2,90
	HZ6			6,09	48,37	7,64	8,27	4,50	3,20	2,90	2,90
L7	HZ1	66,20	23,80	5,98	50,73	4,02	6,13	5,10	4,30	4,80	3,00
	HZ2	66,00	27,00	6,14	51,90	6,13	8,33	4,80	5,00	4,10	4,30
	HZ3	65,50	28,90	5,75	52,04	6,07	7,39	4,50	3,80	4,10	3,30
	HZ4	71,80	21,90	5,89	53,96	6,83	7,57	5,00	2,60	4,90	3,30
	HZ5	69,40	22,00	5,83	46,93	6,79	6,17	4,60	3,30	4,10	2,40
	HZ6	63,60	28,10	6,14	51,19	6,02	7,72	4,40	3,40	3,70	3,00
L10	HZ1	66,40	24,60	5,97	51,16	3,38	7,35	6,40	5,10	6,10	3,10
	HZ2	65,90	27,10	6,15	51,37	5,13	8,16	5,80	4,80	5,30	4,10
	HZ3	63,60	29,20	6,14	52,14	5,12	7,79	4,30	3,60	4,30	3,40
	HZ4	67,60	21,00	5,77	54,74	6,41	8,03	5,00	3,00	5,00	3,40
	HZ5	68,80	23,30	5,93	47,91	6,08	6,16	5,90	3,40	5,70	3,50
	HZ6	64,30	27,60	5,81	48,89	6,13	6,57	5,20	3,60	4,30	2,50



ANHANG

**Tabelle 38: Einzelergebnisse (MW) aus den Chargen der Untersuchungsabschnitte I bis IV (T2)**

US-Tag	Chargen	O <sub>2</sub> Vol. %	CO <sub>2</sub> Vol. %	pH	L*	a*	b*	GKZ Log <sub>10</sub>	Ps Log <sub>10</sub>	Bro Log <sub>10</sub>	Ent Log <sub>10</sub>
L3	H1	67,00	22,55	6,12	50,00	6,86	9,71	4,60	4,70	3,99	3,72
	H2	63,75	21,00	6,15	50,63	6,99	9,87	4,52	4,75	4,04	3,70
	H3	63,95	21,80	6,18	49,21	6,79	10,95	6,49	4,51	4,99	3,97
	H4	65,95	21,15	6,17	48,88	6,28	9,84	5,56	4,76	3,99	3,93
	H5	60,50	22,35	6,15	47,88	6,36	10,80	5,55	4,73	4,98	3,87
	H6	67,05	21,05	6,22	47,47	6,39	11,20	6,51	4,56	5,00	4,50
L5	H1	63,85	22,85	6,15	48,79	6,05	9,51	6,13	5,80	5,58	4,44
	H2	67,30	23,60	6,17	49,59	6,74	9,64	6,20	5,89	5,79	4,39
	H3	65,10	23,60	6,13	48,42	5,67	10,40	7,78	6,87	6,97	5,38
	H4	64,05	23,90	6,14	48,26	5,98	10,00	6,38	6,95	5,93	4,63
	H5	61,60	25,80	6,11	47,32	5,38	10,42	8,24	6,88	7,25	5,28
	H6	64,20	23,90	6,17	47,72	5,49	10,76	7,80	6,13	7,46	5,99
L7	H1	60,15	23,35	6,12	48,40	5,99	9,51	7,30	7,72	7,23	5,50
	H2	61,85	24,05	6,17	49,49	5,27	9,40	7,21	7,75	6,87	5,27
	H3	60,75	27,95	6,19	48,30	5,72	9,85	8,79	7,66	8,19	5,90
	H4	59,15	24,75	6,17	47,49	4,88	9,98	7,24	7,70	6,73	5,51
	H5	59,80	23,15	6,17	46,52	4,86	10,16	8,66	7,44	7,74	5,93
	H6	56,40	34,75	6,17	47,26	5,09	10,60	8,91	7,09	7,85	6,20
L10	H1	46,40	40,90	6,10	50,53	4,93	9,47	8,40	8,02	8,72	6,34
	H2	41,10	42,80	6,11	51,40	4,98	9,68	8,69	8,22	8,35	6,27
	H3	40,65	41,85	6,13	49,90	4,35	10,11	9,09	8,23	8,85	6,67
	H4	40,80	41,65	6,13	50,79	4,49	10,11	8,36	8,39	8,11	6,33
	H5	40,65	34,80	6,15	50,50	4,42	10,96	8,75	8,11	8,51	6,55
	H6	39,80	45,35	6,17	49,96	4,87	10,47	9,13	8,34	8,40	6,79
L3	HR1	62,20	28,90	6,31	55,25	5,64	9,01	5,20	3,60	3,60	3,10
	HR2	63,80	31,40	5,81	53,12	6,90	9,57	4,80	5,20	3,80	4,10
	HR3	68,00	24,60	5,98	54,44	7,28	9,56	4,30	4,50	3,60	3,70
	HR4	64,20	24,20	5,88	51,56	7,37	9,37	4,10	3,30	3,80	2,40
	HR5	64,50	28,00	6,30	49,18	7,20	9,91	4,50	3,30	4,10	2,60
	HR6							4,90	3,70	2,70	2,60
L5	HR1	71,60	19,20	6,04	53,71	4,40	8,27	6,00	5,20	5,30	4,50
	HR2	60,40	31,50	6,21	53,02	6,13	9,75	6,60	6,60	5,50	4,60
	HR3	61,70	31,90	5,92	53,92	5,78	9,10	5,70	5,70	5,20	4,70
	HR4	68,10	25,20	5,93	54,06	5,33	8,74	5,30	3,80	5,10	2,80
	HR5	62,80	25,30	5,93	48,80	6,86	7,87	5,90	3,40	5,50	3,70
	HR6	62,30	30,60	6,27	50,00	6,90	8,65	5,50	4,10	4,20	4,10
L7	HR1	65,90	23,00	6,05	53,84	3,94	7,81	7,90	6,60	6,70	5,10
	HR2	58,30	29,80	6,19	55,10	5,68	9,99	7,50	7,50	6,60	5,80
	HR3	59,10	32,30	5,82	53,52	5,38	8,54	6,90	5,90	6,60	5,40
	HR4	67,50	25,30	5,91	53,32	5,23	9,18	6,50	4,40	6,40	3,90
	HR5	64,50	26,90	5,87	47,90	6,78	7,74	6,40	4,80	7,20	4,80
	HR6	63,70	28,10	6,27	50,92	6,11	8,79	7,20	5,40	6,30	4,40
L10	HR1	36,50	44,80	5,92	54,41	1,85	9,11	8,40	6,80	8,10	5,10
	HR2	26,10	56,10	6,02	55,06	2,83	9,14	8,10	6,70	7,90	6,50
	HR3	45,10	46,90	5,71	56,00	2,61	8,41	8,40	7,00	7,90	6,00
	HR4	46,60	32,90	5,83	54,98	2,61	8,95	8,50	5,90	8,20	3,90
	HR5	39,80	38,10	5,78	50,57	4,96	6,99	8,70	5,60	8,50	6,60
	HR6	52,20	40,50	6,19	52,81	4,40	6,77	8,60	5,90	7,80	4,50
L3	CH1 5% 2ml	68,95	22,30	6,06	51,40	6,81	9,54	4,45	4,33	3,45	3,47
	CH2 5% 2ml	68,40	21,65	6,10	50,58	6,56	9,79	4,44	4,68	3,63	3,62
	CH3 5% 2ml	68,20	22,55	6,12	50,27	6,01	10,15	5,25	4,36	4,15	3,78
	CH4 5% 2ml	68,30	21,75	6,12	48,66	6,42	10,34	5,13	4,70	3,79	3,86
	CH5 5% 2ml	68,70	21,45	6,10	48,42	5,33	10,77	5,62	4,34	4,51	3,74
	CH6 5% 2ml	69,35	21,65	6,06	47,49	6,11	10,90	5,15	4,56	5,71	4,50
L5	CH1 5% 2ml	68,95	23,00	6,10	49,66	6,25	9,43	5,68	5,50	5,08	4,22
	CH2 5% 2ml	68,50	23,50	6,12	50,56	5,70	9,65	5,67	5,82	5,61	4,48
	CH3 5% 2ml	67,35	23,45	6,12	48,26	5,81	10,05	6,87	6,53	6,72	5,14
	CH4 5% 2ml	66,85	22,35	6,10	48,68	5,34	9,99	5,67	6,55	5,40	4,00
	CH5 5% 2ml	65,25	22,90	6,10	46,90	4,86	10,44	7,06	6,34	6,97	5,07

ANHANG

	CH6 5% 2ml	65,15	24,30	6,07	47,12	5,49	10,57	7,71	6,78	7,27	5,95
L7	CH1 5% 2ml	64,60	24,10	6,08	50,46	5,87	9,46	7,08	6,95	6,69	4,58
	CH2 5% 2ml	66,45	24,30	6,05	48,39	5,73	9,03	7,13	6,89	6,78	4,41
	CH3 5 % 2ml	64,35	24,15	6,07	48,48	5,52	9,10	8,04	7,13	7,45	5,48
	CH4 5% 2ml	64,00	24,35	6,1	48,12	5,46	10,22	8,02	7,02	6,43	5,1
	CH5 5% 2ml	65,45	22,60	6,1	47,90	5,72	9,91	7,08	6,99	7,82	5,83
	CH6 5% 2ml	60,50	25,35	6,1	46,49	4,63	10,25	8,24	7,09	7,70	6,34
L10	CH1 5% 2ml	49,85	36,15	6,06	50,95	4,37	9,47	8,13	7,53	8,23	6,19
	CH2 5% 2ml	47,75	37,85	6,05	51,54	4,46	9,09	8,06	7,52	8,34	6,11
	CH3 5 % 2ml	48,90	39,40	6,07	50,32	4,29	9,90	8,61	7,66	7,80	6,77
	CH4 5% 2ml	48,00	39,05	6,05	51,26	3,96	10,04	8,10	7,69	7,06	6,25
	CH5 5% 2ml	48,95	32,65	6,09	50,21	3,99	10,73	8,59	7,77	8,11	6,87
	CH6 5% 2ml	43,80	44,35	6,1	50,52	3,76	10,55	8,97	7,56	8,23	6,86
L3	CH1 10% 2ml	69,15	20,90	5,99	52,40	6,22	9,63	4,30	4,63	3,41	3,29
	CH2 10% 2ml	69,95	18,40	6,01	52,82	6,45	9,84	4,28	4,18	3,79	3,51
	CH3 10% 2ml	69,15	20,80	5,92	50,15	6,38	10,27	5,34	4,39	4,06	3,82
	CH4 10% 2ml	69,85	20,50	5,94	50,93	5,75	10,46	5,24	4,65	3,25	3,63
	CH5 10% 2ml	67,15	20,75	5,82	48,33	5,73	11,10	5,39	4,77	4,18	3,61
	CH6 10% 2ml	69,60	20,05	5,87	48,59	5,88	10,82	5,22	4,78	5,04	4,5
L5	CH1 10% 2ml	65,05	21,50	5,95	51,78	5,58	9,68	5,70	5,72	4,41	4,07
	CH2 10% 2ml	68,40	23,15	6	51,27	6,09	9,45	5,60	5,16	5,34	4,18
	CH3 10% 2ml	63,60	23,20	5,96	50,99	4,89	10,08	6,66	5,97	6,13	4,73
	CH4 10% 2ml	67,85	22,55	5,94	48,51	5,87	9,82	5,60	6,47	5,63	4,83
	CH5 10% 2ml	65,85	23,35	5,94	47,70	5,16	10,51	6,71	6,12	6,28	5,05
	CH6 10% 2ml	63,60	23,50	5,92	48,26	4,68	10,21	6,10	6,33	7,04	5,78
L7	CH1 10% 2ml	68,85	23,30	6,02	50,33	5,37	8,56	6,51	6,64	6,92	4,41
	CH2 10% 2ml	66,05	23,25	5,95	51,94	5,27	9,28	6,49	6,46	6,97	4,79
	CH3 10% 2ml	68,40	25,15	5,99	50,11	4,98	9,61	7,58	7,48	7,10	4,74
	CH4 10% 2ml	66,20	23,70	5,95	50,88	4,92	9,58	6,38	7,10	6,05	5,34
	CH5 10% 2ml	69,15	21,45	5,94	50,39	4,72	9,94	7,97	7,12	7,41	5,68
	CH6 10% 2ml	66,65	28,20	5,95	49,31	4,39	9,64	7,32	7,41	7,49	6,02
L10	CH1 10% 2ml	50,10	36,80	6,01	51,22	4,08	9,46	7,78	7,40	8,06	6,16
	CH2 10% 2ml	44,40	44,65	6,04	51,51	4,01	9,39	7,95	6,49	7,54	6,41
	CH3 10% 2ml	46,45	37,35	5,99	51,34	3,98	9,98	8,36	7,92	7,45	6,33
	CH4 10% 2ml	50,75	41,55	5,99	51,71	3,99	9,90	7,89	7,69	7,54	6,27
	CH5 10% 2ml	52,40	37,55	5,99	50,33	3,99	10,40	8,06	7,77	8,00	6,49
	CH6 10% 2ml	45,95	45,40	5,97	51,54	3,40	10,57	8,25	7,34	7,48	6,47
L3	CH1 5% 4ml	69,95	21,10	5,91	49,00	6,07	10,10	4,27	4,31	3,34	3,32
	CH2 5% 4ml	70,61	21,40	5,9	49,24	6,14	10,23	4,33	4,39	3,57	3,41
	CH3 5 % 4ml	71,25	20,85	5,89	48,80	5,62	11,10	5,16	4,43	4,27	3,69
	CH4 5% 4ml	69,20	21,65	5,90	48,83	5,26	10,80	5,38	4,62	5,16	4,02
	CH5 5% 4ml										
	CH6 5% 4ml										
L5	CH1 5% 4ml	65,75	24,35	5,94	48,29	5,11	9,86	5,58	5,16	5,04	4,31
	CH2 5% 4ml	65,40	21,05	5,95	49,20	5,21	10,44	5,51	5,33	5,39	3,98
	CH3 5 % 4ml	66,40	22,60	5,92	48,36	4,45	10,71	6,45	6,53	6,99	5,08
	CH4 5% 4ml	64,80	23,25	5,97	47,96	4,79	10,86	6,96	6,87	6,40	5,89
	CH5 5% 4ml										
	CH6 5% 4ml										
L7	CH1 5% 4ml	60,35	25,60	6,01	49,57	4,75	10,26	6,95	6,76	6,60	4,45
	CH2 5% 4ml	63,25	23,40	6,01	48,82	4,32	10,47	6,99	6,65	6,47	4,26
	CH3 5 % 4ml	66,30	25,00	6,00	48,43	4,52	10,33	7,26	7,00	7,68	5,96
	CH4 5% 4ml	61,90	28,55	6,01	48,80	3,19	10,28	7,31	7,08	7,67	6,00
	CH5 5% 4ml										
	CH6 5% 4ml										
L10	CH1 5% 4ml	47,75	36,75	6,03	50,96	3,59	10,76	8,06	7,46	7,59	6,04
	CH2 5% 4ml	44,38	38,55	6,03	50,94	3,62	10,42	8,47	7,44	7,77	6,02
	CH3 5 % 4ml	51,80	33,20	6,03	51,40	2,46	10,89	8,94	7,61	7,97	6,74
	CH4 5% 4ml	45,70	41,50	6,04	51,62	3,05	10,84	8,48	7,74	8,34	6,75
	CH5 5% 4ml										
	CH6 5% 4ml										
L3	CH1 10% 4ml	70,85	19,90	5,73	50,49	5,73	9,74	4,21	4,38	3,10	3,28

ANHANG

	CH2 10% 4ml	70,25	19,70	5,71	49,84	6,18	9,66	4,10	4,30	3,45	3,22
	CH3 10% 4ml	69,75	20,80	5,68	50,38	4,36	10,52	4,80	4,30	4,19	3,32
	CH4 10% 4ml	69,35	20,60	5,72	49,70	5,38	10,65	5,26	4,72	5,06	4,33
	CH5 10% 4ml										
	CH6 10% 4ml										
L5	CH1 10% 4ml	66,30	22,65	5,78	50,74	4,51	9,68	5,62	5,50	4,76	3,96
	CH2 10% 4ml	66,50	23,20	5,65	50,05	4,35	9,48	5,48	5,22	5,04	3,73
	CH3 10% 4ml	67,20	21,30	5,62	50,08	4,36	11,12	6,07	5,77	6,72	4,55
	CH4 10% 4ml	66,50	21,30	5,79	49,94	3,43	10,30	6,89	6,53	6,28	5,50
	CH5 10% 4ml										
	CH6 10% 4ml										
L7	CH1 10% 4ml	60,90	29,85	5,82	51,72	3,57	9,76	6,91	6,42	6,58	4,12
	CH2 10% 4ml	64,80	26,95	5,82	51,37	3,74	9,64	6,66	6,43	6,45	4,65
	CH3 10% 4ml	60,70	22,45	5,82	51,84	3,24	10,80	7,02	7,36	7,35	5,59
	CH4 10% 4ml	62,90	24,35	5,84	51,83	2,77	10,18	7,53	7,08	7,47	5,82
	CH5 10% 4ml										
	CH6 10% 4ml										
L10	CH1 10% 4ml	50,95	39,40	5,83	51,72	2,76	10,26	7,61	7,18	7,66	6,04
	CH2 10% 4ml	44,60	35,00	5,85	52,19	3,07	10,19	7,16	7,08	7,52	6,10
	CH3 10% 4ml	51,70	37,65	5,80	51,55	2,26	10,26	8,38	7,76	7,46	6,44
	CH4 10% 4ml	49,85	36,75	5,88	52,33	2,03	10,90	8,30	7,35	8,02	6,59
	CH5 10% 4ml										
	CH6 10% 4ml										
L3	CH1 K	67,92	23,95	6,1	50,05	6,94	9,69	4,42	4,55	4,40	3,50
	CH2 K	63,12	23,41	6,17	50,71	6,88	9,62	4,25	4,88	4,10	3,60
	CH3 K	66,11	21,44	6,2	49,32	6,45	10,54	6,00	4,66	4,76	4,10
	CH4 K	63,77	20,89	6,15	48,99	6,39	10,25	5,94	4,22	3,56	4,26
	CH5 K	64,10	19,20	6,12	47,95	6,31	10,88	5,73	4,56	4,44	3,88
	CH6 K	63,02	20,53	6,17	47,31	6,22	10,67	5,61	4,77	4,73	3,98
L5	CH1 K	62,14	20,45	6,19	48,87	6,12	9,91	5,99	5,69	5,55	3,92
	CH2 K	65,23	22,33	6,12	49,62	6,82	9,87	6,34	5,79	5,89	4,56
	CH3 K	63,12	24,56	6,11	48,57	5,98	10,24	7,12	6,99	7,12	5,85
	CH4 K	66,37	24,59	6,17	48,23	5,99	9,57	6,84	6,53	5,84	4,44
	CH5 K	64,56	24,96	6,15	47,56	5,68	10,71	7,98	6,51	6,98	4,96
	CH6 K	65,00	25,95	6,16	47,82	5,28	10,99	7,91	6,22	7,25	5,45
L7	CH1 K	59,99	25,47	6,10	48,52	6,05	9,44	7,25	7,80	7,16	4,99
	CH2 K	62,92	25,12	6,20	49,56	5,46	9,71	7,38	7,69	6,87	5,1
	CH3 K	58,91	27,84	6,16	48,33	5,62	9,78	8,99	7,59	7,91	6,12
	CH4 K	57,23	26,91	6,18	47,68	4,97	10,21	7,41	7,88	7,53	5,24
	CH5 K	61,50	27,40	6,16	46,83	4,79	10,61	8,56	7,66	7,77	5,89
	CH6 K	56,97	27,22	6,17	47,38	5,28	9,97	8,88	7,54	7,95	6,01
L10	CH1 K	44,12	38,77	6,09	50,29	5,17	9,51	8,11	8,12	8,96	5,76
	CH2 K	44,16	39,84	6,15	51,28	4,92	9,73	8,98	8,31	7,92	5,99
	CH3 K	43,25	41,22	6,11	49,79	4,83	10,10	8,78	8,02	7,79	6,57
	CH4 K	42,99	40,99	6,13	50,57	4,81	10,99	8,14	8,05	8,25	5,89
	CH5 K	38,44	43,95	6,16	50,12	4,20	10,70	8,81	8,11	8,77	6,27
	CH6 K	37,41	44,59	6,11	49,99	4,63	10,01	8,99	8,34	8,39	6,94
L3	HZ1	62,40	29,80	5,95	50,42	4,47	6,65	5,10	3,50	4,20	3,70
	HZ2	62,90	30,90	6,13	51,18	6,34	8,09	4,70	4,50	3,00	3,80
	HZ3	65,20	22,20	5,80	51,23	5,76	9,02	4,20	3,60	3,20	3,90
	HZ4	68,30	23,90	5,91	51,63	6,93	9,10	4,10	2,90	3,30	3,90
	HZ5	62,70	28,60	5,77	47,83	7,17	6,67	4,00	3,20	3,00	2,60
	HZ6			6,14	47,71	7,69	8,42	4,30	3,30	2,40	2,50
L5	HZ1	64,30	26,00	5,92	50,88	3,97	6,41	5,50	4,90	5,10	4,50
	HZ2	61,90	29,20	6,09	51,27	5,92	8,57	5,10	4,70	4,20	4,60
	HZ3	63,10	30,60	5,82	51,65	5,72	7,49	4,70	4,00	4,20	3,70
	HZ4	68,20	23,70	5,86	51,83	7,12	9,00	5,20	3,30	4,90	3,70
	HZ5	67,70	24,10	5,82	47,55	7,06	7,43	4,90	3,00	4,30	3,50
	HZ6	61,60	30,60	6,09	48,98	6,88	8,57	4,90	3,30	3,40	2,80
L7	HZ1	61,20	28,80	5,93	49,87	3,40	7,27	7,50	6,00	6,60	4,10
	HZ2	51,50	28,60	6,16	51,73	5,32	8,53	6,70	5,20	5,90	4,30
	HZ3	62,20	31,00	5,76	52,21	5,32	7,48	6,00	4,40	5,60	4,30

## ANHANG

	HZ4	67,90	24,20	5,85	52,43	6,70	9,11	6,60	3,90	6,10	4,30
	HZ5	67,50	24,60	5,82	47,84	6,35	6,77	5,60	3,30	5,90	4,00
	HZ6	60,60	30,30	6,14	49,42	6,37	7,85	6,20	4,30	5,00	2,60
L10	HZ1	43,60	44,50	5,87	49,68	2,87	7,00	8,20	6,70	8,10	4,70
	HZ2	53,00	37,30	6,05	50,00	4,29	7,44	7,90	6,50	7,50	5,60
	HZ3	60,20	33,60	5,73	51,05	4,63	7,46	7,80	5,90	7,60	5,60
	HZ4	61,30	29,60	5,89	49,81	5,03	7,71	8,50	4,80	8,40	5,60
	HZ5	57,10	32,70	5,70	48,99	5,47	5,94	8,50	4,90	8,40	6,40
	HZ6	57,60	34,20	6,08	49,20	4,54	7,07	8,20	4,90	7,50	4,00

## 8.1.2 TABELLEN UND ABBILDUNGEN NACH AUFBRINGUNG VON 4 ML CS IN DEN KONZENTRATIONEN 5 % UND 10 % (UNTERSUCHUNGSABSCHNITT III)

### 8.1.2.1 PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

#### ENTWICKLUNG DER SCHUTZATMOSPHERE (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>)

**Tabelle 39: Entwicklung des O<sub>2</sub>-Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) (vier Chargen, n = 360, je 2 Proben).**

	O <sub>2</sub> K		O <sub>2</sub> CS 5 % 4 ml		O <sub>2</sub> CS 10 % 4 ml	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	70,9 ± 2,4 <sup>a</sup>	-	73,1 ± 0,8 <sup>b</sup>		73,7 ± 1,0 <sup>e</sup>	-
<b>L3</b>	68,5 ± 2,4 <sup>a</sup>	64,7 ± 2,0 <sup>B*</sup>	71,8 ± 1,2 <sup>b</sup>	70,3 ± 0,9 <sup>E††</sup>	72,5 ± 1,8 <sup>ft</sup>	70,1 ± 0,6 <sup>G††</sup>
<b>L5</b>	67,9 ± 2,1 <sup>a</sup>	64,4 ± 1,5 <sup>B*</sup>	71,4 ± 0,8 <sup>b</sup>	65,6 ± 0,7 <sup>E†</sup>	70,2 ± 1,5 <sup>ft</sup>	66,6 ± 0,4 <sup>G*</sup>
<b>L7</b>	66,0 ± 2,4 <sup>a</sup>	59,6 ± 2,4 <sup>C*</sup>	69,4 ± 1,6 <sup>b†</sup>	63,0 ± 2,5 <sup>E††</sup>	68,8 ± 0,6 <sup>ft</sup>	62,3 ± 1,9 <sup>G††</sup>
<b>L10</b>	64,0 ± 1,8 <sup>a</sup>	41,7 ± 3,0 <sup>D*</sup>	66,1 ± 1,3 <sup>b†</sup>	47,4 ± 3,2 <sup>F††</sup>	65,9 ± 0,8 <sup>gt</sup>	49,3 ± 3,2 <sup>H††</sup>

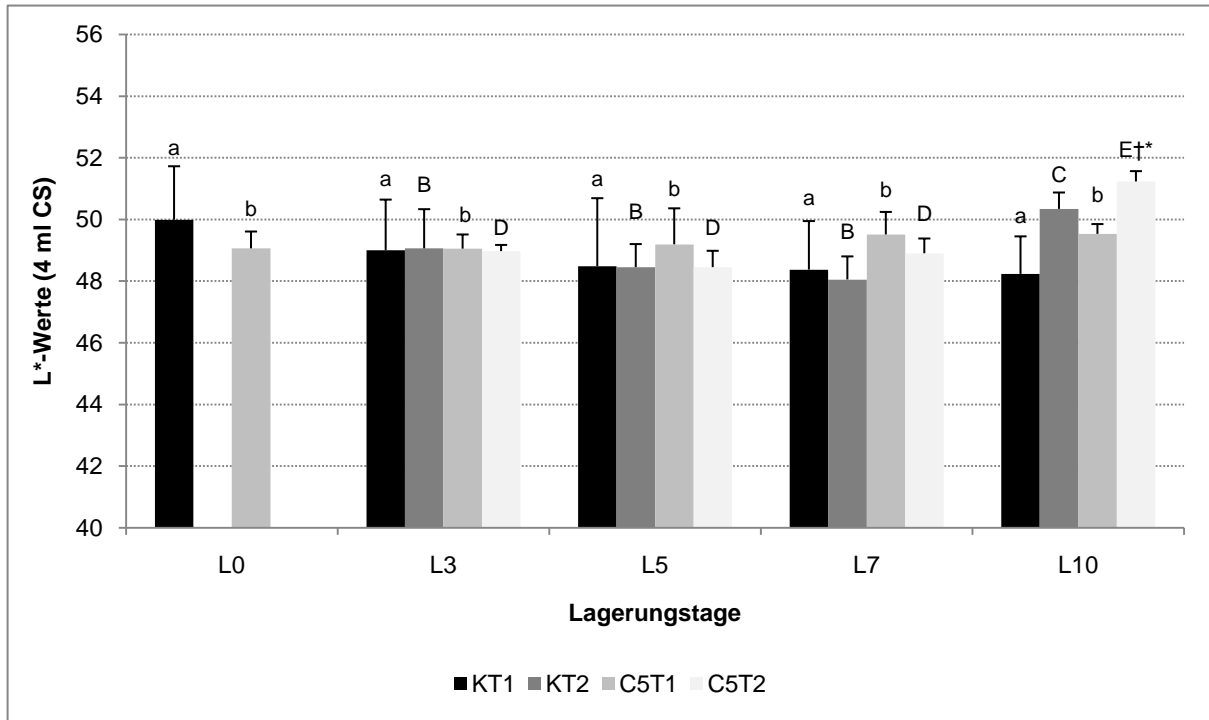
Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1 = Kleinbuchstaben**, bei **T2 = Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 40: Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Anteils (in Vol. %) nach Behandlung der Proben mit sprühvernebelter CS in den Konzentrationen 5 % und 10 % (4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) (vier Chargen, n = 360, je 2 Proben).**

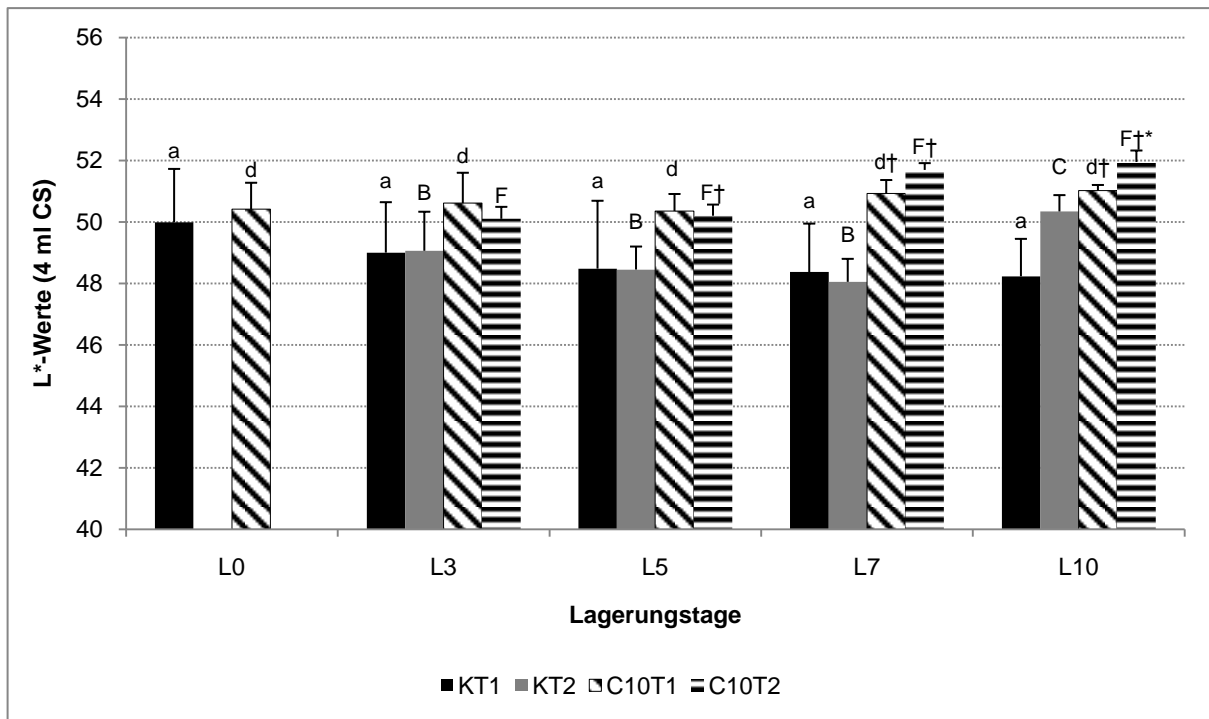
	CO <sub>2</sub> K		CO <sub>2</sub> CS 5 % 4 ml		CO <sub>2</sub> CS 10 % 4 ml	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
<b>L0</b>	19,8 ± 1,7 <sup>a</sup>	-	18,2 ± 0,9 <sup>b</sup>	-	18,5 ± 1,1 <sup>e</sup>	-
<b>L3</b>	20,9 ± 1,2 <sup>a</sup>	21,6 ± 1,8 <sup>B*</sup>	19,4 ± 1,1 <sup>b</sup>	21,3 ± 0,7 <sup>E††</sup>	19,2 ± 1,1 <sup>ft</sup>	20,3 ± 0,5 <sup>G††</sup>
<b>L5</b>	21,1 ± 1,3 <sup>a</sup>	23,8 ± 2,0 <sup>B*</sup>	19,1 ± 0,9 <sup>b</sup>	24,0 ± 1,0 <sup>E†</sup>	20,1 ± 1,1 <sup>ft</sup>	22,1 ± 1,0 <sup>G*</sup>
<b>L7</b>	21,8 ± 1,6 <sup>a</sup>	26,7 ± 1,1 <sup>B*</sup>	20,1 ± 1,7 <sup>b†</sup>	26,3 ± 4,5 <sup>E††</sup>	21,0 ± 2,2 <sup>ft</sup>	25,9 ± 3,2 <sup>G††</sup>
<b>L10</b>	23,7 ± 1,6 <sup>a</sup>	41,6 ± 2,3 <sup>C*</sup>	22,4 ± 2,1 <sup>b†</sup>	41,2 ± 3,5 <sup>F††</sup>	22,4 ± 1,8 <sup>gt</sup>	37,2 ± 1,8 <sup>H††</sup>

Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen aufeinanderfolgenden Lagerungstagen bei **T1 = Kleinbuchstaben**, bei **T2 = Großbuchstaben**; gleiche Buchstaben innerhalb einer Temperatur =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen. † = statistisch signifikante Unterschiede der behandelten Proben zur Kontrolle ( $p \leq 0,05$ ).

L\*A\*B-FARBWERTE: L\*-Werte

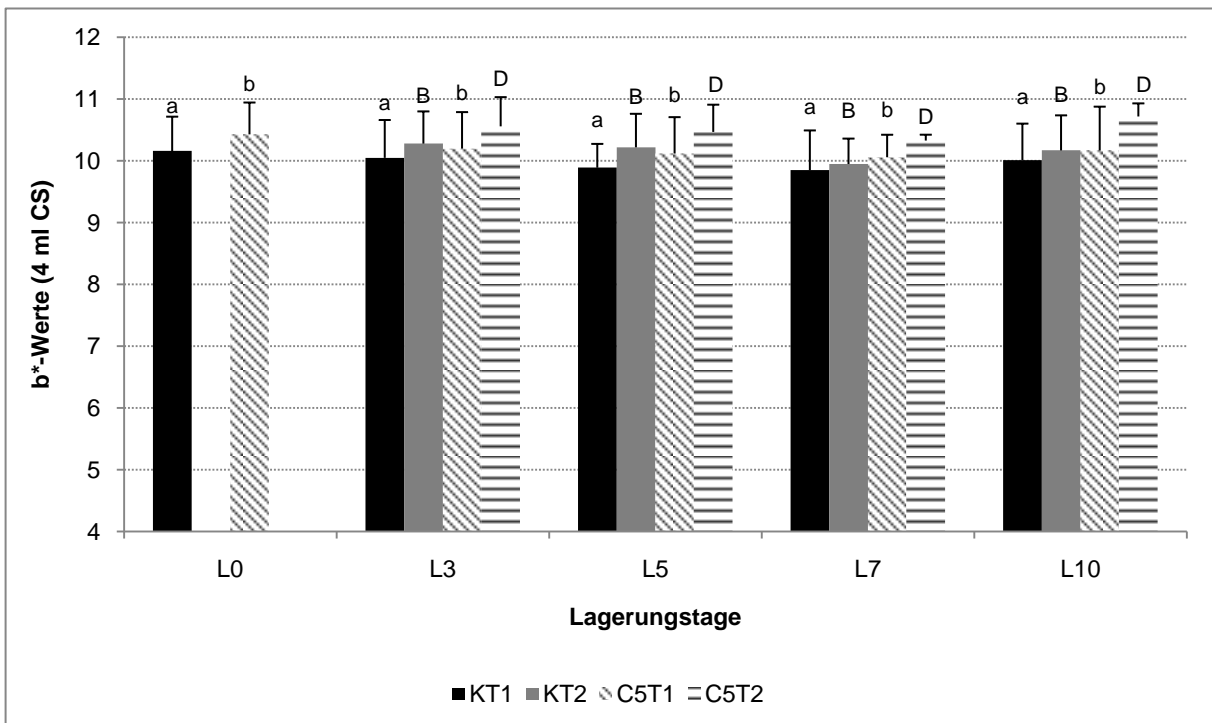


**Abbildung 54: Entwicklung der L\*-Werte in den mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . † = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen der Kontrolle und behandelten Proben am jeweiligen Untersuchungstag. \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2.**

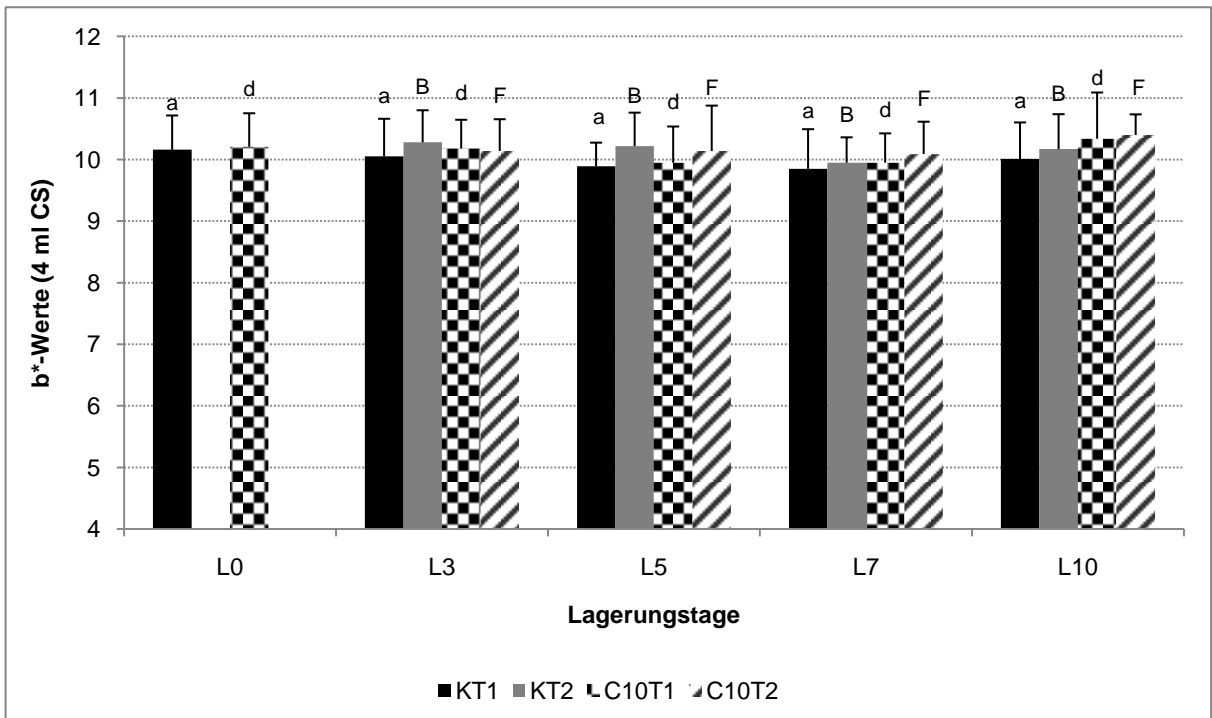


**Abbildung 55: Entwicklung der L\*-Werte in den mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Zeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . † = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen der Kontrolle und behandelten Proben am jeweiligen Untersuchungstag. \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2.**

*b*\*-Werte

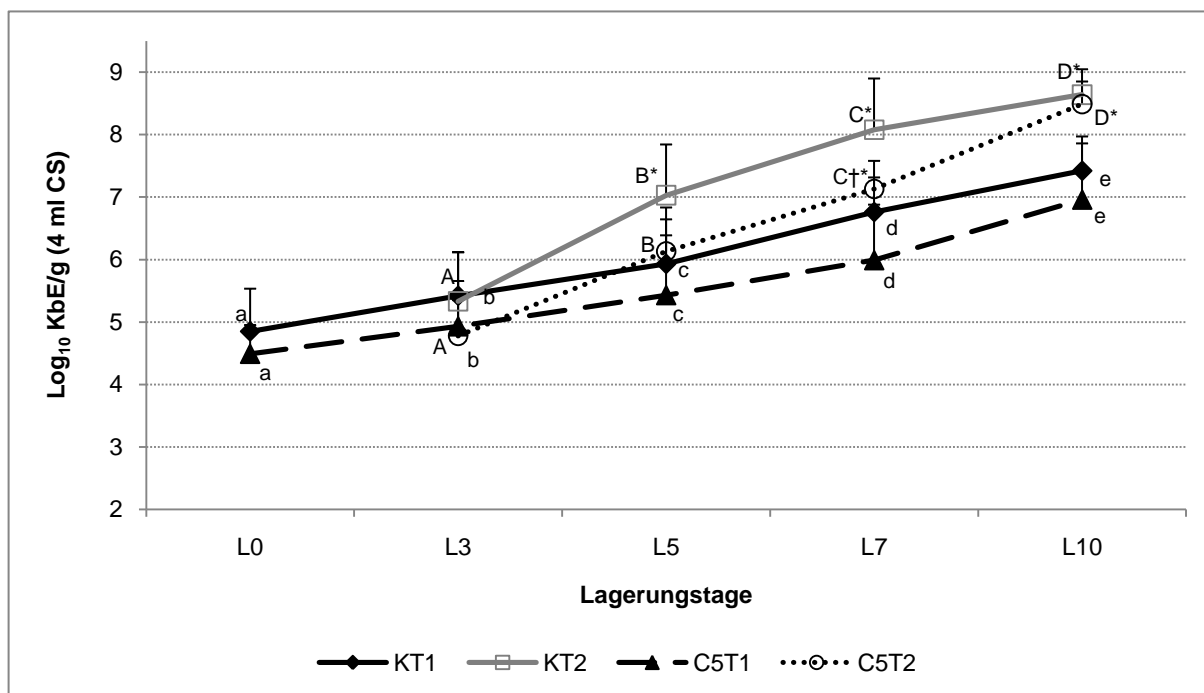


**Abbildung 56:** Entwicklung der *b*\*-Werte in den mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Lagerungszeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ .

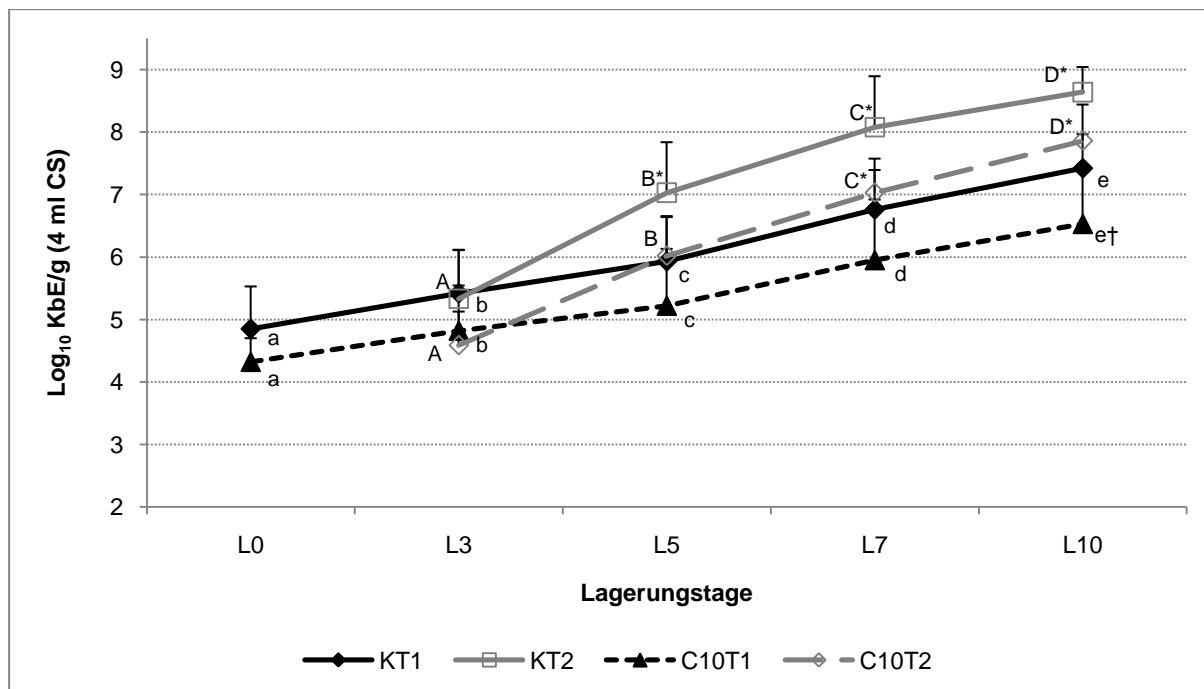


**Abbildung 57:** Entwicklung der *b*\*-Werte in den mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über einen Lagerungszeitraum von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ .

8.1.2.2 MIKROBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN: AEROBE MESOPHILE GESAMTKEIMZAHL (GKZ)



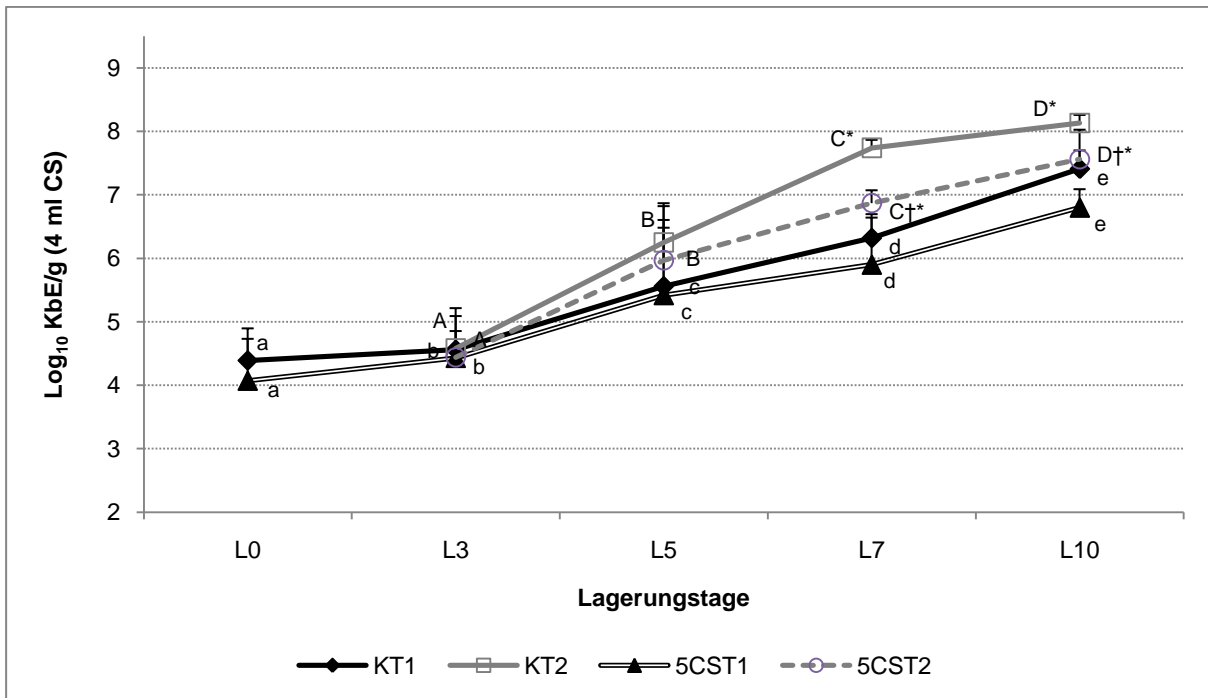
**Abbildung 58:** Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede (p ≤ 0,05) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen = p > 0,05. † = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen der Kontrolle und behandelten Proben am jeweiligen Untersuchungstag. \* = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen T1 und T2.



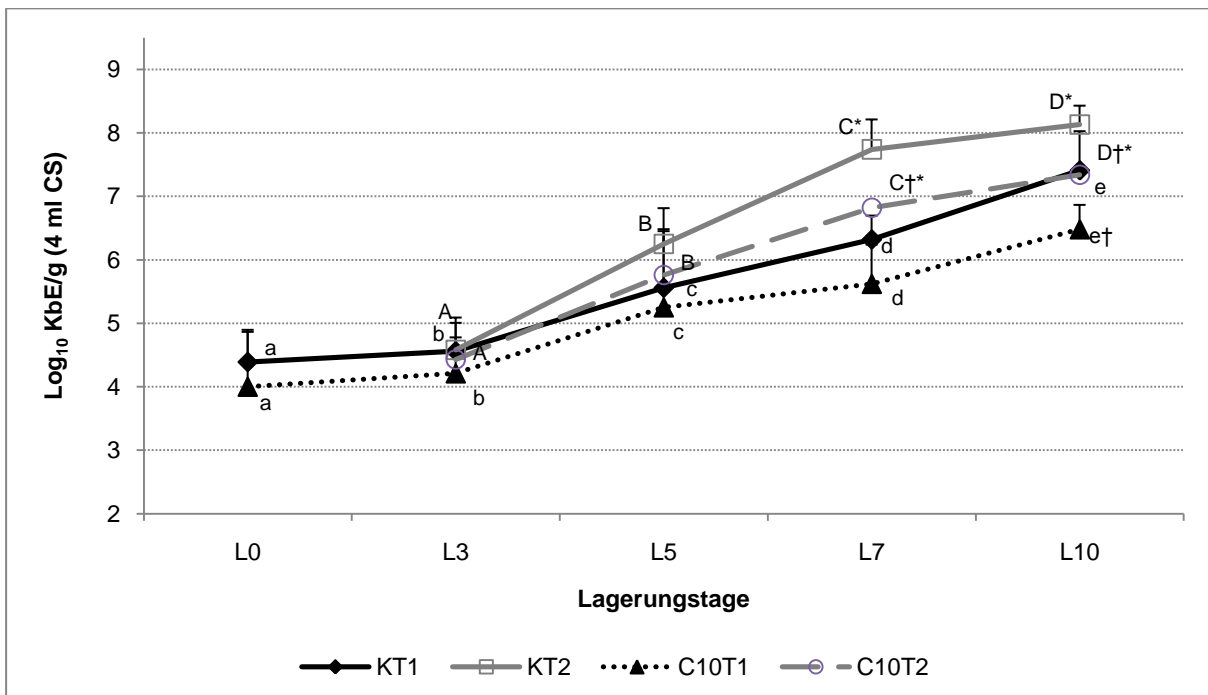
**Abbildung 59:** Verlauf der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (GKZ; Log<sub>10</sub> KbE/g; MW ± SD) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen, n = 360; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede (p ≤ 0,05) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen = p > 0,05. † = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen der Kontrolle und behandelten Proben am jeweiligen Untersuchungstag. \* = signifikante Unterschiede (p ≤ 0,05) zwischen T1 und T2.



PSEUDOMONAS SPP.

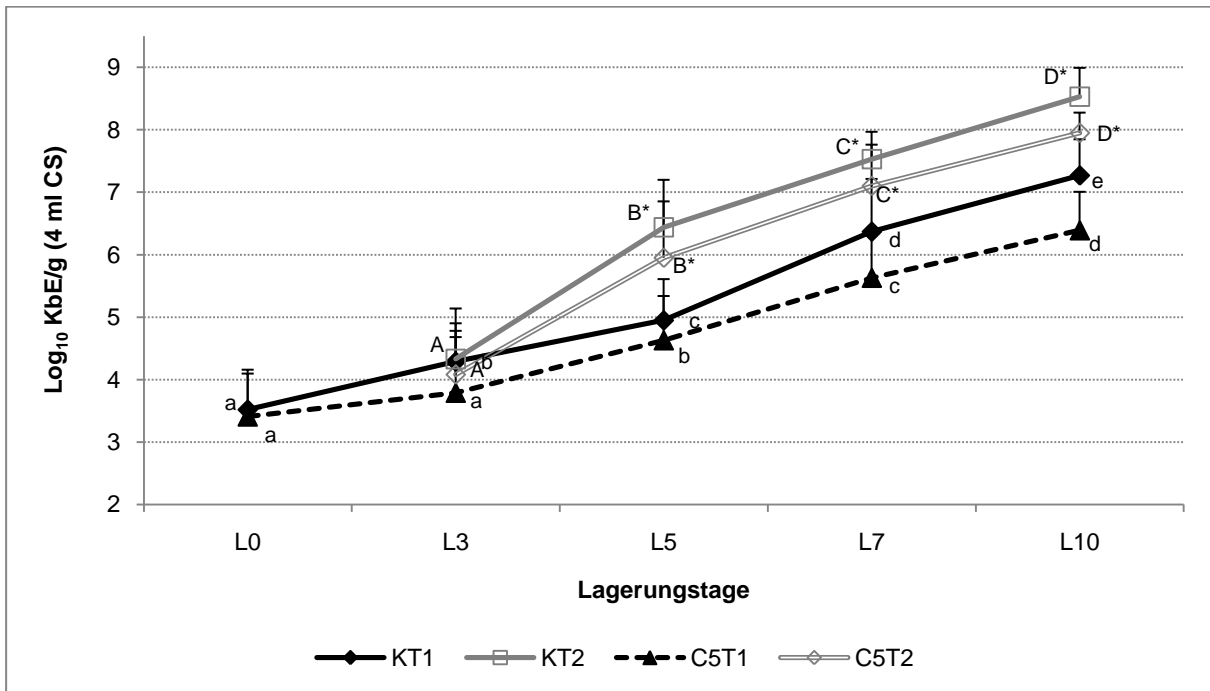


**Abbildung 60:** Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen,  $n = 360$ ; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . † = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen der Kontrolle und behandelten Proben am jeweiligen Untersuchungstag. \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2.

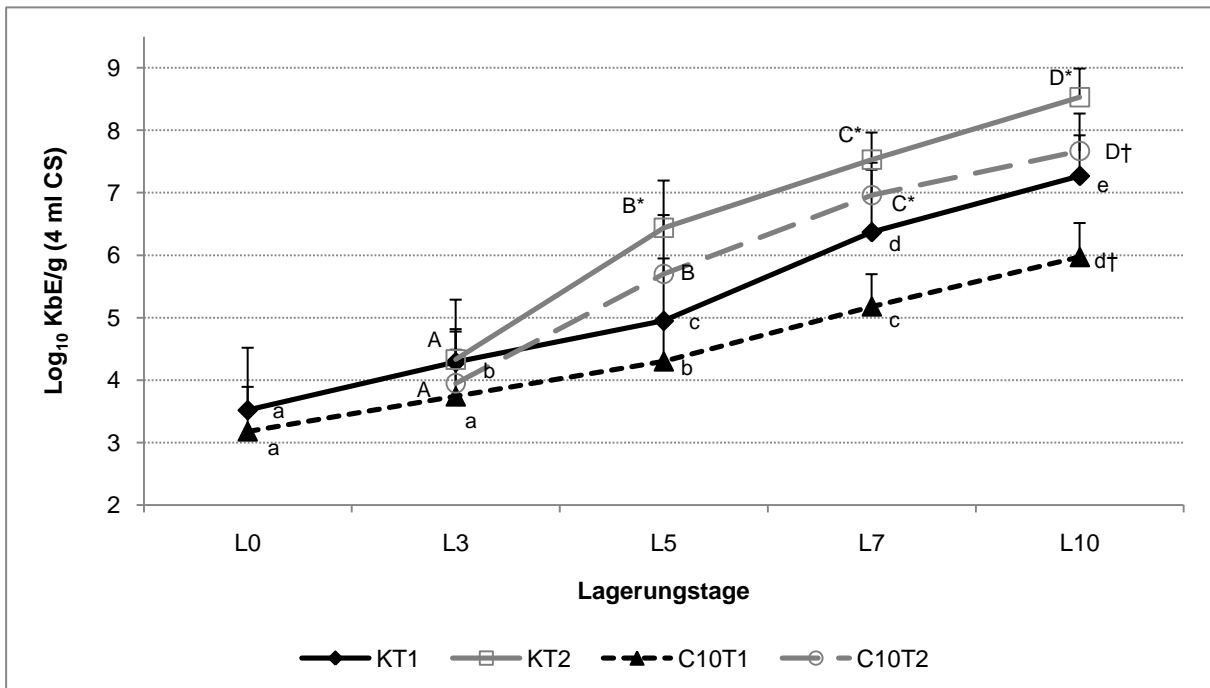


**Abbildung 61:** Verlauf der Keimzahlen von *Pseudomonas* spp. ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen,  $n = 360$ ; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . † = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen der Kontrolle und behandelten Proben am jeweiligen Untersuchungstag. \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2.

BROCHOTHRIX THERMOSPACTA

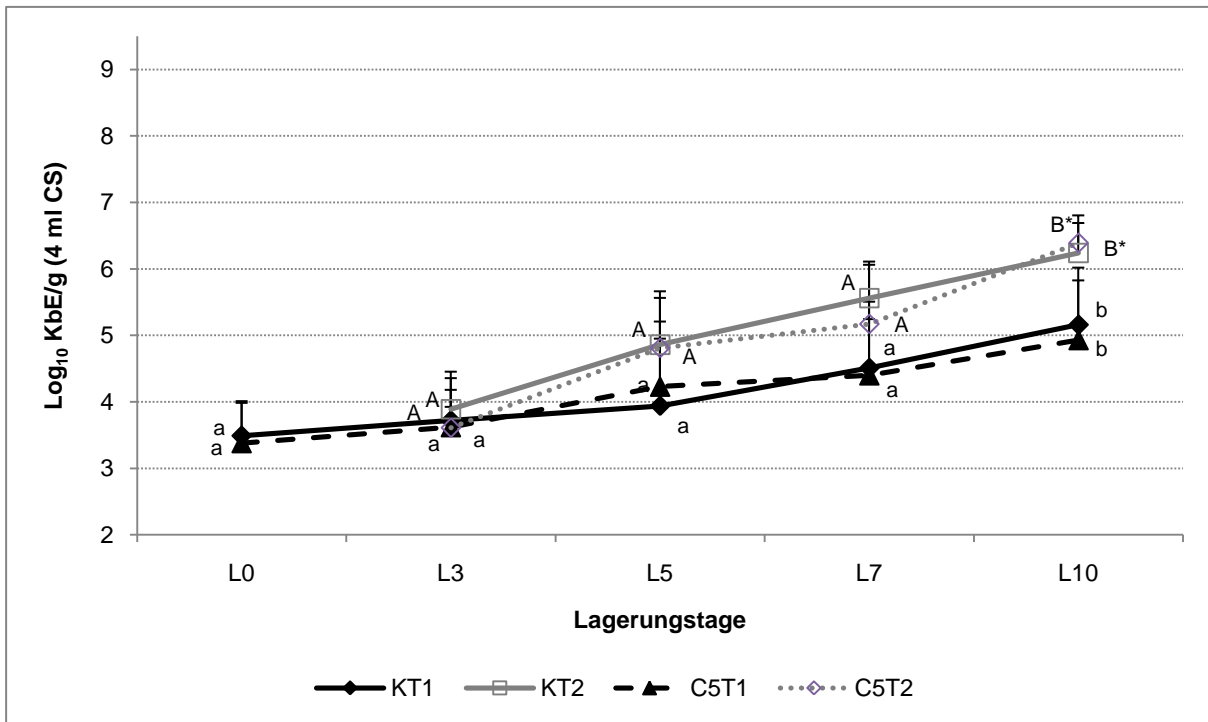


**Abbildung 62:** Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen,  $n = 360$ ; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

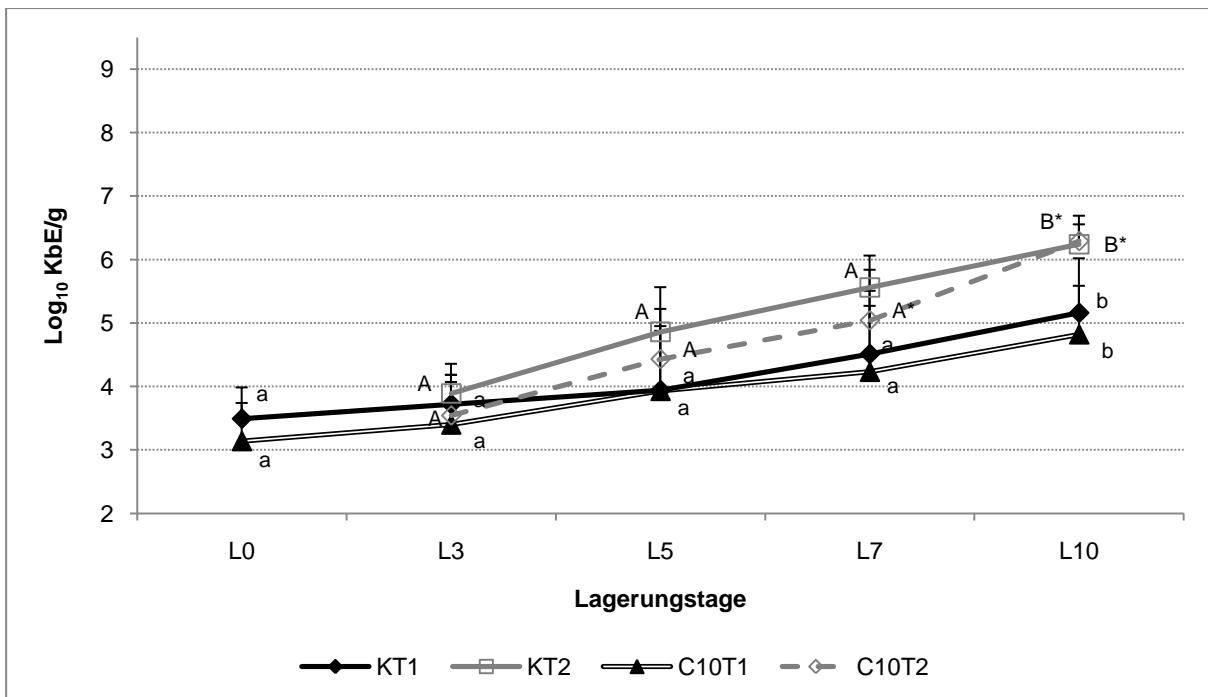


**Abbildung 63:** Verlauf der Keimzahlen von *Brochothrix thermosphacta* ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen,  $n = 360$ ; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2 an den jeweiligen Untersuchungstagen.

ENTEROBACTERIACEAE



**Abbildung 64:** Verlauf der Keimzahlen der Enterobacteriaceae ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der mit CS behandelten Proben (5 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen,  $n = 360$ ; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2.



**Abbildung 65:** Verlauf der Keimzahlen der Enterobacteriaceae ( $\text{Log}_{10}$  KbE/g;  $\text{MW} \pm \text{SD}$ ) der mit CS behandelten Proben (10 %, 4 ml) im Vergleich zur Kontrolle (K) über eine Lagerungsdauer von zehn Tagen bei T1 und T2 (vier Chargen,  $n = 360$ ; je 2 Proben). Signifikante Tagesunterschiede ( $p \leq 0,05$ ) = Kleinbuchstaben für T1, Großbuchstaben für T2; bei gleichen Buchstaben innerhalb einer Temperatur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagerungstagen =  $p > 0,05$ . \* = signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen T1 und T2.

8.1.3 GRUPPENVERGLEICHE<sup>1</sup>

Tabelle 41: Gruppenvergleich O<sub>2</sub>-Gehalte T1

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p		
0	HST	KC	1,000	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,310	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,937		
		C5A	1,000		C10A	0,310		C5B	0,114		C10B	0,610		HR	0,476		HZ	0,257					
		C10A	0,132		C5B	0,257		C10B	0,114		HR	0,485		HZ	0,476								
		C5B	0,257		C10B	0,114		HR	0,937		HZ	0,485											
		C10B	0,114		HR	1,000		HZ	0,818														
		HR	1,000		HZ	0,699																	
		HZ	0,937																				
3	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,180	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,111	HR	HZ	0,841		
		C5A	0,065		C10A	0,041		C5B	0,352		C10B	0,476		HR	0,111		HZ	0,063					
		C10A	0,015		C5B	0,010		C10B	0,257		HR	0,126		HZ	0,063								
		C5B	0,038		C10B	0,010		HR	0,126		HZ	0,082											
		C10B	0,038		HR	0,537		HZ	0,177														
		HR	0,792		HZ	0,792																	
		HZ	0,931																				
5	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,240	C5A	C10A	0,180	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,063	HR	HZ	1,000		
		C5A	0,310		C10A	0,009		C5B	0,038		C10B	0,257		HR	0,016		HZ	0,190					
		C10A	0,041		C5B	0,010		C10B	0,476		HR	0,017		HZ	0,032								
		C5B	0,067		C10B	0,171		HR	0,126		HZ	0,052											
		C10B	0,171		HR	0,662		HZ	0,537														
		HR	0,792		HZ	0,792																	
		HZ	0,792																				
7	HST	KC	0,589	KC	C5A	0,009	C5A	C10A	0,065	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,589		
		C5A	0,132		C10A	0,004		C5B	0,762		C10B	0,114		HR	0,476		HZ	0,352					
		C10A	0,015		C5B	0,038		C10B	0,476		HR	0,394		HZ	0,257								
		C5B	0,171		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,093											
		C10B	0,610		HR	0,485		HZ	0,240														
		HR	0,699		HZ	0,818																	
		HZ	0,699																				
10	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,041	C5A	C10A	0,180	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,914	HR	HZ	1,000		
		C5A	0,093		C10A	0,009		C5B	0,914		C10B	0,171		HR	1,000		HZ	0,762					
		C10A	0,026		C5B	0,114		C10B	0,914		HR	0,699		HZ	1,000								
		C5B	0,171		C10B	0,038		HR	0,937		HZ	0,394											
		C10B	0,171		HR	0,699		HZ	0,818														
		HR	0,699		HZ	0,132																	
		HZ	0,180																				

Tabelle 42: Gruppenvergleich O<sub>2</sub>-Gehalte T2

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-							
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-										
		C10B	-		HR	-		HZ	-													
		HR	-		HZ	-																
		HZ	-																			
3	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,002	C5A	C10A	0,132	C10A	C5B	0,067	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,016	HR	HZ	1,000	
		C5A	0,002		C10A	0,004		C5B	0,019		C10B	0,171		HR	0,016		HZ	0,016				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,009		HZ	0,016							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,004		HZ	0,009										
		C10B	0,010		HR	0,792		HZ	0,009													
		HR	1,000		HZ	0,429																
		HZ	0,662																			
5	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,015	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,067	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,818	
		C5A	0,015		C10A	0,310		C5B	0,257		C10B	0,476		HR	0,476		HZ	0,476				
		C10A	0,485		C5B	0,171		C10B	0,610		HR	0,310		HZ	0,476							
		C5B	0,171		C10B	0,019		HR	0,240		HZ	0,310										
		C10B	0,114		HR	0,589		HZ	0,132													
		HR	0,699		HZ	0,699																
		HZ	0,937																			
7	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,009	C5A	C10A	0,009	C10A	C5B	0,038	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,937	
		C5A	0,009		C10A	0,002		C5B	0,352		C10B	0,010		HR	0,914		HZ	1,000				
		C10A	0,002		C5B	0,067		C10B	0,352		HR	0,015		HZ	1,000							
		C5B	0,038		C10B	0,171		HR	0,699		HZ	0,065										
		C10B	0,067		HR	0,093		HZ	0,699													
		HR	0,240		HZ	0,310																
		HZ	0,180																			
10	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,009	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,015	
		C5A	0,004		C10A	0,002		C5B	0,610		C10B	0,762		HR	0,352		HZ	0,114				
		C10A	0,009		C5B	0,010		C10B	0,171		HR	0,180		HZ	0,114							
		C5B	0,038		C10B	0,010		HR	0,132		HZ	0,065										
		C10B	0,019		HR	0,818		HZ	0,065													
		HR	0,937		HZ	0,009																
		HZ	0,004																			

<sup>1</sup> Abkürzungsverzeichnis befindet sich auf S. 250 in Tabelle 61

## ANHANG

**Tabelle 43: Gruppenvergleich CO<sub>2</sub>-Gehalte T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,689	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,394		C10A	0,093		C5B	0,114		C10B	0,610		HR	0,010		HZ	0,114				
		C10A	0,240		C5B	0,114		C10B	0,610		HR	0,009		HZ	0,171							
		C5B	0,114		C10B	0,762		HR	0,004		HZ	0,093										
		C10B	0,067		HR	0,041		HZ	0,132													
		HR	0,026		HZ	0,240																
		HZ	0,240																			
3	HST	KC	0,689	KC	C5A	0,394	C5A	C10A	0,002	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,016	HR	HZ	0,537	
		C5A	0,394		C10A	0,016		C5B	0,171		C10B	1,000		HR	0,016		HZ	0,010				
		C10A	0,026		C5B	0,114		C10B	0,114		HR	0,004		HZ	0,010							
		C5B	0,171		C10B	0,067		HR	0,004		HZ	0,002										
		C10B	0,114		HR	0,009		HZ	0,002													
		HR	0,004		HZ	0,026																
		HZ	0,009																			
5	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,689	C5A	C10A	0,180	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,114	C10B	HR	0,016	HR	HZ	1,000	
		C5A	0,310		C10A	0,132		C5B	0,114		C10B	0,476		HR	0,016		HZ	0,016				
		C10A	0,093		C5B	0,010		C10B	0,762		HR	0,004		HZ	0,016							
		C5B	0,114		C10B	0,476		HR	0,009		HZ	0,004										
		C10B	0,257		HR	0,030		HZ	0,009													
		HR	0,030		HZ	0,017																
		HZ	0,030																			
7	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,818	
		C5A	0,937		C10A	1,000		C5B	0,171		C10B	1,000		HR	0,114		HZ	0,114				
		C10A	0,310		C5B	0,362		C10B	0,762		HR	0,093		HZ	0,038							
		C5B	0,257		C10B	0,610		HR	0,132		HZ	0,009										
		C10B	0,914		HR	0,132		HZ	0,026													
		HR	0,093		HZ	0,041																
		HZ	0,026																			
10	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,310	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	1,000	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,485		C10A	0,026		C5B	0,914		C10B	0,762		HR	0,762		HZ	0,171				
		C10A	0,065		C5B	0,476		C10B	0,914		HR	0,394		HZ	0,171							
		C5B	0,476		C10B	0,114		HR	0,689		HZ	0,065										
		C10B	0,171		HR	1,000		HZ	0,093													
		HR	1,000		HZ	0,310																
		HZ	0,310																			

**Tabelle 44: Gruppenvergleich CO<sub>2</sub>-Gehalte T2**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-			
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-						
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-									
		HR	-		HZ	-			-												
		HZ	-			-															
3	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,394	C5A	C10A	0,002	C10A	C5B	0,019	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,016	HR	HZ	0,841
		C5A	0,589		C10A	0,180		C5B	0,038		C10B	0,610		HR	0,016		HZ	0,016			
		C10A	0,002		C5B	1,000		C10B	0,010		HR	0,004		HZ	0,016						
		C5B	0,476		C10B	0,257		HR	0,004		HZ	0,004									
		C10B	0,010		HR	0,004		HZ	0,017												
		HR	0,004		HZ	0,030															
		HZ	0,017																		
5	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,394	C5A	C10A	0,589	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,699
		C5A	0,180		C10A	0,310		C5B	0,762		C10B	0,171		HR	0,114		HZ	0,010			
		C10A	0,026		C5B	0,352		C10B	0,114		HR	0,065		HZ	0,038						
		C5B	0,257		C10B	0,257		HR	0,065		HZ	0,002									
		C10B	0,019		HR	0,132		HZ	0,009												
		HR	0,132		HZ	0,132															
		HZ	0,026																		
7	HST	KC	0,394	KC	C5A	0,004	C5A	C10A	0,589	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	1,000	C10B	HR	0,610	HR	HZ	0,818
		C5A	0,818		C10A	0,093		C5B	0,257		C10B	0,476		HR	0,476		HZ	0,352			
		C10A	0,485		C5B	0,476		C10B	0,352		HR	0,132		HZ	0,257						
		C5B	0,610		C10B	0,610		HR	0,065		HZ	0,026									
		C10B	1,000		HR	0,699		HZ	0,026												
		HR	0,485		HZ	0,394															
		HZ	0,240																		
10	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,093	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,171	HR	HZ	0,065
		C5A	0,180		C10A	0,818		C5B	0,914		C10B	0,257		HR	0,352		HZ	0,257			
		C10A	0,818		C5B	0,114		C10B	0,610		HR	0,485		HZ	0,476						
		C5B	0,114		C10B	0,019		HR	0,180		HZ	0,041									
		C10B	0,114		HR	0,818		HZ	0,310												
		HR	0,937		HZ	0,041															
		HZ	0,065																		

ANHANG

**Tabelle 45: Gruppenvergleich L\*-Werte T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p		
0	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,937	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,015		
		C5A	0,818		C10A	0,394		C5B	0,762		C10B	1,000		HR	0,010		HZ	1,000					
		C10A	0,310		C5B	0,352		C10B	0,476		HR	0,065		HZ	0,114								
		C5B	0,762		C10B	0,762		HR	0,015		HZ	0,818											
		C10B	0,610		HR	0,015		HZ	0,699														
		HR	0,026		HZ	0,937																	
	HZ	0,699																					
3	HST	KC	1,000	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,310	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,057	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,009		
		C5A	0,589		C10A	0,310		C5B	1,000		C10B	0,762		HR	0,010		HZ	1,000					
		C10A	0,310		C5B	0,914		C10B	0,352		HR	0,015		HZ	0,171								
		C5B	1,000		C10B	0,171		HR	0,009		HZ	1,000											
		C10B	0,171		HR	0,004		HZ	0,589														
		HR	0,004		HZ	0,180																	
	HZ	0,132																					
5	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,171	HR	HZ	0,065		
		C5A	0,589		C10A	0,240		C5B	0,762		C10B	1,000		HR	0,038		HZ	1,000					
		C10A	0,310		C5B	0,762		C10B	0,352		HR	0,065		HZ	0,762								
		C5B	0,762		C10B	0,171		HR	0,026		HZ	1,000											
		C10B	0,171		HR	0,015		HZ	0,240														
		HR	0,015		HZ	0,180																	
	HZ	0,132																					
7	HST	KC	0,485	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,026	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,057	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,180		
		C5A	0,589		C10A	0,026		C5B	0,257		C10B	0,352		HR	0,019		HZ	0,476					
		C10A	0,041		C5B	0,610		C10B	0,010		HR	0,041		HZ	0,114								
		C5B	0,610		C10B	0,010		HR	0,009		HZ	0,240											
		C10B	0,019		HR	0,015		HZ	0,065														
		HR	0,015		HZ	0,041																	
	HZ	0,065																					
10	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,093	C5A	C10A	0,310	C10A	C5B	0,114	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,240		
		C5A	0,180		C10A	0,026		C5B	0,914		C10B	0,476		HR	0,067		HZ	0,610					
		C10A	0,026		C5B	0,114		C10B	0,114		HR	0,093		HZ	0,476								
		C5B	0,114		C10B	0,010		HR	0,026		HZ	0,699											
		C10B	0,010		HR	0,004		HZ	0,394														
		HR	0,009		HZ	0,026																	
	HZ	0,026																					

**Tabelle 46: Gruppenvergleich L\*-Werte T2**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-				
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-							
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-										
		HR	-		HZ	-			-													
	HZ	-			-																	
3	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,190	HR	HZ	0,062	
		C5A	0,699		C10A	0,180		C5B	1,000		C10B	0,762		HR	0,032		HZ	0,610				
		C10A	0,180		C5B	0,762		C10B	0,762		HR	0,126		HZ	0,476							
		C5B	0,914		C10B	0,257		HR	0,030		HZ	0,699										
		C10B	0,257		HR	0,030		HZ	0,589													
		HR	0,030		HZ	0,310																
	HZ	0,310																				
5	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,937	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,180	
		C5A	0,937		C10A	0,310		C5B	1,000		C10B	1,000		HR	0,019		HZ	0,476				
		C10A	0,240		C5B	0,914		C10B	0,067		HR	0,065		HZ	0,171							
		C5B	0,914		C10B	0,010		HR	0,015		HZ	0,589										
		C10B	0,010		HR	0,009		HZ	0,065													
		HR	0,004		HZ	0,093																
	HZ	0,065																				
7	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,026	C10A	C5B	0,019	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,699		C10A	0,004		C5B	0,171		C10B	0,114		HR	0,114		HZ	0,762				
		C10A	0,004		C5B	0,114		C10B	0,010		HR	0,093		HZ	0,171							
		C5B	0,067		C10B	0,010		HR	0,026		HZ	0,937										
		C10B	0,010		HR	0,015		HZ	0,093													
		HR	0,015		HZ	0,026																
	HZ	0,026																				
10	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,180	C5A	C10A	0,132	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,067	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,004	
		C5A	0,485		C10A	0,015		C5B	0,257		C10B	0,019		HR	0,114		HZ	0,010				
		C10A	0,065		C5B	0,038		C10B	0,010		HR	0,041		HZ	0,038							
		C5B	0,038		C10B	0,010		HR	0,015		HZ	0,004										
		C10B	0,010		HR	0,004		HZ	0,026													
		HR	0,009		HZ	0,132																
	HZ	0,093																				

## ANHANG

**Tabelle 47: Gruppenvergleich a\*-Werte T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,352	C5B	C10B	0,114	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,937	
		C5A	0,699		C10A	0,310		C5B	0,257		C10B	0,038		HR	0,476		HZ	0,114				
		C10A	0,589		C5B	0,114		C10B	0,010		HR	0,818		HZ	0,476							
		C5B	0,171		C10B	0,010		HR	0,937		HZ	0,589										
		C10B	0,010		HR	1,000		HZ	0,937													
		HR	0,937		HZ	0,699																
	HZ	0,937																				
3	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,589	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,818	
		C5A	1,000		C10A	0,310		C5B	0,762		C10B	0,019		HR	0,914		HZ	0,114				
		C10A	0,394		C5B	0,610		C10B	0,010		HR	0,818		HZ	1,000							
		C5B	0,476		C10B	0,010		HR	0,589		HZ	0,937										
		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,818													
		HR	0,394		HZ	0,485																
	HZ	0,699																				
5	HST	KC	1,000	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,310	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,057	C10B	HR	0,019	HR	HZ	1,000	
		C5A	0,699		C10A	0,180		C5B	0,171		C10B	0,038		HR	0,352		HZ	0,114				
		C10A	0,180		C5B	0,352		C10B	0,019		HR	0,394		HZ	0,352							
		C5B	0,352		C10B	0,038		HR	0,937		HZ	0,394										
		C10B	0,038		HR	0,937		HZ	1,000													
		HR	0,818		HZ	1,000																
	HZ	1,000																				
7	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,132	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,114	HR	HZ	1,000	
		C5A	0,589		C10A	0,093		C5B	0,171		C10B	0,114		HR	0,352		HZ	0,114				
		C10A	0,065		C5B	0,171		C10B	0,038		HR	0,180		HZ	0,352							
		C5B	0,171		C10B	0,038		HR	1,000		HZ	0,132										
		C10B	0,019		HR	0,818		HZ	0,937													
		HR	0,699		HZ	0,699																
	HZ	0,699																				
10	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,041	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,589	
		C5A	0,394		C10A	0,065		C5B	0,114		C10B	0,352		HR	0,476		HZ	0,476				
		C10A	0,041		C5B	0,171		C10B	0,019		HR	0,394		HZ	0,762							
		C5B	0,171		C10B	0,019		HR	0,818		HZ	0,699										
		C10B	0,019		HR	0,818		HZ	0,310													
		HR	0,818		HZ	0,132																
	HZ	0,093																				

**Tabelle 48: Gruppenvergleich a\*-Werte T2**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-				
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-							
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-										
		HR	-		HZ	-			-													
	HZ	-			-																	
3	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,310	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,063	HR	HZ	0,537	
		C5A	0,240		C10A	0,065		C5B	0,257		C10B	0,067		HR	0,063		HZ	0,114				
		C10A	0,041		C5B	0,010		C10B	0,171		HR	0,126		HZ	0,257							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,082		HZ	0,394										
		C10B	0,010		HR	0,177		HZ	0,589													
		HR	0,177		HZ	0,937																
	HZ	1,000																				
5	HST	KC	0,589	KC	C5A	0,310	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,067	C10B	HR	0,019	HR	HZ	0,589	
		C5A	0,394		C10A	0,093		C5B	0,038		C10B	0,010		HR	0,114		HZ	0,067				
		C10A	0,240		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,310		HZ	0,114							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,589		HZ	0,180										
		C10B	0,010		HR	0,818		HZ	0,180													
		HR	0,818		HZ	0,589																
	HZ	0,394																				
7	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,041	C10A	C5B	0,067	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,937	
		C5A	0,485		C10A	0,132		C5B	0,019		C10B	0,010		HR	0,067		HZ	0,038				
		C10A	0,310		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,132		HZ	0,067							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,937		HZ	0,132										
		C10B	0,010		HR	0,589		HZ	0,818													
		HR	0,485		HZ	0,394																
	HZ	0,240																				
10	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,015	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,038	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,610	HR	HZ	0,065	
		C5A	0,015		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,914		HZ	0,019				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,067							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,310		HZ	0,065										
		C10B	0,010		HR	0,065		HZ	0,132													
		HR	0,065		HZ	0,589																
	HZ	1,000																				

ANHANG

Tabelle 49: Gruppenvergleich b\*-Werte T1

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,352	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,610	HR	HZ	0,002	
		C5A	0,699		C10A	0,937		C5B	0,257		C10B	0,762		HR	0,352		HZ	0,010				
		C10A	0,937		C5B	0,352		C10B	0,610		HR	0,589		HZ	0,010							
		C5B	0,476		C10B	0,914		HR	1,000		HZ	0,002										
		C10B	0,914		HR	0,589		HZ	0,002													
		HR	0,818		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
3	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,015	
		C5A	0,818		C10A	0,818		C5B	0,762		C10B	0,476		HR	0,038		HZ	0,010				
		C10A	0,937		C5B	0,762		C10B	1,000		HR	0,093		HZ	0,010							
		C5B	0,476		C10B	0,914		HR	0,180		HZ	0,002										
		C10B	0,610		HR	0,240		HZ	0,002													
		HR	0,240		HZ	0,009																
	HZ	0,004																				
5	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,114	HR	HZ	0,002	
		C5A	0,699		C10A	1,000		C5B	0,914		C10B	0,476		HR	0,067		HZ	0,010				
		C10A	0,937		C5B	0,610		C10B	0,762		HR	0,065		HZ	0,010							
		C5B	0,476		C10B	0,914		HR	0,041		HZ	0,002										
		C10B	0,914		HR	0,026		HZ	0,002													
		HR	0,026		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
7	HST	KC	1,000	KC	C5A	0,937	C5A	C10A	0,589	C10A	C5B	0,114	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,171	HR	HZ	0,004	
		C5A	1,000		C10A	0,240		C5B	0,476		C10B	0,257		HR	0,114		HZ	0,010				
		C10A	0,818		C5B	0,476		C10B	0,610		HR	0,310		HZ	0,010							
		C5B	0,476		C10B	0,352		HR	0,180		HZ	0,002										
		C10B	0,476		HR	0,132		HZ	0,002													
		HR	0,240		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
10	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,937	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,002	
		C5A	0,699		C10A	0,589		C5B	0,762		C10B	0,476		HR	0,038		HZ	0,010				
		C10A	0,589		C5B	0,914		C10B	0,762		HR	0,041		HZ	0,010							
		C5B	0,762		C10B	0,610		HR	0,026		HZ	0,002										
		C10B	0,476		HR	0,041		HZ	0,002													
		HR	0,041		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				

Tabelle 50: Gruppenvergleich b\*-Werte T2

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-				
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-							
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-										
		HR	-		HZ	-			-													
	HZ	-			-																	
3	HST	KC	0,485	KC	C5A	1,000	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,063	HR	HZ	0,017	
		C5A	0,589		C10A	0,818		C5B	0,476		C10B	0,762		HR	0,016		HZ	0,010				
		C10A	0,818		C5B	0,610		C10B	0,762		HR	0,017		HZ	0,010							
		C5B	0,610		C10B	0,762		HR	0,052		HZ	0,002										
		C10B	0,352		HR	0,017		HZ	0,002													
		HR	0,030		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
5	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	1,000	C10A	C5B	0,114	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,937		C10A	0,394		C5B	0,171		C10B	0,762		HR	0,010		HZ	0,010				
		C10A	0,818		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,009		HZ	0,010							
		C5B	0,257		C10B	0,914		HR	0,009		HZ	0,002										
		C10B	1,000		HR	0,004		HZ	0,002													
		HR	0,009		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
7	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,010	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,589		C10A	0,065		C5B	0,010		C10B	0,038		HR	0,010		HZ	0,010				
		C10A	0,180		C5B	0,114		C10B	0,476		HR	0,132		HZ	0,010							
		C5B	0,114		C10B	0,914		HR	0,065		HZ	0,004										
		C10B	0,610		HR	0,026		HZ	0,009													
		HR	0,026		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
10	HST	KC	1,000	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,019	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,240	
		C5A	0,589		C10A	0,394		C5B	0,038		C10B	0,257		HR	0,010		HZ	0,010				
		C10A	0,485		C5B	0,171		C10B	0,257		HR	0,002		HZ	0,010							
		C5B	0,171		C10B	0,352		HR	0,009		HZ	0,002										
		C10B	0,352		HR	0,002		HZ	0,002													
		HR	0,002		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				



## ANHANG

**Tabelle 51: Gruppenvergleiche pH-Werte T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,004	C5A	C10A	0,009	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,067	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,864	
		C5A	0,004		C10A	0,002		C5B	0,067		C10B	0,038		HR	0,476		HZ	0,003				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,818		HZ	0,260							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,485		HZ	0,272										
		C10B	0,010		HR	0,132		HZ	0,864													
		HR	0,132		HZ	0,026																
	HZ	0,066																				
3	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,132	C5A	C10A	0,009	C10A	C5B	0,067	C5B	C10B	0,067	C10B	HR	0,063	HR	HZ	0,435	
		C5A	0,093		C10A	0,002		C5B	0,352		C10B	0,114		HR	0,905		HZ	0,154				
		C10A	0,002		C5B	0,019		C10B	0,010		HR	0,662		HZ	0,283							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,429		HZ	0,950										
		C10B	0,010		HR	0,247		HZ	0,013													
		HR	0,247		HZ	0,001																
	HZ	0,001																				
5	HST	KC	0,937	KC	C5A	0,041	C5A	C10A	0,180	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,114	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,145	
		C5A	0,093		C10A	0,002		C5B	0,352		C10B	0,067		HR	0,762		HZ	0,330				
		C10A	0,026		C5B	0,114		C10B	0,019		HR	0,818		HZ	0,330							
		C5B	0,114		C10B	0,010		HR	0,818		HZ	0,272										
		C10B	0,010		HR	0,240		HZ	0,018													
		HR	0,394		HZ	0,000																
	HZ	0,003																				
7	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,093	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,067	HR	HZ	0,224	
		C5A	0,180		C10A	0,009		C5B	0,352		C10B	0,257		HR	0,476		HZ	0,260				
		C10A	0,015		C5B	0,171		C10B	0,019		HR	0,589		HZ	0,825							
		C5B	0,171		C10B	0,010		HR	0,699		HZ	0,456										
		C10B	0,019		HR	0,394		HZ	0,068													
		HR	0,589		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
10	HST	KC	0,065	KC	C5A	0,065	C5A	C10A	0,132	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,589	
		C5A	0,132		C10A	0,065		C5B	0,257		C10B	0,476		HR	0,914		HZ	0,762				
		C10A	0,041		C5B	0,257		C10B	0,257		HR	0,699		HZ	0,762							
		C5B	0,171		C10B	0,257		HR	0,310		HZ	0,818										
		C10B	0,171		HR	0,065		HZ	0,180													
		HR	0,093		HZ	0,002																
	HZ	0,009																				

**Tabelle 52: Gruppenvergleich pH-Werte T2**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-				
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-							
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-										
		HR	-		HZ	-			-													
	HZ	-			-																	
3	HST	KC	0,589	KC	C5A	0,002	C5A	C10A	0,026	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,016	HR	HZ	0,429	
		C5A	0,002		C10A	0,002		C5B	0,038		C10B	0,010		HR	0,730		HZ	0,010				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,662		HZ	0,476							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,792		HZ	0,937										
		C10B	0,010		HR	0,662		HZ	0,589													
		HR	0,662		HZ	0,026																
	HZ	0,009																				
5	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,015	C5A	C10A	0,002	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,009		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,610		HZ	0,010				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,699		HZ	0,476							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,394										
		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,009													
		HR	0,394		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				
7	HST	KC	0,818	KC	C5A	0,004	C5A	C10A	0,002	C10A	C5B	0,114	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,038	HR	HZ	0,394	
		C5A	0,002		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	1,000		HZ	0,476				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,394							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,394		HZ	0,394										
		C10B	0,010		HR	0,310		HZ	0,26													
		HR	0,310		HZ	0,026																
	HZ	0,026																				
10	HST	KC	0,699	KC	C5A	0,004	C5A	C10A	0,002	C10A	C5B	0,067	C5B	C10B	0,029	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,937	
		C5A	0,002		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,114		HZ	0,610				
		C10A	0,002		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,310		HZ	0,171							
		C5B	0,010		C10B	0,010		HR	0,065		HZ	0,310										
		C10B	0,010		HR	0,065		HZ	0,026													
		HR	0,065		HZ	0,002																
	HZ	0,002																				

ANHANG

**Tabelle 53: Gruppenvergleich aerobe mesophile GKZ T1**

U.S. Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,180	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,610	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,310		C10A	0,394		C5B	1,000		C10B	0,914		HR	0,610		HZ	0,914				
		C10A	0,180		C5B	0,610		C10B	1,000		HR	0,937		HZ	0,610							
		C5B	0,610		C10B	0,352		HR	1,000		HZ	0,937										
		C10B	0,352		HR	0,699		HZ	0,937													
		HR	0,310		HZ	0,352																
		HZ	0,310																			
3	HST	KC	0,180	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,240	
		C5A	0,240		C10A	0,240		C5B	1,000		C10B	1,000		HR	0,476		HZ	0,352				
		C10A	0,093		C5B	0,476		C10B	1,000		HR	0,937		HZ	0,171							
		C5B	0,610		C10B	0,352		HR	0,937		HZ	0,485										
		C10B	0,610		HR	0,476		HZ	0,180													
		HR	0,132		HZ	0,041																
		HZ	0,041																			
5	HST	KC	0,180	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,689	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,093	
		C5A	0,310		C10A	0,394		C5B	1,000		C10B	1,000		HR	0,257		HZ	0,257				
		C10A	0,310		C5B	0,476		C10B	1,000		HR	1,000		HZ	0,257							
		C5B	0,610		C10B	0,352		HR	0,065		HZ	0,240										
		C10B	0,610		HR	0,041		HZ	0,009													
		HR	0,015		HZ	0,002																
		HZ	0,002																			
7	HST	KC	0,240	KC	C5A	0,394	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,041	
		C5A	0,589		C10A	0,240		C5B	1,000		C10B	1,000		HR	0,257		HZ	0,114				
		C10A	0,310		C5B	0,257		C10B	1,000		HR	0,240		HZ	0,067							
		C5B	0,610		C10B	0,257		HR	0,093		HZ	0,009										
		C10B	0,610		HR	0,041		HZ	0,004													
		HR	0,009		HZ	0,002																
		HZ	0,002																			
10	HST	KC	0,093	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,485	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	1,000	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,180		C10A	0,240		C5B	0,914		C10B	0,914		HR	0,352		HZ	0,067				
		C10A	0,132		C5B	0,610		C10B	0,610		HR	0,699		HZ	0,067							
		C5B	0,352		C10B	0,019		HR	0,180		HZ	0,065										
		C10B	0,067		HR	0,037		HZ	0,004													
		HR	0,026		HZ	0,002																
		HZ	0,002																			

**Tabelle 54: Gruppenvergleich aerobe mesophile GKZ T2**

U.S. Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-							
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-										
		C10B	-		HR	-		HZ	-													
		HR	-		HZ	-																
		HZ	-																			
3	HST	KC	0,252	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,855	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,185	C10B	HR	0,139	HR	HZ	0,310	
		C5A	0,162		C10A	0,240		C5B	0,586		C10B	0,137		HR	0,454		HZ	0,857				
		C10A	0,157		C5B	0,257		C10B	0,236		HR	0,139		HZ	0,610							
		C5B	0,146		C10B	0,114		HR	0,188		HZ	0,139										
		C10B	0,346		HR	0,347		HZ	0,083													
		HR	0,134		HZ	0,139																
		HZ	0,127																			
5	HST	KC	0,252	KC	C5A	0,240	C5A	C10A	0,252	C10A	C5B	0,106	C5B	C10B	0,363	C10B	HR	0,610	HR	HZ	0,004	
		C5A	0,208		C10A	0,041		C5B	0,282		C10B	0,121		HR	0,248		HZ	0,071				
		C10A	0,109		C5B	0,171		C10B	0,463		HR	0,377		HZ	0,171							
		C5B	0,183		C10B	0,114		HR	0,210		HZ	0,139										
		C10B	0,129		HR	0,087		HZ	0,204													
		HR	0,103		HZ	0,121																
		HZ	0,127																			
7	HST	KC	0,133	KC	C5A	0,180	C5A	C10A	0,202	C10A	C5B	0,513	C5B	C10B	0,081	C10B	HR	0,139	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,142		C10A	0,093		C5B	0,099		C10B	0,469		HR	0,539		HZ	0,429				
		C10A	0,094		C5B	0,038		C10B	0,069		HR	0,903		HZ	0,257							
		C5B	0,084		C10B	0,067		HR	0,173		HZ	0,310										
		C10B	0,273		HR	0,094		HZ	0,070													
		HR	0,092		HZ	0,071																
		HZ	0,079																			
10	HST	KC	0,277	KC	C5A	0,180	C5A	C10A	0,116	C10A	C5B	0,198	C5B	C10B	0,209	C10B	HR	0,139	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,192		C10A	0,026		C5B	0,833		C10B	0,094		HR	0,465		HZ	0,071				
		C10A	0,019		C5B	0,476		C10B	0,216		HR	0,013		HZ	0,257							
		C5B	0,330		C10B	0,114		HR	0,648		HZ	0,310										
		C10B	0,121		HR	0,094		HZ	0,220													
		HR	0,103		HZ	0,041																
		HZ	0,050																			

ANHANG

**Tabelle 55: Gruppenvergleich Pseudomonas spp. T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,230	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,310	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,180		C10A	0,310		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,257		HZ	0,257				
		C10A	0,180		C5B	0,476		C10B	0,476		HR	0,180		HZ	0,114							
		C5B	0,352		C10B	0,476		HR	0,093		HZ	0,132										
		C10B	0,352		HR	0,071		HZ	0,041													
		HR	0,065		HZ	0,041																
		HZ	0,009																			
3	HST	KC	0,252	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,937	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,914	HR	HZ	0,937	
		C5A	0,180		C10A	0,937		C5B	0,914		C10B	0,762		HR	0,610		HZ	0,610				
		C10A	0,240		C5B	1,000		C10B	0,476		HR	0,486		HZ	0,476							
		C5B	0,352		C10B	0,610		HR	0,486		HZ	0,310										
		C10B	0,352		HR	0,129		HZ	0,394													
		HR	0,132		HZ	0,131																
		HZ	0,132																			
5	HST	KC	0,252	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,171	HR	HZ	0,310	
		C5A	0,937		C10A	0,699		C5B	1,000		C10B	0,914		HR	0,114		HZ	0,067				
		C10A	0,486		C5B	0,610		C10B	0,476		HR	0,065		HZ	0,067							
		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,015		HZ	0,015										
		C10B	0,352		HR	0,021		HZ	0,015													
		HR	0,015		HZ	0,010																
		HZ	0,009																			
7	HST	KC	0,177	KC	C5A	0,937	C5A	C10A	0,310	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,067	HR	HZ	0,310	
		C5A	0,093		C10A	0,180		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,067		HZ	0,038				
		C10A	0,093		C5B	0,610		C10B	0,067		HR	0,041		HZ	0,038							
		C5B	0,114		C10B	0,038		HR	0,009		HZ	0,009										
		C10B	0,067		HR	0,002		HZ	0,004													
		HR	0,004		HZ	0,004																
		HZ	0,004																			
10	HST	KC	0,177	KC	C5A	0,085	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,240	
		C5A	0,180		C10A	0,026		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,010		HZ	0,114				
		C10A	0,310		C5B	0,114		C10B	0,476		HR	0,002		HZ	0,114							
		C5B	0,114		C10B	0,067		HR	0,002		HZ	0,065										
		C10B	0,114		HR	0,012		HZ	0,065													
		HR	0,002		HZ	0,059																
		HZ	0,065																			

**Tabelle 56: Gruppenvergleich Pseudomonas spp. T2**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-	
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-				
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-				
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-							
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-										
		HR	-		HZ	-			-													
		HZ	-			-																
3	HST	KC	0,171	KC	C5A	1,000	C5A	C10A	0,686	C10A	C5B	0,886	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,114		C10A	0,486		C5B	0,686		C10B	0,886		HR	0,352		HZ	0,352				
		C10A	0,114		C5B	0,486		C10B	0,686		HR	0,257		HZ	0,352							
		C5B	0,057		C10B	0,686		HR	0,257		HZ	0,257										
		C10B	0,114		HR	0,122		HZ	0,257													
		HR	0,114		HZ	0,139																
		HZ	0,171																			
5	HST	KC	0,171	KC	C5A	0,886	C5A	C10A	0,486	C10A	C5B	0,686	C5B	C10B	1,000	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,240	
		C5A	0,486		C10A	0,486		C5B	0,686		C10B	1,000		HR	0,257		HZ	0,067				
		C10A	0,343		C5B	0,486		C10B	0,343		HR	0,257		HZ	0,038							
		C5B	0,343		C10B	0,200		HR	0,171		HZ	0,067										
		C10B	0,114		HR	0,047		HZ	0,038													
		HR	0,038		HZ	0,047																
		HZ	0,038																			
7	HST	KC	0,353	KC	C5A	0,029	C5A	C10A	0,886	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	1,000	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,132	
		C5A	0,029		C10A	0,029		C5B	0,486		C10B	0,486		HR	0,114		HZ	0,114				
		C10A	0,029		C5B	0,029		C10B	0,886		HR	0,171		HZ	0,114							
		C5B	0,029		C10B	0,029		HR	0,114		HZ	0,114										
		C10B	0,029		HR	0,029		HZ	0,114													
		HR	0,010		HZ	0,114																
		HZ	0,114																			
10	HST	KC	0,114	KC	C5A	0,029	C5A	C10A	0,886	C10A	C5B	0,886	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,010	HR	HZ	0,310	
		C5A	0,029		C10A	0,029		C5B	0,686		C10B	0,686		HR	0,010		HZ	0,114				
		C10A	0,029		C5B	0,029		C10B	0,343		HR	0,067		HZ	0,114							
		C5B	0,029		C10B	0,029		HR	0,010		HZ	0,171										
		C10B	0,029		HR	0,040		HZ	0,114													
		HR	0,010		HZ	0,114																
		HZ	0,114																			

ANHANG

**Tabelle 57: Gruppenvergleich *Brochothrix thermosphacta* T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p
0	HST	KC	0,394	KC	C5A	0,818	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	1,000	HR	HZ	0,818
		C5A	0,394		C10A	0,818		C5B	0,762		C10B	0,762		HR	0,610		HZ	1,000			
		C10A	0,310		C5B	0,914		C10B	0,476		HR	0,589		HZ	0,476						
		C5B	0,476		C10B	0,476		HR	0,485		HZ	0,589									
		C10B	0,171		HR	0,171		HZ	0,394												
		HR	0,180		HZ	0,171															
3	HST	KC	0,394	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,886	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,589
		C5A	0,310		C10A	0,394		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,476		HZ	0,762			
		C10A	0,310		C5B	0,914		C10B	0,762		HR	0,937		HZ	0,610						
		C5B	0,610		C10B	0,762		HR	0,699		HZ	0,699									
		C10B	0,610		HR	0,171		HZ	0,394												
		HR	0,180		HZ	0,171															
5	HST	KC	0,310	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,200	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,394
		C5A	0,132		C10A	0,132		C5B	0,762		C10B	0,762		HR	0,171		HZ	0,114			
		C10A	0,093		C5B	0,610		C10B	0,352		HR	0,310		HZ	0,067						
		C5B	0,257		C10B	0,257		HR	0,132		HZ	0,093									
		C10B	0,114		HR	0,040		HZ	0,041												
		HR	0,026		HZ	0,010															
7	HST	KC	0,132	KC	C5A	0,310	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	0,476	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,041
		C5A	0,699		C10A	0,093		C5B	0,762		C10B	0,610		HR	0,038		HZ	0,019			
		C10A	0,093		C5B	0,352		C10B	0,171		HR	0,065		HZ	0,019						
		C5B	0,171		C10B	0,038		HR	0,026		HZ	0,015									
		C10B	0,067		HR	0,040		HZ	0,004												
		HR	0,009		HZ	0,010															
10	HST	KC	0,394	KC	C5A	0,026	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,009
		C5A	0,066		C10A	0,009		C5B	0,476		C10B	1,000		HR	0,476		HZ	0,010			
		C10A	0,015		C5B	0,067		C10B	0,171		HR	0,589		HZ	0,010						
		C5B	0,067		C10B	0,019		HR	0,180		HZ	0,004									
		C10B	0,067		HR	0,010		HZ	0,002												
		HR	0,015		HZ	0,004															

**Tabelle 58: Gruppenvergleich *Brochothrix thermosphacta* T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-						
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-									
		C10B	-		HR	-		HZ	-												
		HR	-		HZ	-															
3	HST	KC	0,363	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,589	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,310
		C5A	0,394		C10A	0,240		C5B	0,762		C10B	0,914		HR	0,762		HZ	0,610			
		C10A	0,394		C5B	0,610		C10B	0,610		HR	0,485		HZ	0,257						
		C5B	0,610		C10B	0,476		HR	0,240		HZ	0,240									
		C10B	0,610		HR	0,010		HZ	0,093												
		HR	0,015		HZ	0,010															
5	HST	KC	0,394	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,009
		C5A	0,485		C10A	0,310		C5B	0,610		C10B	0,914		HR	0,352		HZ	0,019			
		C10A	0,310		C5B	0,352		C10B	0,257		HR	0,093		HZ	0,010						
		C5B	0,352		C10B	0,257		HR	0,093		HZ	0,009									
		C10B	0,257		HR	0,004		HZ	0,002												
		HR	0,002		HZ	0,002															
7	HST	KC	0,257	KC	C5A	0,180	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,762	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,002
		C5A	0,310		C10A	0,093		C5B	0,762		C10B	0,914		HR	0,352		HZ	0,010			
		C10A	0,394		C5B	0,257		C10B	0,610		HR	0,180		HZ	0,010						
		C5B	0,257		C10B	0,114		HR	0,093		HZ	0,002									
		C10B	0,257		HR	0,010		HZ	0,002												
		HR	0,009		HZ	0,004															
10	HST	KC	0,114	KC	C5A	0,240	C5A	C10A	0,132	C10A	C5B	0,257	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,067	HR	HZ	0,002
		C5A	0,015		C10A	0,026		C5B	0,610		C10B	1,000		HR	0,476		HZ	0,010			
		C10A	0,002		C5B	0,171		C10B	0,171		HR	0,065		HZ	0,010						
		C5B	0,019		C10B	0,038		HR	1,000		HZ	0,002									
		C10B	0,010		HR	0,076		HZ	0,002												
		HR	0,066		HZ	0,004															

ANHANG

**Tabelle 59: Gruppenvergleich Enterobacteriaceae T1**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	
0	HST	KC	0,394	KC	C5A	0,937	C5A	C10A	0,240	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,762	HR	HZ	1,000	
		C5A	0,699		C10A	0,394		C5B	0,914		C10B	0,914		HR	0,762		HZ	0,762				
		C10A	0,394		C5B	0,762		C10B	0,476		HR	0,818		HZ	0,610							
		C5B	0,610		C10B	0,257		HR	0,310		HZ	1,000										
		C10B	0,610		HR	0,310		HZ	0,394													
		HR	0,310		HZ	0,127																
		HZ	0,132																			
3	HST	KC	0,610	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,310		C10A	1,000		C5B	0,610		C10B	0,352		HR	0,762		HZ	0,762				
		C10A	0,485		C5B	0,914		C10B	1,000		HR	0,310		HZ	0,257							
		C5B	0,914		C10B	0,476		HR	0,589		HZ	0,240										
		C10B	0,257		HR	0,394		HZ	0,394													
		HR	0,310		HZ	0,127																
		HZ	0,132																			
5	HST	KC	0,310	KC	C5A	1,000	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,610	HR	HZ	0,937	
		C5A	0,937		C10A	0,937		C5B	0,914		C10B	0,914		HR	0,171		HZ	0,610				
		C10A	1,000		C5B	1,000		C10B	0,914		HR	0,394		HZ	0,257							
		C5B	0,914		C10B	0,914		HR	0,394		HZ	0,394										
		C10B	0,914		HR	0,485		HZ	0,485													
		HR	0,485		HZ	0,699																
		HZ	0,589																			
7	HST	KC	0,310	KC	C5A	0,937	C5A	C10A	0,699	C10A	C5B	0,610	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,476	HR	HZ	0,699	
		C5A	0,394		C10A	0,699		C5B	0,914		C10B	1,000		HR	0,257		HZ	0,610				
		C10A	0,485		C5B	0,762		C10B	0,762		HR	0,485		HZ	0,476							
		C5B	0,762		C10B	1,000		HR	0,310		HZ	0,485										
		C10B	0,610		HR	0,240		HZ	0,132													
		HR	0,180		HZ	0,127																
		HZ	0,093																			
10	HST	KC	0,485	KC	C5A	0,699	C5A	C10A	0,937	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	1,000	C10B	HR	0,067	HR	HZ	0,818	
		C5A	0,699		C10A	0,699		C5B	1,000		C10B	0,914		HR	0,067		HZ	0,067				
		C10A	0,818		C5B	0,610		C10B	1,000		HR	0,065		HZ	0,114							
		C5B	1,000		C10B	0,762		HR	0,065		HZ	0,132										
		C10B	0,762		HR	0,027		HZ	0,132													
		HR	0,015		HZ	0,041																
		HZ	0,041																			

**Tabelle 60: Gruppenvergleich Enterobacteriaceae T2**

US-Tag	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p	Probe	Probe	p
0	HST	KC	-	KC	C5A	-	C5A	C10A	-	C10A	C5B	-	C5B	C10B	-	C10B	HR	-	HR	HZ	-
		C5A	-		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			
		C10A	-		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-						
		C5B	-		C10B	-		HR	-		HZ	-			-						
		C10B	-		HR	-		HZ	-			-									
		HR	-		HZ	-			-												
		HZ	-			-															
3	HST	KC	0,357	KC	C5A	0,589	C5A	C10A	0,394	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,343	C10B	HR	0,257	HR	HZ	0,240
		C5A	0,394		C10A	0,485		C5B	0,352		C10B	0,257		HR	0,352		HZ	0,610			
		C10A	0,093		C5B	0,257		C10B	0,171		HR	0,180		HZ	0,762						
		C5B	0,171		C10B	0,257		HR	0,093		HZ	0,699									
		C10B	0,171		HR	0,120		HZ	0,937												
		HR	0,093		HZ	0,132															
		HZ	0,132																		
5	HST	KC	0,310	KC	C5A	1,000	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,486	C10B	HR	0,762	HR	HZ	0,937
		C5A	0,485		C10A	0,937		C5B	0,914		C10B	0,352		HR	0,352		HZ	0,762			
		C10A	0,689		C5B	1,000		C10B	0,476		HR	0,093		HZ	0,352						
		C5B	0,476		C10B	0,476		HR	0,240		HZ	0,180									
		C10B	0,352		HR	0,120		HZ	0,310												
		HR	0,093		HZ	0,144															
		HZ	0,093																		
7	HST	KC	0,357	KC	C5A	0,485	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	0,914	C5B	C10B	0,686	C10B	HR	0,914	HR	HZ	0,310
		C5A	0,240		C10A	0,310		C5B	0,914		C10B	0,762		HR	0,610		HZ	0,352			
		C10A	0,180		C5B	0,476		C10B	0,762		HR	0,699		HZ	0,352						
		C5B	0,762		C10B	0,257		HR	0,485		HZ	0,065									
		C10B	0,257		HR	0,040		HZ	0,065												
		HR	0,026		HZ	0,071															
		HZ	0,065																		
10	HST	KC	0,357	KC	C5A	0,394	C5A	C10A	0,818	C10A	C5B	1,000	C5B	C10B	1,000	C10B	HR	0,352	HR	HZ	0,699
		C5A	0,937		C10A	0,485		C5B	0,257		C10B	0,762		HR	0,114		HZ	0,257			
		C10A	0,310		C5B	0,476		C10B	0,257		HR	0,310		HZ	0,257						
		C5B	0,762		C10B	0,610		HR	0,065		HZ	0,180									
		C10B	0,352		HR	0,120		HZ	0,065												
		HR	0,093		HZ	0,141															
		HZ	0,132																		

**Tabelle 61: Verzeichnis der in den Gruppenvergleichen eingesetzten Abkürzungen**

<b>Abkürzung</b>	<b>Probe/Untersuchungsabschnitt</b>
<b>HST</b>	Proben des Status quo in Untersuchungsabschnitt I
<b>HR</b>	Proben der Lagerungsversuche in Untersuchungsabschnitt II
<b>KC</b>	Kontrollproben in Untersuchungsabschnitt III (Hauptversuche)
<b>C5A</b>	Proben mit 5 % CS (2 ml) in Untersuchungsabschnitt III (Hauptversuche)
<b>C10A</b>	Proben mit 10 % CS (2 ml) in Untersuchungsabschnitt III (Hauptversuche)
<b>C5B</b>	Proben mit 5 % CS (4 ml) in Untersuchungsabschnitt III (Hauptversuche)
<b>C10B</b>	Proben mit 10 % CS (4 ml) in Untersuchungsabschnitt III (Hauptversuche)
<b>HZ</b>	mit Gewürzmischung versetzte Proben in Untersuchungsabschnitt IV

## 8.2 EINGESETZTE CHEMIKALIEN

Citronensäure	Fa. Chemie Wockum; Monohydrat, Reinheit > 99,5 %
Penicillin-G Natrium Art.	Fa. SIGMA, Steinheim
Di-Kalium-Hydrogenphosphat	Fa. Roth, Karlsruhe
Magnesiumsulfat	Fa. Merck, Darmstadt
Natriumcarbonat	Fa. Merck, Darmstadt
Myo-Inosit	Fa. Merck, Darmstadt, Deutschland
Neutralrot 0,3 %	Fluka Chemie AG, Buchs, CH
Streptomycinsulfat	Fa. SIGMA, Steinheim
5%-ige Kochsalzlösung	Fa. Roth, Karlsruhe
Ethanol ≥ 99,8 %	Fa. Roth, Karlsruhe
Seesand	Fa. Roth, Karlsruhe
Magnesium-4-acetat	Fa. Roth, Karlsruhe
Salzsäure (32 %-ig)	Fa. Roth, Karlsruhe
Petroleumbenzin	Fa. Roth, Karlsruhe
Schwefelsäure	Fa. Roth, Karlsruhe
Natronlauge (50 %-ig)	Fa. Roth, Karlsruhe
Gesättigte Borsäure	Fa. Merck, Darmstadt
Chloramin T	Fa. Merck, Darmstadt
4-Dimethylaminobenzaldehyd	Fa. Merck, Darmstadt

## 8.3 TECHNISCHE GERÄTE UND VERBRAUCHSMATERIALIEN

$a_w$ -Kryometer	Fa. Nagy Messsysteme GmbH, Gäufelden
Beutel-Walkmischer	Fa. Seward, Thetford, UK
BIOGON <sup>®</sup> C (Kohlendioxid)	Fa. Linde, Höllriegelskreuth
BIOGON <sup>®</sup> O (Sauerstoff)	Fa. Linde, Höllriegelskreuth
Brutschrank +30 °C	Fa. Heraeus, Hanau
Brutschrank +37 °C	Fa. Memmert, Schwabach
Brutschrank +25 °C	Fa. Memmert, Schwabach
CO <sub>2</sub> -Brutschrank	Fa. Binder GmbH, Tuttlingen
Check Mate 9900	Fa. PBI-Dansensor GmbH, Neuwied
Fleischwolf, Lochscheibe 3 mm	Fa. Kilia, Neumünster
Füllmaschine (Modell HP 17C)	Fa. Vemag Anlagenbau GmbH, Verden/Aller
Gaselektrode	Fa. Mettler, Toledo, Steinbach

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Lösung	Fa. Merck, Darmstadt
Klimakammer	Fa. VIESSMANN Werke, Allendorf
Kühlkammern	Fa. VIESSMANN Werke, Allendorf
MAP-Schalen	Fa. Linpacs Plastics, GmbH, Mühlheim
Mengmaschine	Fa. Maschinenfabrik Seydelmann KG, Aalen/Württemberg
Muffelofen	Fa. Heraeus, Hanau
pH-Meter (Portamess® 651-2)	Fa. Knick, Berlin
Thermometer	Fa. Testo, Lenzkirch
Schalenversiegelungsanlage	Fa. Multivac Sepp Haggemüller GmbH & Co. KG, Modell T 350, Wolfertschwenden
Sterilisationsschrank	Fa. Memmert GmbH & Co. KG, Schwabach
Sprühvorrichtung	Fa. Güde GmbH & Co. KG, Wolpertshausen
Kompressor	Fa. Boge, Bielefeld
Laborwaage LC 2200 P	Fa. Sartorius, Göttingen
Spektrophotometer, Typ CM-2002	Fa. Konica Minolta Camera Co., Ltd. Osaka, Japan
Stomacherbeutel mit Einlage	Fa. Kleinfeld Labortechnik, Gehrden
Trockenschrank (Modell T 5050)	Fa. Heraeus, Hanau
Vadopest-Gerät	Fa. Gerhardt, Bonn
Vortex Mixer, Modell 7-2020	Fa. Neolab, Heidelberg
Würzex Plus A 1405	Fa. Gewürzmüller GmbH, Korntal-Müchingen

### 8.3.1 PRODUKTSPEZIFIKATIONEN DER VERPACKUNGSANLAGE

#### **Verpackungsmachine Multivac Typ T350**

Verpackungs-Vakuum:	988 mbar aktuelles
Vakuumschaltpunkt	300 mbar
Gasschaltpunkt:	700 mbar
Versiegelungstemp.:	182 °C
Dauer der Versiegelung:	1 sec
Taktung:	3,1/min

#### **MAP-Schalen**

400 g Vakuum-Schalen:	Fa. Linpac Plastics GmbH, Mühlheim
Länge:	190 mm
Breite:	144 mm
Tiefe:	49 mm
Volumen:	0,931 m <sup>3</sup>



Polypropylenanteil:	80 %
Kältestabilisator:	20 %
Einsatztemperatur:	-5 °C - +40 °C

### **Verbundfolie Top Tray LAF 50**

Deckfolie Top Tray LAF 50:	Fa. Südpack, Ochsenhausen
Dicke:	50 µm
Multilayer:	PET 12 µm, 3 µm Kleber, 35 µm EVPP [mit EVOH 4 µm] und Antifogbeschichtung
Gasdurchlässigkeit:	< 1,5 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar O <sub>2</sub> ; < 5,5 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar CO <sub>2</sub> und < 1 cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar N <sub>2</sub>
Wasserdampfdurchlässigkeit:	< 2,5 g/m <sup>2</sup> d

## **8.4 VERWENDETE NÄHRMEDIEN**

AnaeroGen®	Fa. OXOID, Wesel
api® -Listeria	Fa. BioMérieux, Marcy l'Etoile, Frankreich
Bactident® Oxidase Teststäbchen	Fa. Merck, Darmstadt
Blut-Agar (Basis)	Fa. Merck, Darmstadt
Campylobacter Growth Supplement	Fa. OXOID, Wesel
Chromogener Listeria-Selektivnährboden [OCLA]	Fa. OXOID, Wesel
Dreizucker-Eisen-Agar (Triple Sugar Iron Agar [TSI-Agar])	Fa. Merck, Darmstadt
Nutrient Broth No. 2	Fa. OXOID, Wesel
Modified Preston Campylobacter Selective Supplement	Fa. OXOID, Wesel
5 bis 7 % lysiertes Pferdeblut	Fa. OXOID, Wesel
Harnstoff-Agar nach CHRISTENSEN	Fa. Merck, Darmstadt
Fraser-Listeria-Selektiv- Anreicherungsbouillon (Basis)	Fa. Merck, Darmstadt
Fraser-Listeria-Selektiv-Supplement	Fa. Merck, Darmstadt
Hefeextrakt	Fa. Merck, Darmstadt
Gepuffertes Peptonwasser	Fa. Merck, Darmstadt
Kristallviolett-Neutralrot-Galle- Glucose-Agar nach Mossel	

(Violet-Red-Bile-Dextrose [VRBD]-Agar)	Fa. Merck, Darmstadt
Pseudomonaden-Aeromonaden-Selektivagar nach Kielwein (Glutamat-Stärke-Phenolrot [GSP])-Agar	Fa. Merck, Darmstadt
RAMBACH®-Agar	Fa. Merck, Darmstadt
RAPPAPORT Campylobacter-Selektivnährboden [ccDA])	Fa. Merck, Darmstadt  Fa. OXOID, Wesel
<u>Salmonella-Antiseren:</u>	
„Enteroclon Anti-Salmonella I (A-E)“	SIFIN Institut für Immunpräparate und Nährmedien, Berlin
„Enteroclon Anti-Salmonella II (F-67)“	SIFIN Institut für Immunpräparate und Nährmedien, Berlin
Standard-I-Nähragar (Pepton-Hefeextrakt-Glukose-Agar)	Fa. Merck, Darmstadt
Tetrathionat-Brillantgrün-Galle- Anreicherungsbouillon (TBG-Bouillon)	Fa. Merck, Darmstadt

#### 8.4.1 REZEPTUREN DER VERWENDETEN SELEKTIVNÄHRMEDIEN

##### 8.4.1.1 FESTE MEDIEN

###### **GSP-Agar zum Nachweis von *Pseudomonas* ssp.**

GSP-Agarbasis 45 g/l

Zur Verbesserung der Selektivität wurden dem autoklavierten und auf +50 °C bis +45 °C abgekühlten Agar vor dem Gießen der Nährbodenplatten 0,06 g/l Penicillin-G zugemischt.

###### **OCLA-Agar zum Nachweis von *Listeria* ssp.**

OCLA-Agarbasis 33,6 g / 480 ml

Zur Verbesserung der Selektivität wurden dem autoklavierten und auf +50 °C bis +45 °C abgekühlten Agar vor dem Gießen der Nährbodenplatten der gelöste Inhalt von einer Flasche Chromogenic *Listeria* Differential Supplement und einer Flasche Chromogenic *Listeria* Selektiv Supplement zugemischt.

###### ***Listeria*-Selektiv-Supplement:**

Zusammensetzung:

Nalidixinsäure	0,026 g/l
Polymixin B	0,01 g/l

---

Ceftazidim	0,006 g/l
Amphotericin	0,01 g/l

**Listeria-Differential-Supplement:**

Zusammensetzung (g/l):

Lecithin-Lösung	40 ml
-----------------	-------

**RAMBACH®-Agar**

Zusammensetzung:

Peptone	8,0 g/l
Natriumchlorid	5,0 g/l
Natriumdesoxycholat	1,0 g/l
Chromogen-Mischung	1,5 g/l
Propylenglycol	10,5 g/l
AgarAgar	15,0 g/l

pH: 7,3 ± 0,2 bei 25 °C

1 Flasche Supplement in destilliertes Wasser (Menge abhängig von Packungsgröße) einmischen und bis zur vollständigen Verteilung gut umschwenken. 1 Flasche Nährbodenpulver in das Ansatzgefäß geben und gut umschwenken, bis der Nährboden vollständig suspendiert ist. Das Ansatzgefäß in ein kochendes Wasserbad oder Dampftopf überführen und unter häufigem Umschwenken kochen. Den Nährboden keiner weiteren Hitze aussetzen und nicht autoklavieren. Nährboden im Wasserbad rasch abkühlen und während der Abkühlung (max. 30 Min.) regelmäßig umschwenken und anschließend in Platten gießen.

**SIN-Agar zum Nachweis von *Brochotrix thermosphacta***

Blut-Agar-Basis	40,0 g/l
Hefeextrakt	2,0 g/l
Di-Kalium-Hydrogenphosphat	1,0 g/l
Magnesiumsulfat	0,8 g/l
Natriumcarbonat	0,35 g/l
Myo-Inosit	10,0 g/l
Neutralrot 0,3 %	10,0 ml/l

pH-Wert 7,0

Nach dem Autoklavieren (15 Min) bei einer Temperatur von +121 °C und dem anschließendem Temperieren auf +45 °C bis +50 °C wurde dem Agar 500 mg/l Streptomycinsulfat zugesetzt.

### Standard-I-Nähragar

Hemmstoff- und indikatorfreier Nährboden zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl in Milch, Milchprodukten, Wasser und anderen Materialien.

Zusammensetzung:

Pepton aus Casein	5,0 g/l
Hefeextrakt	2,5 g/l
D(+)- Glucose	1,0 g/l
Agar	14,0 g/l

15 min. bei 121 °C autoklavieren

pH: 7,0 ± 0,1 bei 25 °C

### VRBD-Agar

Kristallviolett-Neutralrot-Galle-Glucose-Agar nach MOSSEL für die Mikrobiologie

VRBD-Agarbasis	37,5 g/l
----------------	----------

Agar nicht autoklavieren.

#### 8.4.1.2 FLÜSSIGE MEDIEN

##### Sterile physiologische Kochsalzlösung (NaCl)

Zur Herstellung der Verdünnungsreihen bei der Probenaufbereitung

Zusammensetzung:

Aqua dest.	1,0 l
Natriumchlorid	8,5 g/l
Pepton aus Casein	1,0 g/l

15 min. bei 121 °C autoklavieren

##### Fraser-Anreicherungsbouillon

Zur selektiven, zweistufigen Anreicherung von *Listeria* ssp. aus Lebensmitteln und Umweltmaterial.

Zusammensetzung:

Proteose-Pepton	5,0 g/l
Caseinpepton	5,0 g/l
Fleischextrakt „Lab-Lemco“	5,0 g/l
Hefeextrakt	5,0 g/l
Natriumchlorid	20,0 g/l
Dinatriumhydrogenphosphat	12,0 g/l
Kaliumdihydrogenphosphat	1,35 g/l
Äsculin	1,0 g/l

Lithiumchlorid 3,0 g/l  
 15 min. bei 121 °C autoklavieren  
 pH: 7,2 ± 0,2 bei 25 °C

**Fraser-Selektiv-Supplement**

Zusammensetzung (je Fläschchen)

Eisen(III) – ammoniumcitrat	500,0 mg
Nalidixinsäure	10,0 mg
Acriflavin	12,5 mg

Fraser-Selektiv-Supplement in 5 ml Ethanol/sterilem Aqua dest. lösen und zu einem Liter der autoklavierten Fraser-Anreicherungsbouillon geben.

Fraser-Selektiv-Supplement:

Zusammensetzung (je Fläschchen)

Selektivsupplement:

Nalidixinsäure	10,0 mg
Acriflavin	12,5 mg

Ammoniumeisen(III)-citrat-Supplement:

Ammoniumeisen(III)–citrat	500,0 mg
---------------------------	----------

**RAPPAPORT**

27,1 g in 1 Liter Aqua dest. lösen.

Zusammensetzung:

Sojapepton	4,5 g/l
Magnesiumchlorid, wasserfrei	13,58 g/l
Natriumchlorid	8,0 g/l
Dikaliumphosphat	0,4 g/l
Kaliumdihydrogenphosphat	0,6 g/l
Malachitgrün	0,036 g/l

pH: 5,2 ± 0,2 bei 25 °C

15 Minuten bei 115 °C autoklavieren.

**Tetrathionat-Brillantgrün-Galle-Anreicherungsbouillon**

Zusammensetzung:

Pepton	8,6 g/l
Ochsengalle	8,0 g/l
Natriumchlorid	6,4 g/l
Calciumcarbonat	20,0 g/l
Brillantgrün	0,07 g/l

pH-Wert: 7,0 ± 0,2 einstellen

63 g in 1 Liter Aqua dest. lösen. Beim Abfüllen das ungelöste Calciumcarbonat gleichmäßig verteilen. Nährlösung nicht autoklavieren.

### **Campylobacter-Selektiv-Anreicherungsbouillon nach Preston**

Selektivanreicherungsmedium zur Anzucht von Campylobacter-Spezies

#### ***Basismedium:***

##### Nutrient Broth No. 2

Zusammensetzung:

Fleischextrakt „Lab-Lemco“ 10,0 g

Pepton 10,0 g

Natriumchlorid 5,0 g

pH-Wert 7,5

12,5 g in 475 ml Aqua dest. lösen und 15 Min bei 121 °C autoklavieren.

#### ***Zusätze nach dem Autoklavieren:***

Zusatz 1: 25 ml lysiertes Pferdeblut

Zusatz 2: Campylobacter-Selektiv-Supplement Preston

Zusammensetzung je Röhrchen:

Polymyxin B 2500 I.E

Rifampicin 5 mg

Trimethoprim 5 mg

Amphotericin B 5 mg

Den Inhalt eines Röhrchens aseptisch in 2 ml sterilem Aqua dest. lösen.

Zusatz 3: Campylobacter-Growth-Supplement

Zusammensetzung je Röhrchen:

Natriumpyruvat (0,125 g),

Natriumdisulfit (0,125 g),

Eisenbisulfat (0,125 g).

Den Inhalt eines Röhrchens aseptisch in 2 ml sterilem Aqua dest. lösen.

8.5 PRODUKTSPEZIFIKATIONEN DER GEWÜRZMISCHUNG

Artikelnummer **WÜRZEX PLUS A 1405**  
 75030xxxx **Produktspezifikation**



Gewürzmüller GmbH, Siemensstraße 1, 70825 Kornthal-Münchlingen, Tel: 07150-2090-0, Fax: -7000

Bezeichnung	WÜRZEX PLUS A 1405 ehem. Materialnummer GIN 679669
Verkehrsbezeichnung	Präparat zur Herstellung von Fleisch- und Wurstwaren
Hauptanwendungsgebiet	Fleisch- und Wurstwaren
Zugabeempfehlung	14 g je kg Gesamtmasse
Enthält	Speisesalz, Ascorbinsäure E 300, Gewürzextrakte, Natriumascorbat E 301, Siliciumdioxid E 551
Deklarationsempfehlung im verzehrfähigen Endprodukt	Speisesalz, Antioxidationsmittel: Ascorbinsäure E 300, Natriumascorbat E 301, Gewürzextrakte

*Die lebensmittelrechtliche Verwendung und Kennzeichnung der durch uns hergestellten und durch unsere Kunden in Verkehr gebrachten Produkte, im Hinblick der im jeweiligen Land geltenden Gesetzgebung bzw. Vorschriften, liegt allein in der Verantwortung unserer Kunden.*

Produktbeschreibung **feine Mischung, hell**  
 Durch die im Artikel enthaltenen Naturbestandteile können leichte Farbschwankungen auftreten.

Chemische und physikal. Eigenschaften (berechnet)	Feuchtigkeit	< 2 %
	Asche	< 97 %

Nährwertangaben (aus Literaturangaben berechnet)	100g des Produktes enthalten durchschnittlich	
	Energiewert (kJ)	119
	Energiewert (kcal)	28
	Eiweiß [g]	0
	Kohlenhydrate [g]	0
	Fett [g]	2

Mikrobiologie Gesamtkeimzahl < 5,0 E+04 KbE/g

Angaben zu allergenen Inhaltstoffen (nach RL 2000/13/EG, Anhang IIIa) **Der Artikel enthält folgende Allergene:**  
 - keine

*Die Kennzeichnung der kennzeichnungspflichtigen Allergene in unseren Produkten bezieht sich auf deren rezeptorischen Zusatz. Kreuzkontakte, auch mit anderen Zutaten mit allergenem Potential, die nicht im Anhang IIIa der Richtlinie 2000/13/EG aufgeführt sind, können nicht ausgeschlossen werden.*

Artikelnummer **WÜRZEX PLUS A 1405**  
 75030xxxx **Produktspezifikation**

*Gewürzmüller®*

Gewürzmüller GmbH, Siemensstraße 1, 70825 Korntal-Münchingen, Tel: 07150-2090-0, Fax: -7000

Empfohlene Lagerungsbedingung	kühl und trocken
Mindesthaltbarkeit	12 Monate, bei einwandfreien Lager- und Transportbedingungen, in ungeöffneten Originalgebinden.
Verpackungsart	Aromaschutzbeutel
<i>Die produktberührenden Verpackungen bestehen aus folgenden Materialien: Polyester, Polyethylen, Polyamid, Polypropylen, Aromasperrschicht EVOH.</i>	
Angaben zur Gentechnik	Der Artikel enthält keine kennzeichnungspflichtigen Bestandteile gemäß EG-VO 1829/2003 und unterliegt nicht der EG-VO 1830/2003.
Der Artikel bzw. einzelne Bestandteile daraus	- wurde keiner Strahlenbehandlung zur Keimreduzierung unterzogen, - wurde nicht mit Ethylenoxid oder einem anderen Stoff begast.
Lebensmittelrecht und Lebensmittelsicherheit	Das Produkt entspricht dem EU-Recht und dem deutschen Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) sowie seinen Folgeverordnungen in der jeweils gültigen Fassung.  Im Herstellprozess ist das HACCP-Konzept als Kontrollsystem auf den Grundlagen des Codex Alimentarius implementiert.

Die vorstehenden Angaben entsprechen unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie sind lediglich als Information über unser Produkt zu werten.

Spezifikationsversion: 01  
 Erstellt am: 28.09.2009  
 Erstellt durch: PSA-Ku  
 Die Spezifikation ist gültig bis auf Widerruf oder Zusendung einer aktualisierten Version.

Die Spezifikation wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.



**DANKSAGUNG**

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr.-Ing. Watkinson für die Ermöglichung der Promotion in Ihrer Abteilung, die wissenschaftliche Betreuung sowie die jederzeit freundlich gewährte Unterstützung bei der Anfertigung meiner Dissertation, aber auch in allen anderen Lebens- und Leidensphasen.

Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. vet. med. B. Nowak für seine Unterstützung, insbesondere durch seine kritischen Fragen, aber auch die vielen aufmunternden Worte während der Anfertigung meiner Dissertation danken. Durch die insitutsübergreifende Zusammenarbeit wurde es möglich, diese Arbeit anzufertigen.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich auch noch bei ganz vielen Menschen aus dem Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit der Stiftung Tierärztliche Hochschule für ihre große Hilfs- und Diskussionsbereitschaft. Dieser Dank gilt insbesondere Karen Remm, Dr. Marcus Langen, Dr. Theda von Müffling, Dr. Birte Ahlfeld, Cristiana Soares da Silva, Dr. Stephanie Josupeit, Christin Kohlmetz, Karina Klase, Dr. Anja Kastner, Antje Hagemann und alle anderen, die ich an dieser Stelle noch vergessen habe. Durch euch wurde vieles leichter!

Den technischen Mitarbeitern Bettina Engel-Abé, Marion Busse und Marija Livio möchte ich ebenso einen riesigen Dank für die tatkräftige Unterstützung bei den mikrobiologischen Untersuchungen und der chemischen Vollanalyse aussprechen.

Meinem ehemaligem Uni-Kollegen Kevin Schmeelke danke ich dafür, dass er immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Der Firma HMC danke ich für die Bereitstellung der Rohstoffe und die freundliche Zusammenarbeit, ohne die die Durchführung der Arbeiten nicht möglich gewesen wäre.

Der AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen), Berlin, danke ich für die finanzielle Unterstützung.

Meiner Familie danke ich, weil sie immer für mich da waren und mich in allen Lebenslagen unterstützt haben. Vor allem, dass sie mir nicht nachtragen, dass ich so wenig Zeit für sie hatte. Ich verspreche, dass es von nun an wieder besser wird.

Meinem Freund Till Breiter kann ich einfach nur für alles danken! Seine Unterstützung, sein Verständnis und seine Unnachgiebigkeit haben es mir ermöglicht, diese Arbeit zu beenden. Danke, dass Du immer an mich geglaubt hast!



**LISTE DER PUBLIKATIONEN**

**Aufsätze**

**Remm, K.; Koch, K.; von Mueffling, T.; Nowak, B.** (2009): Study on the microbial status of unseasoned ground turkey meat from an EU producer – a new product with risk potential? In: British Poultry Science, Vol. 50, S. 495-503.

**Poster**

**Koch, K.; von Müffling, T.; Watkinson, B. M.; Klein, G.; Nowak, B.** (2007): Untersuchungen zum mikrobiologischen Status von Geflügelhackfleisch unter Schutzatmosphäre. 48. Arbeitstagung der DVG des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene, 25.09.-28.09.2007, Garmisch-Partenkirchen.

**Koch, K.; Remm, K.; von Müffling, T.; Watkinson, B. M.; Klein, G.; Nowak, B.** (2008): Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Rohstoffqualitäten auf die mikrobiologische Beschaffenheit von frischem Geflügelhackfleisch. 49. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene, 29.09.-02.10.2008, Garmisch-Partenkirchen.

**Koch, K., Ahlfeld, B.; Watkinson, B. M.; Klein, G.; Nowak, B.** (2009): Untersuchungen zur Produktqualität von frischem Geflügelhackfleisch in SB-Packungen nach Einsatz kaltvernebelter Zitronensäure. 50. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene, 29.09.-02.10.2009, Garmisch-Partenkirchen.

**Ahlfeld, B.; Koch, K.; von Müffling, T.; Klein, G.; Nowak, B.** (2009): Untersuchungen zur antimikrobiellen Wirksamkeit von kaltvernebelter Zitronensäure auf kühlgelagertes Geflügelhackfleisch. 50. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene, 29.09.-02.10.2009, Garmisch-Partenkirchen.



## **Erklärung zur Dissertation**

Hierdurch erkläre ich, dass ich meine Dissertation mit dem Titel

„Untersuchungen zur mikrobiologischen Stabilität von Putenhackfleisch unter Schutzatmosphäre“

selbstständig verfasst und alle benutzten Hilfsmittel und Quellen sowie gegebenenfalls die zu Hilfestellungen herangezogenen Institutionen vollständig angegeben habe.

Die Dissertation wurde nicht schon als Masterarbeit, Diplomarbeit oder andere Prüfungsarbeit verwendet.

Hannover, 03. August 2010

---

Kerstin Koch



### **Persönliche Angaben**

Name: Kerstin Koch  
Geburtstag: 28.05.1980  
Geburtsort: Cuxhaven  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

### **Schulbildung**

1986 – 1992 Süderwisch-Schule Cuxhaven  
1992 – 1996 Realschule Cuxhaven  
1996 – 1999 Fachgymnasium für Ernährung und Hauswirtschaft

### **Studium**

1999 – 2000 Lebensmitteltechnologie, Hochschule Bremerhaven  
Studiengangwechsel  
2000 – 2005 Lebensmittelwissenschaft für das Lehramt an berufsbildenden  
Schulen

### **Berufserfahrung**

04/2002 – 03/2004 Studentische Hilfskraft am Institut für Lebensmittelwissenschaft  
04/2006 – 04/2010 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Insitut für  
Lebensmittelwissenschaft und Ökotrphologie  
seit 05/2010 Studienreferendarin des Lehramts an berufsbildenden Schulen