

Entwicklung eines innovativen Produktionsverfahrens für die Herstellung von Wurstwaren ohne Verwendung von Zusatzstoffen

Dissertation
zur Erlangung
des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)
im Fachbereich 11 Ökologische Agrarwissenschaften
der Universität Kassel

vorgelegt von:

Sebastian Bühler

Gutachter:

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Angelika Ploeger

Prof. Dr. Fabian Weber

Tag der Disputation: Witzenhausen, 12. Juni 2023

Vorwort und Danksagung

In Deutschland wird die Massentierhaltung, insbesondere auch in der Schweineproduktion von Konsumenten immer kritischer hinterfragt. Fleischprodukte aus artgerechten Haltungssystemen erfreuen sich wachsender Beliebtheit. Beim Fleisch bzw. Fleischerzeugnisse aus der biologischen Landwirtschaft geht die Erwartung der Konsumenten über die reine Tierhaltungsform hinaus. Man erwartet auch einen anderen Fleischverarbeitungsprozess bei dem weniger oder sogar gar keine Zusatzstoffe eingesetzt werden. Seit Januar 2022 ist die neue Öko-Basisverordnung (EU-VO 2018/848) in Kraft getreten, in der der Einsatz von Zusatzstoffen deutlich eingeschränkt worden ist. Noch deutlicher ist diese Einschränkung in den Richtlinien der Bio-Verbände in Deutschland.

Daher ist die Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall (BESH) frühzeitig der Frage nach einer Verminderung des Einsatzes von Zusatzstoffen bei der Herstellung von Wurstprodukten mit Fleisch aus ökologischer Landwirtschaft nachgegangen. Dies ist auch die Grundlage für das im vorliegenden Promotionsverfahren durchgeführte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Die wissenschaftlichen Untersuchungen über die Möglichkeiten zur Reduktion bis zum Ausschluss von Zusatzstoffen wurden exemplarisch bei der Produktion von Brühwurst und Salami mit Fleisch aus ökologischer Tierhaltung in den Produktionsstätten der BESH durchgeführt. Dafür wurden vom Doktoranden neue Rezepturen sowie völlig neue großtechnische Produktionsverfahren mit entsprechender erweiterter Qualitätskontrolle entwickelt und erprobt. Die Ergebnisse liefern die wissenschaftliche Basis für Innovationen bei der Produktion von ökologisch hergestellten Wurstwaren ohne Zusatzstoffe im großtechnischen Maßstab.

Bei der Durchführung dieser umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen und des dazu notwendigen zeitlichen Arbeitsumfangs ist das Familienleben häufig zu kurz gekommen. Meine Frau Nadine hat großes Verständnis und viel Geduld hierfür gezeigt und mich in jeder Situation umfassend unterstützt und motiviert. Dafür und für die aktive Unterstützung meiner Arbeit, insbesondere in schwierigen Zeiten danke ich ihr

herzlich. Ohne ihren Zuspruch, der mir immer Mut gegeben hat auch scheinbar unüberwindbare Hindernisse aus dem Weg zu räumen, hätte ich diese Aufgabe nicht so erfolgreich meistern können.

Mein besonderer Dank gilt auch meiner Erstbetreuerin, Frau Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Angelika Ploeger, die mich schon bei der Formulierung dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhabens und bei dessen Durchführung stets mit guten Ratschlägen und wichtigen Hinweisen unterstützt hat. Besonders wichtig war die Unterstützung bei den sensorischen Untersuchungen an der Universität Kassel durch das Team von Frau Prof. Ploeger, bei dem ich mich herzlich bedanke. Ein großes Dankeschön möchte ich auch an meinen Gutachter Herrn Prof. Dr. Weber aussprechen. Frau Prof. Dr. Rohtraud Pichner danke ich für die Übernahme der Zweitbetreuung dieses Promotionsvorhabens und für ihre fachspezifischen Hinweise, die für mich, insbesondere bei der Restrukturierung der Arbeit, sehr wertvoll waren. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Peter von Fragstein für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse sowie meiner Doktorandenkollegin Hannah Gräf für ihre Unterstützung in diesem Bereich.

Der für eine solche Arbeit notwendige transdisziplinäre Forschungsansatz bedeutet, dass nicht nur ein Dialog mit Fachpersonen aus der Praxis geführt, sondern auch auf deren Erfahrung und Praxiswissen zurückgegriffen werden musste. Für die jahrelange Zusammenarbeit und die große Bereitschaft mir ihr Erfahrungswissen zu vermitteln möchte ich mich bei den Metzgermeistern Herrmann Jakob, Hans-Dieter Mayer und bei meinem 2019 verstorbenen Freund und Metzgermeister Reiner Dierolf bedanken. Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Kollegen der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall Steffen Noller und Florian Petzl für ihre Unterstützung bei der Durchführung meiner Versuche sowie bei Matthias Petig, für die kollegiale Unterstützung und den fachlichen Austausch. Bei meinem Arbeitgeber bedanke ich mich für die Möglichkeit der flexiblen Arbeitszeitgestaltung und die Zurverfügungstellung der benötigten Rohstoffe und Gerätschaften bei der Durchführung meiner Experimente.

Juni 2023

Sebastian Bühler

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort und Danksagung	II
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	X
Fotodokumentation	XII
Anhangverzeichnis.....	XIII
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole	XIV

Zusammenfassung	XVII
Abstract	XXI

1. Einleitung	1
----------------------------	----------

2. Aufbau und Inhalte der Arbeit	4
---	----------

3. Problemstellung und Ziele der Arbeit	7
--	----------

4. Stand der wissenschaftlichen Forschung	10
4.1 Die Verwendung von Nitrat.....	10
4.2 Die Verwendung von Nitrit.....	11
4.3 Die Verwendung von L-Ascorbinsäure und Natriumascorbat	14
4.4 Die Verwendung von Natriumcitrat bzw. Trinatriumcitrat.....	17
4.5 Die Verwendung von Mono- und Diglyceriden der Speisefettsäuren.....	18

5. Theoretische Grundlagen für das alternative Produktionsverfahren bei Brühwurst- und Rohwurstprodukten	20
5.1 Natürliche Nitrat- und L-Ascorbinsäurequellen	20
5.1.1 Gemüse und Gewürze als natürliche Nitrat-Quellen	20
5.1.2 Acerolakirsche als natürliche Quelle für L-Ascorbinsäure	22
5.2 Das alternative Umröteverfahren.....	23
5.2.1 Wirkungsweise von Nitrat aus natürlichen Quellen	23

5.2.2 Bedeutung und Wirkung von Starterkulturen	24
5.2.3 Kutterprozess.....	24
5.3 Alternatives Verfahren bei der Brühwurstherstellung	28
5.3.1 Farbentwicklung während des Brühprozesses	28
5.3.2 Hitzeinaktivierung von Mikroorganismen während des Brühprozesses sowie die Bedeutung des F-Werts	30
5.3.3 Redoxpotenzial bei Brühwurstprodukten	30
5.3.4 Wasseraktivität bei Brühwurstprodukten.....	31
5.3.5 Farbliche Mängel und deren Ursachen im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens	33
5.4 Alternatives Verfahren bei der Rohwurstherstellung	34
5.4.1 Bedeutung des a_w -Wertes bei Rohwürsten	35
5.4.2 Umröteprozess im Rahmen der alternativen Salamisherstellung	35
5.4.2.1 Verwendung nitrathaltiger Gewürze und Gemüse	36
5.4.2.2 Die Verwendung von Rote-Bete	37
5.4.2.3 Die Wirkung von Starterkulturen.....	37
5.4.2.4 Die Reifephase der Salami	39
5.4.2.5 Mikrobiologische Stabilität von alternativ erzeugten Salamiprodukten	42
5.4.2.6 Schematischer Überblick der Umrötung im Rahmen der alternativen Salamiproduktion.....	46
5.4.2.7 Vermeidung von Nitrosaminbildung bei der Salamiproduktion	47
6. Methoden	51
6.1 Chemische Analysemethoden und Probenahme	51
6.1.1 Phosphatzusatz in Fleischerzeugnissen.....	51
6.1.2 pH-Wert	52
6.1.3 Nitrat/Nitrit.....	52
6.1.4 Nitrosamine.....	52
6.2 Mikrobiologische Untersuchungen	53
6.3 Sensorische Untersuchungen	55
6.4 Statistische Auswertung.....	56
6.4.1 Chemische Analysen	56
6.4.1.1 Nitrat- und Nitritgehalte von Brühwurst und Salami	56
6.4.1.2 Nitrosaminkonzentrationen von Salamiprodukten	57
6.4.2 Mikrobiologische Untersuchungen.....	57

6.4.3 Sensorik	57
6.4.3.1 Rating.....	57
6.4.3.2 Dreieckstest	58
7. Empirischer Teil.....	59
7.1 Brühwurstproduktion ohne Zusatzstoffe	60
7.1.1 Versuchsanlage und – Durchführung	61
7.1.1.1 Grundsätze für die Warmfleischgewinnung und -bevorratung	62
7.1.1.2 Versuchsdurchführung	65
7.1.1.3 Erkenntnisse aus den Versuchen im Praxismaßstab	70
7.1.2 Verarbeitung des Warmfleisches zu Brühwürsten.....	72
7.1.2.1 Zusammenstellung der Komponenten für die Brühwurstproduktion....	74
7.1.2.2 Der Kutterprozess bei der Warmfleischverarbeitung.....	80
7.1.2.3 Füllprozess bei Brühwurstprodukten in Konserven	84
7.2 Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe	90
7.2.1 Zerlegung der Schlachtschweine und Sortierung der Fleischabschnitte ...	91
7.2.2 Der Kutter- und Reifeprozess.....	94
7.2.2.1 Chargieren und Zubereitung sowie Zusammenstellung der Rohwaren	96
7.2.2.2 Der Kutterprozess	113
7.2.2.3 Der Füllprozess.....	116
7.2.2.4 Der Reifeprozess	118
8. Ergebnisse und Diskussion.....	132
8.1 Herstellung von Brühwurst ohne Zusätze in Dosen.....	132
8.1.1 P- Zahl zur Kontrolle von Phosphatzusätzen in der Wurstproduktion.....	132
8.1.2 pH-Werte.....	134
8.1.3 Nitrat- und Nitritgehalt	136
8.1.4 Mikrobiologische Untersuchungen	139
8.1.5 Sensorische Analyse von Brühwürsten	141
8.1.5.1 Rating.....	143
8.1.5.2 Dreieckstest	145
8.2 Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe	145
8.2.2.1 Nitrat-und Nitritgehalte	146

8.2.2.2 Nitrosamingehalte von Salami ohne Zusatzstoffe.....	150
8.2.2.3 Mikrobiologische Stabilität der Salami ohne Zusatzstoffe.....	155
8.2.2.4 pH-Werte	156
9. Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	159
Glossar.....	164
Literaturverzeichnis	168

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 01: Schematische Darstellung der Bildung von Nitrosomyoglobin (Mb-NO) bei Brühwurst	29
Abbildung 02: Schematische Darstellung der Bildung von Nitrosomyoglobin (Mb-NO) bei Salami	46
Abbildung 03: Das theoretisch erarbeitete Materialflussdiagramm der Warmfleischerzeugung aus Schweinefleisch für die Praxisversuche bei der BESH	63
Abbildung 04: Verfahrensfliessbild des Kutter- und Brühprozesses bei der Brühwurstproduktion ohne Zusatzstoffe	73
Abbildung 05: Temperatur- und Druckverlauf des Nassdampfes im Autoklav während der Stufenkochung beim Brühprozess	88
Abbildung 06: Kerntemperaturverlauf der Brühwurstkonserven während des Brühprozesses im Autoklav	89
Abbildung 07 Verfahrensfliessbild des Kutter- und Reifeprozesses bei der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe.....	95
Abbildung 08: Vorreifeprogramm der Salami ohne Zusatzstoffe.....	127
Abbildung 09: Nachreifeprogramm der Salami ohne Zusatzstoffe.....	131
Abbildung 10: P-Zahlen der Brühwurst ohne Zusatzstoffe in Dosen.....	132
Abbildung 11: Durchschnittliche P-Werte in den drei Versuchen.....	133
Abbildung 12: pH-Werte von Brühwurst in Dosen.....	135
Abbildung 13: Durchschnittliche pH-Werte in den drei Versuchen.....	136
Abbildung 14: Nitrat- und Nitritgehalt in Brühwurst in Dosen	137
Abbildung 15: Gesamtkeimzahl und relevante Keime in Brühwurst in Dosen ohne Zusatzstoffe	141
Abbildung 16: Nitrat- und Nitritgehalte von Salamiprobe n	147
Abbildung 17: Vergleich des Nitrat- und Nitritgehalts in Salami ohne Zusatzstoffe im ersten und zweiten Versuchsjahr	148
Abbildung 18: Ergebnis der Überprüfung auf eine Korrelation der Nitrat- und Nitritgehalte in Salami.....	149

Abbildung 19: Scheiben von Salami ohne Zusatzstoffe thermisch behandelt (200 °C für 12 Minuten)	151
Abbildung 20: Scheiben von Salami ohne Zusatzstoffe thermisch behandelt (230 °C für 15 Minuten)	152
Abbildung 21: pH-Werte der Salami im ersten und zweiten Versuchsjahr	157
Abbildung 22: Vergleich der pH-Werte bei Salami zwischen dem ersten und zweiten Versuchsjahr	158

Tabellenverzeichnis

Tabelle 01: Nitrat-Konzentrationen von Frischgemüse (Zorn, 1986; Göllner, 2021) .	21
Tabelle 02: Einfluss des Vakuumkutters auf die Konzentration an Rest-Nitrit und Rest-Nitrat bei Brühwurstprodukten (Wirth, 1984 S. 136).....	25
Tabelle 03: Einfluss der Brühtemperatur und Brühdauer auf die Farbentwicklung der Brühwurst (Wirth, 1984 S. 137)	28
Tabelle 04: Minimale Wasseraktivität (a_w -Wert) verschiedener Mikroorganismen ...	32
Tabelle 05: Minimaler a_w -Wert für das Wachstum von Clostridium botulinum in NaCl-haltigen Substraten (Sperber, 1982).....	44
Tabelle 06: Darstellung der inhibierenden Faktoren in Bezug auf die Nitrosaminbildung beim alternativen Umröteverfahren im Zuge der Wurstproduktion ohne Zusatzstoffe	48
Tabelle 07: Untersuchungsmethoden in Zusammenhang mit der P-Zahl Bestimmung.....	51
Tabelle 08: Untersuchungsmethode der verschiedenen N-Nitrosamine	52
Tabelle 09: Untersuchungsmethoden verschiedener relevanter Keime bei Brühwurstprodukten in Konserven nach DakS	54
Tabelle 10: Versuch 1 – Teil einer Tagesproduktion.....	66
Tabelle 11: Versuch 2 – Gesamte Tagesproduktion	67
Tabelle 12: Versuch 3 – Gesamte Tagesproduktion	69
Tabelle 13: Bio- Lyoner Gewürzmischung	75
Tabelle 14: Bio Lyoner Fleischrezeptur.....	80
Tabelle 15: Temperaturverlauf im Brühwurstbrät.....	84
Tabelle 16 Sortierung des Verarbeitungsfleischs vom Schwein anhand der Leitsätze (BMEL, 2015/2020)	92
Tabelle 17: Rezeptur für Edelsalami ohne Zusatzstoffe	97
Tabelle 18: Zutaten der Bio-Edelsalamigewürzmischung	101
Tabelle 19: Prozessparameter während des Kutterprozesses in der Übersicht.....	114
Tabelle 20: Reifeparameter der Nachreifephase	128
Tabelle 21: Zeitlicher Verlauf der Reifeparameter von den Salamistangen während der Reifephase (Kaliber 60-80).....	129

Tabelle 22: Durchschnittliche Nitrat- und Nitritgehalte der Brühwurst in Dosen	138
Tabelle 23: Richt- und Warnwerte für relevante Mikroorganismen bei Brühwurst (DGHM, 2018).....	140
Tabelle 24: Brühwurstvarianten für die sensorischen Untersuchungen.....	142
Tabelle 25: Bewertung der Farben der Produkte auf einer Skala von 1 (spricht mich gar nicht an) bis 9 (spricht mich absolut an) (N = 60)	144
Tabelle 26: P-Werte der Dreieckstests (N = 11).....	145
Tabelle 27: Nitrosamingehalte von Salami ohne Zusatzstoffe.....	152
Tabelle 28: Durchschnittlicher Nitrosamingehalt von Salami bei unterschiedlicher Erhitzung	154
Tabelle 29: Untersuchung der mikrobiellen Belastung von Salami.....	155
Tabelle 30: Richt- und Warnwerte für relevante Mikroorganismen bei schnittfester Rohwurst (Salami) (DGHM, 2017).....	156

Fotodokumentation

Seite

Foto 01: Einblick in das Sensoriklabor	55
Foto 02: Brühwurstbrät am Ende des Kutterprozesses als klebrig hoch viskose Masse	83
Foto 03: Spezialvorrichtung für das Ausschleusen des Brühwurstbräts	83
Foto 04: Befüllung eines Kutterwagens mit Brühwurstbrät ohne Zusatzstoffe	84
Foto 05: Dosenabfüllung (1/2)	85
Foto 06: Dosenabfüllung (2/2)	86
Foto 07: Autoklav mit Vorrichtung zur Befüllung von Brühwurstkonserven.....	87
Foto 08: Gefrierschneider zum Schneiden von Speck bzw. Speckblöcken in Würfeln	98
Foto 09: Entsehnungsmaschine bzw. Bademaschine von SEPAmatic während des Betriebs.....	99
Foto 10: Rohwurstkutter während des Kutterprozesses bei der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe	116
Foto 11: Füllprozess während des Betriebs mit den in chronologischer Reihe verrohrten Maschineneinheiten - Füllwolf, Metalldetektor mit Ausschleusung und Clipautomat von Poly-Clip	117
Foto 12: Vorreifekammer bzw. Räucherammer. Die Reifewägen sind zur Besserungen Luftzirkulation nur locker mit Salami bestückt.....	126
Foto 13: Nachreifekammer für Salamistangen.....	130

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Die Bedeutung des F-Wertes	188
Anhang 2: Der aw-Wert	192
Anhang 3: Pathogene Keime in der Rohwurstproduktion	194
Anhang 4: Rezepturen für Kräuter- und Gewürzmischungen	198
Anhang 5: Definition der Wurstarten	199
Anhang 6: Für Bio-Wurst- und Bio-Fleischverarbeitung zugelassene Zusatzstoffe (EU-VO 2018/848, 2018).....	201
Anhang 7: P-Zahlen von Warmfleisch beim Schwein – Stichprobenerhebung aus der Produktion	202
Anhang 8: Deskriptive Statistik zu den Boxplots für P-Zahlen, Nitrit- und Nitratgehalten sowie pH-Werten bei der Brühwurst	203
Anhang 9: Deskriptive Statistik zu den Boxplots für Nitrit- und Nitratgehalte sowie pH-Werten bei den Salamiprodukten	203
Anhang 10: Statistik Ergebnisse Brühwurstuntersuchungen	204
Anhang 11: Statistik Ergebnisse Salamiuntersuchungen	207

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

Cl^-	Chloridanion
HO_2^\cdot	Hydroperoxyradikale
NO_2^-	Nitritanion
NO_3^-	Nitratanion
Na^+	Natriumkation
O_2^-	Superoxidanionen
P_2O_5	(Di) phosphorpentoxid
ADI	acceptable daily intake
ADP	Adenosindiphosphat
ANOVA	Analysis of Variance
ASU	Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren
ATP	Adenosintriphosphat
a_w	Activity of Water
BESH	Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall
BTX	Botulinumtoxin
bzw.	beziehungsweise
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	Milchsäure
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	Ascorbinsäure
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	Zitronensäure
DAkkS	Deutsche Akkreditierungsstelle
DE	Dextrose-Äquivalent
DFD	dry firm dark
DFV	Deutscher Fleischerverband e.V.
DGHM	Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie
DIN	Deutsches Institut für Normung
D-Wert	Dezimaler Reduktionswert
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>

EDV	Elektronische Datenverarbeitung
Eh	Redoxpotential
EHEC	enterohämorrhagischer Escherichia coli
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
Fe ²⁺	Eisen(II)-Kation
Fe ³⁺	Eisen(III)-Kation
FOM	Fat-O-Meter
F-Wert	Summe aller letalen Effekte
g.g.A.	geschützte geografische Herkunftsangabe
GC	Gaschromatographie
ggf.	gegebenenfalls
H ₂	molekularer Wasserstoff (Wasserstoffgas)
H ₂ O	Wasser
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point
Hb	Hämoglobin
HLB	hydrophilic-lipophilic balance
HNO ₂	Salpetrige Säure
HNO ₃	Salpetersäure
ISO	Internationale Organisation für Normung
KNO ₃	Kaliumnitrat
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
Mb	Myoglobin
Mb-NO	Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin
Mc-NO	Nitrosomyochromogen
MetMb	Metmyoglobin
N ₂	molekularer Stickstoff (Stickstoffgas)
Na ₄ P ₂ O ₇	Natriumdiphosphat bzw. Tetranatriumdiphosphat
NaCl	Natriumchlorid

NaNO ₂	Natriumnitrit
NaNO ₃	Natriumnitrat
NDBA	N-Nitrosodibutylamin
NDEA	N-Nitrosodiethylamin
NDMA	N-Nitrosodimethylamin
NDPA	N-Nitrosodiprpylamin
NMOR	N-Nitrosomorpholin
NO	Stickstoffmonoxid (Stickstoffmonoxidgas)
NPIP	N-Nitrosoppiperidin
NPYR	N-Nitrosopyrolidin
Nr.	Nummer
O ₂	molekularer Sauerstoff (Sauerstoffgas)
P	Druck
Ppm	Parts per million
PSE	pale soft exudative
P-Zahl	Phosphat-Zahl
RCM-Agar	Reinforced Clostridial Agar
SH	Schwäbisch Hällisch
spp.	species pluralis
t	Zeit
T	Temperatur
TEA	Thermo-Energy-Analyse
UN	United Nations
UVC	kurzwellige Ultraviolettstrahlung
VO	Verordnung
z. T.	zum Teil

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen ist die Entwicklung von Produktionsverfahren für Brüh- und Frischwurst ohne die Verwendung von Nitritpökelsalz und anderen Zusatzstoffen, die mittels Angaben von E-Nummern deklariert werden müssen. Am Beispiel von Bio-Lyoner in Dosen und Bio-Edelsalami wurden im Rahmen eines F&E-Vorhabens, welches unter Praxisbedingungen bei der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall (BESH) durchgeführt wurde, innovative Produktionsverfahren entwickelt und auf ihre Praxistauglichkeit im großtechnischen Maßstab überprüft.

Die Realisierung eines solchen Forschungsvorhabens bedurfte einerseits der bisher bekannten wissenschaftlichen Grundlagen für einzelne Prozessschritte bei der Herstellung von Brüh- und Frischwurst, die in der vorliegenden Arbeit detailliert beschrieben wurden. Andererseits war der Einbezug von Erfahrungswissen aus der Praxis unabdingbar für die Entwicklung der theoretischen Grundlagen für innovative Produktionsverfahren, die in wissenschaftlichen Experimenten auf ihre Praxistauglichkeit geprüft werden mussten. Lösungen für derartige Fragestellungen lassen sich nur mittels eines transdisziplinären wissenschaftlichen Ansatzes finden, der in der vorliegenden Arbeit beschrieben und umgesetzt wurde. Besonders wichtig war dieses methodische Vorgehen für die Anwendung dieser vom Verfasser entwickelten innovativen Produktionsverfahren im großtechnischen standardisierten und weitgehend automatisierten Maßstab.

Zur Erreichung der Zielvorgaben war es notwendig zweigleisig zu arbeiten. Das betraf auf der einen Seite den Ersatz von Nitritpökelsalz entsprechend der EU-Bioverordnung und darüberhinausgehend noch den Ersatz weiterer mit E-Nummern zu deklarierenden Zusatzstoffe, entsprechend den strengeren Vorgaben der deutschen Biolandbauverbände. Dazu wurden vom Verfasser neue Rezepturen mit Kräutern und Gewürzen aus biologischem Anbau sowohl für die Brühwurst- (Lyoner in Dosen), als auch für die Salamiproduktion (Edelsalami aus Schweinefleisch) entwickelt und in Vorversuchen erprobt, bevor sie in der Produktion im großtechnischen Maßstab eingesetzt wurden. Besonders wichtig war Ersatz von Phosphatzusätzen bei der Herstellung von Bio-

Brühwurst. Durch den Zusatz von gemahlene Flohsamenschalen als natürliches Hydrokolloid mit hoher spezifischer Oberfläche konnte die Wasserbindung in der Brühwurst optimiert werden.

Auf der anderen Seite waren technologische Herausforderungen zu meistern, wobei die Gewinnung und Verarbeitung von Warmfleisch eine zentrale Rolle einnahm. Die einzelnen notwendigen Verfahrensschritte im Rahmen dieser innovativen Produktionsverfahren wurden in der vorliegenden Arbeit im Detail beschrieben. Dabei war die Einhaltung von Wartezeiten bei der Brätherstellung für eine metabolische Umbildungsphase wichtig, da diese für eine Verringerung des Nitratgehaltes im Endprodukt bei gleichzeitig geringem Nitritgehalt verantwortlich ist. Ebenso wichtig war die Optimierung des Autoklavierungsprozesses bei der Brühwurstherstellung, damit dieser unter Praxisbedingungen standardisiert und automatisiert werden konnte.

Für die Überprüfung des theoretisch entwickelten innovativen Verfahrens zur Herstellung von Brühwurst in Dosen wurden 3 Praxisversuche mit jeweils einer Tagesproduktion von Warmfleisch durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde dabei folgenden Parametern geschenkt: P-Wert, pH-Wert, Nitrat- und Nitritgehalt sowie Produkthygiene anhand von Untersuchungen der Keimzahlen von relevanten Mikroorganismen und auch der Gesamtkeimzahl. In allen Versuchen entsprach die hergestellte Brühwurst den allgemeinen lebensmittelrechtlichen Rahmenbedingungen und auch den Vorgaben der EU-Bioverordnung sowie den selbstgesteckten darüberhinausgehenden Vorgaben. Möglichkeiten zur weitergehenden Optimierung des Produktionsprozesses im großtechnischen Maßstab wurden in der Arbeit aufgeführt.

Zur Prüfung der Verbraucherakzeptanz dieser Lyoner in Dosen wurden 6 Versuche mit je 50 kg Warm- bzw. in zwei Fällen auch mit Kaltfleisch angesetzt und zwar zum Vergleich mit der Brühwurst mit und ohne Phosphatzusatz bzw. mit und ohne Nitritpökelsalz. Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchung dieser Brühwurstprodukte zeigten, dass die Wurst ohne Phosphat- und Nitritpökelsalz organoleptisch von den übrigen Varianten statistisch nicht zu unterscheiden war. Einzig bei der Farbbeurteilung war ein Unterschied hinsichtlich einer rötteren Farbe alleine nur zur Brühwurst mit Nitrit- und mit gleichzeitigem Phosphatzusatz statistisch abzusichern; alle anderen Prüfvarianten unterschieden sich nicht. Zur Verbesserung dieses Aspektes wurden vom Autor Vorschläge zur Änderung in der Produktionstechnik gemacht.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen bei der Salamiproduktion fanden in zwei aufeinander folgenden Versuchsjahren statt. Durch die Dauer der Reifephase der Salami und die notwendige Wartezeit bis zum Ablauf des MHD für die durchgeführten Stress-tests sowie die aufwändigen analytischen Untersuchungen war unter den gegebenen Rahmenbedingungen jeweils nur ein Versuch pro Jahr möglich.

Die Ergebnisse der durchgeführten chemisch-analytischen Untersuchungen ergaben für die Proben innerhalb und auch zwischen den beiden Versuchsjahren keinen signifikanten Unterschied und lagen alle in einem lebensmittelrechtlich unbedenklichen Bereich. Dies galt ebenso für die Produkthygiene. Obwohl vom Gesetzgeber keine Höchstwerte für den Gehalt an Nitrosaminen in Lebensmitteln festgelegt worden sind, sondern man sich hier am sogenannten Minimierungsprinzip orientiert, wurde in den vorliegenden Experimenten zusätzlich der Nitrosamingehalt untersucht. Immerhin handelt es sich bei der Bio-Edelsalami um ein Produkt mit einem besonderen Anspruch und auch die Erwartungen von Konsument*innen an das Produkt sind hier besonders hoch. Daher wurde ein sogenannter Stresstest im Hinblick auf die Verwendung von Salamischeiben bei der Pizzaerwärmung durchgeführt.

Dazu wurden sechs Versuche mit Salamischeiben auf einem Backblech in einem sehr exakt zu regulierenden Backofen durchgeführt und zwar jeweils drei Wiederholungen in zwei Temperaturbereichen:

- a) im exakt für Fertigpizzas vorgegebenen Temperaturbereich von 200 °C für 12 Minuten,
- b) im erhöhten Temperaturbereich von 230 °C für 15 Minuten.

Beim Temperaturbereich unter a) wurde keine Nitrosaminbildung festgestellt. Dies bedeutet, dass bei korrektem Verfahren zur Erhitzung einer Fertigpizza mit Scheiben von Bio-Edelsalami keine gesundheitliche Gefährdung durch Nitrosamine vorliegt. Die weitere Erhöhung der Erhitzung von Pizza unter b) diente dazu festzustellen, was mit der Salami passiert, wenn Konsument*innen versehentlich den vorgegebenen Temperaturbereich überschreiten. Die weitergehende Erhitzung empfiehlt sich aber allein schon deshalb nicht, weil die Pizzascheiben dann zäh, hart und geschmacklich unangenehm sind. Die analysierten Nitrosamine lagen unter der Nachweisgrenze bis auf zwei, nämlich N-Nitropiperidin (NPIP) und N-Nitrosopyrrolidin (NPYR), die sich signifi-

kant von den übrigen Nitrosaminen unterschieden. Allerdings waren die Konzentrationen mit 1,2 bzw. 2,0 µ/kg gering und würden nach gegenwärtigem Wissensstand zu keinen gesundheitlichen Bedenken Anlass geben, denn sie bewegen sich im Rahmen des zuvor erwähnten Minimierungsprinzips. Die Ergebnisse der durchgeführten übrigen chemisch-analytischen Untersuchungen ergaben für die Proben innerhalb und auch zwischen den beiden Versuchsjahren keinen signifikanten Unterschied und lagen alle in einem lebensmittelrechtlichen unbedenklichen Bereich. Dies galt ebenso für die Produkthygiene.

Die vorliegenden Ergebnisse der im Rahmen dieses F&E-Vorhabens durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen der beiden innovativen Verfahren zur Herstellung von Brühwurst am Beispiel der Bio-Lyoner in Dosen und von Frischwurst am Beispiel von Bio-Edelsalami ohne die Verwendung von Nitritpökelsalz, Phosphat und weiteren mit E-Kennzeichnung versehenen Zusatzstoffen zeigen, dass die Gewinnung und Verarbeitung von Warmfleisch im großtechnischen Maßstab möglich ist. Unter Verwendung der in den neu entwickelten Rezepturen aufgeführten Kräuter und Gewürze sowie der gemahlenden Flohsamen für die Wasserbindung ist bei gleichzeitiger Anwendung der innovativen standardisierten Produktionsverfahren ein Verzicht auf Nitritpökelsalz, Phosphaten und synthetische hergestellte Antioxidantien die Herstellung von Bio-Wurstwaren möglich. Damit konnte das Ziel dieses F&E-Vorhabens erreicht werden.

Der Verfasser dieser Arbeit wurde während der Durchführung seiner Experimente von unterschiedlichen Interpretationen der gesetzlichen Vorgaben für die Verwendung von Kräutern und Gewürzen bei der Wurstproduktion konfrontiert. Daher hat er sich auch mit der gegenwärtigen Rechtsprechung über die Verwendung von Kräuter- und Gewürzmischungen bei der Produktion von Wurstwaren auseinandergesetzt. Die Vorgaben der EU wurden dabei ebenso diskutiert, wie die ungleiche rechtliche Situation in Niedersachsen und Baden-Württemberg im Vergleich zu den übrigen deutschen Bundesländern. Aufgrund der vorgelegten Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen dieses F&E-Vorhabens wird eine grundlegende Überprüfung der gegenwärtigen Rechtsauffassung der zwei Bundesländer verbunden mit einer Neuorientierung empfohlen.

Abstract

The aim of this scientific study is the development of production systems for boiled and fresh sausages without the addition of nitrite salt or other additives, which needed to be labelled with E-numbers. Using the examples of canned „Bio-Lyoner“ sausage and „Bio-noble Salami“, both produced with pork, experiments under practice conditions were conducted in the frame of this research and development (R&D) project at the facilities of the farmers producers association in Schwäbisch-Hall (BESH) for the development of innovative production systems and their application in industrial scale.

For the realisation of such a research project on one hand the knowledge of the scientific findings for all steps during the production of boiled fresh sausages was essential, collected by the author and described in this research work in detail. On the other hand, the inclusion of practical knowledge and experience was essential for the development of the theoretical foundation for the innovative production systems, which needed to be tested for their practicability in scientific experiments. Solutions for such research questions can be found exclusively by means of transdisciplinary research, which is described and was applied in this R&D-project.

To reach the defined milestones it was necessary to work two-pronged. [A] It was the replacement of nitrite salt according to the EU-Organic-Regulation and even beyond that the exclusion of all food additives that needed a declaration with E-numbers. For this the author has developed new recipes with organic herbs and spices for boiled sausages (Lyoner in cans) as well as for fresh sausages (Bio-noble Salami), which were tested in preliminary trials before their application in industrial scale. The replacement of phosphates for the production of bio-sausages was of special importance. This was possible with the addition of ground *Psyllium* husks as a natural hydrocolloid, which was able to optimise the binding capacity for water in boiled sausages due to its high specific surface. [B] A number of technological challenges had to be dealt with, for which the production and processing of warm meat played a central role. The individual procedural steps are described in detail in this PhD-thesis. An important element was the strict observance of the time for the rest periods during the production of the minced meat to allow the metabolic transformation phase for the reduction of the nitrate content in the end product combined with a reduction of nitrite. Of similar importance

was the optimisation of the autoclaving process during the production of boiled sausages, to allow a standardisation and automation under practice conditions.

For the verification of the theoretically developed innovative production system for boiled sausages in cans, three experiments under practice conditions were conducted with one daily production of warm meat. Special attention was given to the following parameters: P-value, pH-value, nitrate and nitrite content as well as to the product hygiene by the determination of the bacterial count of all relevant germs and also the total bacterial count. In all three experiments the produced boiled sausages fulfilled the governmental food law requirements and also the requirements of the EU-BIO regulation. In addition, also the further self-imposed requirements by the organic farming associations in Germany could be met. Opportunities for further improvements of the production process at an industrial scale are described in this PhD-thesis.

The consumer acceptance was tested with six different types of Lyoner in cans. The sausages were produced in 6 trials with 50 kg of meat each. In four cases warm and in two cases also cold meat was used. The aim of the sensory evaluation was a comparison of boiled sausages in cans with and without the addition of phosphate and nitrite salt. The results of the organoleptic tests showed that the sausages without the addition of phosphate and nitrite salt were statistically not different from those with the addition of such additives. The one exception was with regard to the colour occurred for the sausage with the addition of nitrite salt and also phosphate. The difference was a more pronounced red colour than in all other samples, which did not differ statistically. To improve the colour of boiled sausages produced with the innovative method, developed in this R&D project, the author made proposals for alterations in the production technique.

The research experiments for the salami production were conducted in two consecutive years. Because of the duration of the ripening phase of the salami and the waiting period until the end of the „best before“ period (MHD) for the salami used for the stress test and the time required for the laborious and time consuming analyses it was possible to conduct one experiment per year only within the frame of the conditions given.

The results of the chemicals analyses of pH values, nitrate and nitrite contents in the different salami samples showed no significant differences within and between the two experimental years. This also applied to the product hygiene. All salami sausages were

within a legally acceptable frame. Although legislature in Germany has not set a maximum tolerated level for nitrosamines in foodstuffs, but emphasises the orientation at a so-called minimising principle, in these experiments, nitrosamine contents were also determined. After all, „Bio-nobel Salami“ is a product with a special claim and also the expectations of the consumers are high. Therefore, with view to the use of salami slices in pizza production a so-called stress test was conducted. For this test six experiments in three replicates were performed with salami slices placed on a metal baking sheet in an oven at two different temperature levels:

- a) Exactly at the recommended temperature of 200 °C and for the recommended time of 12 minutes,
- b) At the increased temperature of 230 °C and also at an extended time of 15 minutes.

In the salami slices of treatment a) no nitrosamines could be detected. This means that with the correct procedure for heating deep frozen pizzas with slices of „Bio-nobel Salami“ no health hazard due to nitrosamines will occur. The further heating above the recommended level to 230 °C combined with the extended time exposure was applied for simulating a mistake in a household during the heating period of the deep-frozen pizza. The results for treatment b) showed no detectable levels of most nitrosamines with the exception of two nitrosamines, namely N-nitropiperidine (NPIP) and N-Nitrosopyrrolidine (NPYR). However, although the levels of 1,2 and 2,0 µg were statistically significant from the concentration of the other nitrosamines, these concentrations are within the minimising principle suggested by the German legislature and would therefore, not lead to health problems for consumers. But an additional observation was the fact, that the higher temperature level leads to tough, hard salami with an unpleasant taste and should, therefore be avoided.

The results of the scientific experiments within this R&D-project showed that the two newly developed innovative systems for the production of boiled sausage in cans („Bio-lyoner“) and fresh sausage („Bio-noble salami“) without additives like nitrite salt, phosphate and others, are well functioning at an industrial level. Special emphasis lies in the production and processing of warm meat combined the application of in this work newly developed mixtures of herbs and spices and of ground *Psyllium* seed. The aim of this R&D-project can be reached by using these innovative standardised production

systems, which allow the waiver of nitrite salt, phosphate and other non-wanted additives in Bio-Lyoner and Bio-salami sausages.

The author of this PhD-thesis has been confronted during his work with the different interpretation of the EU legislation regarding the use of herb and spices mixtures for the production of Bio-sausages. In this work he describes the various legal views and their very different legal consequences in various German Federal States. Based on the results of his scientific research the author strongly suggests a fundamental verification of the present legal situation combined with reorientation of the present practice.

1. Einleitung

Der Verzehr von Fleischerzeugnissen hat in Deutschland traditionell eine große Bedeutung und liegt gegenwärtig bei ca. 70 kg pro Person und Jahr (Statista, 2021). Der Anteil an Schweinefleisch beträgt 59 % (AMI, 2019). Dieser hohe Konsum an Schweinefleisch ist auch zu einem beträchtlichen Anteil der Wurstproduktion geschuldet. Im Bereich der Schweinefleischproduktion besteht in Deutschland ein harter Wettbewerb, der in einen Preiskampf mündete und zu einem immensen Strukturwandel in der Landwirtschaft und im Fleischerhandwerk führte (Spiller & Schulze, 2008). Kleine bäuerliche Betriebe wurden vom Markt verdrängt, während sich zunehmend Großbetriebe auf einem standardisierten Massenmarkt etablierten. So ist die Anzahl der Schweinehalter in Deutschland in den letzten 20 Jahren von 186.700 (1998) auf 22.400 (2018) gesunken (Statistisches Bundesamt, 2019). Trotzdem wurden in Summe nicht merklich weniger Schlachtschweine erzeugt, denn der Gesamtschweinebestand pro Betrieb ist in der gleichen Zeit von 140 (1998) auf 1.200 (2018) gestiegen. Gleichzeitig ist zudem der Markt für Fleischprodukte aus artgerechter und tierschutzfreundlichen Haltungssystemen gestiegen, da die Akzeptanz für die sogenannte „industrialisierte Massentierhaltung“ zunehmend schwindet. Bereits im Jahr 2017 ist die Nachfrage nach Bioschweinefleisch gegenüber dem Vorjahr um 12 % gestiegen (Schaack, 2017). Trotzdem lag der Marktanteil von Biofleisch im Verhältnis zum Gesamtfleischkonsum bei unter 2 %, jedoch gibt die steigende Nachfrage nach Biofleisch zu erkennen, dass zusätzliche Marktpotentiale abseits des konventionellen Marktes im Prinzip möglich sind (Hölscher, 2016; DFV, 2018; Schaack & Rampold, 2018).

Analog zu den zusätzlichen Marktpotentialen im Fleischbereich, sind auch die aus Fleisch verarbeiteten Produkte wie Wurst und Schinken zunehmend relevant für bewusste Endverbraucher. Dabei ist im Bereich der Verarbeitung von Fleischerzeugnissen auch vermehrt der Verarbeitungsprozess im Fokus. Dies zeigt sich bereits in Bezug auf die Regelungen von Zusatzstoffen in Bio-Lebensmitteln (EU-VO 2018/848, 2018). Die neue EU-Öko-Basisverordnung (EU-VO 2018/848, 2018) ist am 17. Juni 2018 in Kraft getreten und gilt ab dem 1. Januar 2022. Darin ist in Bio-Lebensmitteln der Einsatz von Zusatzstoffen stark eingeschränkt. Im Bereich der Herstellung von Bio-

Lebensmitteln, welche zusätzlich anhand von Richtlinien eines Bio-Verbandes zertifiziert werden, sind die Beschränkungen in Bezug auf den Einsatz von Zusatzstoffen noch deutlich restriktiver.

Im Zuge dieser Entwicklung hat sich die Bäuerliche Erzeugergemeinschaft das Ziel gesetzt, bei der Haltung und Fütterung sowie Schlachtung der Tiere und der Fleischverarbeitung einen alternativen Weg zu beschreiten und mit einem besonderen Qualitätsfleischprogramm dem zunehmenden Wunsch der Verbraucher nach tiergerechter Haltung und regionalen Wertschöpfungsketten Rechnung zu tragen. Damit verbunden war auch das Bestreben, eine zusätzliche Wertschöpfung für kleinbäuerliche Strukturen zu schaffen. Die Bäuerliche Erzeugergemeinschaft wurde von Hohenloher Bauern gegründet und arbeitet bis heute nach dem Prinzip der bäuerlichen Selbsthilfe. Sie engagiert sich für die bäuerliche Regionalentwicklung in Hohenlohe. Beginnend mit 8 Bauernhöfen (1988) ist die Bäuerliche Erzeugergemeinschaft heute zu einer starken Gemeinschaft mit 1450 landwirtschaftlichen Familienbetrieben angewachsen. Darunter befinden sich 460 Biobauernhöfe. Alle Mitgliedshöfe wirtschaften gemeinsam und solidarisch. Im Fokus steht seit Gründung die Erzeugung des Schwäbisch Hällischen Landschweins, welches als „geschützte geografische Angabe“ (g.g.A.) der Europäischen Union nach verbindlichen Erzeugerrichtlinien gehalten werden, natürlich unter Einhaltung sämtlicher Tierwohlkriterien, gesundem, gentechnikfreiem Futter, ohne Wachstumsförderer und Antibiotika in der Mast (SH-Schweine, 2014). Damit verbunden war die Erhaltung der tiergenetischen Ressource des im Jahre 1988 als ausgestorben geltenden Schwäbisch-Hällischen Landschweins als ein wesentlicher Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität. Die Minimierung des Biodiversitätsverlustes weltweit hat sich die Weltstaatengemeinschaft bei verschiedenen Konferenzen vorgenommen und auch in der Erklärung der Vereinten Nationen für den Zeitraum 2011 bis 2020 als „UN-Dekade biologischer Vielfalt“ festgelegt (Rauert et al., 2017), dieses Ziel bisher aber nicht erreicht. Daher ist dieser Schritt der BESH von besonderer Bedeutung.

Die Bäuerliche Erzeugergemeinschaft garantiert den Bauern die Abnahme der Schlachtschweine und einen Preis, der weit über dem im Handel üblichen Preis liegt. Die Bauern bringen ihre Schweine größtenteils selbst zum eigenen Schlachthof in Schwäbisch Hall, wo sie tierschutzgerecht geschlachtet und anschließend zerlegt und verarbeitet werden. Für die BESH war daher die logische Konsequenz das Fleisch von Tieren aus artgerechter Haltung und Fütterung und nach deren tierschutzgerechter

Schlachtung, auch möglichst naturbelassen zu verarbeiten. Von besonderer Bedeutung war dabei die Produktion von Brühwurst in Dosen und Salami ohne Zusatzstoffe. Dafür war es notwendig, auf der Grundlage der wissenschaftlichen Kenntnisse für die klassische Kochwurst- und Salamiproduktion, ein innovatives Verfahren unter Verwendung von naturbelassenen Bio-Gewürzen sowie naturbelassenem Salz zu entwickeln. Da in Brühwurst- sowie in Salamiprodukten verschiedene Zusatzstoffe eingesetzt werden, die aus sensorischen Gründen nur schwer zu kompensieren sind, stellt dieser Aspekt eine zusätzliche Herausforderung bei der Entwicklung eines innovativen Produktionsverfahrens dar. Die mikrobiologische Sicherheit der Brühwurst- und Salamiprodukte ist von herausragender Bedeutung und muss daher bei einem solchen innovativen Produktionsverfahren besondere Berücksichtigung finden. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Entwicklung ist die Standardisierung der einzelnen Produktionsschritte und der naturbelassenen Zutaten sowie eine im industriellen Maßstab angelegte Produktionsweise für die Belieferung des Lebensmitteleinzelhandels.

Für die Entwicklung dieses innovativen Produktionsverfahrens sind auf der einen Seite die wissenschaftlichen Grundlagen zu erarbeiten und auf der anderen Seite müssen diese theoretischen Überlegungen in einer mehrjährigen Praxisphase auf ihre Umsetzbarkeit überprüft werden. Dabei sind produkt- (Ersatz von Zusatzstoffen) und prozessorientierte Parameter (Ersatz technologischer Hilfsstoffe, technologische Verfahrensänderungen) sowie die Produktakzeptanz bei Konsument*innen von zwei unterschiedlichen Wurstsorten zu testen und zu standardisieren.

2. Aufbau und Inhalte der Arbeit

Die Einleitung in **Kapitel 1** umfasst die Darstellung der heutigen Rahmenbedingungen für die Fleischproduktion in der Landwirtschaft und des dadurch erzeugten ökonomischen Drucks auf die Landwirte zur immer weiter gehenden Spezialisierung und Industrialisierung mit all den negativen Folgen für die Haltung der landwirtschaftlichen Nutztiere. Als Alternative dazu wird der Zusammenschluss von Landwirten in der Region Hohenlohe in der „Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch-Hall“ (BESH) dargestellt, die gegründet wurde, um diesem Trend entgegen zu wirken und bäuerlichen Betrieben den Zugang zu einer regionalen Wertschöpfungskette zu bieten.

Eine derartige Entwicklung ist mit einer Reihe von Problemen verbunden, die in **Kapitel 3** herausgearbeitet werden. Das gesamte Spektrum der Problemstellungen wird dargelegt und zur Lösung dieser Probleme werden Ziele formuliert zu deren Erreichung die in diesem Kapitel herausgearbeiteten Meilensteine erreicht werden müssen. Eine wichtige Voraussetzung dazu ist die Kenntnis des Stands der wissenschaftlichen Forschung.

In **Kapitel 4** werden die theoretischen Grundlagen in Bezug auf die Umrötung von Wurst- und Fleischprodukten erklärt. Von Bedeutung dabei ist die Molekülstruktur von Hämoglobin und Myoglobin als zentrale Protagonisten in Bezug auf die Umrötung. Die Ausführungen beziehen sich somit direkt auf die technologischen Verfahren der Wurstherstellung von Brühwurst und Salami. Ausgehend von einer konventionellen Herstellung mit Umrötehilfsmitteln wie Natriumnitrit werden die Unterschiede der Verarbeitung „ohne Zusatzstoffe“ in **Kapitel 5** beschrieben. Im Rahmen der Gegenüberstellung des konventionellen Brühwurstherstellungsverfahrens und des Brühwurstherstellungsverfahrens aus Warmfleisch werden auch Zutaten und Zusatzstoffe mit technologischer Wirkung auf Wasserbindeeigenschaften sowie Struktur erklärt. Auch die Relevanz der postmortalen biochemischen Vorgänge im Organismus bei der Warmfleischherstellung und Brühwurstproduktion wird dargestellt. Von besonderer gesundheitlicher Bedeutung ist die Sicherstellung einer mikrobiologischen Stabilität bei Brühwurst- und Salamiprodukten ohne die Verwendung von konservierenden Zusatzstoffen. Daher wird im Bereich der Brühwurstproduktion die Hitzeinaktivierung erläutert.

Für die Salamiherstellung wird die mikrobiologische Stabilität anhand des Hürdenprinzips erreicht.

In **Kapitel 6** werden die für die Untersuchungen verwandten chemischen Analysemethoden und die Art der Probenahme erläutert. Ein Teil der Analysen wurde in dafür zertifizierten Labors durchgeführt, die jeweils zu den Methoden angegeben sind. Dies gilt ebenso für die mikrobiologischen Untersuchungen. Die im Sensoriklabor der Universität Kassel durchgeführten sensorischen Untersuchungen werden ausführlich beschrieben. Für die Auswertung der Ergebnisse wurden unterschiedliche statistische Methoden und Verfahren gewählt, die im Detail beschrieben werden.

Der empirische Teil beginnt mit **Kapitel 7** in dem der Herstellungsprozess von Brühwurstprodukten ohne die Verwendung von Zusatzstoffen der üblichen Produktion aber mit naturbelassenen Bio-Gewürzen und deren Eigenschaften für den Produktionsprozess erklärt werden. Die Beschreibung der Optimierungsversuche für den großtechnologischen Einsatz ist in diesem Kapitel integriert.

In **Kapitel 8** werden die Prozessschritte der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe am praktischen Beispiel geschildert. So werden analog zur Brühwurstproduktion bereits die der eigentlichen Produktion vorgelagerten Prozessschritte entsprechend beschrieben. Die technologischen Erkenntnisse aus der Praxis und die daraus resultierenden Optimierungen werden erfasst. Ein weiterer Schwerpunkt des Kapitels liegt auf der Salamireifung, welche im Anschluss zur Salamiproduktion durchgeführt wird. Auch die Salamireifung wird am praktischen Beispiel speziell auf eine Produktionsweise ohne Zusatzstoffe adaptiert und optimiert.

Die Ergebnisse, welche im Rahmen der empirischen und praktischen Umsetzung einer Wurstproduktion ohne Zusatzstoffe erhoben wurden, werden in **Kapitel 9** aufgeführt und interpretiert. Bei den Brühwurstprodukten wurden Parameter wie P-Zahl, relevante mikrobiologische Keimzahlen und Nitrat/Nitrit-Konzentrationen bestimmt und ausgewertet. Bei den Salamiprodukten ohne Zusatzstoffe wurden die relevante mikrobiologische Keimzahlen, Nitrat/Nitrit- und Nitrosamin-Gehalt ermittelt und ausgewertet. Die Optimierungsansätze, welche sich aus den analytischen Messergebnissen ergeben, werden im Anschluss sowohl für die Brühwurstprodukte ohne Zusatzstoffe als auch für

die Salamiprodukte ohne Zusatzstoffe diskutiert. Das Kapitel endet mit den Analyseergebnissen eines sensorischen Konsumententests zu den Brühwurstprodukten ohne Zusatzstoffe.

Die theoretischen Überlegungen und die Ergebnisse der durchgeführten Versuche werden im **Kapitel 10** kritisch analysiert und diskutiert. Dabei ist der Vergleich der Ergebnisse mit den zuvor aufgestellten Arbeitshypothesen und der formulierten Zielsetzung von Interesse. Im Rahmen eines Ausblicks findet eine Einordnung der zwei neuen Produkte im Marktgeschehen statt. Offene Fragen und die Limitierung der Untersuchung werden verbunden mit einer Empfehlung für weiterführende Untersuchungen dargestellt.

Eine Kurzfassung der Fragestellung und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sowie ein Literaturverzeichnis und Anhänge runden die schriftliche Arbeit ab.

3. Problemstellung und Ziele der Arbeit

Das Problem mit zu hohen Nitratwerten im Trinkwasser ist allgegenwärtig und Deutschland ist wegen zu hoher Nitratwerte von der EU-Kommission vor dem Europäischen Gerichtshof angeklagt worden. Die Festlegung auf einen maximalen Gehalt von 50 mg Nitrat pro Liter Trinkwasser beruht auf dem Vorsorgeprinzip im Hinblick auf die menschliche Gesundheit. Dabei ist nicht das Nitrat, sondern das durch Reduktion, z.B. in der Saliva gebildete Nitrit verantwortlich für gesundheitliche Schäden beim Menschen. Schon lange bekannt ist dieser Effekt bei der Zyanose, wobei das Nitrit das Hämoglobin im Blut oxydiert und das dann gebildete Methämoglobin die Sauerstoffbindung im Blut verhindert. Die ansonsten rote Farbe des Blutes wird nach braun verfärbt, was unter heller Haut als blau erscheint. Das war besonders bei der sehr hellen Haut von Babys sichtbar und daher wurde die Zyanose bei Babys als „blue baby syndrom“ bezeichnet (Marquardt und Schäfer, 2004)

Besondere Aufmerksamkeit ist der Bildung von N-Nitrosaminen geschenkt worden, die durch eine komplexe toxikokinetische Reaktion gebildet werden. Ausgangsstoffe für diese Reaktion sind sekundäre Amine (R_1-NH-R_1), die hauptsächlich beim Reifen proteinhaltiger Lebensmittel entstehen (Diehl, 2000; Nau et al., 2003; Schäfer, 2004; Dunkelberg et al., 2007). In Tierversuchen ist eine stark krebserzeugende Wirkung von unterschiedlichen Nitrosaminen gezeigt worden (Veena & Rashmi, 2014). Epidemiologische Studien lassen eine deutliche positive Korrelation zwischen Nitrit und Magenkarzinomen vermuten. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich beim Verzehr von Fleisch- und Wurstwaren hinsichtlich der Bildung von Magen- und Speiseröhrenkrebs (Jakszyn & Gonzales, 2006). Daher kann mit relativ hoher Sicherheit angenommen werden, dass die Aufnahme von Nitrosaminen beim Menschen zu Krebserkrankungen führen kann (Kühne, 2003). Allerdings ist noch nicht geklärt, in welchem Ausmaß die Belastung von Nitrosaminen zu Krebserkrankungen führt; wie auch bei anderen kanzerogenen Stoffen ist es bisher nicht möglich, einen ADI-Wert (tolerierbare Tagesdosis) festzulegen.

Bei der Verarbeitung von Fleisch- und Wurstwaren wird Nitritpökelsalz zur Verhinderung mikrobieller Belastungen und zur Erhaltung der roten Fleischfarbe (die sogenannte Umrötung) verwendet, was bei deren Verzehr zur Aufnahme von geringen Mengen an Nitrit führen kann. Das gesundheitliche Risiko beim Menschen durch den Verzehr von Fleischerzeugnissen hat u.a. Schmid (Schmid, 2006) untersucht und dabei auf die Dosis-Wirkungs-Beziehung hingewiesen. Allein durch den Fleisch- und Wurstkonsum ist das gesundheitliche Risiko als nicht besonders hoch einzustufen (Kühne, 2003), allerdings im Zusammenhang mit den steigenden Nitrat-/Nitritbelastungen im Trinkwasser und auch z. T. im Gemüse darf diese Belastung nicht unterschätzt werden.

Konsument*innen von Bio-Lebensmitteln betrachten die Verwendung von synthetischen Zusatzstoffen besonders kritisch. Das gilt neben der Verwendung von Nitritpökelsalz auch für den Zusatz von Phosphaten (zur Wasserbindung) und synthetisch hergestellter L-Ascorbinsäure (als Antioxidanz) bei der Wurstfabrikation. Letzteres insbesondere auch deshalb, weil L-Ascorbinsäure in zunehmendem Maße unter Verwendung von gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt wird (Munk et al., 2008; Verbraucherzentrale, 2020). Für Wurstwaren im Bio-Sektor ist es daher im Hinblick auf die Verbraucherakzeptanz notwendig, dass für die üblichen Zusatzstoffe ein Ersatz auf natürlicher Basis gefunden wird (<https://the-family-butchers.com/fileadmin/assets/tfb/downloads/TFB-Wurst-Studie-2020.pdf>).

Im Sinne des zuvor erwähnten Minimierungsprinzips im Hinblick auf die potenziellen gesundheitlichen Gefahren für den Menschen sowie die Verbraucherakzeptanz bei Bio-Wurstwaren sind die Ziele dieser wissenschaftlichen Arbeit:

1. Die Herstellung von zwei Wurstprodukten ohne Verwendung von Nitritpökelsalz, Phosphaten und synthetisch hergestellter L-Ascorbinsäure oder L-Ascorbat. Exemplarisch wurden Brühwurst in Dosen und Salamiprodukte hergestellt und untersucht.
2. Die über die bisherige Warmfleischverarbeitung im handwerklichen Maßstab hinausgehende technologische Innovation zur Herstellung solcher Wurstwaren im alternativen industriellen Produktionsprozess.

3. Die Entwicklung eines standardisierten Umröteverfahrens bei der Verwendung von naturbelassenen Gemüsen und Gewürzen zur Gewährleistung gleichbleibender Qualität der Wurstprodukte aus dem alternativen industriellen Produktionsprozess.

Auf Basis der vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse waren dafür die theoretischen Grundlagen zu erarbeiten, die dann in der Praxis erprobt und umgesetzt werden können.

Zur Erreichung dieser Ziele bedarf es folgender Meilensteine:

- a) Erarbeitung der theoretischen Grundlagen für den Umrötungsprozess und die Wasserbindung bei Brühwurstprodukten sowie für die mikrobiologische Stabilität bei Salamiprodukten beim alternativen Produktionsverfahren ohne Verwendung von Zusatzstoffen.
- b) Theoretische Ausarbeitung der technologischen Zusammenhänge der Warmfleischverarbeitung und deren Wirkung auf die Brühwurstproduktion.
- c) Entwicklung eines innovativen technologischen Verfahrens für die Herstellung von Brühwurst und Salami im industriellen Produktionsprozess ohne die Verwendung von Zusatzstoffen unter besonderer Berücksichtigung des Umrötungsprozesses, der mikrobiellen Sicherheit und der Wasserbindefähigkeit sowie der sensorischen Eigenschaften der Produkte.

4. Stand der wissenschaftlichen Forschung

Generell wird zwischen folgenden Wurstarten unterschieden:

- Schnittfeste Rohwurst
- Streichfähige Rohwurst
- Brühwürstchen
- Brühwürste fein zerkleinert
- Grobe Brühwürste
- Brühwürste mit Einlagen

Eine genaue Definition der unterschiedlichen Wurstarten befindet sich im Anhang 5.

In dem vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurden die Untersuchungen bei Brühwurst – beispielhaft bei Lyoner in Dosen – und bei Rohwurst – beispielhaft bei Salami – durchgeführt. Dabei mussten auf der Basis des Standes der wissenschaftlichen Erkenntnis für das bisher praxisübliche konventionelle Herstellungsverfahren für Wurstwaren Alternativen entwickelt werden für die Wurstproduktion unter den Rahmenbedingungen des ökologischen Landbaus für die Erzeugung von Lebensmitteln.

4.1 Die Verwendung von Nitrat

Nitrat wird als Zusatzstoff bei Rohpökelfleisch in der Fleischverarbeitung genutzt. Hierbei werden in der Regel verschiedene Salpeter wie KNO_3 oder NaNO_3 verwendet. Diese optisch kristallinen Salze werden dem Kochsalz in definierten Konzentrationen beigemischt (Hammer, 1988; Prändl et al., 1988; Wirth, 1988; Belitz et al., 2008; Mattisek & Baltés, 2016). Dabei ist das Nitrat selbst nicht als Zusatzstoff wirksam. Anhand nitratreduzierender Starterkulturen wird vor allem in der Rohschinkenproduktion Nitrit generiert, welches im weiteren Verlauf zur Umrötung beiträgt sowie Pökelaroma und eine bakterizide Wirkung entfaltet (Lücke, 1985; Lücke & Hechelmann, 1985). Nitrat wirkt in Bezug auf bakterielles Wachstum zunächst förderlich, da es auch als Nährstoff für Mikroorganismen fungiert. Erst die Umwandlung in Nitrit bewirkt bakterizide Eigenschaften (Kabisch et al., 2008; Kabisch, 2014). In der Rohschinkenproduktion ist der Einsatz von Nitrat weit verbreitet. Bei der Produktion von Rinderschinken wie dem Bündnerfleisch wird häufig Salpeter (KNO_3 oder NaNO_3) eingesetzt (Leistner, 1985).

Rinderrollen werden hierzu mit entsprechendem Pökelsalz gesalzen. Aber auch bei Schweinerohschinken wird häufig Salpeter verwendet. Im Bereich der Salamiproduktion ist die Verwendung von Salpeter eher unüblich, da durch die Verwendung von Salpeter keine bakterizide Wirkung zu Beginn der Reifephase erzielt wird (Hürdenmodell), (Lücke, 1985).

Im Brühwurstbereich ist die Verwendung von Salpeter unüblich, da die Verweilzeit innerhalb des Produktionsprozesses meist zu gering ist, um eine Nitrat-Reduktion zu katalysieren. Infolge des Kutterprozesses kommt es hierbei sehr zeitnah zum Brühprozess, welcher jegliche bakterielle Aktivität beendet. Daher ist der Einsatz von nitratreduzierenden Kulturen nur begrenzt möglich und erfordert einen zusätzlichen Kultivierungsprozess. Daher werden in der konventionellen Brühwurstverarbeitung keine nitratreduzierenden Kulturen verwendet (Hammer, 1984; Wirth, 1984).

Die Verwendung von Salpeter muss entsprechend der Zusatzstoff VO 2008 deklariert werden und zwar für Natriumnitrat mit E 251 und für Kaliumnitrat mit E 252. Die gesetzlichen Grenzwerte betragen.

4.2 Die Verwendung von Nitrit

Nitrit wird in der Natur nur sehr begrenzt gebildet und existiert meist nur als Zwischenprodukt, da es auf Lebewesen toxisch wirkt. So wird im Rahmen der Nitrifikation im Boden Nitrit als Zwischenprodukt gebildet, jedoch zügig zu Nitrat oxidiert (Kowalchuk & Stephen, 2001; Metzger, 2011; Daims et al., 2015; Reece et al., 2016). Allerdings verfügen bestimmte Bakterien über das Enzym Nitratreduktase, welche in Starterkulturen der Rohwurstherstellung Verwendung finden. Die Reduktion von Nitrat zu Nitrit ist in diesem Prozess erwünscht, um Nitrit in einer bestimmten Konzentration anzureichern (Leistner, 1985; Lücke, 1985; Lücke & Hechelmann, 1985). Diese Bakterien sind sogenannte Nitratatmer, welche in einem anaeroben Milieu Nitrat als alternativen Elektronenakzeptor nutzen um im Rahmen der Atmungskette Reduktionsäquivalente zur Energiegewinnung zu verbrauchen (Strunk, 2011; Berg et al., 2018).

Nitrit wird als Lebensmittelzusatzstoff verwendet. Dabei wird ein Salz der salpetrigen Säure verwendet, welches optisch durch seine kristalline Form von Kochsalz nicht zu

unterscheiden ist (Jira, 2003; Belitz et al., 2008). Bei den verwendeten Verbindungen handelt es sich um Kaliumnitrit und Natriumnitrit. Überwiegend wird jedoch Natriumnitrit eingesetzt. Natriumnitrit wird in geringen Mengen dem Kochsalz beigemischt um Überdosierungen zu vermeiden. Dieses Mischsalz wird in der Praxis verwendet. Der Einsatz dieses Mischsalzes (Nitritpökelsalz) beschränkt sich auf die Fleisch- und Wurstverarbeitung sämtlicher Sorten (Hammer, 1984; Wirth, 1984; Hammer, 1988; Jira, 2003). und enthält üblicherweise 0,5 % Nitrit (Wirth, 1984; Jira, 2003).

Dabei werden folgende technologische Effekte generiert:

- **Pökelaroma**

Durch die Verwendung von Nitritpökelsalz in Verbindung mit Fleischerzeugnissen kommt es zur Ausbildung eines charakteristischen Aromas, dem Pökelaroma (Hammer, 1984; Wirth, 1984; Hammer, 1988; Wirth, 1988; Jira, 2003; Belitz et al., 2008). In Abhängigkeit von der Temperatur im Produktionsprozess entwickeln Rohpökelwaren sowie Rohwürste verglichen mit Kochpökelwaren und Brühwürsten ein unterschiedliches Aroma. Das Pökelaroma entsteht durch verschiedene Verbindungen des Nitrits bzw. Stickoxiden mit den Inhaltsstoffen des Fleisches. Es sind Verbindungen mit Alkoholen, Aldehyden, Hypoxanthin und vor allem schwefelhaltigen Verbindungen (Methionin, Cystein bzw. Thiolgruppen) als Reaktionspartner nachgewiesen worden (Leistner, 1985; Rödel, 1985; Wirth, 1988; Jira, 2003). Zur Ausbildung des charakteristischen Pökelaromas genügen 20-40 ppm bzw. mg/kg Nitrit (gemessen in NaNO_2) im Fleischerzeugnis (Hammer, 1988; Wirth, 1988).

- **Konservierende Wirkung**

Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts konnte schon bei geringen Konzentrationen von Nitrit eine bakterizide Wirkung festgestellt werden. Besondere Bedeutung erlangte Nitrit durch die Hemmung der pathogenen *Clostridium botulinum* Spezies, ein entscheidender Faktor in Bezug auf die Lebensmittelsicherheit (Katsaras et al., 1985; Leistner, 1985). Die Verwendung von Nitrit senkt die Keimzahl an *Clostridium botulinum* um 1-2 Zehnerpotenzen (Jira, 2003). Das Bakterium *Clostridium botulinum* verursacht durch die Bildung des Exotoxins

Botulinumtoxin schwerwiegende neurotoxische Schädigungen (Botulismus) beim Menschen (Eisenbrand et al., 2006). Weiterhin lässt sich durch den Einsatz von Nitrit in Konzentrationen von 80 – 150 ppm das Wachstum von *Salmonellen*, *E. coli*, Staphylokokken und Listerien verhindern (Wirth, 1988). Allerdings wird die Effektivität von Nitrit in Bezug auf eine bakterizide Wirkung kontrovers diskutiert, weil Faktoren wie Erhitzung, Hygiene und Einhaltung der Kühlketten bei Brüh- und Kochwürsten sowie Abtrocknung, Salzung und der pH-Wert-Verlauf bei Rohwürsten bzw. Rohschinken von größerer Bedeutung für die mikrobiologische Stabilität der verschiedenen Produkte sind (Leistner, 1985; Wirth, 1988; Belitz et al., 2008). Die bakterizide Wirkung des Nitrits lässt sich auch nur in Kombination mit verschiedenen weiteren Faktoren feststellen. So ist beispielsweise bei Rohpökelfleisch der Einsatz von Nitrit in Bezug auf die bakterizide Wirkung nur in Verbindung mit einem entsprechenden pH-Wert und a_w -Wert nachzuweisen (Leistner, 1985; Wirth, 1988; Kabisch et al., 2008; Kabisch et al., 2011). Dies unterstützt die These, dass die Wirkung des Nitrits in Hinblick auf die mikrobiologische Stabilisierung von Fleisch- und Wursterzeugnissen (Haltbarkeit und Lagerfähigkeit) häufig überbewertet wird (Mayer, 2015).

- **Antioxidative Wirkung**

Eine antioxidative Wirkung von Nitrit in Bezug auf Fleischerzeugnisse betrifft im Wesentlichen die Stabilisierung der Fette bzw. Fettsäuren. So kommt es vor allem bei mehrfach ungesättigten Fettsäuren zu Oxidationsprozessen, welche unangenehme geschmackliche Auswirkungen (Ranzigkeit des Fettes) bei den Fleischerzeugnissen hervorrufen (Hammer, 1988; Jira, 2003). Durch den Zusatzstoff Nitrit bzw. Natriumnitrit kommt es zur Bildung des hitzestabilen Nitrosomyoglobins (NitrosoMb-Fe²⁺) (Wirth, 1984; Potthast, 1986; Jira, 2003; Belitz et al., 2008). Infolgedessen werden Autooxidationsprozesse von Fe²⁺ zu Fe³⁺ im Häm-Molekül des Myoglobins minimiert. Die Bildung von Superoxidanionen (O_2^-) und Hydroperoxyradikale ($HO_2\cdot$), welche Oxidationsvorgänge von Fettsäuren begünstigen, werden dadurch vermieden und eine geschmackliche Beeinträchtigung minimiert (Potthast, 1986; Jira, 2003; Belitz et al., 2008). Dies ist

von besonderer Bedeutung bei fein zerkleinerten Erzeugnissen wie Brühwürsten, da diese eine starke Anfälligkeit in Bezug auf Lipidoxidationsprozessen aufweisen und es während des Misch- und Kuttervorgangs zu einer verstärkten Untermischung von Luft und damit Sauerstoff kommt (Hammer, 1988; Keim, 1999; Jira, 2003).

- **Farbbildende Wirkung**

Durch die Verwendung von Nitritpökelsalz in Fleischerzeugnissen kommt es zur Bildung von Nitrosomyoglobin, das als hitzestabiles rosa-rotes Farbpigment fungiert. Diese farbgebende Eigenschaft des Nitrits ist in vielen Fällen der Hauptgrund der Verwendung, obwohl es sich um einen zur Konservierung zugelassenen Zusatzstoff handelt (Lücke, 1985; Potthast, 1986; Hammer, 1988; Wirth, 1988; Keim, 1999; Jira, 2003; Belitz et al., 2008).

4.3 Die Verwendung von L-Ascorbinsäure und Natriumascorbat

Bei Lebensmitteln spielt L-Ascorbinsäure als Reduktionsmittel bzw. Antioxidationsmittel eine entscheidende Rolle. Dabei liegt die entscheidende Wirkungsweise bei der Wurst- und Fleischproduktion in der Vermeidung und Verminderung von oxidativen Prozessen wie der Lipidperoxidation von Fettsäuren (Deifel, 1993; Schelle, 1996; Baltes, 2000; Glatz, 2010). L-Ascorbinsäure ist wesentlich für die Aufrechterhaltung des reduzierten Zustandes der Eisenionen. Dieser nützliche Effekt wirkt sich auch im Zuge der Umrötung von Wurstprodukten positiv aus. So generiert die L-Ascorbinsäure durch ihre Eigenschaft als Reduktionsmittel vermehrt reduzierte Eisenionen (Fe^{2+}) im Zentrum der Hämgruppe des Myoglobins (Baltes, 2000; Belitz et al., 2008). Dadurch wird die Autooxidation in grau-braunes Metmyoglobin verringert, was sich positiv auf die rötliche Färbung verschiedener Wurstprodukte (Wirth, 1984; Potthast, 1986; Schelle, 1996; Baltes, 2000; Belitz et al., 2008). Besondere Bedeutung erhält dieser Effekt im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens, da hier die Menge an farbstabilisiertem Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin geringer ist.

Bei der Wurstproduktion wird häufig auch Natriumascorbat verwendet und muss analog zur L-Ascorbinsäure als Zusatzstoff (E 301) deklariert werden (Schelle, 1996). Verglichen mit der L-Ascorbinsäure sind die technologischen Effekte im Zuge der Wurstproduktion sehr ähnlich (Wirth, 1984). Der wesentliche Unterschied liegt im Bereich des pH-Wertes.

Wegen des höheren pH-Wertes wird deshalb gelegentlich Natriumascorbat der L-Ascorbinsäure vorgezogen. Zu niedrige pH-Werte verschlechtern die Bindung im Brät und können sich negativ auf den Geschmack des Endproduktes auswirken (Wirth, 1984; Schelle, 1996; Belitz et al., 2008).

Natriumdiphosphat wird für die Regulierung der Wasserbindung in der Brühwurstproduktion eingesetzt. Es handelt es sich um ein weißes, kristallines und geruchloses Salz, welches in dieser Form während des Kuttervorgangs beigemischt wird (Matissek & Baltes, 2016). Der Zugabezeitpunkt während des Kuttervorgangs hat keinen negativen Einfluss auf die technologische Wirksamkeit. Daher gestaltet sich die Handhabung von Natriumdiphosphat für die Hersteller von Brühwurstprodukten sehr einfach. Im Idealfall erfolgt jedoch die Zugabe zu Beginn des Zerkleinerungsvorgangs analog zur Salzzugabe (Hammer, 2001; Möller et al., 2001; Weber, 2003). Bei der Kaltfleischverarbeitung ist die Zugabemenge von Natriumdiphosphat auf 0,3% der Gesamtmasse begrenzt und andere Kutterhilfsmittel, wie Natriumcitrat dürfen nicht gleichzeitig verwendet werden. Dies ist in Nr. 5 der Anlage 1 (zu § 1 Abs. 1 und § 2) der Fleischverordnung geregelt (BasisVO, 2002). Gemäß Anlage 2 der Lebensmittel-Kennzeichnungsverordnung muss die Verwendung von Natriumdiphosphat in der Zutatenliste wie folgt gekennzeichnet werden: Stabilisator: Natriumdiphosphat E 450c (Matissek & Baltes, 2016).

Natriumdiphosphat bzw. Tetranatriumdiphosphat werden in der konventionellen Brühwurstproduktion zur Verbesserung der Konsistenz und der Wasserbindung verwendet. Diese Zusatzstoffe werden gemeinhin als Kutterhilfsmittel bezeichnet, da sie die quellende Wirkung von Kochsalz auf das Magerfleisch beim Kutterprozess unterstützen (Kuhnert, 2014). Dadurch wird die Wasserbindung in Brühwurstprodukten erhöht. Wegen des relativ hohen pH-Wertes von 10,7 wird durch die Verwendung von Natriumdiphosphat in Brühwurstprodukten der pH-Wert erhöht (Weber, 2003). Die Erhöhung

des pH-Wertes bewirkt ein deutlich verbessertes Safthalte- oder Wasserbindungsvermögen (Koch, 1998; Schwägele, 1998).

Ein weiterer positiver technologischer Effekt durch den Einsatz von Natriumdiphosphat ist die Verbesserung der Temperaturstabilität des Brühwurstbräts (Weber, 2003). Daher kann der Kuttervorgang bei 3-5 °C höheren Temperaturen erfolgen was zu einer Verringerung der Viskosität führt und den Vorgang des Füllens in Dosen oder Därme erleichtert (Hammer, 2001). Natriumdiphosphat wirkt auch als Komplexbildner, wodurch Spurenelemente und Vitamine gebunden werden können. So wird beispielsweise die antioxidative Wirkung von L-Ascorbinsäure gesteigert (Matissek & Baltes, 2016). Neben den positiven technologischen Effekten existieren auch negative Eigenschaften, welche das Produkt geschmacklich beeinträchtigen können. So kommt es durch den Einsatz von Natriumdiphosphat bei empfindlichen Personen zu einem unspezifischen Mundgefühl, welches negativ wahrgenommen wird. Infolgedessen sind die Zähne stumpf und belegt – teilweise sogar anästhesiert (Hammer, 2001; Möller et al., 2001; Weber, 2003). Dieser technologische Mangel führt zu geschmacklichen Beeinträchtigungen, die durch die Reduktion der Zugabemenge an Natriumdiphosphat abgemildert werden können. Allerdings findet dies in der gängigen Praxis der konventionellen Brühwurstherstellung kaum Berücksichtigung (Jakob, 2022).

Die Verwendung von Phosphaten als Lebensmittelzusatzstoff steht zunehmend in der Kritik. Es werden verschiedene gesundheitsschädliche Wirkungen auf den Menschen diskutiert. So wird die Hyperphosphatämie bei fortgeschrittener Niereninsuffizienz als einer der aussagekräftigsten Prädiktoren der Mortalität in Betracht gezogen. Natürliche Phosphatverbindungen, meist in Form von organischen Estern, bewirken kaum ein gesundheitsschädliches Risiko, da sie nur teilweise enzymatisch gespalten werden und somit nur eingeschränkt resorbiert werden können (Blüchel & Honikel, 2006; Ritz et al., 2012). Freies Phosphat, welches als Lebensmittel-Zusatzstoff in Lebensmittel gelangt, wird hingegen effektiv resorbiert und bedingt infolgedessen einen unmittelbaren Anstieg des Phosphatserumspiegels bei Patienten mit fortgeschrittener Niereninsuffizienz. Problematisch sind in diesem Zusammenhang hohe Dosierungen an Phosphatzusätzen zu sehen, welche aus lebensmittelrechtlicher Sicht nicht speziell kenntlich gemacht werden müssen. So können im Bereich der Brühwurstproduktion bis zu

5 g/kg an Natriumdiphosphat dem Brät zugegeben werden, was deutlich höher ist als technologisch erforderlich wäre (Blüchel & Honikel, 2006; Ritz et al., 2012). Bei einer fortgeschrittenen Niereninsuffizienz sollten gemäß den Leitlinien 1000 mg Tagesdosis an Phosphat nicht überschritten werden. Dies führt bei betroffenen Personen in der Regel zur Notwendigkeit der Änderung ihrer Ernährungsgewohnheiten. Bei einer Zugabemenge von 5 g/kg an Phosphat in der Brühwurst reichen bereits ca. 200 g an verzehrter Wurst aus, um die Tagesdosis von 1000 mg zu erreichen. Daher sind die hohen Zugabemengen an Phosphaten zurecht in der Kritik. Unabhängig von einer akuten Niereninsuffizienz wirken erhöhte Phosphatdosierungen auch in anderer Form gesundheitsschädlich. So bewirkt Phosphat beispielsweise pathophysiologisch in erster Linie Gefäßschäden, welche eine endotheliale Dysfunktion und Kalzifikationen verursachen können (Blüchel & Honikel, 2006; Ritz et al., 2012).

4.4 Die Verwendung von Natriumcitrat bzw. Trinatriumcitrat

Beim Natriumcitrat handelt es sich um ein farbloses kristallines Salz. Es weist einen seifigen Geschmack auf, was aus technologischer Sicht berücksichtigt werden muss, da Überdosierungen zu geschmacklichen Beeinträchtigungen führen können (Matissek & Baltes, 2016). Natriumcitrat muss als Lebensmittelzusatzstoff mit der E-Nummer E 331 gekennzeichnet werden. Natriumcitrat wird als Emulgator und Säureregulator in der Lebensmitteltechnik eingesetzt. Die Eigenschaften als Säureregulator basieren auf der ausgeprägten Pufferkapazität. So verfügt Natriumcitrat als Salz einer triprotonigen Säure über drei Dissoziationsstufen, welche bereits im mesophilen bzw. moderaten pH-Werte-Bereich von Bedeutung sind und somit effektive Pufferkapazitätseigenschaften aufweisen (Hammer, 1988; Weber, 2003; Matissek & Baltes, 2016).

Bei der Brühwurstherstellung fungiert Natriumcitrat als Kutterhilfsmittel, was im Wesentlichen die Konsistenz und Wasserbindung betrifft. Im Gegensatz zu Natriumdiphosphat verfügt Natriumcitrat nicht über eine spezifische Wirkung in Bezug auf die Wasserbindung, sondern wirkt unspezifisch, was die Effektivität verringert (Matissek & Baltes, 2016). Nicht nur Citrat, sondern auch andere Anionen bzw. Salze von Genusssäuren wie Lactat, Acetat und Tartrat wirken ebenfalls unspezifisch auf die Wasserbindfähigkeit von Brühwurstprodukten. Der gleiche Effekt wird auch durch die Zugabe

von Kochsalz erzielt, jedoch ist die Zugabemenge von Kochsalz anhand der Salzscharfe begrenzt. Um die Ionenstärke dennoch zu erhöhen werden die aufgeführten Salze bzw. Anionen von Genusssäuren verwendet (Wirth, 1984; Hammer, 1988; Belitz et al., 2008). Im Herstellungsprozess wird Natriumcitrat als Kutterhilfsmittel zu Beginn des Zerkleinerungsprozesses zusammen mit dem Speisesalz dem Wurstbrät beigegeben (Klettner, 1984; Wirth, 1984). Analog zu Natriumdiphosphat verstärkt auch Natriumcitrat als Kutterhilfsmittel die Effektivität von Antioxidantien wie L-Ascorbinsäure, da sie als Komplexbildner fungieren (Baltes, 2000; Belitz et al., 2008; Matissek & Baltes, 2016).

Die Verwendung von Citraten wie Natriumcitrat ist im Rahmen der ökologischen Brühwurstherstellung erlaubt, während die Verwendung von Natriumdiphosphat in ökologischen Brühwurstherzeugnissen nicht erlaubt ist. Anhand der Durchführungsverordnung (EG) Nr. 889/2008 vom 5. September 2008 (Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle) Anhang VIII S. 97 ist die Verwendung von Natriumcitrat in EU-Bio-Produkten zugelassen (BMEL, 2008). Eine Liste der zugelassenen Zusatzstoffe im EU-Bio-Bereich befindet sich im Anhang 6.

4.5 Die Verwendung von Mono- und Diglyceriden der Speisefettsäuren

Die emulgierende Wirkung der Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren oder Genusssäuren in Brühwurstprodukten hängt vom HLB-Wert (hydrophilic-lipophilic balance) ab. Der HLB-Wert weist Skalierung von 0 bis 20 auf, mit der hydrophile und lipophile Anteile eines Emulgators näher definiert werden. Niedrige Zahlen repräsentieren lipophile Verbindungen, während hohe Zahlen hydrophile Verbindungen anzeigen (Hammer, 1988; Weber, 2003; Belitz et al., 2008; Ebermann & Elmadfa, 2011; Kuhnert, 2014).

Brühwurst kann vereinfacht als eine Emulsion des Typs „Fett in Wasser“ betrachtet werden, da zum wasserhaltigen Fleischanteil auch noch ca. 20 % Wassereis während des Kuttervorgangs hinzugegeben wird. Es handelt sich eher um eine Suspension, welche in Form von monodispers verteilten festen Fetttröpfchen innerhalb der wässrigen Phase vorliegt. Lediglich ein geringer Anteil der fetten Phase liegt emulgiert vor. Daher sind die Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren mit eher geringen HLB-

Werten nur mäßig als Emulgatoren in Brühwurstprodukten geeignet (Weber, 2003; Belitz et al., 2008; Ebermann & Elmadfa, 2011). Mono- und Diglyceride von Genusssäuren generieren etwas höhere HLB-Werte, was zu einer besseren Emulgatorwirkung bei Brühwurstprodukten führt. Bei Brühwurstprodukten ist ein möglichst geringer Anteil an Fett- und Geleeabsatz wichtig. In dieser Hinsicht kann jedoch nur mit einer Kombination von Zitronensäureester mit mehr als 2 % Speisesalz in der Brätmasse ein positiver Effekt erzielt werden (Weber, 2003; Belitz et al., 2008; Ebermann & Elmadfa, 2011).

5. Theoretische Grundlagen für das alternative Produktionsverfahren bei Brühwurst- und Rohwurstprodukten

Die Aufgabenstellung für dieses Forschungsvorhaben ist die Entwicklung eines alternativen Verfahrens zur Herstellung von Wurstprodukten, bei dem auf den Zusatzstoff Natriumnitrit verzichtet wird. Bei einem zusätzlichen Verzicht auf den Einsatz von synthetisch hergestellter L-Ascorbinsäure müssen sowohl alternative natürliche Zutaten für den Umröteeffekt als auch für die Verhinderung von Oxidationsprozessen gefunden werden. Zudem müssen die mit einem alternativen Verfahren hergestellten Wurstwaren den Anforderungen an Sensorik und Mikrobiologie entsprechend den gesetzlichen Vorgaben und der Verbrauchererwartung erfüllen werden.

5.1 Natürliche Nitrat- und L-Ascorbinsäurequellen

5.1.1 Gemüse und Gewürze als natürliche Nitrat-Quellen

Auch beim alternativen Verfahren wird eine Umrötung über Stickstoffmonoxid angestrebt, indem Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin als rote Farbpigmente gebildet werden. Dazu kommt Nitrat aus folgenden natürlichen Quellen:

- Wasser / Eis: Je nach Region verfügt das Wasser, welches in Form von Scherbeneis bei der Brühwurstproduktion verwendet wird, bereits über nennenswerte Konzentrationen an Nitrat (Banspach, 2012). Deshalb ist die Nitratkonzentration im verwendeten Wasser festzustellen und zu berücksichtigen.

- Getrocknetes Gemüsepulver

Naturbelassene Gewürzmischungen, welche auch aus Gemüsepulver wie beispielsweise Zwiebelpulver, Pastinakenpulver etc. bestehen, verfügen über signifikante Konzentrationen an Nitrat (Zorn, 1986; Göllner, 2021). Hier gilt das Vorgehen wie beim Wasser.

In naturbelassenen Gewürzmischungen werden verschiedene Gemüse in getrockneter und gemahlener Form verwendet. Die unterschiedlichen Gemüsepulver werden primär aus geschmacklichen Gründen verwendet. Allerdings spielen die darin enthaltenen Nitratmengen beim alternativen Umröteverfahren eine wesentliche Rolle (Tabelle 01).

Tabelle 01: Nitrat-Konzentrationen von Frischgemüse (Zorn, 1986; Göllner, 2021)

hoch	mittel	gering
4000-1000 mg Nitrat/ kg Frischgemüse	1000-500 mg Nitrat/ kg Frischgemüse	unter 500 mg Nitrat/ kg Frischgemüse
Blattgemüse: Kopfsalat, Endivie, Eis- salat, Feldsalat, Spinat, Stielmangold	Wurzel- und Knollen- gemüse: Karotten, Kohlrabi, Sel- lerie	Fruchtgemüse: Erbsen, Gurken, grüne Bohnen, Paprika, To- maten
Kohlgemüse: Grünkohl, Chinakohl, Weißkohl, Wirsing	Kohlgemüse: Blumenkohl, Kopfkohl	Kohlgemüse: Rosenkohl
Wurzelgemüse: Rote Bete, Radieschen, Rettich	Zwiebelgemüse: Lauch	Zwiebelgemüse: Knoblauch, Zwiebeln
	Fruchtgemüse: Auberginen, Zucchini	Obst, Getreide, Kartof- feln

Die Angaben in Tabelle 01 beziehen sich auf Frischwaren. Für die Gewürzmischungen werden getrocknete und gemahlene Gemüseprodukte verwendet. Der Wassergehalt dieser Gemüse liegt zwischen 80 und 90 %, bei Gemüsepulvern dagegen in der Regel bei ca. 10 %. Dies bedeutet, dass es durch Trocknung der Gemüse zu einer deutlichen Aufkonzentrierung der Inhaltsstoffe und somit auch des Nitrats kommt. Schlüchter et al. (2009) geben für Gemüsepulver einen durchschnittlichen Nitratgehalt von 9,7 g/kg und für Nitrit von 6,2 mg/kg an.

- **Kräuter und Gewürze:**

Im Gegensatz zu Gewürzpräparaten bzw. „Compounds“, die in der konventionellen Wurstproduktion eingesetzt werden und bei denen die Nitratkonzentra-

tion standardisiert ist, liegt die Nitratkonzentration bei naturbelassenen Gewürzmischungen höher, was für das alternative Umröteverfahren erwünscht ist. Über eine besonders hohe Nitrat-Konzentration verfügen verschiedene Gartenkräuter, wie beispielsweise Petersilie (Roth, 2018). Aber auch viele Gewürze, u.a. Ingwer oder Liebstockblatt enthalten hohe Konzentrationen an Nitrat. Je nach Sorte, Düngung, Standort und Erntezeitpunkt können bei Kräutern oder Gewürzen Werte von 1000-4000 mg/kg TS auftreten (Roth, 2018; Göllner, 2021)

5.1.2 Acerolakirsche als natürliche Quelle für L-Ascorbinsäure

Die in der konventionellen Wurstproduktion verwendete L-Ascorbinsäure, die in der Regel biotechnologisch produziert wird, muss als Zusatzstoff deklariert werden (E300) (ZusatzstoffVO, 2008). Zudem werden im Herstellungsprozess vermehrt gentechnisch veränderte Mikroorganismen verwendet (Munk et al., 2008; Verbraucherzentrale, 2020), weshalb diese Produkte für die Herstellung von Bio-Lebensmitteln nicht in Frage kommen. Daher müssen für die alternative Herstellung von Wurstwaren natürliche L-ascorbinsäurehaltige Zutaten verwendet werden. Besondere Bedeutung hat hierbei die Acerolakirsche erlangt (Cuatrecassas & Croat, 1980; Schneider, 1985), denn sie verfügt über einen sehr hohen Anteil an L-Ascorbinsäure. Die sehr sauren Früchte enthalten einen hohen Anteil von ca. 1-1,5 % L-Ascorbinsäure bezogen auf die Frischmasse (Zimmermann & Erbacher-von Grumbkow, 2003). Die Acerolakirschen müssen allerdings wegen des schnellen Verderbs zügig einer Verarbeitung zugeführt werden (Packer & Fuchs, 1997). Dafür hat sich die Herstellung von Acerolakirschpulver mittels der Gefriertrocknung als schonendes und qualitätserhaltendes Verfahren mit anschließender Mahlung der Trockenkirschen durchgesetzt (Cuatrecassas & Croat, 1980; Schneider, 1985; Bauer, 2017). Für die alternative Wurstproduktion wird Acerolakirschpulver in der Regel auf einem Trägerstoff wie Dextrose adsorbiert. Der Anteil an Zucker mildert bei der Brühwurstproduktion die geschmacklich saure Komponente ab.

5.2 Das alternative Umröteverfahren

5.2.1 Wirkungsweise von Nitrat aus natürlichen Quellen

Da kein Nitritpökelsalz verwendet wird, muss im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens eine natürliche Nitrat-Quelle zur Verfügung stehen. Hierzu stehen verschiedene Gewürze, Kräuter sowie Gemüsepulver in einer Gewürzmischung zur Verfügung. Durch die Auswahl verschiedener nitrathaltiger Gewürze, Kräuter sowie Gemüsepulver, welche über eine definierte Nitrat-Konzentration verfügen, ist ein definierter Nitrateintrag in das Produkt möglich (vgl. 5.1). Wie auch bei der Verwendung von Nitrit ist auch bei der Verwendung von Nitrat über natürliche Quellen der Anteil an Myoglobin im Rohmaterial für die Dosierung entscheidend. So muss bei Rohmaterial, welches über hohe Myoglobin-Konzentrationen verfügt, wie z.B. Muskelfleisch, die Menge an Nitrat bzw. Gemüsepulver oder nitrathaltigen Gewürzen erhöht werden. Umgekehrt sollte die Menge an Nitrat- bzw. Gemüsepulver oder nitrathaltigen Gewürzen bei geringen Myoglobin-Konzentration des Rohmaterials reduziert werden.

Allerdings bestehen auch beim Muskelfleisch je nach Tiergattung Unterschiede in Bezug auf die Myoglobin-Konzentration. Das Muskelfleisch von Rindern oder Wild enthält deutlich höhere Myoglobin-Konzentrationen als das Muskelfleisch von Schweinen (Potthast, 1986; Nitsch, 2008; Savell, 2015). Auch die jeweilige Rasse ist in Bezug auf die Myoglobin-Konzentration im Muskelfleisch von Bedeutung (Petig, 2020). Das Schwäbisch Hällische Landschwein verfügt im Vergleich zu den meist verwendeten Rassen in der Schweinezucht, wie Deutsches Edelschwein oder Deutsche Landrasse über eine signifikant höhere Myoglobinkonzentration im Muskelfleisch (Petig, 2020).

Es kann bei der Dosierung der Menge an Nitrat über Gemüsepulver oder nitrathaltigen Gewürzen von folgender Faustformel ausgegangen werden. Je dunkler bzw. intensiver die rote Farbe des Rohmaterials, desto mehr Nitrat wird zur Umrötung benötigt. Im alternativen Umröteprozess wird versucht, die Menge an Nitrat über Gemüse etc. so zu dosieren, dass die Menge an Restnitrit (gemessen in NaNO_2) bzw. Restnitrat (gemessen in NaNO_3) unter 10 ppm bzw. 20 ppm liegt. Da hierbei viele Parameter eine Rolle spielen, lässt sich die exakte Menge an Nitratzusatz rechnerisch nicht ermitteln. Daher muss in diesem Falle ganz wesentlich auf Praxiserfahrungen zurückgegriffen werden.

5.2.2 Bedeutung und Wirkung von Starterkulturen

Der alternative Umröteprozess wird enzymatisch katalysiert. Daher werden Bakterien als Starterkulturen verwendet, welche über das Enzym Nitratreduktase verfügen. Es werden Bakterien verwendet, welche durch Nitratatmung eine Nitratreduktion betreiben (Lücke & Hechelmann, 1985; Straub, 1996; Raghoebarsing et al., 2006; Krieg, 2011; Nelson & Cox, 2011; Strunk, 2011).

Es existieren jedoch viele prokaryotische Organismen, welche Nitrat reduzieren, jedoch Nitrit nicht weiter reduzieren können, (Raghoebarsing et al., 2006; Reece et al., 2016; Berg et al., 2018). Aus technologischer Sicht, werden diese Bakterien (z.B. *Micrococcaceae* wie *Staphylococcus carnosus*) für den alternativen Umröteprozess benötigt, um eine entsprechende Konzentration an Nitrit generieren zu können (Schliefer & Fischer, 1982; Lücke & Hechelmann, 1985; Rosenstein et al., 2009). Daher werden während des Kuttervorgangs im Zuge der Wurstherstellung neben der Gewürzmischung und Kochsalz entsprechende Starterkulturen dem Brühwurstbrät beigemischt. Es handelt sich in der Regel um Kulturen, welche in Form eines getrockneten Pulvers zusammen mit Dextrose als Substrat verwendet werden.

5.2.3 Kutterprozess

Beim alternativen Umröteverfahren ist der Ausschluss von Sauerstoff beim Kuttervorgang von entscheidender Bedeutung. Einer der größten nachteiligen Einflussfaktoren auf die Farbbildung ist die Anwesenheit von Sauerstoff (Wirth, 1984; Potthast, 1986). Während des Kuttervorgangs werden die Rohmaterialien zerkleinert und vermengt. Beim Zerkleinern und Mischen des Bräts kommt es durch die schnelllaufenden Messer des Kutters zu einem erheblichen Eintrag an Luft in die Brätmasse. Die Luft kann in der Folge nur bedingt wieder entweichen. Grund hierfür ist die schaumige Masse des Eiweißgerüsts, welche während des Kuttervorgangs entsteht (Klettner, 1984; Wirth, 1984). Im Eiweißgerüst werden zahlreiche Fett-Tröpfchen sowie Luftbläschen eingeschlossen. Der nachgelagerte Erhitzungsprozess führt bei Brühwurstprozessen nicht zur Freisetzung der eingeschlossenen Luft und damit des Sauerstoffs. Die Proteine koagulieren und es entsteht eine wabenartige Gitterstruktur. Die Luft und somit der Sauerstoff bleiben in der wabenartigen Proteinstruktur eingeschlossen. Durch die feine

Verteilung des Sauerstoffs im Brät, werden oxidative Prozesse mittels Sauerstoff begünstigt (Wirth, 1984). Ebenso wird auch die Bildung von Metmyoglobin begünstigt (Potthast, 1986; Belitz et al., 2008). Infolgedessen verringert sich der Anteil an roten Farbpigmenten und es kommt zu einer optisch unattraktiveren Farbgebung.

Die eingeschlossene Luft im Brät lässt sich wegen der Proteingitterstruktur, welche die Luft umschließt, kaum noch entfernen. Das gelingt auch nicht mit einem Vakuumfüller, da sich die eingeschlossene Luft lediglich an der Oberfläche entfernen lässt.

In der Praxis wird ein Vakuum-Kutter mit Stickstoff verwendet, um das entstehende Vakuum während des Vakuum-Kutternvorgangs zu füllen. Molekularer Stickstoff ist inert und verhindert oxidative Prozesse. (Hofman & Rüdorff, 1973; Riedel & Janiak, 2011; Nieken, 2012). Der pH-Wert sowie die Struktur des Brühwurstbräts werden durch den molekularen Stickstoff nicht verändert (Wirth, 1984). Es handelt sich zudem um ein relativ preisgünstiges Gas. Durch das Einleiten von molekularem Stickstoff in das gebildete Vakuum im Kutter wird einerseits ein Farbschutz generiert und andererseits wird eine Verringerung des Volumens bezüglich des Brühwurstbräts vermieden. Besonders positiv für das alternative Umröteverfahren ist der Effekt der Reduktion der natürlichen Mengen an Nitrat bzw. Nitrit im Brät durch die Technik mittels molekularen Stickstoffs.

Tabelle 02: Einfluss des Vakuumkutters auf die Konzentration an Rest-Nitrit und Rest-Nitrat bei Brühwurstprodukten (Wirth, 1984 S. 136)

Zugabe von 20 g/kg Nitritpökelsalz (0,5% $NaNO_2$) \cong 80 – 100 ppm	Normalkutterung		Vakuumkutterung	
	Nitrit ppm bzw. mg/kg	Nitrat ppm bzw. mg/kg	Nitrit ppm bzw. mg/kg	Nitrat ppm bzw. mg/kg
Erhitzt bei 75 °C				
Analyse sofort	42	30	40	18
1 Woche	35	27	31	20
4 Wochen	28	27	25	22
Erhitzt bei 110 °C				
Analyse sofort	22	32	25	22
1 Woche	12	29	19	16
4 Wochen	10	26	12	18

Die Technik der Vakuumkutterung führt zu niedrigeren Konzentrationen an Nitrat und in geringerem Maße auch an Nitrit im Endprodukt (Tabelle 02). Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch das Vakuum während des Kuttervorgangs oxidative Prozesse minimiert werden (Wirth, 1984). Gleichzeitig schafft das anoxische Milieu günstige Bedingungen in Bezug auf die bakterielle Reduktion von Nitrat zu Nitrit. Die fakultativ anaeroben nitratreduzierenden Bakterien verwenden nun Nitrat anstelle von Sauerstoff als alternativen Elektronenakzeptor im Rahmen der Atmungskette (Krieg, 2011; Ottow, 2011; Strunk, 2011; Berg et al., 2018). Es folgt eine vermehrte Reduktion von Nitrat zu Nitrit. Dies ist besonders im Zuge des alternativen Umröteverfahrens von großer Bedeutung.

In diesem Verfahren müssen die Bedingungen sehr gut an die nitratreduzierenden Bakterien angepasst werden, da die Zeit zwischen dem Kutterprozess und des Brühprozesses begrenzt ist. Als Starterkultur, welche die Nitratreduktion enzymatisch katalysiert, wird meist ein *Staphylococcus carnosus* Stamm verwendet (Schliefer & Fischer, 1982; Rosenstein et al., 2009). Die Kultur enthält zusätzlich noch etwas Dextrose als Substrat um die Wachstumsphase zu beschleunigen. Bei *Staphylococcus carnosus* handelt es sich um eine fakultativ anaerobe Kultur, welche durch das anoxische Milieu im Rahmen des Vakuumkutterprozesses zum anaeroben Stoffwechsel gezwungen wird (Schliefer & Fischer, 1982; Rosenstein et al., 2009). Es kommt somit vermehrt zu anaeroben Stoffwechsel durch *Staphylococcus carnosus*, wodurch Nitrat zu Nitrit reduziert wird. Die bakterielle Umsetzung von Nitrat zu Nitrit mittels Starterkulturen gestaltet sich umso effektiver, je länger die Starterkulturen in der Vakuum- bzw. Stickstoffatmosphäre verweilen können. Daher wird das Brühwurstbrät nach dem Kutterprozess noch über eine weitere Verweilphase (1-2 Stunden) unter Vakuum bzw. Stickstoffatmosphäre im Kutter belassen. Je länger das Brühwurstbrät mit den Starterkulturen im Kutter unter Vakuum bzw. Stickstoffatmosphäre verweilt, desto mehr anaerobe bakterielle Stoffwechselprozesse wie die Nitratatmung durch *Staphylococcus carnosus* können ablaufen. Somit wird im Zuge des alternativen Umröteprozesses eine Verweilzeit unter Vakuum bzw. Stickstoffatmosphäre eingeplant, wodurch die entsprechende Menge an Nitrat zu Nitrit reduziert wird. Anhand analytischer Messungen der Nitrat- bzw. Nitrit-Konzentration im Endprodukt kann die Dauer der Verweilzeit angepasst bzw. optimiert werden.

Im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens wird L-Ascorbinsäure in Form von Acerolakirsche eingesetzt, welche ihre Wirkungsweise in Bezug auf das entstandene Nitrit entfaltet (Wirth, 1984). Zur Optimierung des alternativen Umröteverfahrens sollte die Acerolakirsche möglichst spät hinzugegeben werden. Grund ist die Absenkung des pH-Wertes (ca. 0,2 – 0,3 pH-Wert-Einheiten), was zur verringerten bakteriellen Stoffwechselaktivität von nitratreduzierenden Kulturen wie *Staphylococcus carnosus* führt (Schliefer & Fischer, 1982; Rosenstein et al., 2009). Um die Umsetzung von Nitrat zu Nitrit möglichst effektiv zu gestalten, sollte eine Kultivierungsphase möglichst im Vakuum oder ggf. in Stickstoffatmosphäre bzw. Kohlendioxidatmosphäre bei hohen bis moderaten pH-Werten implementiert werden. Nach einer entsprechenden Kultivierungsphase wird die L-Ascorbinsäure in Form von der Acerolakirsche beigemischt. In der Praxis handelt es sich um ein getrocknetes Acerolakirschpulver, welches durch den Kutter homogen im Brät verteilt werden kann. Jedoch muss die Dosierung anhand empirischer Versuche angepasst werden. Bei Überdosierungen kommt es zu pH-Werten, welche zu niedrig sein können. In solchen Fällen kommt es zu verminderter Wasserbindung des Brühwurstbräts (Honikel, 1986; Honikel, 1987), was in Bezug auf den Verzicht von Polyphosphaten wie Natriumdiphosphat bzw. Tetranatriumdiphosphat die Bedeutung erhöht. Weiterhin kann es zu geschmacklichen Beeinträchtigungen kommen sowie im Extremfall zu Farbabweichungen (Vergrünung) (Wirth, 1984). Daher ist ein optimaler pH-Wert-Bereich von zentraler Bedeutung, um eine gute Wasserbindung und gleichzeitig eine ansprechende Pökelfarbbildung zu generieren. Die Wasserbindung von Brühwurstprodukten verbessert sich bei höheren pH-Wert-Bereichen (6,5 – 6,8).

Die Funktion der L-Ascorbinsäure als Reduktionsmittel um salpetrige Säure zu Stickstoffmonoxid zu reduzieren, ist ein entscheidender Faktor im Zuge des alternativen Umröteprozesses. Der Umsatz vom gebildeten Nitrit zu Stickstoffmonoxid wird dadurch deutlich erhöht. Infolgedessen wird die Konzentration an Restnitrit (gemessen in Natriumnitrit: NaNO_2) im Endprodukt gesenkt. Gleichzeitig wird durch die Zunahme der Konzentration an nitrosen Gasen wie Stickstoffmonoxid die Bildung von Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin erhöht (Potthast, 1986; Belitz et al., 2008) und die Ausprägung der rötlichen Farbgebung intensiviert.

Die optimale Zugabemenge der L-Ascorbinsäure liegt bei etwa 0,03 bis 0,05 % (Wirth, 1984). Wird im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens Acerolakirschkornpulver verwendet, muss die Dosierung anhand der natürlichen L-Ascorbinsäure Konzentration umgerechnet werden. Die Zugabemenge schwankt beim Acerolakirschkornpulver zwischen 2-3 g/kg Brät.

5.3 Alternatives Verfahren bei der Brühwurstherstellung

5.3.1 Farbentwicklung während des Brühprozesses

Es kommt während des Brühprozesses zur Bildung des roten Farbpigments Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin (Mb-NO) (Beck et al., 2008; Baye, 2015). Somit sind auch im Verlauf des alternativen Umröteverfahrens der Brühprozess und die damit einhergehende Temperatureinwirkung von Bedeutung für die rote Farbentwicklung. Temperatureinwirkzeit sowie Temperaturhöhe beeinflussen dabei maßgeblich die Umsetzung der entsprechenden chemischen Reaktion und somit die Farbentwicklung. Je höher die Temperatur und Einwirkzeit ist, desto höher ist die katalytische Wirkung auf die Umrötreaktionen (Tabelle 03).

Tabelle 03: Einfluss der Brühtemperatur und Brühdauer auf die Farbentwicklung der Brühwurst (Wirth, 1984 S. 137)

Brühdauer	15	30	45	60	75	90	110
Brühtemp.	min						
70 °C	grau	grau	grau	schwach rosa	hell- rosa	rosa	kräftig rosa
75 °C	grau	schwach rosa	schwach rosa	hellrosa	rosa	kräftig rosa	
80 °C	schwach rosa	hellrosa	Rosa	rosa	kräftig rosa		
100 °C	hellrosa	rosa	kräftig rosa				
110 °C	rosa	kräftig rosa					

Während des Brühprozesses erfolgt die Transformation von in getrockneten Gemüsen und Gewürzen enthaltenem Nitrat über Nitrit zu Stickstoffmonoxid (NO) und in der Folge zur Bildung des roten Farbpigments Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin (Abb. 01).

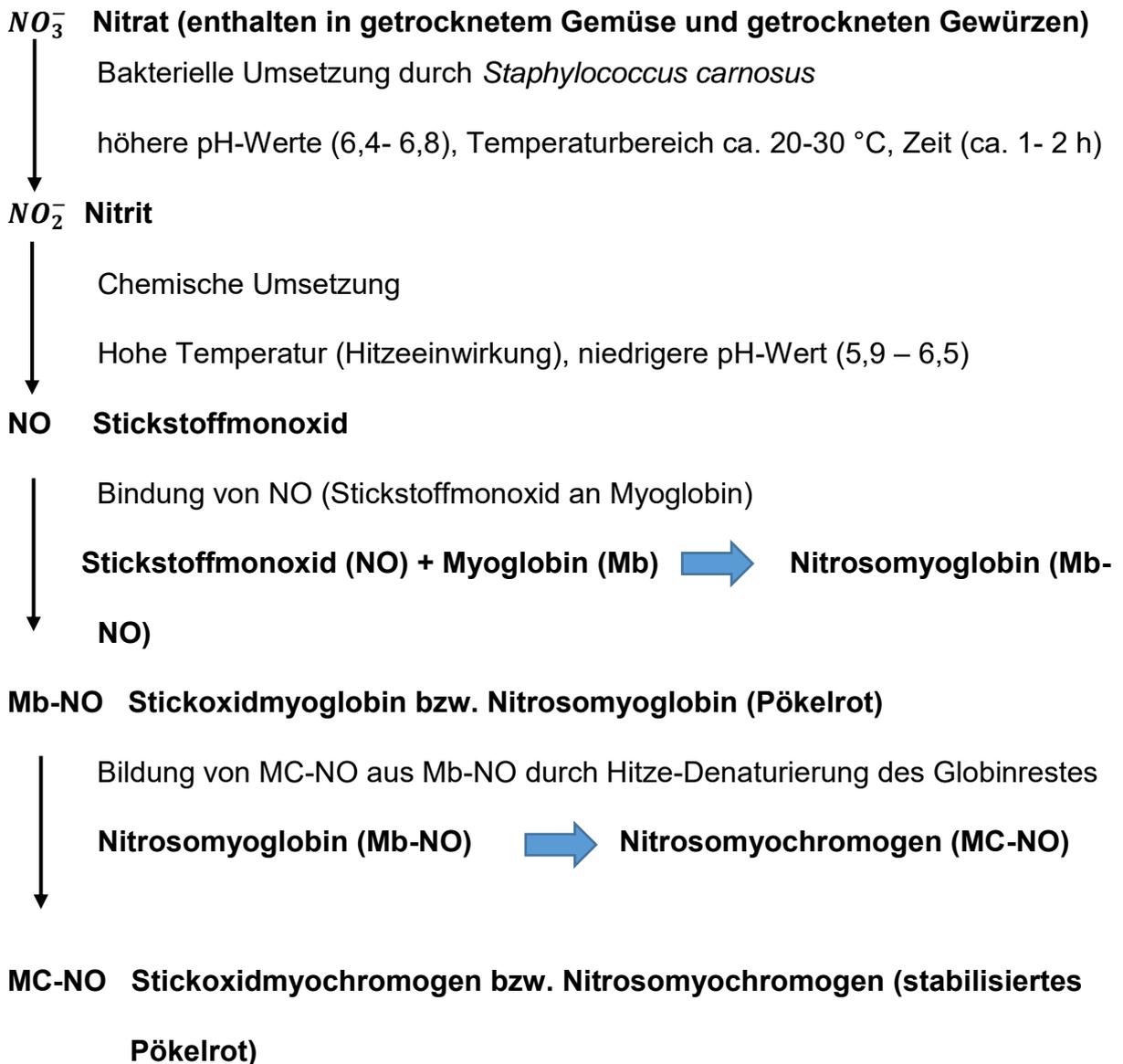


Abbildung 01: Schematische Darstellung der Bildung von Nitrosomyoglobin (Mb-NO) bei Brühwurst

5.3.2 Hitzeinaktivierung von Mikroorganismen während des Brühprozesses sowie die Bedeutung des F-Werts

Ein weiterer entscheidender Faktor im Zuge des Brühprozesses ist die Hitzeinaktivierung von Mikroorganismen. Dabei sind in besonderem Maß sporenbildende Bakterien wie *Clostridium*- und *Bacillus*-Arten relevant (Strunk, 2011; Barash et al., 2014; Krämer, 2016). Im Unterschied zu den vegetativen Formen verschiedener Bakterien, Schimmelpilzen sowie auch Hefen ist eine Pasteurisation (Temperaturen zwischen 60°C – 90°C) nicht ausreichend (Baye, 2015; Baye et al., 2015). Besondere Bedeutung wird diesbezüglich der Spezies *Clostridium botulinum* beigemessen, da viele dieser Stämme Botulinumtoxin (BTX) produzieren können, das tödlichste bekannte Gift für höhere Lebewesen (Krämer, 2016). Es wirkt direkt auf das vegetative Nervensystem beim Menschen, was zum Stillstand der Lungenfunktion sowie zu verschiedenen Formen von Muskelstörungen führen kann (Barash et al., 2014). Für eine Inaktivierung von sporenbildenden Bakterien sind deutlich höhere Temperaturen (> 100 °C siehe Bedeutung des F-Wertes Anhang 1) und auch Überdruck erforderlich (Sterilisation) (Krämer, 2016). Um die Inaktivierung einer Population von Mikroorganismen durch Hitzeeinwirkung quantifizieren zu können, wird der F-Wert als Maß für die Keimabtötung während des Produktionsprozesses herangezogen. Von behördlicher Seite wird bei der Konservenproduktion ein F-Wert von 2,5 gefordert (Hartwig et al., 2014; Baye, 2015; Baye et al., 2015). Detailangaben zur Berechnung und Bedeutung des F-Wertes finden sich im Anhang 1.

5.3.3 Redoxpotenzial bei Brühwurstprodukten

Fleisch verfügt im nativen, unerhitzten, frischen und ungeriffen Zustand über ein Redoxpotenzial (**Eh**-Wert) von ca. (-40 bis -60 mV). Bei der Brühwurstproduktion kommt es während der Brühphase zu einem Abfall des Redoxpotenzials (ca. – 80 bis – 120) (Stiebing, 1984; Müller, 1988). Verbindungen, welche als Reduktionsmittel fungieren, senken das Redoxpotenzial weiter (McNaught & Wilkinson, 1997). Im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens führt die in der Acerolakirsche vorhandene L-Ascorbinsäure zu einer Absenkung des Redoxpotenzials (Rödel & Scheuer, 2003a; Rödel & Scheuer, 2003b). Ein ebensolcher Effekt tritt auch durch das Kuttern des Brühwurst-

bräts auf und wird durch die Vakuumkuttertechnik verstärkt (Wirth, 1984). Auch Lagerung und Verpackung (z.B. Vakuumverpackung) nehmen Einfluss auf das Redoxpotential (Stiebing, 1984; Leistner, 1985). Das Redoxpotential spielt eine wesentliche Rolle für die geschmackliche Qualität und damit für den Genusswert von Brühwurstprodukten. In der Praxis wird ein optimaler Redoxpotentialbereich von ca. -50 mV bis -100 mV angestrebt (Stiebing, 1984; Leistner, 1985; Potthast, 1986; Belitz et al., 2008).

Das Redoxpotential beeinflusst aber auch das Wachstum von Mikroorganismen. Einerseits können durch ein niedriges Redoxpotential (ca. < -50 mV) aerobe Verderbnis- und oxidative Prozesse minimiert werden (Heinrich et al., 2014; Berg et al., 2018), andererseits werden anaerobe Stoffwechselprozesse durch ein geringes Redoxpotential eher begünstigt (Krämer, 2016). Daher muss hierauf bei Brühwurstprodukten in Form von Wurstkonserven besonders geachtet werden, denn es können durch die pathogene, jedoch hitzeempfindliche Spezies *Clostridium perfringens* unerwünschte Stoffwechselaktivitäten entstehen (Rodloff, 2009; Ruckdeschel, 2009). Es kommt zur Bildung von Kohlendioxid und Wasserstoff, was zu einer Druckerhöhung innerhalb der Konserve führt. In extremen Fällen kommt es zum explosionsartigen Aufbrechen der Konserve (Bombage) (Baye et al., 2015).

5.3.4 Wasseraktivität bei Brühwurstprodukten

Neben dem Erhitzungseffekt (**F**-Wert) verbleibt im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens noch die Wasserverfügbarkeit (**aw**-Wert) im Brühwurstprodukt zur Steuerung der mikrobiologischen Stabilität (Beck et al., 2008) (Erläuterung zum **aw**-Wert in Anhang 2). Der **aw**-Wert liegt bei frischen Brühwürsten in einem Bereich zwischen 0,98 - 0,97 (Stiebing, 1984; Wirth, 1984; Baye et al., 2015). Im Vergleich verfügt rohes mageres Fleisch über einen **aw**-Wert von 0,99 (Stiebing, 1984). Durch die Zugabe von Speisesalz und anderen wasserlöslichen Stoffen kann der **aw**-Wert gesenkt werden (Wirth, 1984; Leistner, 1985; Wirth, 1988). Dies darf allerdings nicht zu geschmacklichen Beeinträchtigungen führen.

Eine andere Möglichkeit zur Senkung des **aw**-wertes ist die Reduktion der Wasserzufuhr während des Kuttervorgangs. Die Schüttungsmengen von durchschnittlich 20-25 % Wassereis, die während des Kuttervorgangs dem Brühwurstbrät beigemischt wird,

muss bei der alternativen Wurstproduktion reduziert werden, um die geringe bakterizide Wirkung des Nitrits partiell auszugleichen. Die spezifischen minimalen Wasseraktivitätswerte spielen eine wesentliche Rolle für das Wachstum verschiedener Mikroorganismen. In Tabelle 04 sind die spezifischen aw-Werte für die Begrenzung des Wachstums einzelner Gruppen von Mikroorganismen wiedergegeben.

Tabelle 04: Minimale Wasseraktivität (aw-Wert) verschiedener Mikroorganismen (Stiebing, 1984 S. 169)

aw-Wert	Mikroorganismen
0,97	<i>Clostridium botulinum</i> Typ B, E; <i>Pseudomonas</i>
0,95	<i>Bacillus</i> , <i>Citrobacter</i> ; <i>Clostridium perfringens</i> ; <i>Clostridium botulinum</i> Typ A, B, <i>Enterobacter</i> , <i>Proteus</i> , <i>Salmonella</i>
0,90	<i>Lactobacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i>
0,86	Aerobe Staphylococcus
< 0,85	Hefen und Schimmelpilze

In der Praxis liegen die aw-Werte bei Brühwurst in der Regel zwischen 0,96 – 0,98. Hier können bereits geringe Änderungen des aw-Wertes deutliche Auswirkungen auf das Wachstum verschiedener Mikroorganismen haben. So wird das Wachstum verschiedener Stämme von *Clostridium botulinum* unter einem aw-Wert von 0,97 stark eingeschränkt. Daher empfiehlt sich für das alternative Umröteverfahren folgende Herangehensweise:

- Die Menge an Wassereis, welche während des Kuttervorgangs dem Brühwurstbrät beigemischt wird, sollte auf ca. 18 % der Gesamtmasse reduziert werden. Dadurch kann der aw-Wert leicht gesenkt werden. Es können in diesem Zug aw-Werte unter 0,97 erreicht werden. Somit kann umgekehrt der F-Wert der Brühwurst um 0,2 – 0,3 min verringert werden. Dies führt zu sensorischen und geschmacklichen Verbesserungen des Produkts. Auch die Wasserbindung und Konsistenz der Brühwurst wird weniger stark beeinflusst.

5.3.5 Farbliche Mängel und deren Ursachen im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens

Beim alternativen Umröteverfahren ist generell von einer schwächeren und weniger stabilen roten Pökelfarbe auszugehen. Allerdings können darüber hinaus Farbfehler auftreten, deren Ursachen sowie die entsprechenden Gegenmaßnahmen wie folgt beschrieben werden können.

- Mangel an Myoglobin im Rohmaterial
Bei einem Mangel an Muskelfleisch in der Rezeptur kommt es entsprechend zu einem Mangel an Myoglobin, welches im Muskelfleisch enthalten ist. Des Weiteren kann es durch eine mangelnde Fleischqualität zu geringeren Myoglobin-Konzentrationen im Rohmaterial kommen. So enthält helles wässriges Fleisch (PSE-Fleisch) weniger Myoglobin (Potthast, 1986; Belitz et al., 2008). Daher ist die Auswahl des Rohmaterials auch in Bezug auf die Umrötung entscheidend.
- Kurze Dauer der Reaktionszeit
Durch zu kurze Reaktionszeiten nach Zugabe der Starterkulturen (*Staphylococcus carnosus*) kommt es zu einer verminderten Umsetzung von Nitrat zu Nitrit im Brühwurstbrät. Daher sollte auf eine möglichst lange Kultivierungsphase der Starterkultur geachtet werden, bevor das Brühwurstbrät in die Brühphase gelangt.
- Erhöhte Sauerstoffkonzentration
Während des Kuttervorgangs wird sehr viel Luft und damit Sauerstoff ins Brühwurstbrät eingearbeitet. Es kommt in der Folge zu Oxidationsprozessen wie die Umsetzung von Nitrit zu Nitrat. Jedoch ist die bakteriell katalysierte Reduktion von Nitrat zu Nitrit für den Umröteprozess förderlich. Durch Techniken wie das Vakuumküttern kann der Sauerstoffeintrag minimiert werden. Auch Verpackung und Lagerung des Brühwurstproduktes beeinflussen die Farbstabilität. Daher sollte möglichst unter Sauerstoffausschluss verpackt werden.
- Zu geringe Konzentration an Umrötehilfsstoffen
Durch einen zu geringen Einsatz an entsprechenden Säuren (Genusssäuren, L-Ascorbinsäure) kommt es zu pH-Werten, welche als zu hoch eingestuft werden können. Durch zu hohe pH-Werte während des Umröteprozesses kommt

es zu einer verminderten Umsetzung von Nitrit zu Stickstoffmonoxid und damit zu einer verminderten Bildung von Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin. Die rote Farbbildung wird somit abgeschwächt.

Eine niedrige Konzentration an entsprechenden Reduktionsmitteln wie L-Ascorbinsäure oder Natriumascorbat führt unter anderem zu einer verringerten Bildung von Stickstoffmonoxid, was somit auch die Konzentration an Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin im Endprodukt vermindert.

- Zu geringe Konzentration an Nitrat in den getrockneten Gewürzen und Gemüsen. Durch eine zu geringe Konzentration an Nitrat, welche ins Brühwurstbrät gelangt, kann entsprechend nur eine verringerte Menge zu Stickstoffmonoxid und im weiteren Verlauf zu Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin umgesetzt werden. Es kommt zu einer abgeschwächten roten Färbung der Brühwurst.

(Wirth, 1984; Wirth, 1988; Beck et al., 2006; Beck et al., 2008)

5.4 Alternatives Verfahren bei der Rohwurstherstellung

Die Herstellung von Rohwürsten ohne die Verwendung von Nitritpökelsalz lässt sich in der Praxis im Vergleich zu Brühwürsten in Bezug auf die Umrötung leichter umsetzen. Der wesentliche Faktor ist in diesem Zusammenhang die Reifezeit, welche bakterielle Stoffwechselprozesse deutlich erleichtert. Jedoch beruht die Haltbarkeit von Rohwürsten nicht auf einer Hitzeinaktivierung von Mikroorganismen, was zu einer größeren Bedeutung des Nitrits als Konservierungsstoff führt, sondern u.a. auf der Reduzierung der Wasseraktivität (**a_w**-Wert) (Gareis et al., 2003; Belitz et al., 2008). Um die Wasseraktivität (**a_w**-Wert) signifikant reduzieren zu können, wird daher vor allem Kochsalz verwendet. Im Rahmen der Hürdentechnologie sind vor allem zu Beginn und im weiteren Verlauf der Reifephase weitere Faktoren relevant, welche zu einer mikrobiologischen Stabilität beitragen. Dazu gehören die pH-Wert-Absenkung sowie die Anwesenheit einer gezielten Konkurrenzflora. Diese Faktoren wirken bereits in einem frühen Reifestadium auf die mikrobiologische Stabilität.

5.4.1 Bedeutung des a_w -Wertes bei Rohwürsten

Durch die Herstellung von Rohwurstsorten wie Salami ohne den Konservierungsstoff Natriumnitrit, erlangt die Inaktivierung von Mikroorganismen mithilfe von Kochsalz eine erhöhte Bedeutung. Die Menge an verwendetem Kochsalz bei der Herstellung von Rohwürsten wie Salami beeinflusst die Wasseraktivität, welche anhand des a_w -Wertes gemessen wird (Matissek & Baltes, 2016). (Erläuterung zum a_w -Wert siehe Anhang 2).

Eine effektive Inaktivierung von Mikroorganismen in Bezug auf Rohwürste wie Salami ist nur durch die Verwendung von einer entsprechenden Menge an Kochsalz bzw. Nitritpökelsalz ($\text{NaCl} + 0,5 - 0,9 \% \text{NaNO}_2$) möglich (Leistner, 1985; Lücke & Hechelmann, 1985). Die alleinige Verwendung von Kochsalz bzw. Nitritpökelsalz führt nicht zu a_w -Werten, welche eine mikrobiologische Stabilität herbeiführen. Erst im Verlauf der Reifephase kommt es durch die Abtrocknung der Rohwurst bzw. Salami zu entsprechenden a_w -Werten, welche eine mikrobiologische Stabilität generieren (Lücke, 1985). Dies sind im Bereich der Salamireifung a_w -Werte zwischen 0,85 und 0,90 (Lücke, 1985; Kabisch et al., 2008; Kabisch, 2014). Je nach Wurstsorte und Erfahrungswerte werden in der Praxis Unterschiede toleriert. Dies wird in der Regel bei Abtrocknungen von 24 - 30 % der Gesamtmasse erreicht.

Der a_w -Wert bildet somit bei der Rohwurst den Leitparameter in Bezug auf die mikrobiologische Stabilität und die Lebensmittelsicherheit (Hechelmann, 1985; Leistner, 1985; Lücke & Hechelmann, 1985; Baltes, 2000; Gareis et al., 2003).

5.4.2 Umröteprozess im Rahmen der alternativen Salamiherstellung

Bei der alternativen Salamiherstellung werden wird kein Nitritpökelsalz verwendet. Analog zum alternativen Umröteverfahren der Brühwurstherstellung werden nitrathaltige Gewürze und Gemüse verwendet. Der Verlauf der Umrötung weist jedoch einige Unterschiede auf.

5.4.2.1 Verwendung nitrathaltiger Gewürze und Gemüse

Die Verwendung verschiedener Gemüsepulver sowie gemahlener Gewürze bildet die Basis der Umrötung während des Reifeprozesses. Es werden definierte Mengen an Gemüsepulvern sowie an gemahlenden Gewürzen verwendet. Die damit verbundenen Konzentrationen an Nitrat werden empirisch ermittelt. So wird die verwendete Gemüse- bzw. Gewürzkonzentration an die Restnitrit- und Restnitratkonzentration im Endprodukt angepasst. Es wird analog zur Brühwurstherstellung eine Konzentration an Restnitrit (gemessen in NaNO_2) bzw. Restnitrat (NaNO_3) von unter 10 ppm bzw. mg/kg angestrebt. Da der Nitratgehalt in den Gemüsepulvern und den gemahlenden Gewürzen Schwankungen unterliegt, muss deren Dosierung jeweils angepasst werden. In der Praxis werden hierzu verschiedene Testproduktionen mit unterschiedlichen Dosierungen an Gewürzen und Gemüsepulvern durchgeführt. In der Folge wird die Konzentration an Restnitrit (gemessen in NaNO_2) bzw. Restnitrat im Endprodukt analytisch ermittelt. Dieser Vorgang wird so häufig wiederholt, bis die angestrebten Konzentrationen an Restnitrit (gemessen in NaNO_2) bzw. Restnitrat (gemessen in NaNO_3) von unter 10 ppm bzw. mg/kg erreicht werden.

Das Nitrat, welches über die Zugabe von nitrathaltigen Gemüsepulvern und gemahlenden Gewürzen in die Brätmasse der Salami gelangt, wird durch bakterielle Stoffwechselprozesse enzymatisch zu Nitrit reduziert. Als Starterkultur fungiert dazu *Staphylococcus carnosus* (Schliefer & Fischer, 1982; Rosenstein et al., 2009). Im Rahmen der Salamiproduktion werden die Kulturen im Gegensatz zur Brühwurstherstellung nicht durch Hitze inaktiviert. Daher verfügen nitratreduzierende Kulturen wie *Staphylococcus carnosus* über genügend Zeit Stoffwechselaktivität zu betreiben. Die Stoffwechselaktivität von nitratreduzierenden Kulturen wie *Staphylococcus carnosus* nimmt jedoch mit sinkenden pH- und a_w -Wert ab (Casaburi et al., 2005; Rosenstein et al., 2009). Daher liegt das Zeitfenster in Bezug auf die enzymatische Reduktion von Nitrat zu Nitrit im Bereich von mehreren Stunden bzw. Tagen.

5.4.2.2 Die Verwendung von Rote-Bete

Die Zugabe von Rote-Bete-Pulver im Rahmen der Salamiproduktion erweist sich als vorteilhaft. Die färbenden Eigenschaften von Rote-Bete werden im Zuge der alternativen Salamiproduktion genutzt. Durch die Zugabe von 1-3 g/kg Brätmasse kommt es zu einer roten bis dunkelroten Färbung des Salamibräts. Im Endprodukt erscheint die Farbgebung jedoch nahezu arttypisch. Daher wird im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens Rote-Bete-Pulver als zusätzliche farbstabilisierende Zutat verwendet. Im Rahmen der Brühwurstherstellung eignet sich Rote-Bete-Pulver nur bedingt. Nur Dosierungen an Rote-Bete-Pulver unter 05, g/kg erweisen sich hierbei als sinnvoll. Sobald die Dosierungen höher sind, kommt es zu einer bläulich violetten Färbung, welche als nicht arttypisch angesehen werden kann.

Ein weiterer nützlicher Effekt des Rote-Bete-Pulvers im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens ist in Bezug auf die Nitratkonzentration anzuführen. Rote-Bete-Pulver enthält je nach Charge und Trocknungsgrad relativ hohe Mengen an Nitrat und auch an Zucker in Form von Saccharose, was für das alternative Umröteverfahren von Bedeutung ist. Besonderes Augenmerk ist auf den Saccharosegehalt zu richten, da ein erhöhter Zuckergehalt im Brät die Qualität des Endproduktes nachteilig beeinflussen kann (Souci et al., 2011; Coles, 2012). Daher muss die Dosierung an Rote Bete Pulver auf der Basis des Zuckergehaltes reguliert werden.

5.4.2.3 Die Wirkung von Starterkulturen

Die berechneten Mengen an Gewürz- bzw. Gemüsepulver werden dem Salamibrät während des Kuttervorgangs beigemischt. Die Zugabe verschiedener Starterkulturen erfolgt parallel dazu. Dabei handelt es sich um folgende Kulturen mit unterschiedlichen Funktionen:

- Milchsäuregärende Kulturen

Unterschiedliche Gattungen an Lactobacillus-Arten wie *Lactobacillus sakei* werden für die anaerobe Umsetzung verschiedener Zuckerverbindungen zu Milchsäure im Brät während der Reifephase (Milchsäuregärung) eingesetzt (Gänzle,

2015; Berg et al., 2018). Die damit verbundene Absenkung des pH-Wertes bewirkt eine Strukturveränderung der Salami während des Reifeprozesses, welche durch die Freisetzung von Wassermolekülen aus dem proteinhaltigen Muskelfleischanteil der Salami bewirkt wird. Somit kommt es zur charakteristischen Abtrocknung und Abbinden der Salami. (Gänzle, 2015; Aquilanti et al., 2016).

- Nitratreduzierende Kulturen

Durch Stoffwechselaktivitäten von Kulturen wie *Staphylococcus carnosus* wird während der Reifephase Nitrat enzymatisch zu Nitrit reduziert (Rosenstein et al., 2009).

- Aroma-Kulturen

Die arttypischen Aromen der Salami werden durch die Stoffwechselaktivitäten verschiedener *Staphylococcus* und *Lactobacillus* Gattungen während der Reifephase gebildet (Heller, 2006; Aquilanti et al., 2016).

- Schutzkulturen

Verschiedene Starterkulturen fungieren als Schutzkulturen und liefern einen wesentlichen Beitrag zur Produktsicherheit von Rohwürsten wie Salami. In ihrer Funktion als Schutzkulturen hemmen sie das Wachstum lebensmittelvergiftender und –verderbender Mikroorganismen. Dabei wird die Hemmung des Wachstums von unerwünschten Mikroorganismen durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Einer der naheliegenden Faktoren ist die Konkurrenz um Substrate und Nährstoffe. Aufgrund der zahlenmäßigen Überlegenheit der Schutzkulturen gegenüber den schädigenden Kulturen bewirkt bereits eine Hemmung des Wachstums von unerwünschten Mikroorganismen (Kabisch, 2014).

Ein weiterer Faktor ist die Absenkung des pH-Wertes. Die Vermehrung der meisten pathogenen Erreger ist unterhalb eines pH-Wertes von 5,3 nur noch stark eingeschränkt möglich. Daher wirken die *Lactobacillus* Gattungen durch die Senkung des pH-Wertes im Zuge der Milchsäuregärung als Schutzkulturen (Kabisch, 2014).

Besonders hervorzuheben ist auch die bakterizide Wirkung von Schutzkulturen. So bilden beispielsweise bestimmte *Lactobacillus sakei*-Stämme Bacteriocine, welche eine toxische Wirkung auf andere Bakterienstämme entfalten (Aasen

et al., 2000; Urso et al., 2006; Malheiros et al., 2015). Es handelt sich dabei um Proteine mit toxischer Wirkung speziell auf prokaryotische Organismen (Bakterien). Es existieren weitere bakterizide Stoffwechselprodukte, welche durch *Lactobacillus*-Arten gebildet werden. Dabei handelt sich um antagonistische Substanzen wie z. B. Wasserstoffperoxid oder Diacetyl (Zagorec & Champomier-Vergès, 2017).

Die Methodik der Zugabe an Starterkulturen weicht nicht vom konventionellen Salami-Herstellungsprozess ab. Jedoch ist im Zuge des alternativen Umröteverfahrens die Verwendung von Schutzkulturen ein fundamentaler Bestandteil. Das Fehlen des Konservierungstoffes Natriumnitrit kann unter anderem durch die Auswahl und Dosierung von Schutzkulturen partiell ausgeglichen werden. So wird in der Praxis des alternativen Umröteverfahrens eine deutlich höhere Dosierung an Starterkulturen eingesetzt.

5.4.2.4 Die Reifephase der Salami

Während des Herstellungsprozesses der Salami wird im Anschluss des Kuttervorgangs die Brätmasse in entsprechende Därme gefüllt. Die gefüllten Salamistangen werden für die Reifung an eigens dafür konstruierte Reifewägen aufgehängt. Es kommt im weiteren Verlauf zu einer ca. fünf wöchigen Reifephase. Die Salami wird je nach Sorte während der Reifephase mit kurzen periodischen Abständen unterschiedlich geräuchert. Es kommt während der Reifephase zu verschiedenen mikrobiellen Stoffwechselprozessen. Im Zentrum des Umröteprozesses steht zunächst die bakterielle Umsetzung von Nitrat zu Nitrit. Am Anfang der Reifephase werden relativ hohe Temperaturen ca. 25 °C gefahren. Vor allem in den ersten 36 h sind die warmen Temperaturen relevant. Somit werden optimale Wachstumsbedingungen in Bezug auf die verwendeten Starterkulturen geschaffen. Es kommt zu anaeroben Stoffwechselprozessen der Reifekulturen. So wird im Zuge der Nitratatmung durch *Staphylococcus carnosus* Nitrat zu Nitrit reduziert. Durch die Absenkung des pH-Wertes im Zuge der Milchsäuregärung bildet sich zunehmend undissoziierte salpetrige Säure welche sich im Dissoziationsgleichgewicht mit Nitrit-Ionen befindet (Sitzmann, 2014).

Die Verwendung eines effektiven Reduktionsmittels wie L-Ascorbinsäure katalysiert die Umsetzung von undissoziierter salpetriger Säure zu Stickstoffmonoxid. Um die Deklaration eines Zusatzstoffes wie L-Ascorbinsäure (E300) vermeiden zu können, wird Acerolakirschpulver verwendet, welches im Zuge des Kutterprozesses zugegeben wird. So kommt es zu einem hohen Eintrag an natürlichem Vitamin L-Ascorbinsäure. Das im Muskelfleisch vorhandene Myoglobin geht eine Bindung mit dem entstandenen Stickstoffmonoxid ein (Potthast, 1986; Belitz et al., 2008).

Es kommt zur Bildung des stabilen roten Farbstoffes Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin. Dies erzeugt den charakteristischen roten Farbton der Salami. Im weiteren Verlauf der Reifephase denaturiert der Proteinanteil des Myoglobins, was zur Bildung von Stickoxid-Myochromogen führt (Lücke, 1985; Baltes, 2000; Heimann, 2013). Dies stabilisiert die rote Pökelfarbe noch zusätzlich, da Stickoxid-Myochromogen gegenüber Oxidationsprozessen noch unempfindlicher ist als Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin (MbNO) (Lücke, 1985; Baltes, 2000; Heimann, 2013).

Auch die Verwendung von Rote Bete-Pulver, welches auch während des Kutterprozesses zugegeben wird, verstärkt die rote arttypische Farbgebung der Salami. Am Ende der Reifephase ist einerseits die Zielsetzung eine rote arttypische Färbung der Salami zu erhalten, jedoch andererseits auch möglichst niedrige Restnitrat- (gemessen in NaNO_3) bzw. Restnitrit-Werte (gemessen in NaNO_2) zu generieren. Dies lässt sich anhand einer genauen Dosierung der Nitrat-Quelle umsetzen. Hierzu wird ein empirischer Ansatz bevorzugt. Die Werte an Restnitrit (gemessen in NaNO_2) und Restnitrat (gemessen in NaNO_3) im Endprodukt werden analytisch ermittelt. Dies erfolgt über ein akkreditiertes Labor. Die Dosierung an nitrathaltigen Gewürzen und Gemüsepulvern wird mittels Testproduktionen so häufig wiederholt, bis eine Nitrit- bzw. Nitrat-Konzentration von < 3 ppm bzw. < 10 ppm erreicht wird. Dies lässt sich in der Praxis umsetzen und kann standardisiert werden. Anhand häufiger Analysen muss die Nitrat- bzw. Nitrit-Konzentration im standardisierten Endprodukt regelmäßig kontrolliert werden.

Im Rahmen der Milchsäuregärung kommt es durch Lactobacillen zur Umsetzung der verschiedenen Zuckerverbindungen zu Milchsäure. Durch die zunehmende Konzentration an Milchsäure sinkt der pH-Wert deutlich ab. Es werden pH-Werte im Bereich um 4,6 – 4,7 erreicht. Im weiteren Verlauf der Reifephase steigt der pH-Wert wieder

an und erreicht Werte zwischen 4,9 und 5,2. Der pH-Wert-Verlauf lässt sich anhand der Dosierung und Zusammensetzung der verschiedenen Zuckerverbindungen steuern. So erfolgt die Absäuerung deutlich schneller, wenn ein hoher Anteil an Monosacchariden wie Dextrose bzw. Glucose (DE 97-100) verwendet wird. Umgekehrt kann die Absäuerung durch einen höheren Anteil an polymerisierten Zuckerverbindungen wie Maltodextrin verlangsamt werden. Es lässt sich somit ein charakteristischer und standardisierter pH-Wert-Verlauf durch Parameter wie Konzentration und Anteile verschiedener Zuckerverbindungen generieren. Weitere Parameter wie Temperaturführung, Luftfeuchte sowie die Auswahl der Reifekulturen nehmen Einfluss auf den pH-Wert-Verlauf.

Es werden im Zuge der Reifephase auch je nach Produkt mehrere Rauchphasen ins Reifeprogramm implementiert. Dabei kommt es durch eine ungünstige Temperaturführung zur Bildung von Kondenswasser an der Oberfläche des Produktes. Infolgedessen lösen sich zahlreiche organische Säuren in der wässrigen Phase auf der Oberfläche des Produktes. Die organischen Säuren gelangen über das Kondenswasser ins Produkt und verursachen eine unangenehm saure Geschmacksrichtung. Durch eine um mindestens 2 °C kältere Rauchphase als die vorgelagerte Reifephase lässt sich die Bildung von Kondenswasser am Produkt vermeiden. Anhand dieses Beispiels wird die Relevanz der Temperaturführung im Rahmen der Reifephase verdeutlicht. Die Reifephase endet beim Erreichen einer definierten Abtrocknung. Die Abtrocknung der Salamiprodukte unterscheidet sich je nach Salamisorte. In der Regel beträgt die Reduktion ca. 26 % des Gewichts im Vergleich zum Reifebeginn. Es muss im Rahmen der Produktsicherheit ein entsprechender a_w -Wert erreicht werden. Dieser wird je nach Produkt im Bereich der Salami zwischen 0,85 und 0,90 angesetzt (Leistner, 1985; Linke, 1985; Lücke, 1985; Kabisch, 2014). Durch das Erreichen des definierten a_w -Wertes wird die mikrobiologische Stabilität generiert. Nach Abschluss der Reifung wird die Ware zum Verkauf verwendet oder entsprechend eingelagert. Salamiprodukte können bei idealen Lagerbedingungen (4-5 °C im Kühlraum) gut gelagert werden. Zur Lagerung werden Salamiprodukte vakuumiert, um eine weitere Abtrocknung zu vermeiden. Andernfalls kommt es zu einer ungünstigen Erhöhung der Salzkonzentration im Produkt, was mit einer geschmacklichen Beeinträchtigung in Bezug auf die Salzscharfe einhergeht. Weiterhin entstehen finanzielle Einbußen durch zu hohe Gewichtsverluste. Je nach Produkt können Salamiprodukte für 1-2 Monate vakuumiert eingelagert und

nach Bedarf verwendet werden. Auch in Bezug auf das alternative Umröteverfahren ohne die Verwendung des Konservierungstoffes Natriumnitrit ist dies möglich. Es zeigt sich, dass die mikrobiologische Stabilität primär vom a_W -Wert abhängt (Leistner, 1985), aber auch andere Parameter wie pH-Wert und Anfangskeimgehalt des Rohmaterials sind entscheidend (Wirth, 1984; Kabisch et al., 2008).

5.4.2.5 Mikrobiologische Stabilität von alternativ erzeugten Salamiprodukten

Die Produktion von Salamiprodukten ohne den Konservierungstoff Natriumnitrit (NaNO_2) ist umstritten. Allerdings sind a_W -Wert oder pH-Wert sehr entscheidend für eine mikrobiologische Stabilität des Produktes. Daher ergibt sich über die Steuerung dieser Werte die Möglichkeit, Salami ohne die Verwendung von Natriumnitrit zu erzeugen. So ist bei a_W -Werten unter 0,9 kaum noch mikrobielles Wachstum möglich. Der pH-Wert im Endprodukt sollte dementsprechend bei 5 oder sogar noch darunter liegen, um Wachstumsaktivitäten der relevanten Keime zu unterbinden.

So kann z. B. durch die Senkung des pH-Wertes auf einen Wert von 5 selbst bei Standardtemperaturen (25 °C) eine Hemmung des Wachstums von *Listeria monocytogenes* bei Salamiprodukten erreicht werden (Kabisch et al., 2008; Kabisch et al., 2011; Kabisch, 2014). Zusätzlich müssen bei der Salamierstellung ohne Natriumnitrit optimale Hygienebedingungen in Bezug auf die Rohwaren vorliegen. Auch die Einhaltung des a_W -Wertes ist von großer Wichtigkeit. Es sollten a_W -Werte kleiner als 0,88 angestrebt werden, um eine Vermehrung von *Listeria monocytogenes* gesichert ausschließen zu können. Ein weiterer Effekt in Bezug auf eine Reduzierung der Keimzahl nennt sich „Metabolic Exhaustion“ (Kabisch et al., 2008; Kabisch, 2014). Hierzu wird bei niedrigen pH-Werten (pH-Wert < 5) und niedrigen a_W -Werten (a_W -Wert < 0,88) im Rahmen der Reifephase die Temperatur auf bis zu 25 °C erhöht. Die höheren Temperaturen regen zu einer verstärkten Stoffwechselaktivität an, welche durch die ungünstigen Bedingungen zu einem erhöhten Absterben der Keime führt (Kabisch et al., 2008; Kabisch, 2014).

Bei der Produktion von Salami ohne die Verwendung von Natriumnitrit ist auch für die Kontrolle von *Escherichia coli* (E. coli) der pH-Wert und a_W -Wert wichtig. Bereits bei

pH-Werten von 5,8 und a_w -Werten von unter 0,97 wird die Vermehrung von *Escherichia coli* (*E. coli*) effektiv gehemmt (Kabisch et al., 2008; Kabisch et al., 2008b; Kabisch, 2014). Bei der Einhaltung dieses pH- und a_w -Wertes ergeben sich in Bezug auf die Vermehrung von *E. coli* keine signifikanten Unterschiede bei der Herstellung von Salami mit oder ohne Natriumnitrit (Kabisch et al., 2008; Kabisch et al., 2008b; Kabisch, 2014). Weiterhin ist ein besonderes Augenmerk auf die Schlachthygiene zu richten zur Vermeidung von Kontaminationen im Rohmaterial.

Für die Kontrolle von ***Salmonella spp.*** spielt der pH-Wert eine besondere Rolle. *Salmonella spp.* reagiert verglichen mit den anderen pathogenen Erregern deutlich empfindlicher auf niedrige pH-Werte (Kabisch et al., 2008), (Kabisch, 2014), (Kabisch et al., 2008b). Die Kombination von niedrigen pH-Werten ($\text{pH} < 5$) und Standardtemperaturen (25 °C), wie sie zu Beginn der Reifephase vorliegen, führt zu einer metabolischen Erschöpfung von *Salmonella spp.* (Kabisch et al., 2008; Kabisch et al., 2008a; Kabisch et al., 2008b; Kabisch, 2014). Werden alle Parameter im Endprodukt eingehalten kann auch in Bezug auf *Salmonella spp.* ein hygienisch und mikrobiologisch stabiles Produkt ohne den Einsatz von Natriumnitrit hergestellt werden. Entscheidend sind die Abtrocknung (a_w -Wert) und die Absäuerung (pH-Wert). Bei den üblichen Salamiprodukten mit entsprechender Abtrocknung (mind. 25 %) ist demzufolge kein Risiko in Bezug auf die Vermehrung von *Salmonella spp.* zu erwarten. Deutlich risikoreicher gestaltet sich die Produktion von kurzgereiften Rohwürsten wie Salamettis (kleinkalibrige Salamis). Durch die geringere Abtrocknung (a_w -Wert) ist das Risiko hier deutlich erhöht. Bei solchen Produkten sollte auf die zusätzliche antimikrobielle Wirkung von Natriumnitrit nicht verzichtet werden. Auch hier ist eine sorgfältige Schlacht- und Zerlegehygiene besonders wichtig, um Kontaminationen bereits im Rohmaterial vermeiden zu können. Ebenso kommt der Personalhygiene im Produktionsbereich eine entscheidende Bedeutung zu, da Kontaminationen von *Salmonella spp.* häufig durch mangelnde Personalhygiene verursacht werden.

Die Vermehrung von ***Clostridium botulinum*** wird analog zu den anderen genannten Erregern durch eine entsprechende Abtrocknung (a_w -Wert) beim Endprodukt effektiv verhindert (Leistner, 1985; Lücke, 1985; Lücke & Roberts, 1993). Auch die Absenkung des pH-Wertes (Absäuerung) verhindert zusätzlich die Vermehrung von *Clostridium botulinum* (Leistner, 1985; Lücke & Roberts, 1993; Schütze, 2018). Jedoch können

Clostridien Hitze (hohe thermische Belastung) sowie Trockenheit (halophile Bedingungen) überdauern, indem sie Sporen bilden (Baker, 1993; Hauschild et al., 1993; Rodloff, 2009; Schütze, 2018). Diese resistente Dauerform ermöglicht den Clostridien widrige Bedingungen zu überleben und bei entsprechend geeigneten Umweltbedingungen wieder Metabolismus und Wachstum zu betreiben (Baker, 1993; Hauschild et al., 1993; Rodloff, 2009; Schütze, 2018). Daher kann durch geeignete Abtrocknungen und pH-Werte in Salamiprodukten zwar die Vermehrung von Clostridien gehemmt, jedoch nicht die Abtötung der Keime induziert werden. Diese hemmende Wirkung wird durch die Verringerung des a_w -Wertes durch Salzzugabe und bei entsprechender Abtrocknung deutlich effizienter (Lücke et al., 1993; Schütze, 2018). Lang gereifte Rohwaren mit geringen a_w -Werten wie Salamiprodukte sind daher nicht anfällig in Bezug auf eine Vermehrung von *Clostridium botulinum* (Lücke et al., 1993; Schütze, 2018). Je nach Subtyp der verschiedenen Species von *Clostridium botulinum* unterscheiden sich die Mindest- a_w -Werte, welche noch zum Wachstum ausreichen. Sperber (1982) hat die minimalen a_w -Werte für das Wachstum verschiedener Clostridium botulinum-Typen zusammengestellt (Tabelle 05). Für die Fleischerzeugnisse sind die Clostridium botulinum-Typen A und B relevant. Andere Clostridium botulinum-Typen werden in Fleischerzeugnissen kaum nachgewiesen.

Tabelle 05: Minimaler a_w -Wert für das Wachstum von Clostridium botulinum in NaCl-haltigen Substraten (Sperber, 1982)

Clostridium botulinum-Typ	Mindest a_w-Wert	Literaturquelle
A und B	0,96	(Baired-Parker et al., 1967)
	0,955	(Denny et al., 1969)
	0,95	(Scott, 1957)
	0,94	(Ohye & Christian, 1967)
	0,94	(Marshall et al., 1971)
	0,935	(O'Mahony et al., 1990)
E	0,972	(Emodi & Lechowich, 1969)
	0,97	(Baired-Parker et al., 1967)
	0,97	(Ohye & Christian, 1967)
F	0,935	(O'Mahony et al., 1990)

Dabei zeigt sich, dass bei a_w -Werten unter 0,93 ein Wachstum verschiedener *Clostridium botulinum*-Typen nicht mehr möglich ist. Bei langereiften Salamiprodukten, welche Abtrocknungen von mindestens 25 % erreichen, liegen die a_w -Werte meist zwischen 0,88 und 0,91. Daher ist im Zusammenhang von länger gereiften Salamiprodukten keine Vermehrung von *Clostridium botulinum* oder anderen Clostridium spp. zu erwarten. Im Zuge des alternativen Umröteverfahrens können länger gereifte Salamiprodukte ohne den Zusatzstoff Natriumnitrit mikrobiologisch stabil hergestellt werden. Anders verhält es sich bei kurz gereiften Salamiprodukten wie Salamettis bzw. Salamisticks. Die Abtrocknung ist entsprechend geringer, was zu deutlich höheren a_w -Werten führt. Hier ist die Einhaltung des pH-Wertes von entscheidender Bedeutung für die mikrobiologische Stabilität. Analog zu den *Salmonella* spp. ist auch bei Clostridium botulinum Typen der Einsatz von Natriumnitrit als Konservierungsstoff ein wichtiger Faktor, um die mikrobiologische Stabilität bei kurz gereiften Rohwürsten wie Salamisticks zu verbessern (Kabisch et al., 2008a; Kabisch et al., 2011).

Zusammenfassend lässt sich in Bezug auf die Produktion von Salami feststellen, dass ein Produktionsverfahren ohne die Verwendung von Natriumnitrit möglich ist, ohne ein zusätzliches mikrobiologisches Risiko eingehen zu müssen.

5.4.2.6 Schematischer Überblick der Umrötung im Rahmen der alternativen Salamiproduktion

NO_3^- Nitrat (enthalten in getrocknetem Gemüse und getrockneten Gewürzen)

↓
Bakterielle Umsetzung durch *Staphylococcus carnosus* (Nitratatmung),
moderater pH-Wert (5,4 - 5), warmer Temperaturbereich ca. 25°C, Zeit (ca.
36 h)

NO_2^- Nitrit

↓
Chemische Umsetzung katalysiert durch L-Ascorbinsäure bzw. Acerolakirsch-
pulver
warmer Temperaturbereich (ca. 25 °C), niedriger pH-Wert (5 - 4,7, Zeit (ca. 36-
48 h)

NO Stickstoffmonoxid

↓
Bindung von NO an Mb (Stickstoffmonoxid an Myoglobin)
**Stickstoffmonoxid (NO) + Myoglobin (Mb) → Nitrosomyoglobin (Mb-
NO)**

Mb-NO Stickoxidmyoglobin bzw. Nitrosomyoglobin (Pökelrot)

↓
Bildung von MC-NO aus Mb-NO durch Denaturierung des Globinrestes auf-
grund von Gerinnungsprozessen
Nitrosomyoglobin (Mb-NO) → Nitrosomyochromogen (MC-NO)

**MC-NO Stickoxidmyochromogen bzw. Nitrosomyochromogen (stabilisiertes
Pökelrot)**

**Abbildung 02: Schematische Darstellung der Bildung von Nitrosomyoglobin
(Mb-NO) bei Salami**

Der alternative Umröteprozess führt zur Bildung von Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin. Dieses Molekül bildet das rot fargebende Pigment in Bezug auf die alternative Salamisherstellung ohne Zusatzstoffe.

5.4.2.7 Vermeidung von Nitrosaminbildung bei der Salamiproduktion

Im Rahmen der alternativen Wurstproduktion kommt es nur in Spuren zu Konzentrationen an Restnitrit (gemessen NaNO_2) im Endprodukt. Daher konvergiert auch die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Nitrosaminen gegen null. Ein weiterer Effekt ist die Verwendung von L-Ascorbinsäure. Diese wird in Form der Acerolakirsche, welche sehr hohe Konzentrationen an L-Ascorbinsäure enthält, verwendet. Vitamin C bzw. L-Ascorbinsäure fungiert als starkes Reduktionsmittel und führt zu einer inhibierenden Wirkung auf die Bildung von Nitrosaminen (Metzger, 2011; Veena & Rashmi, 2014). Die inhibierende Wirkung beruht auf der Reduktion von Distickstofftrioxid zu Stickstoffmonoxid. Im Zusammenhang mit der Bildung von kanzerogenen N-Nitrosaminen fungiert Distickstofftrioxid als reaktives Agens. Daher verringert die Reduktion des reaktiven Agens Distickstofftrioxid zu Stickstoffmonoxid effektiv die Bildung von kanzerogenen N-Nitrosaminen (Marquardt & Schäfer, 2004; Efferth, 2006).

Im Zusammenhang mit der Inhibierung der Nitrosaminbildung ist α -Tocopherol als Reduktionsmittel zu berücksichtigen (Jira, 2003; Marquardt & Schäfer, 2004; Efferth, 2006). Durch die reduktiven Eigenschaften von α -Tocopherol kommt es zum Abbau nitrosierender Agentien sowie von Nitrosaminen. α -Tocopherol wird dabei zu α -Tocopherylchinon reduziert. Die inhibierende Wirkung von L-Ascorbinsäure und α -Tocopherol kann durch die Kombination beider Verbindungen gesteigert werden. So ist die inhibierende Wirkung von L-Ascorbinsäure und α -Tocopherol auf Nitrosamine in Kombination höher als bei den jeweiligen einzelnen Verbindungen (Jira, 2003). In der Praxis wird jedoch α -Tocopherol in der Wurstproduktion kaum verwendet.

Beim alternativen Verfahren der Wurstproduktion ohne den Zusatzstoff Natriumnitrit werden im Rahmen des alternativen Umröteverfahrens nachfolgende Maßnahmen zur Vermeidung der Nitrosaminbildung unternommen (Tabelle 06).

Tabelle 06: Darstellung der inhibierenden Faktoren in Bezug auf die Nitrosaminbildung beim alternativen Umröteverfahren im Zuge der Wurstproduktion ohne Zusatzstoffe

Maßnahmen zur Vermeidung der Nitrosaminbildung	Wirkung auf die Nitrosaminbildung
<p>Verzicht auf den Zusatzstoff Natriumnitrit (NaNO_2)</p> <p>Es werden im Zuge des alternativen Umröteverfahrens nitrathaltige Zutaten verwendet, welche im Verlauf des Verfahrens zu Nitrit reduziert werden. Die gebildeten Mengen an Restnitrit (gemessen in NaNO_2) sind nur in Spuren nachweisbar. Der Prozess und die zugeführte natürliche Nitratmenge werden an die Konzentration an Restnitrit im Endprodukt angepasst. Die zugeführte natürliche Nitratmenge wird im Verlauf des Prozesses fast vollständig zu Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin umgewandelt.</p>	<p>Der Ausgangsstoff (Nitrit-Ionen (NO_2^-)) zur Bildung von Nitrosaminen ist nur in Spuren nachweisbar.</p> <p>Durch die sehr geringe Konzentration an Nitrit-Ionen im Endprodukt kann es entsprechend auch nur zu sehr geringen Konzentrationen an nitrosierenden Agentien kommen, welche den Prozess der Nitrosaminbildung induzieren. Durch die fast vollständige Abwesenheit von Nitrit-Ionen wird die Bildung von Nitrosaminen sehr effektiv gehemmt.</p>
<p>Verwendung von Acerolakirschpulver als Zutat in der Wurst</p> <p>Während des Kutterprozesses wird Acerolakirschpulver der Brätmasse beige-mengt. Über die Acerolakirsche gelangt natürliches Vitamin C bzw. L-Ascorbinsäure in die Brätmasse.</p>	<p>Die L-Ascorbinsäure induziert eine effektive Hemmung der Nitrosaminbildung</p> <p>Die L-Ascorbinsäure wirkt als effektives Reduktionsmittel, wodurch nitrosierende Agentien reduziert werden. Dadurch kommt es zu einer wirksamen inhibierenden Wirkung in Bezug auf die Bildung von Nitrosaminen.</p>

<p>Fortsetzung: Maßnahmen zur Vermeidung der Nitrosaminbildung</p>	<p>Fortsetzung: Wirkung auf die Nitrosaminbildung</p>
<p>Verwendung von Rohstoffen, welche über eine höhere Konzentration an Vitamin E bzw. α-Tocopherol verfügen</p> <p>Im Rahmen der Wurstproduktion ohne Zusatzstoffe wird kein handelsübliches konventionelles Schweinefleisch verwendet. Es wird Schweinefleisch aus verschiedenen Qualitätsprogrammen verwendet, welche deutlich höhere Anforderungen beinhalten als der konventionelle Standard. Entsprechend den Richtlinien sind im Mineralfutter 2-3-mal höhere Mengen an Vitamin E bzw. α-Tocopherol vorgeschrieben. Somit kommt es zu deutlich höheren Konzentrationen an Vitamin E bzw. α-Tocopherol im nativen Fleisch, welches als Rohware zur Wurstproduktion dient.</p>	<p>Inhibierende Wirkung in Bezug auf die Bildung von Nitrosaminen durch höhere Konzentrationen an Vitamin E bzw. α-Tocopherol im Rohmaterial</p> <p>Über die höhere Konzentration an Vitamin E bzw. α-Tocopherol im Rohmaterial gelangt auch eine entsprechend höhere Konzentration an Vitamin E bzw. α-Tocopherol in die fertigen Wurstwaren. Analog zur L-Ascorbinsäure fungiert α-Tocopherol als Reduktionsmittel und inhibiert die Bildung von Nitrosaminen. Es kommt jedoch noch die verstärkende inhibierende Wirkung hinzu, welche durch die Kombination der beiden Reduktionsmittel L-Ascorbinsäure und α-Tocopherol induziert wird.</p>
<p>Ausschluss von Sauerstoff (O₂) während des Kuttervorgangs</p> <p>Auch in Bezug auf die Vermeidung von Nitrosaminen wirkt sich die Technologie des Vakuumkutters positiv aus. Während des Kuttervorgangs wird Vakuum gezogen, was zur Vermeidung von Luft einschließen im Wurstbrät führt. Es kommt zu einem geringeren Sauerstoffgehalt im Wurstbrät. Alternativ kann das</p>	<p>Die geringere Konzentration an Sauerstoff (O₂) im Wurstbrät bewirkt eine Verminderung oxidativer Prozesse, was die Inhibierung der Nitrosaminbildung begünstigt.</p> <p>Durch oxidative Prozesse im Wurstbrät kommt es vermehrt zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid. Stickstoffdioxid befindet sich im Reaktionsgleichgewicht mit Distickstofftrioxid</p>

<p>Fortsetzung: Maßnahmen zur Vermeidung der Nitrosaminbildung</p>	<p>Fortsetzung: Wirkung auf die Nitrosaminbildung</p>
<p>Vakuum auch durch ein Inertgas wie molekularer Stickstoff ersetzt werden. Auch in diesem Zusammenhang wird die Konzentration an molekularem Sauerstoff im Wurstbrät effektiv gesenkt. Das Vakuumkuttern bewirkt zudem noch verschiedene andere Vorteile, welche in den vorhergehenden Kapiteln diskutiert werden.</p>	<p>und Distickstofftetraoxid, welche als stark nitrosierende Agentien fungieren, (Jira, 2003; Holleman et al., 2016). Außerdem kommt es durch Oxidation mit molekularem Sauerstoff zur Bildung von Dehydroascorbat aus Ascorbat (Jira, 2003). Die reduktiven und damit inhibierenden Eigenschaften der L-Ascorbinsäure werden dadurch im Zusammenhang mit der Nitrosaminbildung stark verringert. Daher wirkt sich die Abwesenheit von Sauerstoff förderlich auf die inhibierende Wirkung der Nitrosaminbildung aus.</p>

Unter Berücksichtigung der verschiedenen aufgeführten inhibierenden Faktoren der Nitrosaminbildung kann davon ausgegangen werden, dass es im Zuge des alternativen Umröteverfahrens ohne die Verwendung von Natriumnitrit nicht zur Bildung von Nitrosaminen kommt. Die zusätzlichen inhibierenden Faktoren im Vergleich zur Produktion mit dem Zusatzstoff Natriumnitrit führen zu einer verbesserten und gesundheitlich sichereren Produktionsweise in Bezug auf die Bildung von Nitrosaminen.

6. Methoden

6.1 Chemische Analysemethoden und Probenahme

6.1.1 Phosphatzusatz in Fleischerzeugnissen

Entscheidend für Lebensmittelbehörden und Untersuchungsämter ist die Ermittlung des Phosphatzusatzes in Fleischerzeugnissen. Als Messgröße dient die von Niggemann (1953) definierte P-Zahl (Phosphat-Zahl):

$$P - Zahl = \frac{\text{Konzentration an } P_2O_5 \text{ in } \% \cdot 100}{\text{Konzentration an Rohprotein in } \%}$$

Zur Bestimmung der P-Zahl wurden folgende analytischen Methoden verwendet (siehe Tabelle 07)

Tabelle 07: Untersuchungsmethoden in Zusammenhang mit der P-Zahl Bestimmung

(Blüchel & Honikel, 2006; Matissek & Steiner, 2006; DAkkS, 2018)

Analyseparameter	Untersuchungsmethode nach DAkkS
Gesamteiweiß in Prozent	§ 64 L 06.00-7 Bestimmung des Rohproteingehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen; Titrimetrisches Verfahren nach Kjeldahl; Referenzverfahren
Gesamtposphatgehalt (P_2O_5) in Prozent	§ 64 L 06.00-9 Bestimmung des Gesamtposphorgehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen; Photometrisches Verfahren

6.1.2 pH-Wert

Die Bestimmung des pH-Wertes bei Brühwurst wurde anhand einer standardisierten Untersuchungsmethode nach DAkkS (ASU L 06.00-2 (1980-09) [a]) vom akkreditierten Labor des Instituts Metakom (Feuchtwangen; Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025) durchgeführt. (Blüchel & Honikel, 2006; DAkkS, 2018)

6.1.3 Nitrat/Nitrit

Die **Nitrat/Nitrit-Analysen** bei Brühwurst- und Salamiprobe wurden ebenfalls vom akkreditierten Labor des Instituts Metakom nach dem standardisierten Analyseverfahren nach DAkkS (ASU L07.00-12) untersucht. (Blüchel & Honikel, 2006; DAkkS, 2018)

6.1.4 Nitrosamine

Die Salamiprobe wurden in einem akkreditierten Labor auf die Konzentrationen an N-Nitrosaminen untersucht. Es handelte sich dabei um das Chemische Labor Dr. WIRTS + Partner. In Tabelle 08 sind die verschiedenen untersuchten N-Nitrosamine sowie die akkreditierte Analyseverfahren aufgeführt.

Tabelle 08: Untersuchungsmethode der verschiedenen N-Nitrosamine

Spezifisches N-Nitrosamin	Analyseverfahren
N-Nitrosodimethylamin (NDMA)	ASU L 00.00-17; GC/TEA
N-Nitrosodiethylamin (NDEA)	ASU L 00.00-17; GC/TEA
N-Nitrosodipropylamin (NDPA)	ASU L 00.00-17; GC/TEA
N-Nitrosodibutylamin (NDBA)	ASU L 00.00-17; GC/TEA
N-Nitrosomorpholin (NMOR)	ASU L 00.00-17; GC/TEA
N-Nitrosopiperidin (NPIP)	ASU L 00.00-17; GC/TEA
N-Nitrosopyrrolidin (NPYR)	ASU L 00.00-17; GC/TEA

6.2 Mikrobiologische Untersuchungen

Die in dieser wissenschaftlichen Untersuchung auf Basis von Literatur entwickelte Theorie für eine Innovation in der Warmfleischverarbeitung zur Produktion von Brühwurst ohne Zusatzstoffe (in Dosen) wurde im industriellen Maßstab bei der BESH getestet. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die mikrobielle Stabilität der Brühwurst gerichtet. Die dazu notwendigen mikrobiologischen Untersuchungen wurden im akkreditierten Labor Metakom durchgeführt und sind in der Tabelle 09 dargestellt.

Tabelle 09: Untersuchungsmethoden verschiedener relevanter Keime bei Brühwurstprodukten in Konserven nach DakKS

Relevanter Keim	Untersuchungsmethode nach DAkKS
Gesamtkeimzahl für Brühwurst	ASU L 00.00-88/2 (2015-06) Horizontales Verfahren für die Zählung von Mikroorganismen, Teil 2: Koloniezählverfahren bei 30 °C mittels Oberflächenverfahren. (Übernahme der gleichnamigen Norm DIN EN ISO 4833-2:2014-05)
Gesamtkeimzahl für Salami	ASU L 06.00-18 (1984-05) Untersuchung von Lebensmitteln – Bestimmung der aeroben Keimzahl bei 30 °C in Fleisch und Fleischerzeugnissen; Spatel- und Plattengussverfahren (Referenzverfahren) (Abweichung: Bebrütungsdauer, Spiralplater- statt Plattengussverfahren, Matrix Lebensmittel allgemein)
Milchsäurebakterien (Lactobacillales)	ASU L 06.00-35 (2017-10) Untersuchung von Lebensmitteln – Bestimmung von aerob wachsenden Milchsäurebakterien in Fleisch und Fleischerzeugnissen - Spatelverfahren (Referenzverfahren) (Modifizierung: Anwendung auf Lebensmittel, Gussverfahren, MRS-Agar, auch Bestimmung von anaerob wachsenden Milchsäurebakterien)
Sulfitreduzierende Clostridien	ASU L 06.00-39 (2017-10) Untersuchung von Lebensmitteln – Bestimmung von mesophilen sulfitreduzierenden Clostridien in Fleisch und Fleischerzeugnissen – Plattengussverfahren (Referenzverfahren)
Anaerobe Sporenbildner mit Gasbildung	VDLUFA VI, M 7.18.2.1 (1996) Bestimmung der gasbildenden, anaeroben Sporen (Clostridien) – Verfahren mit RCM-Agar

6.3 Sensorische Untersuchungen

Alle Prüfungen (sowohl Ratings als auch Dreieckstests) wurden im Sensorik Labor der Universität Kassel in Witzenhausen durchgeführt. Der Prüfraum ist nach DIN EN ISO 8589 (2014) ausgestattet und daher in der Lage Temperatur, Feuchtigkeit und Licht konstant zu regulieren. Das Labor ist ein geruchsfreier Raum mit einem eingebauten Ventilationssystem. Für die Untersuchungen war das Ventilationssystem aktiviert und die Temperatur auf 20 °C eingestellt. Das Labor ist mit 12 fest verbauten Kabinen ausgestattet. Diese ermöglichen eine sensorische Bewertung bei minimaler Ablenkung. Zwischen Servierbereich und Prüfkabine befindet sich eine Luke für jede Kabine, durch die die Proben gereicht werden. (Foto 01)



Foto 01: Einblick in das Sensoriklabor

Jede Kabine ist mit weißen, blauen und roten Leuchtstoffröhren ausgestattet. Das Rotlicht war während der Dreieckstests auf Unterschied an, so dass die Proben farblich

nicht unterscheidbar waren, und die Probanden sich nur auf den Geschmack orientieren mussten. Während der Ratings war das Weißlicht an, so dass die Farben der Produkte erkennbar waren. Zudem befindet sich ein bequemer Stuhl, ein PC inkl. Monitor, Maus und Tastatur sowie ein Speibecken darin. Durch das Drücken eines Knopfes in der Kabine kann jede Testperson signalisieren, dass die eigene Untersuchung abgeschlossen ist. Die ermittelten Daten (z.B. ranking) werden von den Probanden direkt via Tastatur in das Computerprogramm eingegeben (FIZZ- Software für Sensorik). Für die Versuche wurden als Neutralisationsmittel gefiltertes Wasser und ein Glas mit kaltem Schwarztee (ALNATURA Schwarztee, dreiminütiger Aufguss mit gefiltertem Wasser) zur Verfügung gestellt.

Die **Dreieckstests** wurden nach den Vorgaben in der DIN EN ISO 4120 durchgeführt und sofort im Rahmen der Untersuchungen statistisch ausgewertet.

Das **Rating** für Farbe, Konsistenz und Gesamtpräferenz wurde gemäß DIN EN ISO 8586 (2014-05) mittels einer ordinalen Skala von 1 bis 9 (1 „spricht mich gar nicht an“; 5 „weder noch“; 9 „spricht mich absolut an“) ermittelt. Dafür wurde jeweils ein Zahlenstrahl mithilfe der Software FIZZ (Version 2.50) über den vorhandenen Monitor in den Kabinen eingeblendet. Hier wurden die jeweiligen Produkte individuell nacheinander in randomisierter Reihenfolge präsentiert und auf alle drei Attribute hin bewertet.

6.4 Statistische Auswertung

6.4.1 Chemische Analysen

6.4.1.1 Nitrat- und Nitritgehalte von Brühwurst und Salami

Die P-Werte, die pH-Werte und die Nitrit- und Nitratgehalte von Brühwurst in Dosen aus den drei Versuchen wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test (Steel & Torrie, 1980) auf Normalverteilung überprüft. Analog wurde mit den Ergebnissen der Analysen von Salami verfahren. Da die Residuen normalverteilt und die Varianzen homogen waren konnten die Werte mittels einer einfachen ANOVA verglichen werden. Für diese statistische Auswertung die Software Minitab 17 (Minitab, 2010) verwendet.

Für die grafische Darstellung der Verteilung der ordinalskalierten Parameter wurde die Kastengrafik oder Boxplot gewählt, da hiermit die verschiedenen Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammengefasst sind. Mit dem Boxplot wird dargestellt, wie die Verteilung der Daten in einem bestimmten Bereich vorliegt. In den Boxplots werden daher der Median (solide Linie in der Box), die beiden Quartile (obere und untere Begrenzung der Box) und die beiden Extremwerte (Linie, die über die Box hinausragt) dargestellt. Zusätzlich wurde in der vorliegenden Arbeit noch der Mittelwert der Analysen und wo sie vorlag, auch eine statistische Absicherung angegeben.

6.4.1.2 Nitrosaminkonzentrationen von Salamiprodukten

Für die Nitrosaminkonzentrationen der Salamiprobe konnte über alle drei Versuche keine deskriptive oder inferiore Statistik durchgeführt werden. Allerdings traten bei der Variante 3 des Stresstests (230 °C für 15 Minuten) Erhöhungen der Nitrosaminkonzentrationen in der Salami auf. Daher wurde für diesen Ergebnisteil eine einfaktorielle ANOVA (Steel & Torrie, 1980) durchgeführt.

6.4.2 Mikrobiologische Untersuchungen

Bei diesen Untersuchungen war keine statistische Bearbeitung der Daten notwendig (siehe Ergebnisse).

6.4.3 Sensorik

6.4.3.1 Rating

Aus den zwei Werten der Wiederholungen des Ratings wurde das arithmetische Mittel errechnet und als Basis für die weitere deskriptive und inferiore Statistik verwendet. Im Rahmen der inferioren Statistik wurden die Unterschiede zwischen den Produkten separat für jedes Attribut (Farbe, Konsistenz, Gesamtpräferenz) jeweils mit Hilfe einer Varianzanalyse auf einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ geprüft (Quadt et al., 2009). Die Voraussetzung der Normalverteilung wurde mit des Shapiro-Wilk-Tests (Steel&

Torrie, 1980), während die Voraussetzung der Varianzhomogenität mit Levene-Tests untersucht wurde (Quadt et al., 2009). Waren die Varianzanalysen signifikant ($p \leq 0,05$), so wurde der Duncan-Test (Duncan's Multiple Range Test) durchgeführt (Quadt et al., 2009). Durch paarweise Vergleiche ermöglicht es dieser post-hoc Test herauszufinden, welche Produkte sich signifikant voneinander unterscheiden.

6.4.3.2 Dreieckstest

Die Nullhypothese (H_0) und Alternativhypothese (H_1) zum Dreieckstest auf Unterschied der Wurstprodukte lautete:

H_0 : Das Wurstprodukt mit Phosphat und Nitritpökelsalzzusätzen ist gustatorisch nicht von den anderen Produkten unterscheidbar.

H_1 : Das Wurstprodukt mit Phosphat und Nitritpökelsalzzusätzen unterscheidet sich gustatorisch von den anderen Produkten.

Für jede Produktgegenüberstellung wurde der Mittelwert der Anzahl der richtigen Antworten beider Wiederholungen errechnet. War dieser keine einfache Zahl, sondern eine Dezimalzahl mit einer 5 in der Nachkommastelle, so wurde abgerundet. Dieser konservative Ansatz reduziert das Risiko eines fälschlicherweise signifikanten Ergebnisses. Die Dreieckstests mit Prüfung auf Unterschied wurden durchgeführt, indem die Anzahl der Probanden und die Anzahl der korrekten Antworten in das Excel-Template (Quadt et al., 2009) eingetragen und der α -Wert abgelesen wurde. Der α -Fehler gibt dabei an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Unterschied zwischen den 2 im jeweiligen Test verglichenen Proben festgestellt wird ($p \leq 0,05$). Die Ergebnisse wurden auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test und die Varianzhomogenität mit Grafiken der Residuen versus der modellierten Werte und den durchgeführten F-Tests untersucht.

7. Empirischer Teil

Dieses Forschungsvorhaben bewegt sich im Rahmen der erweiterten interdisziplinären Forschung und ist durch die Einbindung von Akteuren außerhalb der akademischen Welt zur Lösung lebensweltlicher Probleme methodisch durchaus als transdisziplinär zu bezeichnen, denn sie beinhaltet die Zusammenarbeit mit Praxisakteuren. „Praxisakteure stehen hier für Personen außerhalb des Wissenschaftssystems, die direkt oder indirekt von dem zu lösenden lebensweltlichen Problem betroffen sind oder nutzenstiftende Erfahrungen und Kenntnisse besitzen und daher auch am Problemlösungsprozess beteiligt werden“ (Dubielzig & Schaltegger, 2004) S. 6. (Repko & Szostak, 2016) betrachten die Transdisziplinarität analog (S. 25: “transdisciplinarity involves the integration also of insights generated outside the academy”), sehen sie aber in der Aktionsforschung oder heute moderner als „participatory action research“ real umgesetzt. Das Ziel ist es, „an konkreten Problemen aus der Praxis anzusetzen und direktes Handeln zu ermöglichen. Die Beziehung zwischen Forscher und Betroffenen zeichnet sich durch symmetrische Kommunikationsstrukturen aus“, wie Kurt Lewin schon 1953 (Lewin et al., 1953) S. 280 feststellte. Dadurch entwickelt sich ein zyklischer Forschungsverlauf, in dem die gemeinsame Projektplanung, im vorliegenden Projekt die gemeinsame Modellentwicklung, in konkretes Handeln übergeht und die daraus resultierenden Ergebnisse gemeinsam ausgewertet werden. Dies kann dann zu weiteren Planungen führen, die weitere Aktionen initiieren. Ziel eines solchen Forschungsprozesses ist Realitätshaltigkeit und Transparenz, Praxisrelevanz und Interaktion (Whyte et al., 1991).

Daher wurde mit den in Kapitel 4 dargelegten wissenschaftlichen Befunden für die Herstellung von Brühwurst- und Salamiprodukten die Theorie für die Herstellung solcher Produkte ohne die Verwendung von Zusatzstoffen abgeleitet. Diese bildete die Grundlage für die Entwicklung eines Modells für innovative technologische Umsetzungen in der Praxis unter Mitwirkung von Akteuren aus der Praxis. Die Ergebnisse der bisherigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und auch die Erfahrung der Akteure aus der Praxis deuteten alle darauf hin, dass für die Erreichung der Ziele dieser Forschungsarbeit (s. Kapitel 3) die Warmfleischverarbeitung von zentraler Bedeutung ist.

Diese bisher nur in handwerklichem Maßstab praktizierte Technik musste daher mittels innovativer Verfahrensschritte für die großtechnische Anwendung entwickelt und in der Praxis überprüft werden. Besondere Eckpunkte dabei sind:

- a) Die Bildung eines wissensbasierten innovativen Modells auf Basis der theoretischen Grundlagen aus Kapitel 5.
- b) Die Entwicklung dieses Modells zur Praxisreife bei der:
 - 1) die dazu notwendigen Prozessschritte durchzuführen und gegebenenfalls zu modifizieren sind,
 - 2) die Rezepturen für die Wurstherstellung zu entwickeln,
 - 3) Aufbau einer auch für die Qualitätskontrolle und -sicherung wichtigen EDV-basierten Dokumentation.
- c) Brühwurst- und Salamiprodukte so herzustellen, dass sie chemisch-analytisch einwandfrei, mikrobiologisch unbedenklich und geschmacklich den Erwartungen der Konsument*innen entsprechend sind.

Diese wissenschaftliche Arbeit folgt demnach den Grundsätzen der Aktionsforschung (participatory action research) und daher wurde dieses innovative Modell in großtechnischem Maßstab als Forschungs- und Entwicklungsvorhabens bei der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall (BESH) auf seine Praxistauglichkeit und Standardisierung geprüft und weiterentwickelt.

7.1 Brühwurstproduktion ohne Zusatzstoffe

Voraussetzung für die Gewinnung von qualitativ hochwertigem Warmfleisch ist die humane (tierschutzgerechte) Behandlung der Tiere vor der Schlachtung. Gute Bedingungen dazu sind bei der BESH vorhanden, denn die Tiere werden entweder vom Erzeuger direkt zum nahegelegenen Schlachthof gefahren oder von einem Spezialfahrzeug der BESH beim Erzeuger abgeholt. Die Schlachtschweine werden zur Vermeidung von Stress in speziell ausgestatteten Ruhebuchten gehalten und zur Beruhigung regelmäßig mit temperiertem Wasser berieselt. Sämtliche Tiere werden auf ihren Gesundheitszustand untersucht und nur, wenn dieser einwandfrei ist, wird ein Tier zur Schlachtung

frei gegeben. Die Betäubung und Schlachtung der Tiere erfolgt nach höchstem fachlichen Standard (1,3 A bei 4 ms).

Für die Verarbeitung der Schlachthälften (Schwein) zu Warmfleisch wurden im Rahmen dieser Arbeit auf Grundlage des Standes der wissenschaftlichen Forschung dargestellt in Kap.4 und des in Kap.5 theoretisch herausgearbeiteten Modells, Parameter festgelegt, die für die Erzeugung von qualitativ hochwertigem Warmfleisch für die Brühwurst wichtig sind:

- a) Dauer des Zerlegevorgangs max. 60 – 80 Minuten,
- b) Homogene Durchmischung des Warmfleisches mit Kochsalz,
- c) pH-Werte-Bereich 6,4-6,8 des Warmfleisches,
- d) Verhinderung der Erwärmung des Fleisches bei der Schrotung durch Zugabe von Wassereis,
- e) Quellung der Aktin- und Myosinmoleküle durch Salzzugabe. Es kommt zur Wasseraufnahme des Warmbräts,
- f) Schnelle Kühlung des gesalzenen und geschroteten Warmfleisches,
- g) Lagerung des Warmfleisches.

Ob und wie diese für eine optimale Produktion von Warmfleisch theoretisch hergeleiteten Parameter in der Praxis umzusetzen bzw. auch zu modifizieren sind wurde, anhand von drei Praxisversuchen geprüft.

7.1.1 Versuchsanlage und – Durchführung

Für die Gewinnung von Warmfleisch sind besondere Anforderungen an den gesamten Produktionsprozess zu stellen. Dies beginnt schon bei der Haltung und Fütterung der Tiere, in diesem Fall aus ökologischer Landwirtschaft, und setzt sich fort bei der Anlieferung und Haltung der Tiere vor der Schlachtung. Wie schon zuvor dargelegt, liegen hierfür im Regionalschlachthof der BESH in Schwäbisch Hall günstige Bedingungen vor. Die Zerlegung der Schlachtkörper muss den besonderen Anforderungen für die Warmfleischverarbeitung entsprechen (ATP-Konzentration $> 1,5 \frac{\mu\text{mol}}{\text{g}}$, Verarbeitung von Schweinefleisch innerhalb einer Stunde nach der Schlachtung, pH₁-Wert 6,2 - 6,7,

Temperatur > 30°C). Dies gilt analog für das Warmschroten und die Bevorratung des Warmfleisches.

7.1.1.1 Grundsätze für die Warmfleischgewinnung und -bevorratung

Für den Materialfluss bei der Warmfleischverarbeitung aus Schweinefleisch im großtechnischen Maßstab wurde ein entsprechendes Materialfluss-Programm theoretisch entwickelt (Abb. 03), welches im Rahmen der durchgeführten Versuche bei der BESH auf seine Praxistauglichkeit überprüft wurde.

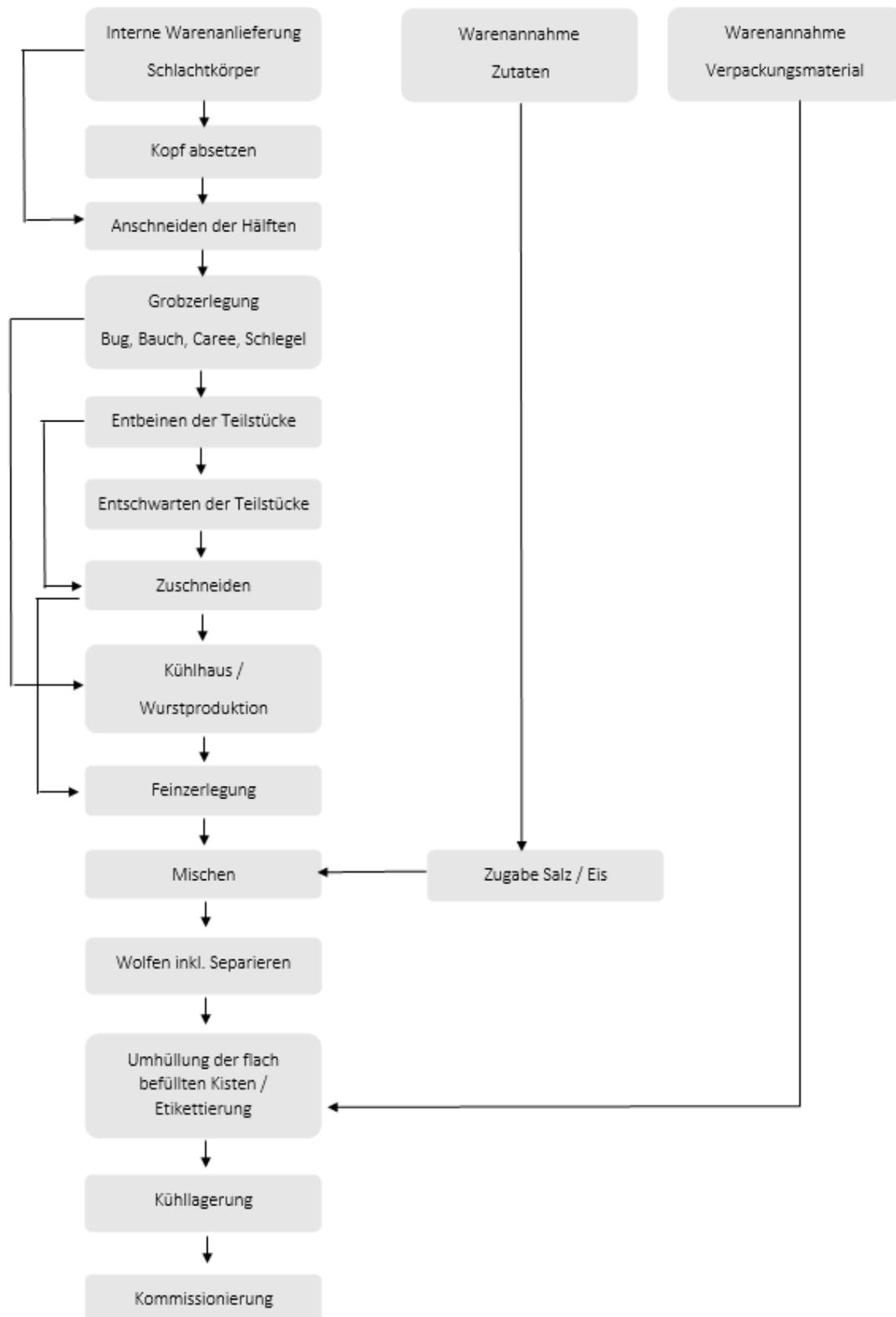


Abbildung 03: Das theoretisch erarbeitete Materialflussdiagramm der Warmfleischherzeugung aus Schweinefleisch für die Praxisversuche bei der BESH

Warmfleischgewinnung auf der Grundlage des theoretischen Materialflusses

Bei der Klassifizierung der Schlachtkörper wird mittels eines standardisierten Messverfahrens (FOM) die Rückenspeckdicke und der Magerfleischanteil bestimmt. Der Magerfleischanteil ist anhand einer Preismaske relevant für die Auszahlungspreise für die Bauern, der zusätzlich vom pH₁ bzw. pH₄₅-Wert bestimmt wird. Der pH₁ bzw. pH₄₅ und die Temperatur werden unmittelbar nach der Klassifizierung bei den Schweinehälften in Keule und Kotelett erfasst. Die Kommissionierung der Schweinehälften wird auch an dieser Messstelle vorgenommen und für die Warmfleischverarbeitung eine Vorauswahl der Schweinehälften getroffen. Muskelfleisch mit einem hohen pH-Wert eignet sich besser für die Warmfleischverarbeitung und daher werden hier Schweinehälften, welche über einen pH-Werte im Muskelfleisch von 6.0 oder darüber verfügen, entsprechend gekennzeichnet.

Diese markierten Schweinehälften für die Warmfleischzerlegung werden nun möglichst schnell der Zerlegung in einem entsprechend gekühlten Zerlegebereich zugeführt, welcher direkt in den Räumlichkeiten des Erzeugerschlachthofs integriert ist, wodurch die unmittelbare Warmzerlegung nach der Schlachtung nach 45-50 Minuten gewährleistet ist. Um den Anteil an ATP-haltigen Muskelfleisch bei der Warmfleischverarbeitung zu erhöhen, werden die Schlegel für das Warmbräten eingesetzt. Hierzu werden aus dem Schlegel die einzelnen Teilstücke wie Nuss, Oberschale und Unterschale herausgelöst. Diese ATP-haltigen Muskelfleischstücke werden im Vergleich zur konventionellen Wurstproduktion in diesem Produktionsprozess benötigt, um einen entsprechenden Anteil an wasserbindenden Polyphosphaten zu generieren. Die übrigen Fleischabschnitte werden grob sortiert und den beiden Qualitätsstufen S II (mageres Schweinefleisch ohne Sehnenanteil) und S III (Schweinefleisch mit geringem Sehnenanteil und maximal 5 % sichtbarem Fett) zugeordnet und für die Herstellung von Warmbrät bereitgestellt. Durch die Optimierung des Zerlegeprozesses für das Warmbräten läuft dieser beschleunigt ab. Die vorbereiteten Rohmaterialien zum Warmbräten werden im Anschluss unverzüglich in die Feinzerlegung gebracht, wo Temperatur, Gewicht und die Qualitätsstufe dokumentiert werden.

In der Feinzerlegung bei der BESH befindet sich ein für das Warmbräten geeigneter Mischwolf der Firma Seydelmann. Das Rohmaterial wird in den Mischwolf verbracht wird und anschließend 2 % Kochsalz bezogen auf die gewogene Rohwarenmenge

zugegeben. Diese Mischung wird so lange gemischt, bis eine homogene Verteilung des Kochsalzes erreicht ist. Im nächsten Prozessschritt werden 5 % Wassereis in den Mischwolf gegeben und solange vermengt bis eine gleichmäßige Verteilung im Gemenge entsteht. Das Gemenge wird anschließend mit einer 3 mm Lochscheibe gewolft. Um den Anteil an unerwünschten Sehnen im Warmbrät zu verhindern, werden durch einen speziellen Wolfaufsatz (Trennsatz) Sehnen herausgelöst und separiert. Zur Vermeidung von Denaturierungsprozessen des Proteins bei der Verarbeitung wird der Fleischmasse Wassereis zugesetzt. Zudem wird das gewolfte Fleisch flach in E2-Kisten zur Hälfte gefüllt, um eine schnellere Auskühlung zu erzielen. Hierzu werden die E2-Kisten maximal bis zur Hälfte befüllt und umgehend in einen Kühlraum mit 0 Grad C gebracht. Das Warmfleisch kühlt somit sehr schnell auf eine Temperatur von etwa 3 °C runter. Das Warmfleisch wird innerhalb von 3 Tagen im Rahmen der Brühwurstproduktion weiterverarbeitet. Alternativ wird je nach Bedarf an benötigtem Warmfleisch für die Brühwurstproduktion das in E2-Kisten befindliche, gesalzene und gewolfte Warmfleisch direkt in einen entsprechenden Tiefkühlraum (-18 °C) gebracht, wo es schneller auskühlt und somit länger gelagert werden kann.

7.1.1.2 Versuchsdurchführung

Zum Praxistest des theoretisch erarbeiteten Materialflusses wurden drei Versuchsreihen an drei zufällig ausgewählten Tagen für die Warmfleischerzeugung im großtechnischen Maßstab durchgeführt. Beim ersten Versuch wurde ein Teil der Tagesproduktion und zwar 28 Schweinehälften mit einer Warmfleischproduktionsmenge von insgesamt 93,4 kg erfasst. In den beiden folgenden Versuchen wurde jeweils die gesamte Tagesproduktion von Warmfleisch verwendet und zwar in Versuch 2 von 30 Schweinehälften 303,4 kg und in Versuch 3 von 36,5 Schweinehälften 437,5 kg Warmfleisch. Die einzelnen Versuchsabschnitte sind bezüglich des zeitlichen Ablaufs, des Ortes und der Materialien für die einzelnen Arbeitsschritte, des Temperaturprofils und der Durchführung der Arbeitsschritte sind im Folgenden tabellarisch dargestellt. Die Messungen der Temperatur wurden bei jedem Produktionsschritt an 5 unterschiedlichen und repräsentativen Stellen im Rohmaterial gemessen und der Mittelwert berechnet, der dann dem jeweiligen Produktionsschritt zugeordnet wurde. An den gleichen Stellen wurden auch die pH-Wert Messungen vorgenommen.

Die Angaben in den tabellarischen Versuchsprotokollen für die Warmfleischerzeugung umfassen den gesamten Arbeitsablauf von der Kommissionierung der Schweinehälften bis zum Salzen und dem anschließenden Wolfen, inkl. Separieren.

Tabelle 10: Versuch 1 – Teil einer Tagesproduktion

Anzahl der Schweinehälften	28	Dauer von Kommissionierung bis zur ersten Salzung	69 Minuten
produziertes Warmfleisch	93,4 kg		
	Uhrzeit	Wo?	Temperatur
	06:15	Kommissionierung	Ø 40°C
			- Messung von Temperatur und pH-Wert in der Keule - Entfernung von Ohrmuschel, Ohrmarke und Auge - Abtrennen von Kopf mit Backe
	06:29	Raum Grobzerlegung	Ø 39,9°C (in der Keule)
			- reinschieben der Schweinehälften
	06:32	Grobsäge	
			- erste Schweinehälfte wird gesägt
	06:35	Zerlegung	
			Grobzerlegung Bug, Bauch, Karee, Schlegel
	07:01	Edelstahlwagen 1 zum Wiegen gebracht	Ø 31,3°C
			Fleisch wiegen und Qualitätsstufe festlegen
	07:04	Edelstahlwagen 1: Raum Feinerlegung	
	07:27	Edelstahlwagen 2: Raum Feinerlegung	
Edelstahlwagen 1 Qualitätsstufe S III Gewicht 93,4 kg			
Dauer der Salzung	Uhrzeit	Was?	Temperatur
10 min	07:14	Ohne Salz und Eis	Ø 31,3°C
		Salz (1,9 kg), mischen	Ø 26,1°C
	07:22	Eis (4 kg), mischen	
	07:24	Wolfen inkl. Separieren	Ø 20°C
			Fleisch in den Fleischwolf, mischen gewogene Salz langsam zum Fleisch in den Fleischwolf zugeben gewogenes Eis zum Fleisch zugeben das gewolfte Fleisch flach in Kisten abfüllen

Tabelle 11: Versuch 2 – Gesamte Tagesproduktion

Anzahl der Schweinehälften	30	Dauer von Kommissionierung bis zur letzten Salzung	101 Minuten	
produziertes Warmfleisch	303,4 kg			
	Uhrzeit	Wo?	Temperatur	Arbeitsschritte
	06:15	Kommissionierung	∅ 40,0°C	- Messung von Temperatur und pH-Wert in der Keule - Entfernung von Ohrmuschel, Ohrmarke und Auge - Abtrennen von Kopf mit Backe
	06:31	Raum Grobzerlegung	∅ 39,0°C (in der Keule)	- reinschieben der Schweinehälften
	06:36	Grobsäge	-	- erste Schweinehälfte wird gesägt
	06:45	Zerlegung	∅ 38,0°C	Grobzerlegung Bug, Bauch, Kree, Schlegel
	07:06	Edelstahlwagen 1 und 2 zum Wiegen gebracht	∅ 31,3°C	Fleisch wiegen und Qualitätsstufe festlegen
	07:11	Edelstahlwagen 1: Raum Feinzerlegung		
		Edelstahlwagen 2: Raum Feinzerlegung		
	07:14	Edelstahlwagen 3: Raum Feinzerlegung		
	Edelstahlwagen 3 Qualitätsstufe SII Gewicht 121 kg			
Dauer der Salzung	Uhrzeit	Was?	Temperatur	Arbeitsschritte
7 min	07:30	Ohne Salz und Eis	∅ 34,0°C	Fleisch in den Fleischwolf, mischen
		Salz (2,34 kg), mischen	-	gewogene Salz langsam zum Fleisch in den Fleischwolf zugeben
	07:34	Eis (6,0 kg), mischen	-	gewogenes Eis zum Fleisch zugeben
	07:37	Wolfen inkl. Separieren	20,0°C	das gewolfte Fleisch flach in Kisten abfüllen

Fortsetzung Tabelle 11: Versuch 2 – Gesamte Tagesproduktion

Edelstahlwagen 1 Qualitätsstufe S II Gewicht 67,4 kg				
6 min	07:41	Ohne Salz und Eis	∅ 34,0°C	Fleisch in den Fleischwolf, mischen
		Salz (1,42 kg), mischen	-	gewogene Salz langsam zum Fleisch in den Fleischwolf zugeben
	07:45	Eis (3,5 kg), mischen	-	gewogenes Eis zum Fleisch zugeben
	07:47	Wolfen inkl. Separieren	∅ 20,2°C	das gewolfte Fleisch flach in Kisten abfüllen
Edelstahlwagen 2 Qualitätsstufe S III Gewicht 115,0 kg				
8 min	07:48	Ohne Salz und Eis	∅ 32°C	Fleisch in den Fleischwolf, mischen
		Salz (2,42 kg), mischen	∅ 27,2	gewogene Salz langsam zum Fleisch in den Fleischwolf zugeben
	07:53	Eis (5,5 kg), mischen	-	gewogenes Eis zum Fleisch zugeben
	07:56	Wolfen inkl. Separieren	∅ 21,5	das gewolfte Fleisch flach in Kisten abfüllen

Tabelle 12: Versuch 3 – Gesamte Tagesproduktion

Anzahl der Schweinehälften	36 ½	Dauer von Kommissionierung bis zur letzten Salzung	123 Minuten	
produziertes Warmfleisch	437,6 kg			
Uhrzeit	Wo?	Temperatur	pH-Wert	
06:20 – 06:30	Kommissionierung	Ø 40,1°C	Ø 6,6 (im Kotelett) Ø 6,6 (in der Keule)	
06:25	Raum Grobzerlegung	Ø 39,6°C	Ø 6,6 (in der Keule)	
06:38	Grobsäge			
06:40	Zerlegung	Ø 36,3	Ø 6,5 (in der Keule)	
07:00	Edelstahlwagen 1 zum Wiegen gebracht			
07:10	Edelstahlwagen 1: Raum Feinzerlegung			
07:18	Edelstahlwagen 2: Raum Feinzerlegung			
07:20	Edelstahlwagen 3: Raum Feinzerlegung			
Edelstahlwagen 1 Qualitätsstufe S II Gewicht 148,8 kg				
Dauer der Salzung	Uhrzeit	Was?	Temperatur	pH-Wert
13 min	07:12	Ohne Salz und Eis	Ø 38,1°C	Ø 6,5
		Salz (3,1 kg), mischen	-	-
	07:17	Eis (7,5 kg), mischen	-	-
	07:25	Wolfen inkl. Separieren	Ø 25,6°C	6,0 – 6,2
Edelstahlwagen 2 Qualitätsstufe S II Gewicht 99,8 kg				
18 min	07:18	Ohne Salz und Eis	Ø 35,0°C	Ø 6,1
	07:30	Salz (2,1 kg), mischen	-	-
	07:34	Eis (5,0 kg), mischen	-	-
	07:48	Wolfen inkl. Separieren	Ø 24,0°C	6,0 – 6,2
Edelstahlwagen 3 Qualitätsstufe S III Gewicht 189,0 kg				
32 min	07:20	Ohne Salz und Eis	Ø 37,0°C	Ø 6,4
	07:40	Ohne Salz und Eis	Ø 31,0°C	Ø 6,2
	07:51	Salz (4,0 kg), mischen	-	-
	08:00	Eis (9,0 kg), mischen	-	-
	08:23	Wolfen inkl. Separieren	Ø 22,0°C	6,0 – 6,2

Bemerkung: Im Versuch 3 wurden zusätzlich Messungen des pH-Wertes bei den einzelnen Arbeitsschritten durchgeführt. Da die Arbeitsschritte in den Versuchen 2 und 3 identisch sind, wurde in dieser Tabelle auf deren Wiedergabe verzichtet und stattdessen sind die gemessenen pH-Werte dargestellt worden.

7.1.1.3 Erkenntnisse aus den Versuchen im Praxismaßstab

Bei den einzelnen Arbeitsschritten sind Abweichungen von den theoretischen Vorgaben des Modells für den Materialfluss aufgetreten. Dies muss aufgrund der realen Bedingungen in der Praxis toleriert werden. Ob dies auf die Qualität des Endproduktes, nämlich der Brühwurst einen Einfluss hat, kann erst anhand der chemischen, mikrobiologischen und sensorischen Analysen am Endprodukt festgestellt werden. Diese Parameter sind im Verlauf dieser wissenschaftlichen Arbeit untersucht worden. Bei den einzelnen Produktionsschritten sind folgende Feststellungen zu treffen.

Wegen des metabolischen Abbauprozesses von ATP sollte der **Zerlegevorgang** schnell erfolgen und das Schweinefleisch innerhalb einer Stunde nach der Schlachtung zur Warmschrotung kommen (Jakob, 2004). Im Praxisbetrieb zeigte sich, dass dies nur schwer umzusetzen ist. Der Zerlegevorgang nach der Kommissionierung bis zum Salz- und Mischvorgang dauerte je nach Tag und Kutterwagen zwischen 60 und 80 Minuten.

Bei den Untersuchungen der **pH-Werte** konnte in den durchgeführten Experimenten jedoch festgestellt werden, dass dadurch die für die Weiterverarbeitung wichtigen Warmfleischeigenschaften für eine optimale Wasserbindung nicht negativ beeinflusst werden. Der Übergang in den Rigor mortis erfolgt bei pH-Werten von 5,9 - 6,0 und daher ist es entscheidend, während des Warmfleischprozesses über einem pH-Wert von 6,0 zu liegen. In den vorliegenden Untersuchungen konnte ein pH-Wert bei einer Probe von 6,1 und bei 2 Proben von 6,2 noch 2 Stunden nach der Schlachtung beim Schweinefleisch nachgewiesen werden. Daher ist eine Zeitspanne von bis zu 2 Stunden von der Schlachtung der Schweine bis zum Salzen und Mischen des Warmfleisches akzeptabel. Dies bedeutet, dass die in den durchgeführten Untersuchungen erreichten Zeitspannen für die Erzielung optimaler Warmfleischeigenschaften hinreichend sind.

Eine homogene **Durchmischung des Salzes** ist von entscheidender Bedeutung für die Warmfleischeigenschaften. Die Mischdauer wird auf Grundlage mehrfach durchgeführter Sichtkontrollen an die Warmfleischmenge manuell angepasst und variiert somit. Wenn eine vollständige Durchmischung sichtbar ist wird der Mischvorgang sicherheitshalber immer etwas länger durchgeführt. Die Kochsalzmenge, die während der

Praxisversuche an den jeweiligen Produktionstagen verwendet wurde, betrug 2 % bezogen auf die Gesamtmasse und lag damit knapp über der von (Fischer et al., 1982) empfohlenen Mindestmenge von 1,8 %.

In der Literatur wird die Zugabe von **Wassereis** nicht erwähnt. Dies ist darauf zurück zu führen, dass dort das Schrotten des Warmfleisches mit einer 13 mm Lochscheibe durchgeführt wurde, bei deren Verwendung die Wärmeentwicklung während des Schrot- bzw. Wolfvorgangs deutlich reduziert ist. Bei der in den Praxisversuchen verwendeten 3 mm Lochscheibe wird aber eine deutlich höhere Wärmeentwicklung während des Schrot- bzw. Wolfvorgangs verursacht. Die entstehende Wärme durch den Zerkleinerungsvorgang würde zur Denaturierung der Proteine führen. Um dieser Wärmeentwicklung entgegenzuwirken wurde während des Mischvorgangs in der Feinzerlegung die Zugabe von Crashed Eis (zerkleinertes Wassereis) eingeführt. Durch diese Innovation wurde die Wärmeentwicklung deutlich verringert und es kam in der Folge zu einer schnelleren Abkühlung, was den metabolischen Abbauprozessen von ATP entgegenwirkt. 60 - 80 Minuten nach der Schlachtung ist die ATP-Konzentration im Warmfleisch sehr hoch (Jakob, 2004). Durch eine Wassereiszugabe innerhalb dieser Zeitspanne kann die Einlagerung der Wassermoleküle in den Zwischenräumen der Fleischproteine erzielt werden. Durch die Zugabe des Kochsalzes wird der Effekt noch verstärkt.

Die beiden in den vorliegenden Untersuchungen eingeführten **technologischen Innovationen** führten zu einer Verbesserung des Produktionsprozesses der Warmfleischerzeugung:

- die Zugabe von Wassereis vor der Warmschrotung ist eine technologische Verbesserung in Bezug auf die Wasserbindung,
- eine weitere technologische Verbesserung wird durch den erhöhten Zerkleinerungsgrad der 3 mm Lochscheibe erzielt, weil durch die damit verbundene Erhöhung der spezifischen Oberfläche bzw. des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses das Kochsalz sowie das Wassereis vermehrt und homogener in die Zwischenräume der Fleischproteine eindringen können.

Die **Einlagerung des geschroteten Warmfleisches** wurde im Rahmen der Praxisversuche an den jeweiligen Produktionstagen unverzüglich in den vorhandenen

Kühl- oder Gefrierhäusern durchgeführt. Das geschrotete und gekühlte Warmfleisch wurde an den jeweiligen Folgetagen weiterverarbeitet. Damit wurde die in der Literatur angegebene maximale Aufbewahrungszeit von 1 – 2 Tagen für gekühltes und geschrotetes Warmfleisch eingehalten (Hamm, 1958; Jakob, 2004).

7.1.2 Verarbeitung des Warmfleisches zu Brühwürsten

Das in den drei Praxisversuchen hergestellte gewolfte und gesalzene Warmbrät wurde im Rahmen der regelmäßig stattfindenden internen Qualitätskontrolle bei der BESH von einem trainierten Panel von vier Personen auf folgende fünf Parameter untersucht:

- Farbe
- Absatz (Fett/Gelee)
- Struktur/Wasserbindung
- Biss
- Geschmack

Alle drei Proben aus den Praxisversuchen wiesen bei der Qualitätskontrolle in allen untersuchten Parametern keinerlei Mängel auf und unterschieden sich nicht voneinander (Mayer, 2015). Daher wurde für die anschließenden Untersuchungen bei der Brühwurstherstellung die Mischung von je einem Aliquot des Warmbräts aus den drei Praxisversuchen verarbeitet. Da bisher keine Erfahrungen für die Herstellung von Bio-Brühwürsten in diesem technologischen Maßstab vorlagen, mussten zwei Innovationschritte entwickelt werden und zwar einerseits ein entsprechendes Produktionsverfahren und andererseits die dazu passende Rezeptur.

Das in Abb. 04 dargestellte Produktionsverfahren wurde theoretisch entwickelt und exemplarisch auf seine Praxistauglichkeit bei Produktion von Lyoner Brühwurst in Dosen überprüft.

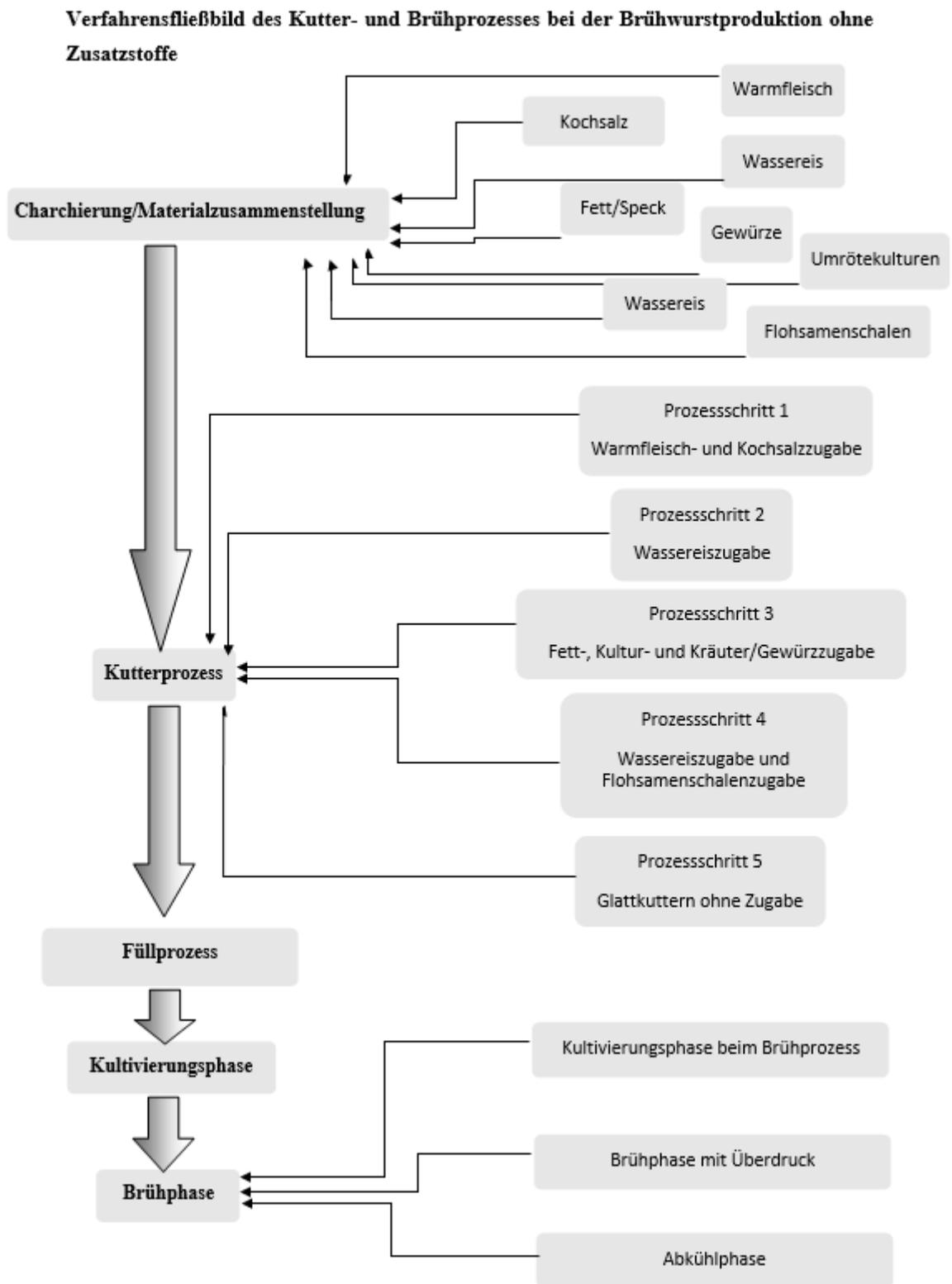


Abbildung 04: Verfahrensfließbild des Kutter- und Brühprozesses bei der Brühwurstproduktion ohne Zusatzstoffe

7.1.2.1 Zusammenstellung der Komponenten für die Brühwurstproduktion

Bei den Experimenten der Brühwurstproduktion wurden zusätzlich zum **Warmfleisch** aus den Praxisversuchen, das hauptsächlich aus magerem Muskelfleisch besteht und mit **45,2 %** bezogen auf die Gesamtmasse in der Rezeptur berücksichtigt wurde, noch **Rückenspeck (25,1 %)** und **Bugdeckelfett (12 %)** eingesetzt.

Der alternative Umröteprozess wird enzymatisch katalysiert. Daher werden Bakterienstämme wie *Staphylococcus carnosus* als **Umrötekulturen** verwendet, welche über das Enzym Nitratreduktase verfügen. Die *Staphylococcus carnosus*-Stämme können durch Nitratatmung eine Nitratreduktion betreiben. Es handelt sich um fakultative Anaerobier, welche sowohl unter aeroben als auch unter anaeroben Bedingungen Stoffwechsel betreiben können. Daher sind die anaeroben Bedingungen von Vorteil für die Reduktion von Nitrat zu Nitrit.

Es wird naturbelassenes Speisesalz (NaCl) ohne Rieselhilfen verwendet. Beim Wassereis handelt es sich um Scherbeneis bzw. Crashed Eis, welches mithilfe einer Eismaschine aus Wassereis hergestellt wird.

Die **Gewürze und Kräuter** für die in den Experimenten verwendeten Gewürzmischungen stammen ausschließlich aus der Gewürzmanufaktur „Ecoland Herbs and Spices GmbH“ (Haller Str. 20; 74549 Wolpertshausen). Für die im Rahmen dieser wissenschaftlichen Untersuchung durchgeführten Experimente wurden zertifizierte Bio-Gewürzmischungen neu entwickelt. Diese Innovationen wurden auf der Basis von technologischen und sensorischen Aspekten für die Prozess- und Produktqualität bei der Herstellung einer Bio-Lyoner-Brühwurst zusammengestellt. Bei den Komponenten der für die Praxisversuche neu entwickelten Gewürzmischung (Tabelle 13) handelt es sich ausschließlich um Zutaten und nicht um Zusatzstoffe, weshalb keine E-Nummern deklariert werden müssen, was eine wesentliche Zielsetzung für diese Untersuchung darstellt. In den durchgeführten Experimenten wurden 16 g Gewürzmischung pro kg Brätmasse eingesetzt.

Tabelle 13: Bio- Lyoner Gewürzmischung

Bio-Lyoner-Gewürzmischung		
Eingesetzte Bio-Gewürze	Zugabe- menge in $\frac{g}{kg}$	Prozentualer Anteil
Bio-Pfeffer weiß sehr fein gemahlen	2	12,5 %
Bio-Muskatblüte sehr fein gemahlen	0,5	3,13 %
Bio-Piment fein gemahlen	0,5	3,13 %
Hohenloher Bio-Koriander fein gemahlen	0,5	3,13 %
Bio-Kardamom fein gemahlen	0,3	1,88 %
Bio-Zwiebelpulver	1	6,25 %
Bio-Zitronenschalen fein gemahlen	0,6	3,75 %
Bio-Rübenzucker	2,6	16,25 %
Bio Rote Bete fein gemahlen	0,5	3,13 %
Bio-Maltodextrin	2	12,5 %
Bio-Acerolakirsche fein gemahlen	1,5	9,38 %
Bio-Aurapa-Gemüsepulver	3,2	20 %
Bio-Liebstockblatt gemahlen	0,5	3,13 %
Bio-Liebstockwurzel gemahlen	0,2	1,25 %
Bio-Schabziger Klee gemahlen	0,1	0,63 %
Gesamte Zugabemenge der Bio-Gewürzmischung in $\frac{g}{kg}$	16	100 %

Für die in dieser neu entwickelten Gewürzmischung verwendeten Gewürze und Kräuter waren dabei folgende qualitativen Besonderheiten ausschlaggebend.

Bio-Pfeffer weiß sehr fein gemahlen

Der weiße Pfeffer ist eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet wird. Der weiße Pfeffer sorgt für eine angenehme zitronenartige Schärfe. Der weiße Pfeffer wird jedoch auch aus farblichen Gründen bei Brühwurstsorten wie Lyoner bevorzugt, da es nicht zu schwarzen Punkten in einer vorwiegend hellen Brätmasse kommt.

Bio-Muskatblüte sehr fein gemahlen

Bei der Muskatblüte handelt es sich um eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung enthalten ist. Die Muskatblüte verleiht der Brühwurst ein feines Muskataroma. Das feine Muskataroma darf in der Lyoner leicht rausschmecken. Die Lyoner soll geschmacklich dezent muskatbetont sein.

Bio-Piment fein gemahlen

Piment ist eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung eingesetzt wird. Piment verleiht Brühwurstprodukten einen würzigen Geschmack, welcher aus mehreren Geschmacksnuancen besteht. So bildet das Aroma eine Kombination aus schwarzem Pfeffer, Zimt, Nelken und ein wenig Muskat. Daher wurde im Englischen auch der Begriff Allspice für Piment geprägt.

Hohenloher Bio-Koriander fein gemahlen

Koriander wird als eine Zutat verwendet, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung enthalten ist. Koriander wird traditionell zu einem gewissen Anteil in Brühwurstprodukten in Süddeutschland verwendet. Der Koriander wird in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung zur geschmacklichen Abrundung eingesetzt. In der Bio-Lyoner-Gewürzmischung soll der Koriander nicht dominant vorschmecken. Koriander verfügt über ein besonders arteigenes Aroma und passt gut zu Brühwurstprodukten.

Bio-Kardamom fein gemahlen

Beim Kardamom handelt es sich um eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung enthalten ist. Kardamom verleiht Brühwurst so wie der Lyoner einen frischen und leicht zitronigen Geschmack. Der arttypische Geschmack von Kardamom kommt leicht zur Geltung und rundet Brühwurstprodukte generell optimal ab.

Bio-Zwiebelpulver

Das Zwiebelpulver wird aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet. Das Zwiebelpulver verleiht der Lyoner das arttypische Zwiebelaroma. Jedoch soll das Zwiebelaroma zur Abrundung dienen und nicht vorschmecken.

Bio-Zitronenschalen fein gemahlen

Die Bio-Zitronenschalen werden als eine Zutat eingesetzt, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung Verwendung findet. Die Zitronenschale enthält das zitronige Aroma, welches in Brühwurstprodukten wie Lyoner für eine geeignete Abrundung sorgt. Das zitronige Aroma darf in Brühwurstprodukten wie Lyoner leicht vorschmecken.

Bio-Rübenzucker

Der Rübenzucker findet als Zutat Verwendung, welche sowohl aus geschmacklichen Gründen als auch aus technologischen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung eingesetzt wird. Rübenzucker wird zum einen zur geschmacklichen Abrundung eingesetzt. Rübenzucker wirkt auch leicht geschmacksverstärkend. Es überlagert teilweise auch saure Geschmacksnuancen. In technologischer Hinsicht wirkt Rübenzucker als Substrat für die Umrötekulturen *Staphylococcus carnosus* sp. Somit können die Umrötekulturen *Staphylococcus carnosus* sp. eine höhere Stoffwechselrate betreiben.

Bio Rote Bete fein gemahlen

Bei der Roten Bete handelt es sich um eine Zutat, welche aus technologischen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet wird. Rote Bete verfügt über eine tief roten bis violetten Farbton und wirkt dadurch färbend auf das Brühwurstbrät. Die verwendete Menge muss entsprechend angepasst sein, denn bei Überdosierungen kommt es bei Brühwurstprodukten wie der Lyoner zu einem leicht violetten Farbton. Rote Bete verfügt über eine relativ hohe Nitrat-Konzentration (NO_3^-), daher fungiert Rote Bete aus technologischer Hinsicht auch als Nitratquelle für den Umröteprozess.

Bio-Maltodextrin

Bio-Maltodextrin wird aus technologischen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet. Maltodextrin verbessert die Wasserbindeeigenschaften, indem die Viskosität der wässrigen Phase im Lyonerbrät erhöht wird. Geschmacklich hat Maltodextrin keine Wirkung auf Brühwurstprodukte.

Bio-Acerolakirsche fein gemahlen

Die gemahlene Bio-Acerolakirsche wird als Zutat eingesetzt, welche aus technologischen Gründen der Bio-Lyoner-Gewürzmischung zugegeben wird. Die Acerolakirsche

begünstigt durch ihren hohen Gehalt an Vitamin C bzw. Ascorbinsäure den Umröteprozess in Brühwurstprodukten wie Lyoner. Durch die sauren Eigenschaften der Ascorbinsäure, kommt es zur Absenkung des pH-Wertes, was in geschmacklicher Hinsicht ein säuerliches Aroma verleiht. Durch die Zugabe von Zucker wird bei Brühwurstprodukten das saure Geschmacksempfinden abgemildert.

Bio-Aurapa-Gemüsepulver

Beim Bio-Aurapa-Gemüsepulver handelt es sich um eine Zutat, welche hauptsächlich aus technologischen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet wird. Das Bio-Aurapa-Gemüsepulver wird im Rahmen des Umröteprozesses eingesetzt. Das Aurapa-Gemüsepulver besteht aus getrockneten und gemahlene(n) Gemüsen, welche einen signifikanten Anteil an Nitrat (NO_3^-) enthalten. Die verschiedenen Gemüse, welche im Aurapa-Gemüsepulver enthalten sind, fungieren als Nitratquelle für Nitratatmer wie *Staphylococcus carnosus*. Das Aurapa-Gemüsepulver verfügt außerdem über eine geschmackliche Komponente. Analog zu einem Gemüseboullion oder einer Gemüsebrühe, entfaltet sich ein würziges Gemüsearoma, was zur geschmacklichen Abrundung beiträgt.

Bio-Liebstockblatt gemahlen

Das Liebstockblatt wird hauptsächlich aus geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet. Liebstockblatt verleiht ein leicht Maggi ähnliches Aroma, welches als geschmacksverstärkend empfunden wird. Das Liebstockblatt rundet die Bio-Lyoner-Gewürzmischung zusätzlich ab. Das Liebstockblatt fungiert im Zuge des Umröteverfahrens auch als Nitratquelle.

Bio-Liebstockwurzel gemahlen

Die Liebstockwurzel wird als Zutat verwendet, welche hauptsächlich aus geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung enthalten ist. Die Liebstockwurzel wirkt im Vergleich zum Liebstockblatt weniger geschmacksintensiv und geschmacksverstärkend, sondern wird überwiegend zur geschmacklichen Abrundung eingesetzt. Das geschmackliche Aroma ähnelt der Pastinake, welche auch zur Abrundung eingesetzt wird. Die Liebstockwurzel fungiert im Zuge des Umröteverfahrens ebenso als Nitratquelle.

Bio-Schabziger Klee gemahlen

Beim Schabziger Klee handelt es sich um eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Lyoner-Gewürzmischung verwendet wird. Der Schabziger Klee verfügt über ein besonders intensives Aroma. Daher wird eine geringe Zugabemenge angesetzt, um eine Überwürzung zu vermeiden. Der Schabziger Klee wirkt bei zu hohen Dosierungen sehr schnell geschmacklich penetrant und somit unangenehm. Der Schabziger Klee wirkt geschmacksverstärkend und rundet die Bio-Lyoner-Gewürzmischung geschmacklich ab. Das Aroma des Schabziger Klees wird häufig als Umami-Geschmack empfunden. Dies wirkt sich positiv auf das gesamte Aroma der Bio-Lyoner-Gewürzmischung und somit auf die Lyoner aus.

Flohsamenschalen fein gemahlen

Im Rahmen der Brühwurstherstellung ohne Zusatzstoffe können bestimmte pflanzliche Hydrokolloide eingesetzt werden. Die Ergebnisse von weitergehenden Literaturrecherchen deuteten darauf hin, dass Flohsamenschale die Wasserbindeeigenschaften im Wurstbrät zu verbessern vermögen. Als Hydrokolloide fungieren bei den gemahlenden Flohsamenschalen pflanzliche Ballaststoffe, die sogenannten Flosine-Schleimpolysaccharide. Diese verzweigten Polymere sind in der Lage mehr als das 40-fache ihres Volumens an Wasser aufzunehmen. Daher wird den Flohsamenschalen eine Quellzahl von mindestens 40 zugeordnet.

Daher wurden in den durchgeführten Versuchen als weiterer innovativer Ansatz zur zusätzlichen Stabilisierung der Bräteigenschaften und der Wasserbindung im Endprodukt gemahlene Flohsamenschalen verwendet. Aufgrund der Ergebnisse der Literaturrecherche ist die richtige Verwendung von gemahlenden Flohsamenschalen während des Kutterprozesses von entscheidender Bedeutung. Die gemahlenden Flohsamenschalen dürfen erst nach der Wassereiszugabe dem Brühwurstbrät beigemischt werden, da dem Fleischanteil im Brät Wasser entzogen und gebunden wird, wenn die gemahlenden Flohsamenschalen bereits vor der Wassereiszugabe beigemischt werden. Wird erst danach das Wassereis ins Brühwurstbrät gegeben kann das zusätzliche Wasser nicht mehr gebunden werden, da die Flohsamenschalen bereits ihre Wirkung entfaltet haben. Dementsprechend wurde bei der Verwendung von gemahlenden Flohsamenschalen der Kutterprozessschritt 4 wie in der Abbildung 04 dargestellt neu eingeführt.

Das für diese Versuche **neu entwickelte Rezept für Bio-Lyoner** basiert auf Erfahrungswerten aus der Praxis (Mayer, 2015) und auf der Grundlage der Kenntnis (Kap.5) wissenschaftlicher Studien. Innovationen sind dabei die spezielle Kräutermischung und die Verwendung von Flohsamenschalen (Tabelle 14).

Tabelle 14: Bio Lyoner Fleischrezeptur

Bio-Lyoner-Fleischrezeptur		
Eingesetzte Bio-Gewürze	Zugabemenge in kg	Prozentualer Anteil
Bio - S II Warmfleisch gesalzen + gewolft	45	44,74 %
S - Bio - Bugdeckelfett	12	11,93 %
S - Bio - Rückenspeck ohne Schwarte	25	24,86 %
Wassereis (Scherbeneis)	16	15,91 %
Bio-Lyoner-Gewürzmischung	1,568	1,56 %
Kochsalz	0,810	0,81 %
Bio-Flohsamenschalen fein gemahlen	0,196	0,19 %
Gesamte Zugabemenge der Bio-Gewürzmischung in $\frac{g}{kg}$	100,576	100 %

7.1.2.2 Der Kutterprozess bei der Warmfleischverarbeitung

Im Vorfeld des Kuttervorgangs werden die abgewogenen und vorbereiteten Mengen an Rückenspeck und Bugdeckelfett anhand eines Kutterwagens über eine Hubvorrichtung in einen entsprechenden Fleischwolf verbracht. Das Bugdeckelfett und der Rückenspeck werden mithilfe einer 3 mm Lochscheibe geschrotet bzw. gewolft. Das gewolft bzw. geschrotete Rohmaterial wird im weiteren Verlauf des Produktionsprozesses verwendet.

Der verwendete Kutter bei der BESH verfügt über ein Füllvolumen von 340 l. Aus prozesstechnischen Gründen wird die Befüllung mit dem vorbereiteten und abgewogenem Warmfleisch auf ein Drittel des Gesamtvolumens begrenzt, da sich in Vorver-

suchen gezeigt hat, dass bei einem höheren Füllgrad der Kutterprozess zu mangelhaften Bräteeigenschaften führen würde. Der Kuttervorgang wird mit 8 Messern mit einer Länge von ca. 32 cm betrieben. Im weiteren Verlauf der Prozessbeschreibung des Kuttervorgangs wird zu jedem Prozessschritt die jeweilige Frequenz der Kuttermesser angegeben.

Kutterprozessschritt 1

47,4 kg des vorgesalzenen und geschroteten Warmfleisches mit 5 % Wassereis wird mittels eines Kutterwagens über Hubvorrichtungen in den Kutter gefüllt. Die Temperatur des Warmfleisches, welches aus der Kühlung kommt, beträgt ca. 4-6 °C. Das Warmfleisch wird zunächst im sogenannten Trockenlauf (ohne Wassereis) in einem Vakuum von ca. 0,7 bar vermengt. Am Anfang sollte nicht mehr Vakuum gezogen werden, da sonst die Brühwurstbrätmasse zu fest wird. Der Trockenlauf wird 5-6 Runden bei 1000 Umdrehungen pro Minute durchgeführt. Während des Trockenlaufs wird noch fehlende Menge an Kochsalz (0,86 kg) hinzugefügt. Durch den Trockenlauf des Kutters wird das Brühwurstbrät auf ca. 8-10 °C erwärmt. Die Zugabe des Kochsalzes wirkt durch die leicht positive Lösungsenthalpie der Erwärmung entgegen.

Kutterprozessschritt 2

Nach dem der Kutterprozess 5-6 Runden trocken durchgelaufen ist, kommt in der 6. Runde das Wassereis in Form von Crashed-Eis (Scherbeneis) hinzu. Es werden jedoch nur ca. zwei Drittel der noch fehlenden Menge an Wassereis dem Wurstbrät zugeführt, nämlich 9 kg. Dadurch sinkt die Temperatur der Brühwurstbrätmasse. Die Drehzahl bzw. Messerfrequenz des Kutters wird ab der 7. Runde auf 1500 Umdrehungen pro Minute erhöht.

Kutterprozessschritt 3

Sobald eine Temperatur von 2 °C erreicht wird, werden dem Brühwurstbrät weitere Zutaten wie folgt zugegeben:

Das Bugdeckelfett und der Rückenspeck wurden vorab mithilfe einer 3 mm Lochscheibe geschrotet bzw. gewolft. Dieses Rohmaterial wird mittels eines Kutterwagens über die Hubvorrichtung dem Brühwurstbrät zugeführt und durch den Kutterprozess vermengt. Direkt danach wird die vorbereitete und abgewogene Menge der Gewürz-

mischung gemeinsam mit zwei Einheiten SM96 Kulturen der Fa. Frutarom (*Staphylococcus carnosus* sp.) dem Brät zugeführt und beigemengt. Anschließend wird die Drehzahl bzw. Messerfrequenz der Kuttermesser auf 1000 Umdrehungen pro Minute gesenkt.

Kutterprozessschritt 4

Im weiteren Verlauf des Kuttervorgangs steigt die Temperatur durch die Reibungswärme der rotierenden Kuttermesser wieder an. Die Drehzahl bzw. Messerfrequenz der Kuttermesser verbleibt weiterhin bei 1000 Umdrehungen pro Minute. Beim Erreichen einer Temperatur von 12 °C wird die restliche Menge an Crashed Wassereis (4,6 kg) dem Brühwurstbrät zugeführt und beigemengt, wodurch die Temperatur des Brühwurstbräts wieder auf ca. 4-6 °C absinkt. Direkt im Anschluss wird die gemahlene Flohsamenschale zu dosiert. Die Zugabemenge beträgt 2 g/kg bezogen auf die gesamte Brätmasse. Die benötigte Menge an gemahlener Flohsamenschale wurde bereits vor dem Kutterprozess abgewogen und vorbereitet. Die Zugabe der gemahlene Flohsamenschale erfolgt ausschließlich aus technologischen Gründen und dient zur Wasserbindung und Strukturverbesserung. Das Brühwurstbrät bekommt in der Folge eine festere Struktur und die Viskosität erhöht sich.

Kutterprozessschritt 5

Der Kutterprozess wird weiter bei 1000 Umdrehungen pro Minute fortgesetzt. Es wird nun ein Vakuumvorgang eingeleitet und dabei ein Vakuum von ca. 0,3 bar erzeugt. Die Temperatur steigt infolge des Prozessverlaufs durch die Reibungswärme der rotierenden Kuttermesser wieder an. Beim Erreichen einer Temperatur von 8 °C wird der Kutterprozess beendet. Im Zuge des alternativen Umröteverfahrens verweilt das Brät noch ca. 10 - 15 Minuten im Kutter unter Vakuumbedingungen bis die nächste Charge entsprechend vorbereitet und abgewogen ist. Unter diesen Bedingungen können fakultativ anaerobe Umrötekulturen wie *Staphylococcus carnosus* sp. Nitrat zu Nitrit reduzierenden. Das Brühwurstbrät wird über eine spezielle Auswurfapparatur in einen Kutterwagen gefüllt. Die Kutterwagen mit dem Brühwurstbrät werden dem nächsten Verarbeitungsschritt zugeführt.



Foto 02: Brühwurstbrät am Ende des Kutterprozesses als klebrig hoch viskose Masse



Foto 03: Spezialvorrichtung für das Ausschleusen des Brühwurstbräts in den Kutterwagen



Foto 04: Befüllung eines Kutterwagens mit Brühwurstbrät ohne Zusatzstoffe

Erfahrungswerte aus der Praxis haben gezeigt, dass es beim Kutterprozess sehr wichtig ist, bei den jeweiligen Prozessschritten die angemessene Temperaturführung sicher zu stellen, da davon ganz wesentlich die Qualität des Endprodukts abhängt (Mayer, 2015). Auf Grundlage dieser Erfahrungen wurde für die durchgeführten Versuche der in Tabelle 15 dargestellte Temperaturverlauf festgelegt.

Tabelle 15: Temperaturverlauf im Brühwurstbrät

Prozessschritte	Temperatur in °C
Ausgangstemperatur	4 – 6 °C
Prozessschritt 1	4 – 6 °C steigt auf 8 – 10 °C
Prozessschritt 2	8 – 10 °C sinkt auf ca. 2 °C
Prozessschritt 3	ca. 2 °C steigt auf ca. 12 °C
Prozessschritt 4	ca. 12 °C sinkt auf 4 – 6 °C
Prozessschritt 5	4 – 6 °C steigt auf ca. 8 °C
Endtemperatur	ca. 8 °C

7.1.2.3 Füllprozess bei Brühwurstprodukten in Konserven

Für diese Untersuchungen ist exemplarisch die Herstellung von Lyoner – Brühwurst in 200 g Dosen gewählt worden. Die Befüllung der Wurstkonserven mit Brühwurstbrät

erfolgt durch eine komplexe Technik. So werden zunächst die Kutterwägen mit dem Brühwurstbrät über eine Hubvorrichtung in einen trichterförmigen Füllbehälter entleert. Der trichterförmige Füllbehälter wird über eine Dosiereinrichtung mit einem Vierstromverteiler verbunden. An dessen Ende erfolgt die Befüllung der Wurstkonserven. Durch die Verwendung gemahlener Flohsamenschalen bei der alternativen Brühwurstherstellung wird die Viskosität des Bräts im Vergleich zum konventionellen Verfahren erhöht. Daher mussten die technologischen Parameter für die Befüllung der Wurstkonserven entsprechend angepasst werden. Das Wurstbrät wird nach der Befüllung in die Wurstkonserven mithilfe einer automatisierten Schneidevorrichtung abgetrennt. Dies erfolgt bereits auf einem Transportband bei jeweils vier Wurstkonserven gleichzeitig. Die befüllten Dosen werden über ein Transportförderband der Dosenschließmaschine zugeführt. Eine automatische Wiegeeinrichtung in Form einer Bandwaage kontrolliert das Füllgewicht. Die verschlossenen Wurstkonserven werden während der Förderung auf dem Transportband mittels eines Sprühdrukers gekennzeichnet und datiert und schließlich am Ende des Transportbandes in einen speziellen Autoklavenwagen geschichtet, der dem Brühprozess zugeführt wird.



Foto 05: Dosenabfüllung (1/2)



Foto 06: Dosenabfüllung (2/2)

Zur Erzielung einer optimalen Wirkung der eingesetzten Kulturen *Staphelococcus carnosus sp.* wurden im Zuge des Füllprozesses eine Haltezeit von ca. 45 - 60 Minuten nach dem Abfüllen und Verschließen der Brühwurstkonserven eingeplant, um dadurch die für das alternative Umröteverfahren notwendigen Stoffwechselprozesse zu begünstigen. Deshalb wurden Autoklavenwägen, mit den abgefüllten und verschlossenen Wurstkonserven gesammelt und gestapelt und für diesen Zeitraum vorgehalten und erst danach dem Brühprozess zugeführt. Mit diesem Vorgehen konnte in einer **ersten Kultivierungsphase** eine erhöhte Umsetzung von Nitrat zu Nitrit unter anaeroben Bedingungen erzielt werden.

Um die Reduktion von Nitrat zu Nitrit weiter zu erhöhen, wurde eine spezielles für die Herstellung von Wurstkonserven ohne Zusatzstoffe Temperaturprogramm entwickelt und in der Praxis auf seine Tauglichkeit überprüft. Durch eine Stufenkochung wird der Temperaturanstieg im Brät in der Dose verlangsamt. Der Temperaturverlauf überschreitet 40 °C Kerntemperatur erst nach ca. 30-40 Minuten. Dies hat zur Folge, dass die Stoffwechselrate der Staphylococcus carnosus- Kulturen nochmals deutlich erhöht wird. Die Bedingungen sind für die anaerobe Nitratatmung in dieser **zweiten Kultivierungsphase** begünstigt, da das Brät durch das Vakuumküttern und den Vakuumfüller

nahezu frei von Restsauerstoff ist. Die Stufenkochung basiert auf einer Autoklaventechnik, bei der durch heißen Wasserdampf und Überdruck eine Sterilisation des Bräts erreicht wird (Abb. 05). Dabei wird ein zuvor erzeugtes Vakuum mit Sattedampf (trocken gesättigter Wasserdampf) gefüllt. Diese langsame Erhitzung in dem 3-stufigen Verfahren wirkt sich auch positiv auf die Wasserbindung und die Konsistenz der Brühwurstprodukte aus. Durch die Drehung der Gitterboxen mit den Dosen wird eine gleichmäßige Verteilung des Wasserdampfes erreicht wodurch Randzoneneffekte beim Brät in den Dosen vermieden werden.

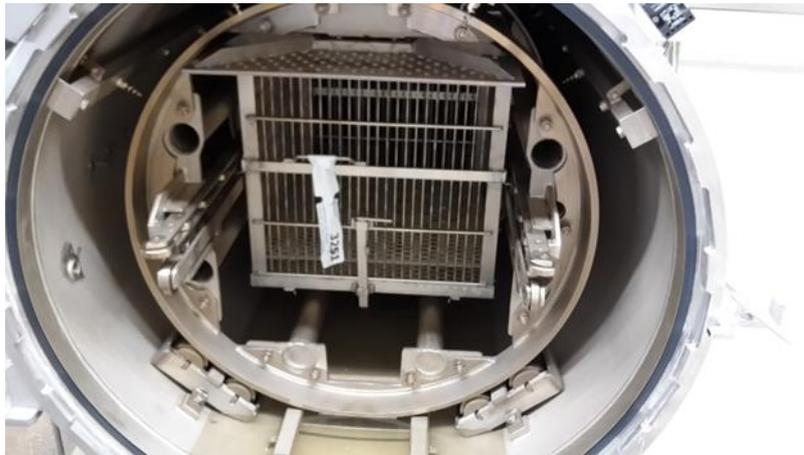
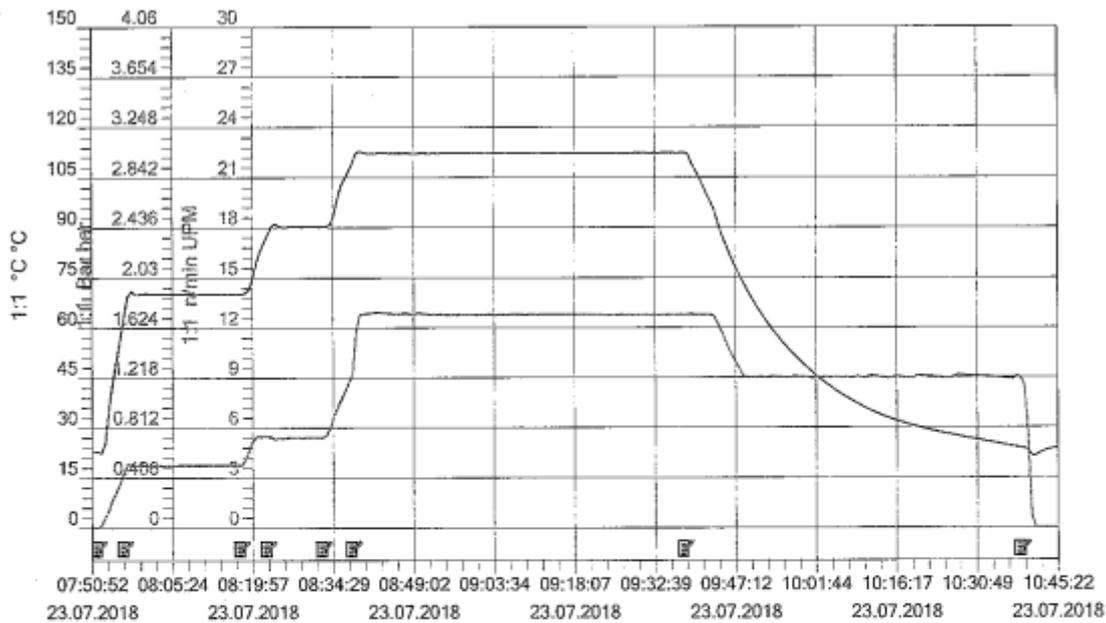


Foto 07: Autoklav mit Vorrichtung zur Befüllung von Brühwurstkonserven

Das neu entwickelte und anschließend für die Praxis standardisierte 3-stufige Kochverfahren folgt dem in Abb. 05 wiedergegebenen Temperatur- und Druckverlauf während der Brühphase im Autoklav.

120 Minuten



120 Minuten: Analog					
	Datum dd.MM.yyyy	Zeit HH:mm:ss	°C Wert °C	Bar Wert bar	n/min Wert UPM
Minimalwert			21,4	0,00	0
Maximalwert			112,7	1,75	0

120 Minuten: Chargenreport							
	Minimum			Maximum			Mittelwert
	Datum dd.MM.yyyy	Zeit HH:mm:ss	Wert °C	Maximum	Zeit HH:mm:ss	Wert °C	Wert °C
°C	23.07.2018	10:40:38	21,1	23.07.2018	08:38:25	113,3	76,2
Bar	23.07.2018	07:51:59	0,00	23.07.2018	08:42:28	1,76	1,21
n/min							

Abbildung 05: Temperatur- und Druckverlauf des Nassdampfes im Autoklav während der Stufenkochung beim Brühprozess

Die Temperatur im Druckbehälter steigt zunächst auf ca. 70 °C an. Dies erfolgt innerhalb von ca. 10 Minuten. Die 70 °C werden anschließend ca. 20-25 Minuten konstant gehalten. Nach 10 Minuten erfolgt eine weitere Temperaturerhöhung auf ca. 90 °C. Die Temperatur von 90 °C wird in der Folge für weitere ca. 10 Minuten gehalten. Es folgt der letzte Temperaturanstieg auf ca. 112 °C die über die Hauptbrühphase für ca. eine Stunde gehalten. Es folgt die Abkühlphase, welche zunächst steil später schwächer verläuft. Nach ca. einer Stunde ist der Abkühlvorgang weitestgehend abgeschlossen.

Parallel zu den verschiedenen Temperaturphasen wird der Druck im Behälter geregelt. Am Prozessbeginn wird zunächst Vakuum gezogen, wodurch der Druck im Behälter auf $< 0,1$ bar absinkt. Parallel zur ersten Temperaturerhöhung auf 70 °C wird der Behälterdruck zunächst auf ca. $0,4 - 0,5$ bar und parallel zur nächsten Temperaturerhöhung auf 90 °C auf $0,7$ bar erhöht. Auch dieser Behälterdruck wird zunächst gehalten und erst zusammen mit der letzten Temperaturerhöhung auf 112 °C auf $1,7 - 1,75$ bar erhöht. Der Überdruck von ca. $0,7 - 0,75$ bar bezogen auf den Umgebungsdruck bewirkt eine deutliche Erhöhung des Abtötungseffekts von verschiedenen robusten Mikroorganismen wie sporenbildende Bakterien (Clostridien etc.). Der Überdruck von $1,7 - 1,75$ bar wird analog zur Temperatur von 112 °C für eine Stunde gehalten und anschließend auf $1,2$ bar gesenkt. Während der Abkühlphase wird dieser leichte Überdruck gehalten und erst am Ende des Brühprozesses vollständig abgesenkt. Es wird noch ein weiteres Mal ein Vakuum erzeugt und erst vor dem Öffnen des Behälters wird wieder der Umgebungsdruck generiert.

Kompakter Bericht

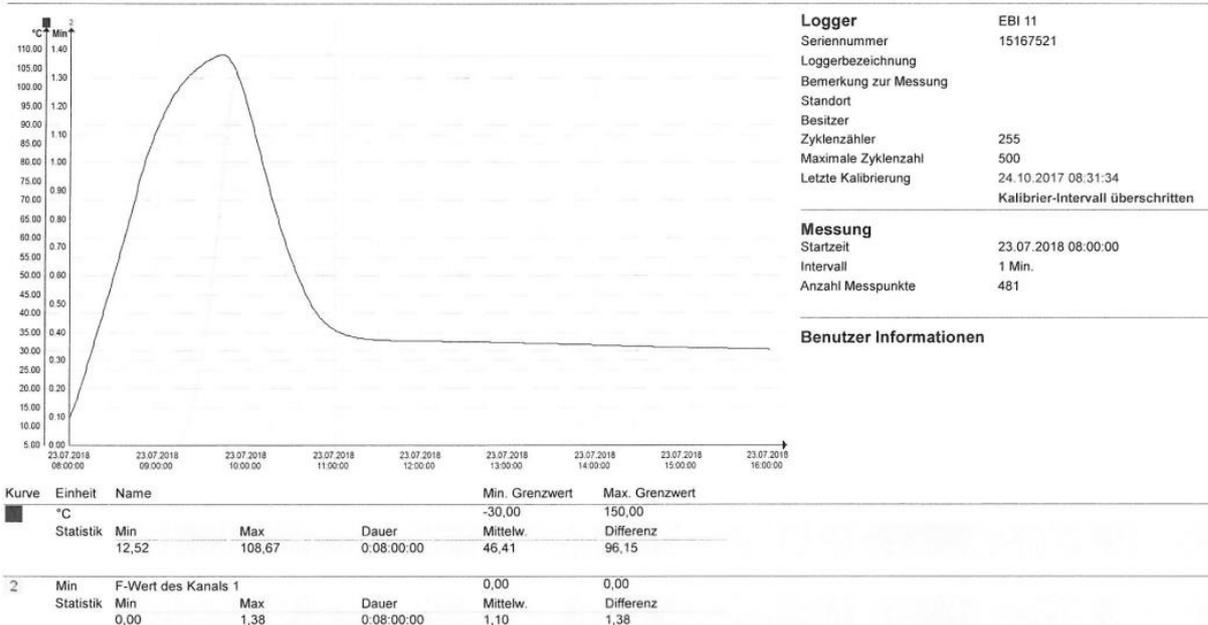


Abbildung 06: Kerntemperaturverlauf der Brühwurstkonserven während des Brühprozesses im Autoklav

In Abbildung 06 ist der Temperaturverlauf im Kern der Brühwurstkonserven abgebildet. Dazu wird über die gesamte Brühphase ein Temperaturfühler in drei Konserven an

repräsentativen Stellen im Behälter verteilt angebracht. Der Temperaturverlauf zeigt das Temperaturverhalten im Brät, welches sich signifikant von der Behältertemperatur unterscheidet. Es ist zunächst ein relativ linearer Temperaturanstieg im Kern der Brühwurstkonserven zu beobachten. Durch die Stufenkochung, welche den Temperaturanstieg verlangsamt, verringert sich die Steigung des zunächst linearen Temperaturanstiegs. Dadurch werden die Kultivierungsbedingungen für Umrötekulturen wie *Staphylococcus carnosus* für einen weiteren kurzen Zeitraum begünstigt, was im Zuge des alternativen Umrötevorgangs von Bedeutung ist. Die Kurve der Temperaturzunahme flacht beim Erreichen von höheren Temperaturen ab 90 °C zunehmend ab. Die maximale Temperatur von ca. 108 °C wird erst nach ca. 90 Minuten erreicht. Anschließend wird der Erhitzungsprozess beendet und die Abkühlphase eingeleitet, was die Kerntemperatur wieder absinken lässt. Es kommt zunächst zu einem annähernd linearen Verlauf der Temperaturabsenkung in den nächsten 30 bis 45 Minuten. Anschließend verlangsamt sich die Temperaturabsenkung und die Kerntemperatur in den Brühwurstkonserven kühlt weiter langsam ab. Im Rahmen der Brühwurstkonservenproduktion wird die F-Wert Ermittlung als relevanter Parameter für die mikrobiologische Stabilität herangezogen.

Die generierten F-Werte von ca. 1,1 bis 1,4 erweisen sich als ausreichend, um eine mikrobiologische Stabilität über den Zeitraum des Mindesthaltbarkeitsdatums und darüber hinaus zu erzeugen.

Das Foto 07 zeigt einen entsprechenden Autoklaven, welcher mit Gitterboxen für Wurstkonserven bestückt ist. Es handelt sich um einen Rotationsverdampfer, welcher im Sattedampfbereich (trocken gesättigter Wasserdampf) betrieben wird. Die Gitterboxen mit den Brühwurstkonserven werden während der Brühprozesses gedreht um eine gleichmäßige Verteilung des Dampfes zu gewährleisten.

7.2 Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe

Auf Grundlage des Standes der wissenschaftlichen Forschung (Kap. 5.4 ff.) wurden für die Salamiproduktion bei der BESH im Rahmen dieses Forschungs- und Entwick-

lungsvorhabens Innovationen bezüglich der Rezepturen und der technologischen Verfahrensschritte theoretisch entwickelt und in Versuchen auf die Umsetzbarkeit in der Praxis überprüft.

Die Anlieferung der Schweine und die Vorbereitung auf die Schlachtung sowie der Schlachtprozess erfolgt art- und tierwohlgerecht.

7.2.1 Zerlegung der Schlachtschweine und Sortierung der Fleischabschnitte

Für die Salamierherstellung werden vorzugsweise Altsauen verwendet. Der Vorteil für die Salamiproduktion liegt darin, dass die Konzentration an Myoglobin im Muskelfleisch bei Altsauen höher ist. Die Anlieferung der Schweine und die Vorbereitung auf die Schlachtung sowie der Schlachtprozess erfolgt art- und tierwohlgerecht.

Nach der Grobzerlegung der Schlachtschweine werden die Schweinehälften innerhalb von 24 Stunden auf 4 bis 2 °C gekühlt. Nach der Kühlphase werden die Schweinehälften der Schweinezerlegung zugeführt. Vor der Zerlegung wird der pH_{24} in der Keule gemessen. Bei pH_{24} -Werten unter 5,7-5,8 liegt Muskelfleisch mit PSE-Eigenschaften vor, welches für die Salamierherstellung aussortiert wird. Bei der Salamierherstellung sind Fleischabschnitte mit niedrigen pH-Werten förderlich, da ein schnelles Aussaften der wässrigen Phase im Muskelfleisch erfolgt (rascher Wasserentzug). Somit kommt es schneller zu einer signifikanten Abtrocknung und einer daraus resultierenden a_w -Wert-Absenkung, wodurch schnell eine mikrobiologische Stabilität erreicht wird. Besonders bei der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe wie Natriumnitrit ist ein zügiges Erreichen einer mikrobiologischen Stabilität von entscheidender Wichtigkeit. Ebenso muss auf eine sorgfältige Zerlegehygiene geachtet werden, um Kontaminationen mit verschiedenen Keimen zu vermeiden.

Für die Salamierherstellung werden während des Zerlegeprozesses die entsprechenden Fleischabschnitte separat in gekennzeichnete Kisten verbracht. In diesem Zusammenhang werden für die verschiedenen Fleischrezepturen die Sortierungen anhand des Fettgehalts differenziert. Hierzu wird die in der Branche übliche und standardisierte

Klassifizierung und Sortierung der Fleischabschnitte angewandt. Dabei werden die folgenden drei Sortierungen im Wesentlichen anhand des Fettgehalts klassifiziert und entsprechend separiert.

Tabelle 16 Sortierung des Verarbeitungsfleischs vom Schwein anhand der Leitsätze (BMEL, 2015/2020)

Sortierung des Verarbeitungsfleischs vom Schwein anhand der Leitsätze	Fettgehalt
Verarbeitungsfleisch I vom Schwein (S I) Leitsatz Nr. 1.121 Beschreibung Von sichtbarem Fett und Bindegewebe befreit. Muskelstücken von Schinken und Schulter, ohne sichtbares Fett- und Bindegewebe.	Ca. 5 %
Verarbeitungsfleisch II vom Schwein (S II) Leitsatz Nr. 1.122 Beschreibung Grob entseht und grob entfettet. Schulter, ohne das unter der Schwarte angelagerte Fettgewebe, grob entseht.	Ca. 10 %
Verarbeitungsfleisch III vom Schwein (S III) Leitsatz Nr. 1.123 Beschreibung Durchwachsen, gut entseht. Brustspitzen, Bauch ohne Griff von E- bis U-Schweinen (SEURO-ROP).	Ca. 26 %

Für die Produktion von Edelsalami, welche nur aus Schweinefleisch besteht, wird Verarbeitungsfleisch I vom Schwein (S I) in Stücke von etwa 10 cm x 5 cm x 5 cm zerkleinert und in einem Tiefkühlraum eingelagert. Dieses tiefgefrorene Verarbeitungsfleisch wird aus technologischen Gründen zur Salamiherstellung benötigt. Zusätzlich schafft dies Pufferkapazitäten in der Disposition der Schlachtschweine, was Produktionsspitzen abfedern kann.

Der Rückenspeck vom Schwein wird im Rahmen des Zerlegeprozesses separat abgetrennt und sortiert. Zusätzlich wird die äußere Schwarte entfernt, welche in der Salamiherstellung keine Verwendung findet. Der Rückenspeck wird auch in einem Tiefkühlraum (TK-Raum) eingelagert und tiefgefroren. Auch hier können Produktionsspitzen durch die Einlagerung in einem TK-Raum gepuffert werden.

Die Salamiprodukte der Bäuerlichen Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall werden in einer Betriebsstätte in Frankenheim im Landkreis Meiningen in Thüringen hergestellt. Diese liegt in der Hoch Rhön auf ca. 800 m ü. NHN im Biosphärenreservat Rhön. Daher verfügt der Standort über eine herausragende Luftqualität, was die Bedingungen für die Reifung von Salami- und Rohschinkenprodukten besonders begünstigt. Die für die Salamiproduktion benötigten Rohwaren werden vom Erzeugerschlachthof Schwäbisch Hall zur Wurst -und Schinkenmanufaktur der BESH nach Frankenheim transportiert. Nach der Ankunft der Rohwaren am Produktionsstandort Frankenheim wird eine Wareneingangskontrolle durchgeführt, welche die Parameter Temperatur, pH-Wert und sensorische Prüfungen beinhaltet. Richtwerte für die Temperatur der Rohware bei der Anlieferung sind für gekühlte Rohwaren $< 7\text{ °C}$ und für tiefgefrorene Rohwaren bei Anlieferung $< -18\text{ °C}$.

Für die Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe müssen die vorgegebenen Parameter konsequent eingehalten werden, um insbesondere die mikrobiologische Stabilität sicherzustellen. Alle Parameter werden im Rahmen der Eingangskontrolle überprüft und bei Abweichungen wird die Ware gesperrt. Alle angelieferten und akzeptierten Waren bekommen einen Wareneingangsstempel und ein entsprechendes Etikett mit einem definierten EAN-Code zur Identifizierung. Dadurch wird über das Warenwirtschaftsprogramm eine durchgehende Dokumentation sichergestellt. Die Rohwaren werden je nach Warengruppe in ein Kühlhaus bzw. Tiefkühlhaus eingelagert und für die Weiterverarbeitung bereitgestellt. Teilweise müssen auch Rohwaren noch in einen tiefgefrorenen Zustand gebracht werden. Hierzu werden die betreffenden Rohwaren schockgefrostet um möglichst wenig Wasserverlust (Aussaftung) während des Gefriervorgangs zu verursachen.

7.2.2 Der Kutter- und Reifeprozess

Nach der Chargierung und Materialzubereitung und -zusammenstellung erfolgt der Kutterprozess, der für die Qualität des Endproduktes von zentraler Bedeutung ist. Die Reifung der Salami ist ein weiterer wesentlicher Verfahrensschritt, der über die Qualität des Endproduktes entscheidet. Der gesamte Verfahrensablauf ist in Abb. 07 dargestellt.

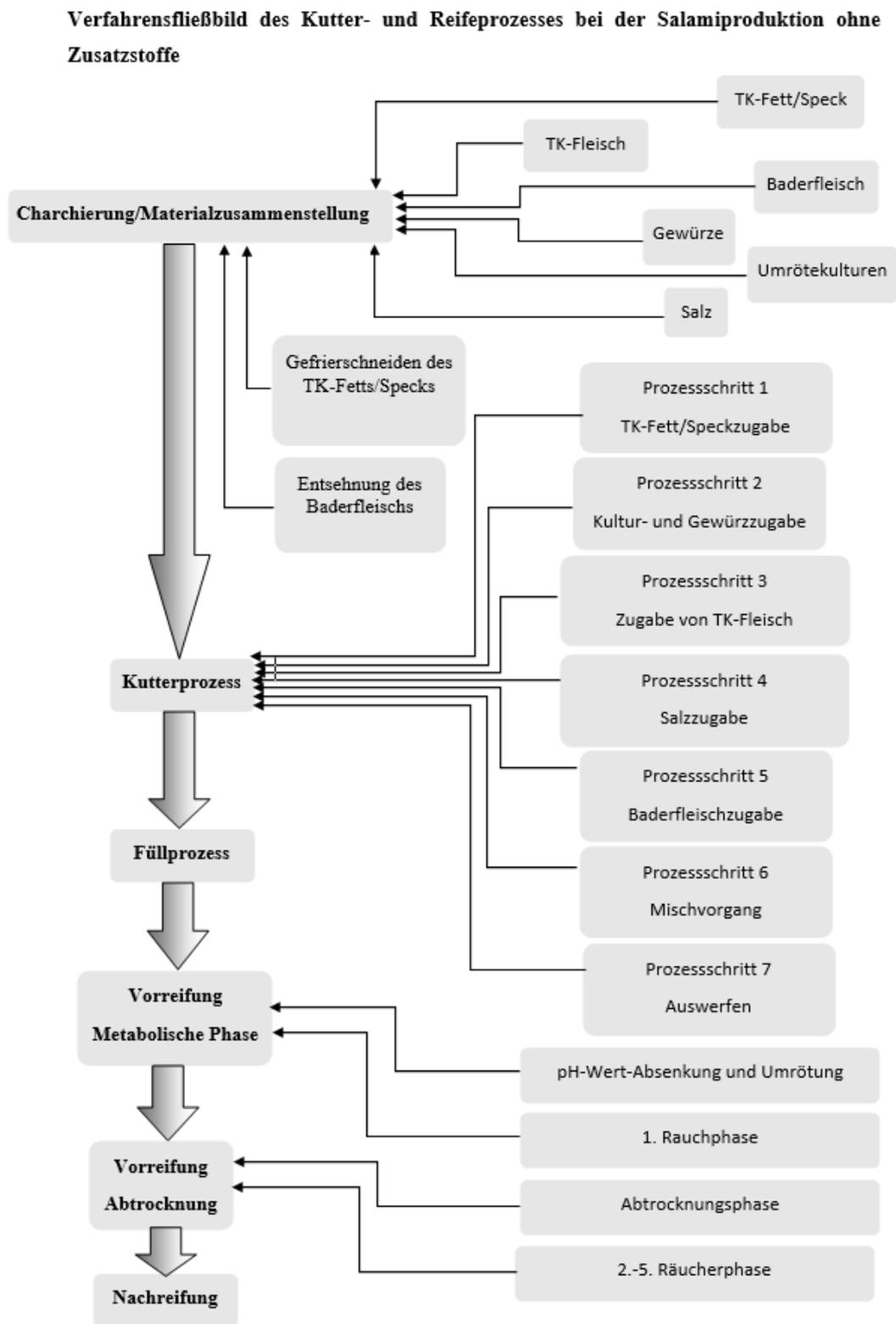


Abbildung 07 Verfahrensfließbild des Kutter- und Reifeprozesses bei der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe

7.2.2.1 Chargieren und Zubereitung sowie Zusammenstellung der Rohwaren

Für die Schweinesalami waren **Innovationen bei den Rezepturen** notwendig, um eine Produktion ohne Zusatzstoffe zu ermöglichen. Als Basis hierfür dienten die Erfahrungswerte aus der Praxis (Mayer, 2015).

Die Rezeptur für Salami aus Schweinefleisch besteht aus drei relevanten Fleischzutaten: Tiefgefrorener Rückenspeck vom Schwein ohne Schwarte, tiefgefrorenes Verarbeitungsfleisch vom Schwein nach der Sortierung I und Verarbeitungsfleisch vom Schwein nach der Sortierung I zum Baden (Tabelle 17). Dafür werden jeweils drei Kutterwägen pro Kutterbefüllung mit den jeweiligen Zutaten befüllt. Die Fleischzutaten werden über eine Bodenwaage eingewogen und über das Warenwirtschaftsprogramm quittiert. In einem eigens dafür eingerichteten Mischraum werden die weiteren Zutaten wie Gewürzmenge, Salzmenge und Kulturenmenge für eine Kutterfüllung vorbereitet und eingewogen. Die Därme sind erst nach dem Kutterprozess im Rahmen des Füllprozesses relevant.

Tabelle 17: Rezeptur für Edelsalami ohne Zusatzstoffe

Edelsalami-Fleischrezeptur		
Eingesetzte Zutaten	Zugabemenge in kg	Prozentualer Anteil
Rückenspeck vom Schwein ohne Schwarte tiefgefroren	35	22,43 %
Verarbeitungsfleisch vom Schwein (S I) tiefgefroren	35	22,43 %
Schweinefleisch zum Badern (Entsehnen)	80	51,27 %
Bio-Edelsalami-Gewürzmischung	2,10	1,35 %
Naturbelassenes Steinsalz	3,90	2,50 %
Reifekulturen:	0,050	0,03 %
Gesamtmenge der Zutaten in kg	156,05	100 %

Das tiefgefrorene Fett und Verarbeitungsfleisch werden in einem standardisierten Verfahren mittels eines Gefrierschneiders in gleich große homogene Stücke von 10 x 5 x 5 cm geteilt, die dann für die Chargierung zur Verfügung stehen. Dafür werden jeweils drei Kutterwägen pro Kutterbefüllung mit den jeweiligen Zutaten befüllt. Die Fleischzutaten werden über eine Bodenwaage eingewogen und über das Warenwirtschaftsprogramm quittiert. In einem eigens dafür eingerichteten Mischraum werden die weiteren Zutaten wie Gewürzmenge, Salzmenge und Kulturenmenge für eine Kutterfüllung vorbereitet und eingewogen. Die Därme sind erst nach dem Kutterprozess im Rahmen des Füllprozesses relevant.



Foto 08: Gefrierschneider zum Schneiden von Speck bzw. Speckblöcken in Würfeln

Das **Badern bzw. Entsehnen** des Verarbeitungsfleischs ist im Rahmen der Herstellung von qualitativ hochwertigen Salamiprodukten eine wichtige Komponente, da hierdurch die Qualität in Bezug auf ein homogenes sehnenfreies Schnittbild deutlich verbessert wird. Allerdings birgt der Baderprozess durch die Erhöhung der spezifischen Oberfläche auch ein zusätzliches mikrobiologisches Gefahrenpotenzial. Daher werden zusätzliche Maßnahmen in Bezug auf den Prozessverlauf implementiert, um die mikrobiologische Stabilität nicht zu gefährden. Dies erfolgt in zusätzlichen Hygienemaßnahmen wie erweiterte Desinfektionsmaßnahmen der Maschinen und Geräte sowie erhöhte Personalhygienemaßnahmen.

Beim Badern wird der Anteil an Verarbeitungsfleisch in der Rezeptur, welcher nicht tiefgefroren wurde, einem speziellen Entsehnungsprozess unterzogen. Dabei wird über eine massive Walze und eine Lochwalze, welche um die massive Walze angeordnet ist, eine Entsehnung herbeigeführt, indem durch die massive Walze die Sehnen durch die Löcher in der Lochwalze herausgezogen werden. Das Verarbeitungsfleisch,

welches durch den Prozess entseht wird, wird im Zuge des Prozesses auf eine Körnung von ca. 2 mm zerkleinert. Das zerkleinerte und entsehnte Verarbeitungsfleisch ist daher in Bezug auf die mikrobiologische Stabilität wie Hackfleisch zu betrachten. Daher ist eine zeitnahe anschließende Weiterverarbeitung im Zuge des Kutterprozesses bei der Salamierherstellung ohne Zusatzstoffe notwendig, da durch den Verzicht von Natriumnitrit ein leicht erhöhtes Risiko durch mikrobiellen Verderb im Endprodukt besteht.

Die entfernten Sehnen werden separat gesammelt und können aufgrund des hohen Kollagengehaltes anderen technologischen Prozessen zugeführt werden. Die Sehnen werden in vielen Betrieben durch einen Prozess des Staubkutters sehr fein zerkleinert und anschließend in geringen Dosierungen für die Brühwurstproduktion zur Bindung und Stabilisierung des Brühwurstbräts eingesetzt.

Am Ende des Baderprozesses wird das entsehnte Verarbeitungsfleisch im Rahmen des Prozesses in Kutterwägen gefüllt und kann im weiteren Verlauf der Chargierung anhand der Rezeptur eingewogen werden.

Nachfolgend ist eine Bademaschine bzw. Entsehnungsmaschine während des Betriebs abgebildet.



Foto 09: Entsehnungsmaschine bzw. Bademaschine von SEPAmatic während des Betriebs

Verwendete Bio-Salami-Gewürzmischungen

Die wissenschaftlichen Untersuchungen wurden exemplarisch bei der Herstellung einer reinen Schweinesalami (Edelsalami) durchgeführt. Für die Salamiherstellung ohne Zusatzstoffe waren besondere Anforderungen an die Gewürzmischungen und auch an die übrigen Zutaten zu stellen. Diese wurden vom Verfasser auf der Grundlage des Standes der Forschung (Kap. 5.4 ff.) und des Erfahrungswissens (Mayer, 2015) theoretisch hergeleitet und empirisch durch viele Versuche und Probeproduktionen bis zur Praxisreife entwickelt. Dabei spielten sowohl technologische als auch geschmackliche Einflussfaktoren eine wesentliche Rolle.

Tabelle 18: Zutaten der Bio-Edelsalamigewürzmischung

Eingesetzte Bio-Zutaten	Edelsalamigewürzmischung Anteil (%)
Dextrose (Glucose)	7,86
Rübenzucker	1,43
Knoblauchpulver (Knoblauchgranulat gemahlen)	5,71
Hohenloher Koriander gemahlen	3,57
Schabzigerklee gemahlen	0,71
Gemüseboullion	5,71
Pfeffer schwarz gemahlen	14,29
Rote Bete fein gemahlen (Pulver)	21,43
Ecolandwürzer	7,14
Lorbeerblatt gemahlen	1,02
Acerolakirsche fein gemahlen	2,86
Aurapa-Gemüsepulver	7,14
Kümmel gemahlen	1,05
Pastinakenpulver	5,07
Piment gemahlen	2,86
Maltodextrin	0,71
Anis gemahlen	5,00
Fenchel gemahlen	5,00
Paprika edelsüß gemahlen	1,43
Gesamte Zugabemenge der Bio-Gewürzmischung in $\frac{g}{kg}$	14

Zur Entwicklung der Rezepturen waren die genauen Kenntnisse über die technologischen Eigenschaften der Zutaten eine Grundvoraussetzung für die Salamierherstellung. Daneben musste aber auch die geschmacklichen Komponenten, die gleichfalls

in das Produkt eingebracht wurden, berücksichtigt werden. Dieser Optimierungsprozess wurde in vielen Vorversuchen durchgeführt und war die Grundlage für die zuvor dargelegten Rezepturen und für die Zusammensetzung der Zutaten, deren spezifische Wirkungsweise im Folgenden dargelegt wird.

Bio-Pfeffer schwarz gemahlen

Schwarzer Pfeffer wird aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet. Der schwarze Pfeffer verfügt über ein breites Spektrum an verschiedenen Pfefferaromen und bringt eine angenehme Schärfe ins Produkt. Der schwarze Pfeffer fungiert in beiden Bio-Salamigewürzmischungen als eine dominante geschmackliche Komponente.

Bio-Dextrose (Glucose)

Bei der Dextrose bzw. Glucose handelt es sich um ein Monosaccharid, welches aus technologischen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet wird. Das Monosaccharid wirkt sofort als Substrat für verschiedene Reifekulturen, welche im Rahmen der alternativen Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe eingesetzt werden. So kann Dextrose bzw. Glucose sehr schnell im Zuge metabolischer Stoffwechselprozesses umgesetzt werden, da keine Hydrolyse von polymeren Strukturen wie verschiedener Polysaccharide oder auch Oligosaccharide notwendig ist. Daher kommt es durch die Dextrose bzw. Glucose sehr schnell zu einer Absäuerung bzw. pH-Wert-Senkung durch die Stoffwechselaktivität der Milchsäurebakterien (*Lactobacillus sakei*). Auch den Umrötekulturen wie *Staphylococcus carnosus* verhilft die Dextrose zu einer beschleunigten Stoffwechselaktivität.

Bio-Piment fein gemahlen

Piment wird aus rein geschmacklichen Gründen der Bio-Edelsalamigewürzmischung zugegeben. Die Zutat Piment verleiht der Edelsalami einen würzigen Geschmack, welcher aus mehreren Geschmacksnuancen besteht. So bildet das Aroma eine Kombination aus schwarzem Pfeffer, Zimt, Nelken und ein wenig Muskat. Daher wurde im Englischen auch der Begriff Allspice für Piment geprägt.

Bio-Koriander fein gemahlen

Beim Koriander handelt es sich um eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet wird. Koriander wird üblicherweise zu einem gewissen Anteil in Rindersalamiprodukten verwendet. Auch in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung wird der Koriander zur geschmacklichen Abrundung eingesetzt. Jedoch soll der Koriander in der Edelsalami-Gewürzmischung nicht dominant vorschmecken,

Bio-Knoblauchpulver

Beim Knoblauchpulver handelt es sich um eine Zutat, welche hauptsächlich aus geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet wird. Das Knoblauchpulver verleiht der Edelsalami das arttypische Knoblaucharoma. Das Knoblauchpulver wird aus Gründen der besseren geschmacklichen Qualität aus Knoblauchgranulat frisch gemahlen. Das unangenehme Aroma nach oxidiertem Knoblauch wird somit verringert. Zudem wirkt sich das Knoblaucharoma positiv auf die geschmackliche Abrundung bei der Edelsalami aus. Das Knoblaucharoma soll nicht dominant in der Edelsalami vorschmecken, sondern überwiegend zur geschmacklichen Abrundung beitragen. Entsprechend wird die Zugabemenge an Bio-Knoblauchpulver etwas geringer angesetzt.

Es muss beim getrockneten Knoblauchpulver der nicht unerhebliche Anteil an Saccharose, welcher im Knoblauchpulver enthalten ist, berücksichtigt werden. So verringert sich die zu verwendende Menge an Bio-Rübenzucker entsprechend anteilig der Menge an Bio-Knoblauchpulver. Die natürlich enthaltene Saccharose im Bio-Knoblauchpulver wirkt analog zur Saccharose im Rübenzucker auf die pH-Wert-Entwicklung während des Reifeverlaufs. So wird die Saccharose zunächst hydrolysiert und im weiteren Verlauf zu Milchsäure bzw. Lactat umgesetzt, was den pH-Wert absenkt.

Bio-Lorbeerblatt gemahlen

Die Lorbeerblätter werden als eine Zutat verwendet, welche aus rein geschmacklichen Gründen der Bio-Edelsalami Gewürzmischung zugegeben wird. Die gemahlene Lorbeerblätter sind nur in einer geringen Dosierung in der Gewürzmischung enthalten und sollen nicht vorschmecken. Insgesamt sorgen die gemahlene Bio-Lorbeerblätter für eine geschmackliche Abrundung.

Bio-Rübenzucker

Beim Rübenzucker handelt es sich um eine Zutat, welche aus technologischen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung eingesetzt wird. In technologischer Hinsicht wirkt Rübenzucker als Substrat für die Umrötekulturen *Staphylococcus carnosus* sp. und die Milchsäurebakterien (*Lactobacillus sakei*). Somit können die Umrötekulturen *Staphylococcus carnosus* sp. und die Milchsäurebakterien (*Lactobacillus sakei*) eine höhere Stoffwechselrate betreiben. Der Rübenzucker, welcher überwiegend aus Saccharose (Disaccharid) besteht, wirkt etwas langsamer als die Dextrose bzw. Glucose. Somit lässt sich der Verlauf der pH-Wert-Absenkung steuern. Die Saccharose wird zunächst hydrolysiert und wirkt daher leicht verzögert als Substrat für bakterielle Stoffwechselprozesse. Besonders die Umrötekulturen *Staphylococcus carnosus* sp. können in einer fortgeschrittenen Reifephase noch Metabolismus betreiben, da *Staphylococcus carnosus* sp. geringe pH-Werte und a_w -Werte vertragen. Daher sind in diesem Zusammenhang Zuckerverbindungen, welche langsamer wirken von wichtiger Bedeutung. *Staphylococcus carnosus* sp. fungieren in einer fortgeschrittenen Reifephase nicht nur als Nitratatmer, welche Nitrate zu Nitrit reduzieren, sondern bewirken durch die charakteristische Katalase-Aktivität eine Regulierung bzw. Absenkung der Wasserstoffperoxid-Konzentration im Salamiprodukt. Dadurch werden Oxidationsprozesse von vor allem ungesättigten Fettsäuren reduziert, was das Ranzig-werden der Salamiprodukte verringert bzw. verhindert. Zudem sind *Staphylococcus carnosus* sp. auch in Bezug auf die Aromabildung der Salamiprodukte in einer vorgeschrittenen Reifephase relevant.

Wie auch bei der Dextrose bzw. Glucose ist im fertigen Endprodukt der Edelsalami praktisch kein Rübenzucker mehr enthalten, da es zu einer vollständigen Metabolisierung des Rübenzuckers kommt. Auch beim Rübenzucker muss die Zugabemenge in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung etwas reduziert werden, da der End-pH-Wert von 5,1-5,2 nicht unterschritten werden soll. Dies ist anhand des geringeren pH-Werts beim Schweinefleisch erforderlich, um die Absäuerung durch Milchsäuregärung etwas abzuschwächen.

Bio Rote Bete fein gemahlen

Rote Bete wird aus technologischen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet. Rote Bete verfügt über einen tief roten bis violetten Farbton und wirkt

dadurch färbend auf das Salamibrät. Die verwendete Menge muss entsprechend angepasst sein, denn bei Überdosierungen kommt es bei Salamiprodukten zu einem dunklen und violetten Farbton. Trotzdem eignet sich Rote Bete sehr gut zum Färben von Salamiprodukten und wird daher auch in höheren Konzentrationen in Gewürzmischungen zur Salamiherstellung verwendet. Besonders bei Salamiprodukten aus Schweinefleisch ist die Verwendung von getrocknetem Rote Bete Pulver noch wirkungsvoller, da der Anteil an Myoglobin im Muskelfleisch von Schweinefleisch deutlich geringer ist. Dies wirkt sich umso mehr aus, da ohnehin Fleischabschnitte mit niedrigeren pH-Werten für die Salamiproduktion verwendet werden. Somit wird eher blasses und helles Muskelfleisch in Salamiprodukten eingesetzt. Da der Anteil an Myoglobin geringer ist, kommt es auch während der Reifephase zu einem geringeren Anteil an umgesetzten Nitrosomyoglobin, was den arttypischen rötlichen Farbton von Salamiprodukten generiert. Somit ist die farbgebende Eigenschaft von getrocknetem Rote Bete Pulver noch bedeutender und wichtiger für einen angenehm rötlichen Farbton.

Rote Bete verfügt über eine relativ hohe Nitrat-Konzentration, weshalb Rote Bete aus technologischer Hinsicht auch als Nitratquelle für den Umröteprozess fungiert. Dies ist in Bezug auf die Edelsalamiherstellung von Bedeutung, da die zugegebene Menge von 3 g/kg Brätmasse als hohe Zugabemenge anzusehen ist, wodurch auch eine signifikante Konzentration an Nitrat generiert wird.

Insgesamt wird in der Edelsalami, welche aus Schweinefleisch hergestellt wird, weniger Nitrat zur Umrötung benötigt als vergleichsweise bei Rindersalamiprodukten. Grund hierfür ist die geringere Konzentration an Myoglobin im Muskelfleisch von Schweinen. Daher wird auch weniger Nitrat zu Nitrosomyoglobin umgesetzt und es kommt bei einer Überdosierung an nitrathaltigen Komponenten zu hohen Restnitrat- und Restnitritwerten im Endprodukt.

Getrocknete und gemahlene Rote Bete enthält auch einen hohen Anteil an Zucker (Saccharose), welcher analog zum Rübenzucker eine technologische Wirkung in Bezug auf die pH-Wert-Senkung generiert. Die enthaltene Zuckermenge an Saccharose ist somit in der Gesamtmischung zu berücksichtigen und fungiert daher als Substrat für bakterielle Stoffwechselprozesse. Auch die Stoffwechselaktivität von Kulturen wie *Staphylococcus carnosus* wird dadurch begünstigt.

Bio-Maltodextrin

Bio-Maltodextrin wird aus technologischen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung eingesetzt. Auch das Maltodextrin wird im Verlauf der Reifephase zu Milchsäure (Lactat) metabolisiert. Jedoch erfolgt die Metabolisierung zu Milchsäure (Lactat) sehr viel langsamer als vergleichsweise bei Dextrose bzw. Glucose. Da Maltodextrin aus polymerisierten Glucoseeinheiten (bis zu 20 Einheiten) besteht, werden die glycosidisch verknüpften Glucoseeinheiten im ersten Schritt hydrolysiert. Anschließend erfolgt die bakterielle Umsetzung zur Milchsäure (Lactat). Somit findet eine zeitlich verzögerte pH-Wert-Absenkung statt. Da im weiteren Verlauf der Reifephase der pH-Wert wieder langsam steigen soll (bis auf einen pH-Wert von 5,1-5,2), wird nur eine geringe Dosierung an Maltodextrin verwendet. Somit kommt es im Verlauf der Reifephase nur zu einer geringen Nachsäuerung. Die Nachsäuerung während der Reifephase wird bei Salami aus Schweinefleisch zusätzlich verringert. Grund ist der deutlich niedrigere Anfangs-pH-Wert, welcher durch das Rohmaterial bedingt wird.

Umrötekulturen wie *Staphylococcus carnosus* sp. können in einer fortgeschrittenen Reifephase noch Metabolismus betreiben, da *Staphylococcus carnosus* sp. geringe pH-Werte und a_w -Werte tolerieren. Daher sind in diesem Zusammenhang Zuckerverbindungen wie Maltodextrin, welche sehr langsamer wirken von wichtiger Bedeutung. *Staphylococcus carnosus* sp. fungieren in einer fortgeschrittenen Reifephase nicht nur als Nitratatmer, welche Nitrate zu Nitrit reduzieren, sondern bewirken durch die charakteristische Katalase-Aktivität eine Regulierung bzw. Absenkung der Wasserstoffperoxid-Konzentration im Salamiprodukt. Dadurch werden Oxidationsprozesse von vor allem ungesättigten Fettsäuren reduziert, was das Ranzig-werden der Salamiprodukte verringert bzw. verhindert. Zudem sind *Staphylococcus carnosus* sp. auch in Bezug auf die Aromabildung der Salamiprodukte in einer vorgeschrittenen Reifephase relevant.

Bio-Acerolakirsche fein gemahlen

Die gemahlene Acerolakirsche wird aus technologischen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung eingesetzt. Die Bio-Acerolakirsche begünstigt durch ihren hohen Gehalt an Vitamin C bzw. Ascorbinsäure den Umröteprozess in Salamiprodukten wie der Edelsalami (siehe Kapitel 3.5 ff.). Durch die sauren Eigenschaften der Ascorbinsäure, kommt es zur Absenkung des pH-Wertes, was in geschmacklicher Hinsicht ein

säuerliches Aroma verleiht. Jedoch ist in Salamiprodukten eine pH-Wert-Absenkung in der ersten Phase der Reifung erwünscht, was somit einen positiven Effekt generiert. Jedoch kann bei Überdosierungen der pH-Wert zu stark abfallen, was zu einem zu niedrigen End-pH-Wert führt. Die Salami wird dadurch ein unangenehm starkes säuerliches Aroma erhalten, was in geschmacklicher Hinsicht unerwünscht ist. Besonders bei Salamiprodukten aus Schweinefleisch ist die pH-Wert-Absenkung zu berücksichtigen, da durch das Muskelfleisch vom Schwein bereits ein geringerer Anfangs-pH-Wert vorliegt, was somit auch den End-pH-Wert beeinflusst. Da hier pH-Werte von 5,1-5,2 erzielt werden sollen, wird die Zugabemenge an gemahlener Acerolakirschpulver leicht reduziert. Die enthaltene Ascorbinsäure der gemahlener Acerolakirsche fungiert im Zuge der Umsetzung von Nitrat als Reduktionsmittel. Jedoch wird bei einer geringeren Konzentration an Myoglobin im Rohmaterial auch eine geringere Menge an Nitrosomyoglobin umgesetzt. Somit verringert sich auch die benötigte Menge an Nitrat, welches im Zuge der alternativen Umrötung mithilfe von Ascorbinsäure umgesetzt wird.

Bio-Aurapa-Gemüsepulver

Das Aurapa-Gemüsepulver wird als eine Zutat eingesetzt, welche hauptsächlich aus technologischen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet wird. Das Aurapa-Gemüsepulver wird im Rahmen des Umröteprozesses eingesetzt. Das Aurapa-Gemüsepulver besteht aus getrockneten und gemahlener Gemüse, welche einen signifikanten Anteil an Nitrat enthalten. Die verschiedenen Gemüse, welche im Aurapa-Gemüsepulver enthalten sind, fungieren als Nitratquelle für Nitratatmer wie *Staphylococcus carnosus*. Das Aurapa-Gemüsepulver verfügt außerdem über eine geschmackliche Komponente. Analog zu einem Gemüseboullion oder einer Gemüsebrühe, entfaltet sich ein würziges Gemüsearoma, was zur geschmacklichen Abrundung beiträgt.

Die verschiedenen gemahlener Gemüsepulver enthalten zum Teil auch Saccharose, welche im Zuge der Milchsäuregärung zu einer pH-Wert-Absenkung beiträgt.

In der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung wird eine relativ geringe Zugabemenge angesetzt. Grund hierfür ist die vergleichsweise geringere Konzentration an Myoglobin im Schweinefleisch - verglichen mit anderen Tiergattungen wie Rind. Somit wird im Zuge

des alternativen Umröteverfahrens auch weniger Nitrat benötigt, welches zu Nitrosomyoglobin umgesetzt wird.

Bio-Gemüsebrühe

Die Gemüsebrühe ist eine Mischung aus verschiedenen gemahlene und getrocknete Gemüsepulvern. Die Mischung wird in der Gewürzmanufaktur Ecoland Herbs & Spices hergestellt und entsprechend gemischt. Die Gemüsebrühe wird in der Bio-Edelsalamigewürzmischung zur geschmacklichen Abrundung eingesetzt. Teilweise fungieren verschiedene Zutaten der Gemüsebrühe auch als effektive Nitratquelle in Bezug auf das alternative Umröteverfahren.

Auch in der Gemüsebrühe von Ecoland Herbs & Spices ist ein gewisser Anteil an Saccharose enthalten, was durch die natürliche Saccharose-Konzentration in den gemahlene Gemüsepulvern bedingt wird. Auch dieser Anteil an Saccharose ist im Rahmen der pH-Wert Senkung durch Milchsäuregärung zu berücksichtigen. Bei der Edelsalami ist dieser Effekt anders zu beurteilen als vergleichsweise bei Rindersalamiprodukten, da der pH-Wert bei dem eingesetzten Muskelfleisch vom Schwein niedriger ist. Somit müssen die Mengen an Rübenzucker (Saccharose) angepasst bzw. reduziert werden.

Bio-Ecolandwürzer

Beim Ecolandwürzer handelt es sich auch um eine Gewürzmischung, welche in der Gewürzmanufaktur Ecoland Herbs & Spices hergestellt und entsprechend gemischt wird. Es handelt sich ebenso um eine standardisierte Gewürzmischung, welche zur geschmacklichen Abrundung eingesetzt wird. Der würzige Charakter dieser Gewürzmischung wirkt sich positiv auf die Edelsalami aus. Auch in der Ecolandwürzer-Gewürzmischung sind teilweise Zutaten enthalten, welche als effektive Nitratquellen fungieren und somit im Zuge des alternativen Umröteverfahrens relevant sind. Die Zusammensetzung sowie die Rezeptur des Ecolandwürzers sind im Anhang 4 aufgeführt.

Bio-Schabziger Klee gemahlen

Beim Schabziger Klee handelt es sich um eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalamigewürzmischung verwendet wird. Der Schabziger Klee verfügt über ein besonders intensives Aroma. Daher wird eine geringe Zugabemenge angesetzt, um eine Überwürzung zu vermeiden. Der Schabziger Klee wirkt bei zu hohen Dosierungen sehr schnell geschmacklich penetrant und somit unangenehm.

Der Schabziger Klee wirkt geschmacksverstärkend und rundet die Bio-Edelsalamigewürzmischung geschmacklich ab. Das Aroma des Schabziger Klees wird häufig als Umami-Geschmack empfunden. Dies wirkt sich positiv auf das gesamte Aroma der Bio-Edelsalamigewürzmischung und somit auf die Edelsalami aus.

Bio-Kümmel gemahlen

Der gemahlene Bio-Kümmel wird als eine Zutat eingesetzt, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung verwendet wird. Das Aroma des Kümmels eignet sich sehr gut für Gewürzmischungen, welche für Schweinefleischprodukte eingesetzt werden. Auch beim Kümmel tritt der Effekt ein, dass das unangenehme Aroma des Schweinefetts überlagert wird. Der Kümmel sollte jedoch nicht zu sehr vorschmecken, sondern zur Abrundung beitragen. Entsprechend wird die Dosierung des Bio-Kümmels angepasst.

Bio-Paprika edelsüß gemahlen

Gemahlener edelsüßer Paprika ist eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung eingesetzt wird. Die gemahlene edelsüße Paprika verleiht der Edelsalami ein angenehmes Paprikaaroma und rundet das Produkt ideal ab. Es wird jedoch nur eine geringe Zugabemenge an gemahlener edelsüßer Paprika verwendet, da sich die in der Salami enthaltenen sichtbaren Fettbestandteile leicht orangefarben färben, was häufig als optischer Fehler in der Fachwelt empfunden wird.

Die enthaltene Menge an Saccharose in der gemahlenden edelsüßen Paprika ist im Zuge der pH-Wert-Absenkung durch Milchsäuregärung zu berücksichtigen. In der gemahlenden edelsüßen Paprika ist der Anteil an Saccharose besonders hoch (bis zu 25 %), daher ist der Anteil an Saccharose im Rahmen der Absäuerung besonders zu berücksichtigen. In der Edelsalami aus Schweinefleisch ist der Anfangs-pH-Wert ohnehin schon etwas geringer.

Bio-Pastinaken Pulver

Beim Pastinaken Pulver handelt es sich um eine Zutat, welches hauptsächlich aus geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung verwendet wird. Das Pastinaken Pulver wird in der Edelsalami rein zur geschmacklichen Abrundung

verwendet und sollte als Einzelzutat nicht vorschmecken. Daher ist die Zugabemenge entsprechend anzupassen.

Auch das getrocknete Pastinaken Pulver enthält einen gewissen Anteil an Saccharose, welcher im Rahmen der Absäuerung bzw. pH-Wert-Absenkung durch Milchsäuregärung relevant ist. Daher ist der Anteil an Saccharose in der Gesamtmischung zu berücksichtigen.

Die Bio-Edelsalamigewürzmischung wurde im Rahmen der Salamierstellung ohne Zusatzstoffe entwickelt und speziell auf die Produktionsweise ohne Zusatzstoffe adaptiert. Die Bio-Edelsalamigewürzmischung wurde empirisch durch viele Versuche und Probeproduktionen entwickelt. Sie wird daher in einem größeren Maßstab eingesetzt, da sich auch die Bio-Edelsalami auf dem Markt etabliert hat. Viele weitere Salamigewürzmischungen für verschiedene Salamisorten wurden im Rahmen der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe entwickelt. Die jeweiligen Bio-Salamigewürzmischungen wurden entsprechend den Fleischrohstoffen, welche in den jeweiligen Salamis verwendet wurden, angepasst und empirisch entwickelt.

Bio-Fenchel gemahlen

Beim gemahlene Fenchel, welcher in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung eingesetzt wird, handelt es sich um gemahlene Süßfenchelsamen, welche ideal zu Salamiprodukten aus Schweinefleisch passen. Der gemahlene Süßfenchel verleiht Salamiprodukten aus Schweinefleisch ein besonders angenehmes Aroma und eine gewisse Frische. Daher darf der Fenchel in der Salami aus Schweinefleisch auch leicht vorschmecken.

Bio-Anis gemahlen

Beim gemahlene Anis handelt es sich um eine Zutat, welche aus rein geschmacklichen Gründen in der Bio-Edelsalami-Gewürzmischung verwendet wird. Gemahlener Anis eignet sich sehr gut als geschmacklicher Bestandteil von Salamiprodukten aus Schweinefleisch. Anis rundet das Aroma von Salamiprodukten aus Schweinefleisch sehr angenehm ab und generiert eine gewisse geschmackliche Frische.

Die Reifekulturen für die Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe

Die Produktion von Salami ohne Zusatzstoffe stellen besondere Herausforderungen bzgl. der Hygiene/Haltbarkeit und der Konsumentenakzeptanz (Erscheinungsbild und Geschmack) dar. Um diesen Herausforderungen zu begegnen braucht es nicht nur die vom Verfasser entwickelten neuen technologischen Verfahrensschritte, sondern sie müssen auch bei der Zusammensetzung der Gewürzmischungen und der Zusammenstellung der Zutaten sowie bei der Auswahl der Reifekulturen berücksichtigt werden.

Lactobacillus sakei

Lactobacillus sakei gehört zur Familie der Lactobacillaceae. Da es sich um ein grampositives Bakterium handelt, verfügen die Zellwände über eine deutlich dickere Mureinschicht (Peptidoglykane), was die Zellen insbesondere in Bezug auf den osmotischen Druck widerstandsfähiger werden lässt. Besonders bei salzhaltigen Fleischerzeugnissen wie Salamiprodukten, welche durch Abtrocknung über niedrigere a_w -Werte verfügen, sollte eine signifikante Robustheit der Reifekulturen gegenüber osmotischen Stress vorhanden sein (Gänzle, 2015; Zheng et al., 2020).

Lactobacillus sakei ist eine Reifekultur, welche homofermentative Milchsäuregärung betreibt. Daher ist *Lactobacillus sakei* anaerob, jedoch aerotolerant. *Lactobacillus sakei* kann den mesophilen Bakterien zugeordnet werden. Die homofermentative Milchsäuregärung des *Lactobacillus sakei* beruht auf dem Metabolismus von Monosacchariden wie Hexosen, welche anhand der Glykolyse zu Pyruvat metabolisiert werden. Pyruvat wird mithilfe von Reduktionsäquivalenten wie $NADH + H^+$ zu Milchsäure umgesetzt. Je Molekül Hexose werden zwei Moleküle Milchsäure generiert. Es kommt dadurch zur pH-Wert-Absenkung in Salamiprodukten. Monosaccharide wie Pentosen werden zu Milchsäure und Essigsäure metabolisiert. Dieser Stoffwechselweg ist wegen der Bildung von Essigsäure eher unerwünscht in Salamiprodukten (Gänzle, 2015; Zheng et al., 2020).

Sehr vorteilhaft für die Salamiproduktion ist die Eigenschaft von *Lactobacillus sakei* als Schutzkultur. So bildet *Lactobacillus sakei* Stoffwechselprodukte wie verschiedene Bacteriocine. Es handelt sich dabei um Sakacine und Lactocine, welche spezifisch keimtötend in Bezug auf Listerien und andere grampositive Bakterien wirken. So ist

die Hemmung von *Listeria monocytogenes* ein wichtiger Faktor in Bezug auf die mikrobiologische Stabilität von Salamiprodukten (Katla et al., 2002).

Staphylococcus carnosus

Staphylococcus carnosus ist eine Reifekultur, welche der Familie der Staphylococcaceae zugeordnet wird. Es handelt sich um sehr robuste grampositive Bakterien, welche sich wie *Lactobacillus sakei* sehr beständig in Bezug auf osmotischen Stress verhalten. *Staphylococcus carnosus* ist zudem ein fakultativ anaerober Bakterienstamm, welcher in Abwesenheit von Sauerstoff die angestrebte Nitratatmung betreibt. In diesem Zusammenhang dient Nitrat anstelle von Sauerstoff als alternativer Elektronenakzeptor in der Atmungskette, welche sich in den Membranen der Mitochondrien von prokaryotischen Zellen abspielt. Dies führt zur Reduktion von Nitrationen zu Nitriten, was in Bezug auf die technologische Bedeutung bei der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe sehr relevant ist. Staphylococcus-Gattungen sind grundsätzlich sehr robuste Bakterien, welche auch bei pH-Werten bis zu 4,0 und a_w -Werten bis zu 0,83 noch Stoffwechselaktivität betreiben können. Dies ist besonders im Zusammenhang mit der Reifephase von Salami- oder Rohschinkenprodukten bedeutend. So senkt sich im Verlauf der Reifephase der pH-Wert auf einen Wert von ca. 5,1 -5,2 ab. Analog dazu senkt sich der a_w -Wert während der Reifephase durch Abtrocknung auf Werte zwischen 0,85 und 0,9 ab. Während nahezu alle anderen Bakterien nicht mehr in der Lage sind Stoffwechselaktivität zu betreiben, kann *Staphylococcus carnosus* weiterhin Stoffwechselprozesse durchführen. In Bezug auf die Stoffwechselaktivität ist im Zusammenhang mit der Reifephase von Salamiprodukten die Katalaseaktivität der *Staphylococcus carnosus*-Kulturen zu nennen. Es kommt somit zum Abbau von schädlichem Wasserstoffperoxid, welcher insbesondere Oxidationsprozesse von vornehmlich ungesättigten Fettsäuren begünstigt. Durch den Abbau von Wasserstoffperoxid können Oxidationsprozesse von Fettsäuren reduziert werden, was das Ranzig-werden von Salamiprodukten verzögert bzw. verhindert. Es kommt durch die *Staphylococcus carnosus* Kulturen während der Reifephase zu einer typischen Aromabildung, was durch die Stoffwechselaktivität bedingt wird. Somit fungiert *Staphylococcus carnosus* auch als Aromakultur (Schliefer & Fischer, 1982; Facklam, 2002; Rosenstein et al., 2009; Schütze, 2018).

7.2.2.2 Der Kutterprozess

Für die Versuche zur Salamierherstellung ohne Zusatzstoffe wurde in der Produktionsstätte in Frankenheim ein Rohwurstkutter mit einem Fassungsvermögen von 340 Litern verwendet. Es wurden im Kutter sechs spezielle Rohwurstmesser eingesetzt, welche regelmäßig getauscht und gewartet wurden. Analog zum Kutterprozess bei der Brühwurstherstellung lassen sich auch bei der Rohwurstherstellung die Drehzahlen bzw. die Messerfrequenzen anhand der Kuttergröße bzw. des Messerradiuses adaptieren. Die idealen technischen Einstellungen für den Kutterprozess wurden im Zuge der Wurstproduktion empirisch ermittelt. Diese bildeten die Basis für die Entwicklung eines speziellen automatisierten Verfahrens in diesem Forschungs- und Entwicklungsvorhabens, welches als Innovation erfolgreich im Praxisbetrieb eingesetzt wurde. Dadurch wurde die Möglichkeit zur Erzeugung eines standardisierten und gleichmäßigen Produktes geschaffen. Die automatische Steuerung erfolgte dann über eine Command Steuerung von Seydelmann.

In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass die einzelnen neu entwickelten Verfahrensschritte in diesem innovativen Produktionsprozess genau eingehalten werden müssen, um die optimale Produktqualität zu erzielen. Die einzelnen Prozessschritte beim Kutterverfahren sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Prozessparameter während des Kutterprozesses in der Übersicht

Kutterprozessschritte in chronologischer Reihenfolge	Startzeitpunkte der jeweiligen Prozesse in Sekunden	Drehzahl bzw. Messerfrequenz in Umdrehungen pro Minute / Umdrehungsfrequenz bzw. Rundenzahl der Kutterschüssel in Umdrehungen pro Minute	Temperatur zum jeweiligen Zeitpunkt des Prozessschrittes im Kutter in °C
Ausgangstemperatur des Rohmaterials im Kutterwagen	-	-	Ca. -10 bis -12
Prozessschritt 1 Zugabe des gewürfelten Fetts/Specks	0	994 / 7,5	-8
Prozessschritt 2 Zugabe der Gewürzmischungen und Reifekulturen	45	994 / 7,5	-5
Prozessschritt 3 Zugabe des tiefgefrorenen Fleisches	120	994 / 7,5	-6
Prozessschritt 4 Zugabe des Salamisalzes	200	1595 / 15	-7
Prozessschritt 5 Zugabe des gebaderten Fleisches	230	119 / 7,5	-6
Prozessschritt 6 Reiner Mischvorgang	260	994 / 7,5	-3
Prozessschritt 7 Auswerfen des Bräts	300	119 / 7,5	-2,8 bis -3
Temperatur am Eintritt des Füllwolfes	-	-	Ca. -2,6

Im **ersten Prozessschritt** wird das tiefgefrorene und gewürfelte Fett bzw. der Speck entsprechend der jeweiligen Rezeptur in den Kutter gegeben. Wichtig ist hierbei das Einhalten der Temperatur von - 8 °C. Mit der Zugabe der entsprechenden Menge an Gewürzmischung und der Kulturen beginnt der **zweite Kutterprozessschritt**. Durch die weitere Zerkleinerung des Fettes bzw. des Specks werden die Gewürzmischung und die Kulturen darin eingearbeitet, was die verschiedenen Aromen in der Gewürzmischung ideal verstärkt, da Fett als Geschmacksträger fungiert. In der **dritte Kutterprozessschritt** erfolgt die Zugabe der gemäß Rezeptur vorgegebenen Mengen des tiefgefrorenen Schweinefleischs (S I). Zu Beginn des dritten Kutterprozessschrittes liegt die Temperatur im Kutter bei - 5 °C. Durch die Zugabe des tiefgefrorenen Schweinefleischs (S I) senkt sich die Temperatur bis zum Ende des Kutterprozessschrittes auf - 6 °C ab. Im **vierten Kutterprozessschritt** wird das sogenannte Salamisalz (ein naturbelassenes Steinsalz ohne Siliciumdioxid mit einer sehr feinen Körnung) zugegeben. Die benötigte Menge an Salamisalz wurde im Vorfeld auf Basis der Rezeptur über das Warenwirtschaftsprogramm automatisch ermittelt. Zu Beginn des vierten Kutterprozessschrittes liegt die Temperatur bei - 6 °C. Durch die Zugabe des Salamisalzes senkt sich die Temperatur bis zum Ende des Kutterprozessschrittes auf -7 °C ab. Das gebaderte Verarbeitungsfleisch vom Schwein wird im **fünften Kutterprozessschritt** weiterzerkleinert und gleichmäßig in das Salamibrät eingearbeitet. Am Anfang des fünften Kutterprozessschrittes liegt die Temperatur im Kutter bei - 7 °C. Die Temperatur erhöht sich im Verlauf des fünften Kutterprozessschrittes durch die entstehende Reibungswärme auf - 6 °C. Beim **sechsten Kutterprozessschritt** handelt es sich um einen reinen Mischvorgang zur gleichmäßigen Verteilung der verschiedenen Zutaten innerhalb des Salamibräts. Der Prozess startet mit einer Temperatur von - 6 °C. Infolge des Mischvorgangs erhöht sich durch die Reibungswärme die Temperatur der Salamibrätmasse weiter auf - 3 °C.

Im **siebten Kutterprozessschritt** wird die fertige Salamibrätmasse mithilfe einer Auswurfvorrichtung in den Kutterwagen überführt und zum Füllwolf zur Weiterverarbeitung gefahren.



Foto 10: Rohwurstkutter während des Kutterprozesses bei der Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe

7.2.2.3 Der Füllprozess

Nach dem Kuttervorgang werden die mit Salamibrät befüllten Kutterwägen mittels einer Hubvorrichtung nacheinander in den Fülltrichter des Füllwolfes entleert. Dabei liegt die ideale Fülltemperatur des Salamibräts bei 2,6 °C. Diese Temperatur wurde empirisch ermittelt und ist das Optimum hinsichtlich der Viskosität und des Füllbilds der Brätmasse sowie des Materialverschleißes am Füllwolf. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass keine passivierende Fettschicht auf der Innenseite des Darms beim Füllen der Salami entsteht, da sonst die Diffusion der wässrigen Phase nach außen negativ beeinträchtigt wird.

Im Füllwolf wird das Salamibrät durch den Wolfvorgang (Zerkleinerung) auf entsprechende Körnung gebracht, die für reine Schweinesalami 1,8 mm beträgt.

Im Anschluss wird das Salamibrät durch einen Metalldetektor geschleust, welches betroffene Salamibrät detektiert und ausschleust. Nach der Metalldetektion wird das Salamibrät zur Abfüllung einem Clipautomaten der Firma Poly-Clip Systeme zugeführt.

Die drei Maschineneinheiten (Füllwolf, Metalldetektor mit Ausschleusung und Clipautomat) sind miteinander über eine Verrohrung verbunden, damit das Salamibrät in einem automatisierten Prozess durch die technischen Anlagen geschleust werden kann. Die Abfüllung des Salamibräts erfolgt in die im Vorfeld in den Clipautomaten eingespannten Därme, die dann je nach eingestellter Länge abgetrennt und mit einem Clip abgebunden werden. Im Anschluss wird das Füllbild geprüft, welches sich durch Klarheit der sichtbaren Strukturen auszeichnen muss. Die Salamistangen werden an Schnüren in einer lockeren Anordnung an den sogenannten Rauchstecken in den Reifewägen aufgehängt. Die lockere Anordnung der Salamistangen bietet ausreichend Raum für eine ideale Luftzirkulation zwischen den Salamistangen während des Reifeprozesses. Die mit Salamistangen behängten Reifewägen werden vor dem Reifeprozess unter einer Wurstdusche mit warmem Wasser berieselt, um die Fettschicht auf den Därmen abzuwaschen

Die abgewaschenen Salamistangen, welche an den Reifewägen hängen, können nun dem Reifeprozess zugeführt werden. Dazu werden die Salami aus dem Produktionsbereich in den streng davon getrennten Reifebereich überführt. Die jeweiligen Maschineneinheiten wie Füllwolf, Metalldetektor mit Ausschleusung und Clipautomat sind miteinander verrohrt und nebeneinander für den automatischen des Prozessverlaufs platziert.



Foto 11: Füllprozess während des Betriebs mit den in chronologischer Reihe verrohrten Maschineneinheiten - Füllwolf, Metalldetektor mit Ausschleusung und Clipautomat von Poly-Clip

7.2.2.4 Der Reifeprozess

Die Reifung der Salamistangen ohne Zusatzstoffe ist der zentrale Prozess im gesamten Herstellungsverfahren, da hier die relevanten mikrobiologischen Prozesse im alternativen Umröteverfahren ablaufen wozu auch die mikrobiell induzierte pH-Wert-Senkung gehört. Besonders wichtig sind die räumliche Trennung der beiden wichtigen Phasen der Salamireifung, nämlich die Vor- und die Nachreifephase.

Die Salamistangen werden in spezielle diffusionsoffene, elastische und leicht abschälbare Kunstdärme gefüllt, welche eine Kalibergröße zwischen 60 - 80 mm haben. Die Länge der Stangen ist bis zu 1,2 m, um die Abschnitte beim Schneideprozess möglichst gering zu halten.

Für die wissenschaftlichen Untersuchungen wurde ein neues Verfahren auf der Basis von Erfahrungswerten bei der Reifung der Salami entwickelt und im Praxisversuch angewandt.

Aus den mit Salamistangen bestückten Reifewägen einer Charge wurde jeweils ein Reifewagen als Referenz randomisiert herausgenommen und gewogen. Bei diesem Reifewagen wurden durch regelmäßiges Wiegen die prozentuale Abtrocknung bestimmt und jeweils auch der pH-Wert. Diese Messdaten wurden in dem vom Autor entwickelten Reifemodul des Warenwirtschaftsprogramms hinterlegt, wodurch ein kontinuierlicher Abgleich mit dem im Programm hinterlegten Referenzreifeverlauf erfolgen konnte.

Die Reifewägen mit den Salamistangen aus den Versuchen wurden in der Vorreifekammer platziert und das standardisierte Vorreifeprogramm für Salamisorten bis 80 kg gestartet. Das Reifeprogramm besteht aus 16 verschiedenen Reifephasen, welche im weiteren Verlauf einzeln beschrieben werden. Reifeparameter wie Temperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte wurden über eine professionelle Steuerung der Firma Sorgo geregelt und anhand manueller Geräte regelmäßig verifiziert.

Die Vorreifung der Salamistangen erstreckt sich über eine Woche ein. Sie ist charakterisiert durch verschiedene Reifephasen, welche über ein standardisiertes Programm für die Reifesteuerung durchlaufen werden. Der eingestellte Programmverlauf der Vor-

reifung besteht aus insgesamt 16 verschiedenen Prozessschritten mit unterschiedlichen Reifeparametern und entsprechenden Räucherphasen, welche im weiteren Verlauf erläutert werden.

Alle aufgeführten Prozessschritte wurden im Rahmen dieser wissenschaftlichen Forschung empirisch entwickelt und in Praxisversuchen an das alternative Produktionsverfahren angepasst.

Reifeprozessschritt 1

Das Salamibrät, welches bei sehr geringen Temperaturen von ca. $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ in die Salamidärme gefüllt wurde, wird in der ersten Reifephase zunächst bei einer hohen Luftfeuchtigkeit langsam erwärmt. Daher werden die ersten 8 Stunden der Vorreifephase bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 94 % und einer Temperatur von ca. $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ betrieben.

Reifeprozessschritt 2

In der zweiten Reifephase, welche sich über einen Zeitraum von 24 Stunden erstreckt, kommt es zu einer signifikanten Temperaturerhöhung des Bräts auf ca. $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gleichzeitig verbleibt die relative Luftfeuchte in der Reifekammer bei einem vergleichsweise hohen Wert von 94 %. Daher kommt es in dieser Phase der Reifung trotz hoher Temperaturen kaum zu einer Abtrocknung woraus sich ideale Bedingungen für mikrobiologische Stoffwechselprozesse der Reifekulturen ergeben. Durch den noch hohen Feuchtigkeitsgehalt und die erhöhte Temperatur der Salami stehen den Bakterien genügend nicht hydratisierte Wassermoleküle zur Verfügung, wodurch sich die Stoffwechselaktivität der Reifekulturen verbunden mit einer Erhöhung der Enzymaktivitäten (u.a. Nitratreduktasen) ergibt. Durch die weitgehende Abwesenheit von molekularem Sauerstoff (O_2) in der Salami, kommt es bei fakultativ anaeroben Bakterien wie *Staphylococcus carnosus* zu Enzymaktivitäten von Nitratreduktasen, mit einer vermehrten Reduktion von Nitrat zu Nitrit. Dieser biochemische Prozessschritt ist von großer Bedeutung für den alternativen Umrötungsprozess bei der Herstellung von Salami ohne Zusatzstoffe.

Der in der Gewürzmischung enthaltene Zucker fungiert als Substrat für die bakteriellen Stoffwechselprozesse, wobei zu Beginn des Reifeprozesses vor allem die enthaltenen Monosaccharide wie die Dextrose bzw. Glucose als erstes metabolisiert werden. Von

der verfügbaren Zuckerkonzentration und den anaeroben Bedingungen profitieren in dieser Reifephase auch die Milchsäurebakterien *Lactobacillus sakei*, welche als Kulturen zusammen mit der Gewürzmischung in den Kutter gegeben wurden. Es kommt zur Bildung von Milchsäure aus den Zuckerverbindungen und damit verbunden zur Absenkung des pH-Wertes in der Salami. Durch diese Absäuerung kommt es auch zum Abbinden und damit zu einer schnittfesten Struktur.

Die Absenkung des pH-Wertes bewirkt, dass das durch enzymatische Stoffwechselaktivität gebildete Nitrit zunehmend undissoziiert als salpetrige Säure vorliegt. Die dissoziierte salpetrige Säure reagiert vor allem unter Anwesenheit von effektiven Reduktionsmitteln wie Ascorbinsäure sehr rasch zu Stickstoffmonoxid. Aber auch die Temperaturerhöhung begünstigt die Bildung von Stickstoffmonoxid aus undissoziierter salpetriger Säure. Das Stickstoffmonoxid bindet im Verlauf der Reifephase an das aktive Zentrum des Myoglobin Moleküls, was zur Bildung von Nitrosomyoglobin bzw. Stickoxidmyoglobin führt (siehe Kapitel 2 ff.). Es kommt somit zur Umrötung und zur Bildung der sichtbaren rötlichen Färbung, wobei das Rote Bete Pulver ebenfalls zur Ausbildung des rötlichen Erscheinungsbildes der Salami beiträgt.

Reifeprozessschritt 3

Die Warmphase von 24 Stunden während des Vorreifeprozesses führt zu den umfangreichen Stoffwechselaktivitäten der verschiedenen Reifekulturen. Es folgt eine weitere Warmphase während der Vorreifung von insgesamt 12 Stunden. Diese Phase ist mit einer Temperatur von ca. 23 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 92 % nur geringfügig zur vorhergehenden Reifephase abgeändert. Die weiterhin hohe Temperatur erzeugt eine hohe enzymatische Stoffwechselaktivität mit einer weiteren pH-Wert-Absenkung. Damit wird die Umrötung weiterhin begünstigt.

Reifeprozessschritt 4

Es folgt nach Ablauf der Warmphase von 12 Stunden eine Reifephase, bei welcher deutlich andere Parameter vorliegen. So wird die Temperatur auf ca. 18 °C reduziert. Auch die relative Luftfeuchte wird deutlich, auf ca. 51 % reduziert. Diese Reifephase wird über einen Zeitraum von nur drei Stunden durchgeführt. Ziel ist es, die relative Luftfeuchte vor der ersten Rauchphase deutlich zu reduzieren, um keine Kondenswasserbildung auf der Oberfläche der Salamistangen zu riskieren. Es kommt bei diesen

Bedingungen durch die deutlich geringere relative Luftfeuchte zu einer Abtrocknung der Salamistangen, was sich jedoch wegen der relativ kurzen Zeit der Reifephase nur wenig auswirkt. Die Temperatur wird leicht abgesenkt, um keine zu schnelle Abtrocknung an der Oberfläche zu riskieren, was die Bildung von Trockenrändern zur Folge haben kann. Dennoch darf die Temperatur der Salamistangen nicht unterhalb der Temperatur der nachfolgenden Rauchphase abfallen, da es sonst zu einer Taupunktunterschreitung an der Oberfläche der Salamistangen kommen kann.

Reifeprozessschritt 5 (1. Räucherphase)

Die nachfolgende erste Rauchphase zeichnet sich durch die Verwendung von Kaltrauch aus. So wird über einen speziellen Raucherzeuger (Reiberauchverfahren) Kaltrauch erzeugt. Dabei werden Buchenholzscheite mithilfe einer rotierenden Walze abgeschliffen. Dies führt zur Entstehung von Reibungswärme, wodurch die Buchenholzscheite langsam verbrennen und einen speziellen Kaltrauch erzeugen. Dieser Kaltrauch wird mit einer Temperatur von ca. 18 °C zum Räuchern der Salamistangen verwendet. Die relative Luftfeuchte verbleibt dabei bei ca. 51 %. Der Kaltrauch verleiht den Salamistangen ein typisches und mildes Raucharoma. Dabei ist entscheidend, dass der Kaltrauch über eine geringere Temperatur verfügt, als die Oberfläche der Salamistangen. Andernfalls kommt es zur Bildung von Kondenswasser an der Oberfläche der Salamistangen. In diesem Fall lösen sich verschiedene organische Säuren in den Kondenswasserresten auf der Oberfläche der Salamistangen. Die organischen Säuren welche durch ihre polaren Eigenschaften leicht in wässrigen Phasen löslich sind, stammen aus verschiedenen partiellen Oxidationsprozessen während des Räuchervorgangs. Die organischen Säuren diffundieren in der Folge ins Innere der Salamistangen und verleihen der Salami ein unangenehmes und unerwünschtes Aroma. Dieses Aroma lässt sich als bissig, unangenehm rauchig und säuerlich charakterisieren. Die Bildung von Kondenswasser wird zusätzlich durch eine geringe relative Luftfeuchte während der Rauchphase verhindert. Insgesamt dauert die erste Kaltrauchphase zwei Stunden. Der Kaltrauch wirkt auf viele Mikroorganismen an der Oberfläche der Salamistangen toxisch, wodurch sich die mikrobiologische Stabilität an der Oberfläche der Salamistangen verbessert. Besonders das Wachstum von Schimmelpilzen lässt sich durch eine Behandlung von Kaltrauch an den Oberflächen der Salamistan-

gen stark reduzieren. Dies ist auch im Rahmen der Salamierherstellung ohne Zusatzstoffe relevant, da hier Maßnahmen zur Steigerung der mikrobiologischen Stabilität noch wichtiger sind.

Reifeprozessschritt 6

Nach der ersten Rauchphase wird wieder eine kurze Reifephase mit deutlich höheren Temperaturen und einer deutlich höheren relativen Luftfeuchte eingestellt. In dieser Phase kommt es auch wieder vermehrt zu Stoffwechselaktivitäten der Reifekulturen. Die Temperatur wird auf ca. 20 °C erhöht, während die relative Luftfeuchte sogar wieder auf ca. 84 % erhöht wird. Diese Reifephase wird jedoch nur über einen Zeitraum von zwei Stunden betrieben.

Reifeprozessschritt 7

Im Anschluss an die kurze Reifephase von zwei Stunden, wird eine längere Reifephase von 16 Stunden gefahren. In dieser Phase verbleibt die Temperatur bei ca. 20 °C, während die relative Luftfeuchte wieder auf ca. 90 % erhöht wird. Durch die kurzen Phasen von etwas niedriger relativer Luftfeuchte und anschließender Erhöhung der relativen Luftfeuchte wird die Abtrocknung der Salamistangen langsam herbeigeführt, wodurch weiterhin die Bildung von Trockenrändern vermieden werden kann. Auch in dieser Phase ist durch die relativ hohe Temperatur eine hohe metabolische Stoffwechselaktivität der Reifekulturen vorhanden. In dieser Phase werden auch die in der Rezeptur enthaltenen polymerisierten Zuckerverbindungen metabolisiert.

Reifeprozessschritt 8 (2. Räucherphase)

Nach einer langen Reifephase von 16 Stunden bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 90 % und einer Temperatur von ca. 20 °C, werden die Salamistangen der zweiten Räucherphase ausgesetzt. So wird eine Räucherphase mit Kaltrauch über einen Zeitraum von zwei Stunden angesetzt. Die Temperatur wird mit ca. 17 °C deutlich abgesenkt, wodurch Kondenswasser auf der Oberfläche der Salamistangen vermieden wird. Auch die relative Luftfeuchte wird deutlich, auf ca. 51 % abgesenkt. Somit wird das Auskondensieren von Kondenswasser auf der Oberfläche der Salamistangen weiter erschwert. Es kommt zu einer weiteren Entkeimung an den Oberflächen der Salamistangen.

Reifeprozessschritt 9

Bei der folgenden Reifephase werden die Temperatur sowie die relative Luftfeuchte wieder erhöht. Es wird über einen Zeitraum von 18 Stunden eine Temperatur von ca. 18 °C und eine relative Luftfeuchte von ca. 86 % gehalten. Die metabolische Stoffwechselaktivität wird von Phase zu Phase sukzessive verringert. Jedoch sind die Bedingungen nach wie vor ausreichend um metabolische Stoffwechselaktivitäten der Reifekulturen zu erzeugen. So werden weiterhin die polymerisierten Zuckerverbindungen sukzessive abgebaut und die Temperatur ist mit ca. 18 °C noch hoch genug, um eine metabolische Stoffwechselaktivität zu generieren.

Reifeprozessschritt 10 (3. Räucherphase)

Es folgt im nächsten Schritt der Reifephase wieder eine Räucherphase in Form von Kaltrauch. Der Kaltrauch wird erneut über einen Zeitraum von einer Stunde der Reifekammer zugeführt. Analog zu den vorhergehenden Räucherphasen wird die Temperatur wieder abgesenkt und beträgt ca. 15 °C. Auch die relative Luftfeuchte wird abgesenkt und beträgt ca. 51 %. Die dritte Räucherphase wird nur eine Stunde betrieben, ehe wieder eine Reifephase eingeleitet wird. Auch diese Räucherphase erfolgt mit einer geringeren Temperatur als die vorgelagerte Reifephase. Die relative Luftfeuchte wurde zur Vermeidung von Kondenswasserbildung wieder stark abgesenkt.

Reifeprozessschritt 11

Es folgt wieder eine relativ lange Reifephase mit nahezu den gleichen Parametern wie in der vorhergegangenen Reifephase. Lediglich die relative Luftfeuchte wird auf ca. 84 % reduziert. Dadurch wird eine langsame und schonende Abtrocknung generiert. Die Gefahr der Bildung von Trockenrändern in den Randzonen der Salamistangen wird somit weiterhin vermieden. Die Temperatur verbleibt wie in der vorausgegangenen Reifephase bei ca. 18 °C. Diese Reifephase mit leichter Abtrocknung und mäßiger metabolischer Aktivität wird über einen relativ langen Zeitraum von 24 Stunden betrieben.

Reifeprozessschritt 12 (4. Räucherphase)

Es wird im Anschluss an die Reifephase die vorletzte und vierte Räucherphase eingeleitet. Diese Räucherphase wird eine Stunde mit Kaltrauch betrieben. Die Temperatur wird im Unterschied zur vorangegangenen Räucherphase noch weiter auf ca. 14 °C

abgesenkt. Die relative Luftfeuchte wird mit ca. 51 % wieder sehr niedrig gehalten. Die technologischen Eigenschaften dieser Räucherphase sind analog zu den vorhergegangenen Räucherphasen zu sehen.

Reifeprozessschritt 13

Im weiteren Verlauf der Vorreifung folgt eine längere Reifephase von 24 Stunden. Die relative Luftfeuchte wird im Vergleich zur vorangegangenen Reifephase auf ca. 82 % abgesenkt. Dadurch wird der Abtrocknungsprozess weiterhin leicht erhöht. Gleichzeitig wird die Temperatur im Vergleich zur vorangegangenen Reifephase auf ca. 16 °C abgesenkt, wodurch die metabolischen Stoffwechselaktivität sukzessive verringert wird.

Reifeprozessschritt 14 (5. Räucherphase)

Es folgt im weiteren Verlauf der Vorreifung die letzte Räucherphase. Es handelt sich auch um die Räucherphase, welche mit der geringsten Temperatur von ca. 13 °C betrieben wird. Grund hierfür sind die stetig abnehmenden Temperaturen der Reifephasen. Die Räucherphasen in Form von Kaltrauchphasen sollen jedoch immer mit geringeren Temperaturen als die vorausgegangenen Reifephasen gefahren werden, was somit auch zu einer sukzessiven Temperatursenkung der Räucherphasen führt. Auch die relative Luftfeuchte wird analog zu den anderen Räucherphasen konstant niedrig auf 51 % gehalten. Insgesamt wird die fünfte und letzte Räucherphase über einen Zeitraum von einer Stunde betrieben.

Reifeprozessschritt 15

Die auf die letzte Räucherphase nachfolgende Reifephase fungiert wieder als eine längere Phase zur Abtrocknung der Salamistangen. So wird die relative Luftfeuchte im Vergleich zur vorangegangenen Reifephase leicht auf nun ca. 80 % , die Temperatur wird analog zu den vorangegangenen Reifephasen auf 15 °C abgesenkt. Es wird somit wieder eine langsame und schonende Abtrocknung über einen Zeitraum von 24 Stunden durchgeführt. Dieser Reifeprozess fungiert als letzter definierter Reifevorgang während der Vorreifung der Salamistangen.

Reifeprozessschritt 16 (Ende der Vorreifung)

Der letzte Prozessschritt der Vorreifung ist zeitlich nicht genau definiert. Es wird eine Auslagerung der Reifewägen mit den Salamistangen aus den Vorreifekammern nach ca. 7 Tagen angestrebt. Dies kann je nach Charge um ein paar Stunden variieren. Daher werden hier bereits ähnliche Parameter wie bei der Nachreifung der Salamistangen eingestellt. Es wird eine Temperatur von ca. 10 °C gefahren, während die relative Luftfeuchte wieder auf ca. 84 % erhöht wird. Dadurch wird der Prozess der Abtrocknung leicht verlangsamt. Im Rahmen der Auslagerung werden zudem auch die ersten Kontrollzeitpunkte gesetzt. So werden verschiedene technologische Parameter ermittelt. In diesem Zusammenhang wird der pH-Wert gemessen. Dadurch wird der Prozess der pH-Wert-Absenkung kontrolliert. So wurde das lokale Minimum des pH-Werte-Verlaufs nach ca. 7 Tage auf das Ende der Vorreifung zugeordnet. Dieser Zeitpunkt des lokalen Minimums des pH-Wert-Verlaufs wurde empirisch ermittelt. Der pH-Wert, welcher zu diesem Zeitpunkt nach 7 Tagen ermittelt wird, fungiert als Parameter eines kritischen Kontrollpunktes des HACCP-Konzeptes. So wird anhand des Reifeverlaufs ein pH-Wert < 5 zum relevanten Zeitpunkt von 7 Tagen nach Reifebeginn angestrebt. Ein pH-Wert von < 5 zum Zeitpunkt von 7 Tagen nach Reifebeginn garantiert eine gesicherte und erfolgreiche pH-Wert-Absenkung über den Zeitraum der Vorreifephase. Besonders im Hinblick auf die Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe ist durch die Abwesenheit eines Konservierungsstoffes wie Natriumnitrit die Einhaltung des pH-Wert-Verlaufs besonders wichtig und entscheidend für die mikrobiologische Stabilität. Parallel zur Einhaltung des pH-Wert-Verlaufs wird eine Abtrocknung von 10 % (bis Kaliber 80) angestrebt. Anhand des Referenzreifewagens wird die Abtrocknung über eine Bodenwaage ca. 7 Tagen nach Reifebeginn ermittelt. Die Reifewägen mit den Salamistangen werden sodann aus den Vorreifekammern geschoben und der Nachreifephase zugeführt.

Bei diesen Bedingungen (pH ca. 5 und a_w -Wert ca. 0,9) können fast nur noch die *Staphylococcus carnosus*-Kulturen Stoffwechsel betreiben. Somit kommt es weiterhin zu einer Reduktion von Nitrat zu Nitrit, was die rote Farbgebung stabilisiert. Außerdem wird die Aromabildung im weiteren Verlauf begünstigt. Oxidationsprozesse, welche mit Ranzig-werden einhergehen, werden weiterhin minimiert und die Funktion der *Staphylococcus carnosus*-Kulturen als Schutzkulturen ist immer noch relevant.



Foto 12: Vorreifekammer bzw. Räucherammer. Die Reifewägen sind zur Verbesserung der Luftzirkulation nur locker mit Salami bestückt

Übersicht des Vorreifeprogramms der Salamireifung

Die Vorreifephase der Salamireifung besteht insgesamt aus 16 verschiedenen Reife- und Räucherphasen. Die verschiedenen Phasen des Vorreifeprogramms sind in der nachfolgenden Abbildung in chronologischer Reihenfolge von oben nach unten dargestellt.

Sn	Schrittart	TEMPERATUR			FEUCHTE			ZEIT
01▶	Reifen	13°	14°	15°	91%	94%	97%	8:00'
02▶	Reifen	23°	24°	25°	91%	94%	97%	24:00'
03▶	Reifen	22°	23°	24°	89%	92%	95%	12:00'
04▶	Reifen	17°	18°	19°	50%	51%	54%	3:00'
05▶	Kaltrauch	17°	18°	19°	50%	51%	54%	2:00'
06▶	Reifen	19°	20°	21°	81%	84%	87%	2:00'
07▶	Reifen	19°	20°	21°	87%	90%	93%	16:00'
08▶	Kaltrauch	16°	17°	18°	48%	51%	54%	2:00'
09▶	Reifen	17°	18°	19°	83%	86%	89%	18:00'
10▶	Kaltrauch	14°	15°	16°	48%	51%	54%	1:00'
11▶	Reifen	17°	18°	19°	81%	84%	87%	24:00'
12▶	Kaltrauch	13°	14°	15°	48%	51%	54%	1:00'
13▶	Reifen	15°	16°	17°	79%	82%	85%	24:00'
14▶	Kaltrauch	12°	13°	14°	48%	51%	54%	1:00'
15▶	Reifen	14°	15°	16°	77%	80%	83%	24:00'
16▶	Reifen	9°	10°	11°	81%	84%	87%	99:00'

Abbildung 08: Vorreifeprogramm der Salami ohne Zusatzstoffe

Die Abbildung zeigt die verschiedenen Reifeparameter wie Temperatur, relative Feuchte und jeweilige Reifezeit. Bei der Temperatur und der relativen Feuchte ist jeweils ein Wertebereich hinterlegt. So sind von links nach rechts zunächst der Minimalwert, in der Mitte der angestrebte Wert und schließlich der Maximalwert zu jeder Reifephase abgebildet. Die Temperatur ist in Grad Celsius angegeben, während die relative Luftfeuchte in Prozent dargestellt ist. Auf der rechten Seite der Abbildung 08 sind die jeweiligen Reifezeiten in Stunden der jeweiligen Reifephasen angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die letzte Reifephase nur zum Teil durchlaufen wird und nicht über die angegebenen 99 Stunden.

Nachreifung der Salamistangen

Die Nachreifephase der Salamistangen beginnt mit der Zuführung der Reifewägen in die Nachreifekammer. In der Nachreifekammer sammeln sich verschiedene Chargen an Salamistangen in unterschiedlichen Reifestadien. Die Reifebedingungen in der

Nachreifekammer sind gleichbleibend und unterliegen nicht verschiedenen Reifephasen wie während der Vorreifung. Daher werden die Unterschiede in Bezug auf die Reifebedingungen durch die Verweilzeit in der Nachreifekammer generiert. Im weiteren Verlauf der Nachreifung wird der Reifeverlauf für Salamistangen vom Kaliber 60 - 80 beschrieben, was die breite Masse der produzierten Salamistangen abdeckt. Entsprechend verlängert sich für größere Kaliber an Salamistangen die Verweilzeit in der Nachreifekammer. Umgekehrt reduziert sich die Verweilzeit der Salamistangen für kleinere Kaliber.

Die Parameter der Nachreifekammer werden daher auf folgende Werte dauerhaft eingestellt, welche in der nachfolgenden Tabelle 20 aufgeführt werden.

Tabelle 20: Reifeparameter der Nachreifephase

Reifeparameter	Wertebereich		
	Minimum	Sollwert	Maximum
Temperatur	9 °C	10 °C	11 °C
Relative Luftfeuchte	74 %	78 %	80 %

Die Nachreifung der Salamistangen erfolgt unter den in Tabelle 20 aufgeführten Parametern. Somit kommt es im Verlauf der Nachreifephase zu einer weiteren Abtrocknung der Salamistangen. Nach weiteren 7 Tagen an Reifezeit in der Nachreifekammer wird eine weitere Ermittlung der verschiedenen Prozessparameter wie Abtrocknung und pH-Wert der Salamistangen durchgeführt. Dazu wird der entsprechende Referenzreifewagen der jeweiligen Charge herangezogen und gewogen. Der gemessene pH-Wert sowie die ermittelte Abtrocknung werden im Warenwirtschaftsprogramm vermerkt, wodurch sich ein erkennbarer Reifeverlauf abzeichnet. Es wird zu diesem Zeitpunkt des Reifeverlaufs eine Abtrocknung von ca. 20 % erwartet (Kaliber 60-80). Der pH-Wert steigt im Vergleich zum Ende der Vorreifephase nun wieder leicht an. Dieser Verlauf der Prozessparameter wird zur Überprüfung des Reifeverlaufs herangezogen, um die Einhaltung der Produktqualität und mikrobiologischen Stabilität zu verifizieren und somit zu sichern. Es folgt eine weitere Reifephase bis zum nächsten Kontrollpunkt nach weiteren 7 Tagen. Es wird wieder die Abtrocknung ermittelt und der pH-Wert gemessen. Die Abtrocknung liegt nun in der Regel bei ca. 25 %. Der pH-Wert steigt

hingegen weiter leicht an. Der letzte Kontrollpunkt wird wieder 7 Tage später angesetzt. Es wird das Erreichen der Zielwerte erwartet. Daher wird neben dem Wiegen des Referenzkontrollwagens zur Bestimmung der Abtrocknung und der pH-Wert-Messung noch der a_w -Wert ermittelt. Bei Einhaltung der Zielwerte wird der Reifeprozess der Salamistangen abgeschlossen und die Reifewägen werden aus dem Nachreiferaum geschoben und entsprechend ausgelagert. Es wird eine Abtrocknung von 28 % als Zielwert angesetzt. Beim a_w -Wert wird ein Zielwert von $< 0,93$ angestrebt. Der pH-Wert liegt im angestrebten Bereich von 5,1-5,2.

Tabelle 21: Zeitlicher Verlauf der Reifeparameter von den Salamistangen während der Reifephase (Kaliber 60-80)

Reifezeit in Tagen	Abtrocknung in %	pH-Wert	a_w -Wert
7	ca. 10	< 5	-
14	ca. 20	ansteigend	-
ca.21	ca. 25	ansteigend	-
ca. 28	ca. 28	5,1 – 5,2	$< 0,93$

In Tabelle 21 sind die verschiedenen Reifeparameter der Salamistangen über den Verlauf der Reifephase abgebildet. Die Parameter werden zu den jeweiligen Zeitpunkten ermittelt und können anhand den in Tabelle 21 abgebildeten Parametern abgeglichen und verifiziert werden. Dadurch ergibt sich eine entsprechende Produktsicherheit in Bezug auf die mikrobiologische Stabilität für die Salamiprodukte ohne Zusatzstoffe. Besonders ohne die Verwendung des bakterizid wirkenden Natriumnitrits ist die mikrobiologische Stabilität in Bezug auf bestimmte pathogene Keime stärker gefährdet. Daher wird im Zusammenhang mit der Salamiproduktion verstärkt auf die Einhaltung der Reifeparameter, welche in Bezug auf die mikrobiologische Stabilität relevant sind, geachtet. In diesem Zuge garantiert die Einhaltung verschiedener Analysewerte in unterschiedlichen Reifestadien eine dauerhaft mikrobiologische Stabilität. So ist zunächst der pH-Wert von < 5 nach einer Vorreifephase von 7 Tagen entscheidend. Dieser pH-Wert dient als Information für eine gesicherte pH-Wert-Absenkung. Anschließend sind die zu erreichenden Zielwerte am Ende der Nachreifephase relevant. So ist in diesem Zusammenhang der a_w -Wert für die mikrobiologische Stabilität der Sala-

miprodukte ohne Zusatzstoffe der entscheidende Faktor für eine dauerhaft mikrobiologische Stabilität. So sichert ein a_w -Wert von $< 0,93$ dauerhaft die mikrobiologische Stabilität der Salamiprodukte. Durch einen niedrigen pH-Wert von $< 5,3$ in Kombination mit einem niedrigen a_w -Wert wird das Wachstum von sämtlichen relevanten pathogenen Erregern vollständig verhindert (Anhang 3) Durch eine relativ hohe Abtrocknung von ca. 28 % werden in der Praxis jedoch sogar a_w -Werte generiert, welche deutlich unter 0,9 liegen. Die durchschnittlichen a_w -Werte der Salamiprodukte liegen nach Abschluss der Reifephase zwischen 8,8 und 8,9. Hiermit wird eine zuverlässige Produktsicherheit bei allen Salamiprodukten ohne Zusatzstoffe erzielt.



Foto 13: Nachreifekammer für Salamistangen

Das Nachreifeprogramm der Salamireifung

Die Nachreifephase der Salamireifung erfolgt unter gleichbleibenden Reifebedingungen entlang des gesamten Reifeverlaufs. Die unterschiedlichen Salamiprodukte und Produktchargen unterliegen jedoch unterschiedlichen Reifezeiten in der Nachreifekammer. Die konstant eingestellten Reifebedingungen sind in einer Übersicht auf dem Display der Reifeanlage in Abbildung 09 nachfolgend dargestellt.



Abbildung 09: Nachreifeprogramm der Salami ohne Zusatzstoffe

Die Parameter der Nachreifung habe ich im Rahmen meiner Dissertation empirisch entwickelt und sind auf das alternative Produktionsverfahren angepasst worden.

In Abbildung 09 sind die fest eingestellten Reifeparameter anhand des Displays der Nachreifekammer dargestellt. Auf der linken Seite der Anzeige werden die Ist-Werte dargestellt, während in der Mitte der Anzeige die Soll-Werte abgebildet sind. Die Ist-Werte in Bezug auf die relative Luftfeuchte liegen im Verlauf der Nachreifung meist deutlich über den Soll-Werten. Grund hierfür ist die stetige Abtrocknung der Salamiprodukte, wodurch stetig Feuchtigkeit in die Raumluft der Nachreifekammer abgegeben wird. Dies entspricht auch dem angestrebten Reifeverlauf in der Nachreifekammer. Anhand des Umluftmotors wird die Luftgeschwindigkeit in der Nachreifekammer geregelt. Durch empirische Annäherung hat sich dabei im Laufe der Reifezeit eine Einstellung von 50 % als passend ergeben. Zu bestimmten Zeitpunkten wird zweimal täglich ein vollständiger Luftwechsel mit der Außenluft vollzogen. Grund hierfür ist die Abfuhr der Feuchtigkeit aus der Reifekammer. Die von den Salamiprodukten abgegebene Feuchtigkeit muss in regelmäßigen Abständen aus der Reifekammer transportiert werden.

8. Ergebnisse und Diskussion

8.1 Herstellung von Brühwurst ohne Zusätze in Dosen

Von jedem der drei Versuche zur Herstellung von Brühwurst in Dosen (Kapitel 7.1) wurden fünf Proben mit einem Umfang von jeweils fünf Dosen nach dem Zufallsprinzip (Gray, 2009) genommen. Der Inhalt der fünf Dosen wurde gemischt und zu einer Probe vereint, an der die verschiedenen Untersuchungen durchgeführt wurden.

8.1.1 P- Zahl zur Kontrolle von Phosphatzusätzen in der Wurstproduktion

Die P-Zahl stellt ein wichtiges Kriterium für die Feststellung der Verwendung von Phosphaten bei der Wurstproduktion dar. Da in den drei in diesem F+E-Vorhaben durchgeführten Versuchen bei der Brühwurstproduktion keine Phosphate verwendet wurden, wurde als Arbeitshypothese davon ausgegangen, dass die P-Zahlen unterhalb des gesetzlich festgelegten Grenzwertes von 2,4 (CVUA, 2020) liegen.

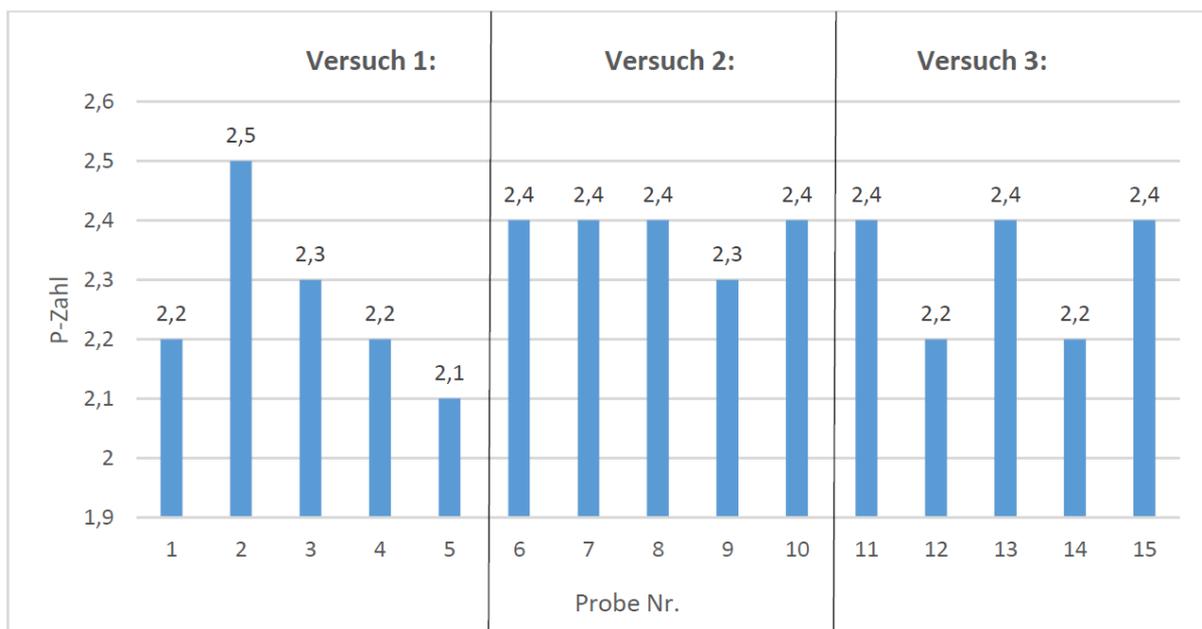
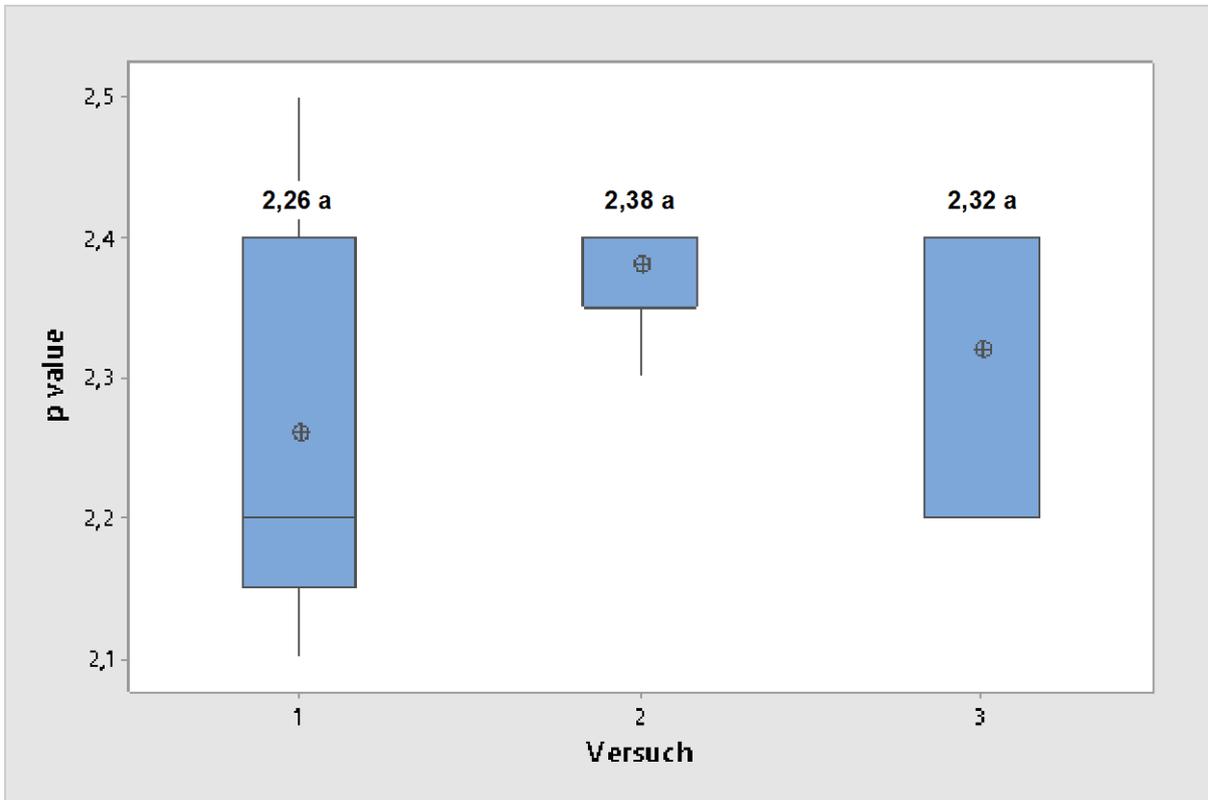


Abbildung 10: P-Zahlen der Brühwurst ohne Zusatzstoffe in Dosen.

Diese Hypothese hat sich bestätigt, denn die durchschnittlichen P-Werte der Proben, die sich nicht signifikant unterscheiden, liegen in den drei Versuchen bei 2,26 für Versuch 1; bei 2,38 für Versuch 2 und bei 2,32 für Versuch 3 (Abb. 11).



Durchschnittswerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0,05$). Die Erläuterung zu den Boxplots finden sich im Kapitel 6.4.1.1. Besonderheiten sind hier, dass der Median (waagrechte Linie in der Box zu Versuch 1) bei den Versuchen 2 und 3 jeweils auf der oberen Kante der Boxen liegt und daher nicht sichtbar ist. Die senkrechten Striche markieren die Extremwerte, die in Versuch 3 in den Grenzen der Box liegen.

Abbildung 11: Durchschnittliche P-Werte in den drei Versuchen

Allerdings liegen 7 Proben genau auf dem zulässigen Höchstwert von 2,4, der für Brühwurstprodukte ohne Fremdphosphatzusatz oder bei nativen Fleischabschnitten von der CVUA Sigmaringen festgesetzt wurde (CVUA, 2020). Bei höheren P-Zahlen wird von einem Phosphatzusatz ausgegangen. Eine Probe überschreitet diesen Wert sogar und würde dementsprechend von den Lebensmitteluntersuchungsämtern beanstandet werden, obwohl bei der Wurstproduktion kein Phosphatzusatz verwendet wurde.

Dieses Ergebnis war überraschend und könnte in der Praxis zu Problemen führen, so dass es notwendig erschien, der Ursache dafür nachzugehen und weitergehende Untersuchungen des P-Wertes vom Beginn des Verarbeitungsprozesses an gewolfenem Warmfleisch durchzuführen. Es wurden über einen Zeitraum von 6 Monaten 67 Proben von gewolfenem Warmfleisch vom Schwein entnommen und davon die P-Zahl bestimmt. Bei rund 15 % der Proben von unterschiedlichen Chargen wurde der Grenzwert von 2,4 überschritten (Anhang 7).

Dieses Ergebnis legt einen Zusammenhang zwischen den P-Werten im Warmfleisch und denen in der Brühwurst in Dosen nahe. Hierbei dürfte die Rasse der Schweine, deren Haltung und Fütterung, wie sie bei den Mitgliedsbetrieben der BESH praktiziert wird, eine Rolle spielen. Die dafür notwendigen Untersuchungen bei den Schweinehaltern konnten im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens nicht durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieses F&E-Vorhabens zeigen jedoch, dass der vorgegebene Grenzwert der P-Zahl von 2,4 einer erneuten Prüfung zu unterziehen ist. Grundsätzlich sollten die P-Zahlen von Rind- und Schweinefleisch getrennt voneinander betrachtet werden. Eigene umfangreiche Untersuchungen der P-Zahlen des Warmfleischs beim Schwein haben einen durchschnittlichen Wert von 2,31 und beim Rind von 2,09 ergeben. Bei Geflügelfleisch (Hähnchenbrust) liegen die durchschnittlichen P-Zahlen mit Werten von 2,4 noch höher als beim Schweinefleisch sich (CVUA, 2020).

8.1.2 pH-Werte

Der pH-Wert ist für eine optimale Umrötung von Brühwurst von Bedeutung. So werden durch den Einsatz von natürlichen Reduktionsmitteln wie der Ascorbinsäure in Form von der Acerolakirsche technologisch gewünschte Effekte erzielt. Gleichzeitig wird aber auch der pH-Wert abgesenkt, was für die Umrötung vorteilhaft ist, jedoch in Bezug auf die geschmacklichen Eigenschaften und die Wasserbindung sich nachteilig auswirkt. Zur Erzielung einer optimalen Umrötung wird ein pH-Wert von 5,5 bis 6,0 angestrebt; ab pH-Werten von $\geq 6,4$ ist eine Umrötung von Brühwurstprodukten praktisch nicht mehr möglich, da salpetrige Säure vollständig dissoziiert vorliegt (siehe Ka-

pitel 5.2.3). Umgekehrt verschlechtern sich mit niedrigeren pH-Werten die Wasserbindeigenschaften. Bei pH-Werten $\leq 5,8$ liegen Actin und Myosin als Actomyosinkomplex in den Muskelzellen vor, was die Einlagerung von Wassermolekülen in den Zwischenräumen der Muskelzellen verhindert (Honikel, 1986; Belitz et al., 2008). Aus technologischer Sicht werden daher für die Brühwurstproduktion ohne Zusatzstoffe pH-Werte von 5,9 bis 6,2 angestrebt.

Die pH-Werte in den Brühwürsten in Dosen aus den drei Versuchen bewegten sich in diesem Bereich (Abb. 12).

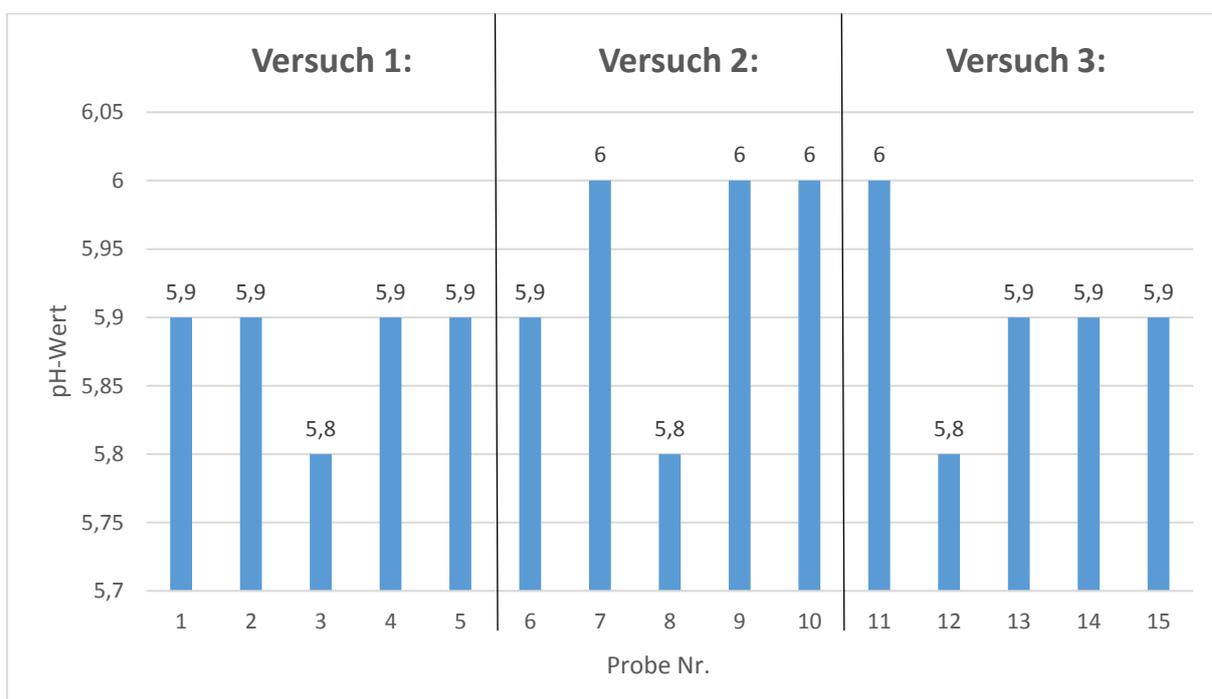
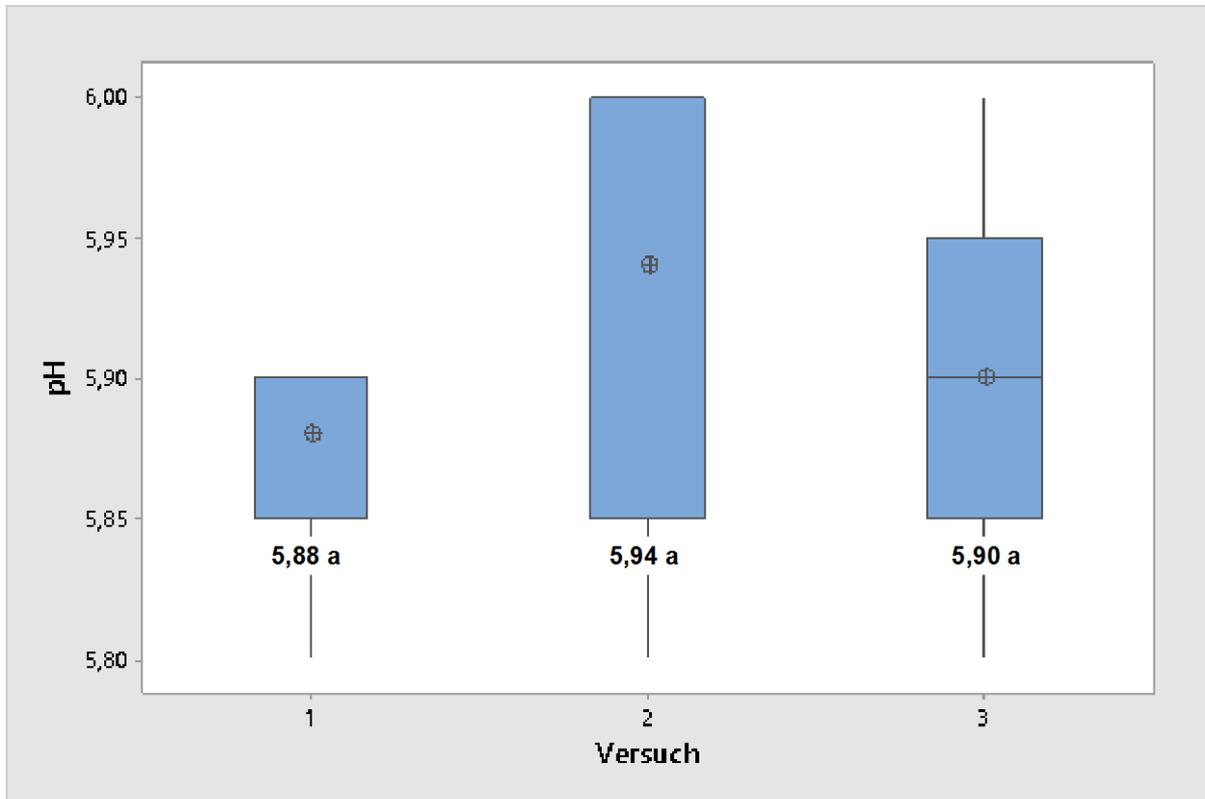


Abbildung 12: pH-Werte von Brühwurst in Dosen

Die pH-Werte von 5,8 bis 6,0 bei der Brühwurst in Dosen ohne Zusatzstoffe liegen in einem Wertebereich, welcher sich für eine Umrötung und die Wasserbindung von Brühwurstprodukten eignet. In Bezug auf die Struktur und Konsistenz der Brühwurstprodukte ohne Zusatzstoffe sind die gemessenen Werte akzeptabel. Allerdings liegt der optimale pH-Wert bei 6, da ab einem pH-Wert von 5,8 die Bildung von Actomyosinkomplexen induziert wird (siehe Kapitel 5.4.2.4). Allerdings unterscheiden sich die gemessenen Werte nicht statistisch ($p \leq 0,05$). In den drei Versuchen mit 5,88; 5,94 bzw. 5,90 liegen sie deutlich über diesem kritischen Wert (Abb. 13), so dass die Umrötung und die Wasserbindung nicht negativ beeinflusst werden. Eine weitergehende Optimierung des Produktionsprozesses für die Herstellung von Brühwurst in Dosen

zur Erzielung des optimalen pH-Wertes von 6,0 muss in weiterführenden Untersuchungen angestrebt werden.



Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0,05$)

Die Angaben zu den detaillierten statistischen Berechnungen befinden sich im Anhang 10 und 11.

Abbildung 13: Durchschnittliche pH-Werte in den drei Versuchen

8.1.3 Nitrat- und Nitritgehalt

Das alternative Umröteverfahren wurde so optimiert, dass die Konzentrationen an Nitrat 20 mg/kg und an Nitrit 10 mg/kg im Endprodukt nicht überschreiten sollen. Bei den Nitritgehalten konnte dieses Ziel in allen drei Versuchen erreicht werden, wogegen dies beim Nitratgehalt erst im dritten der Versuche möglich war (Abb. 14).

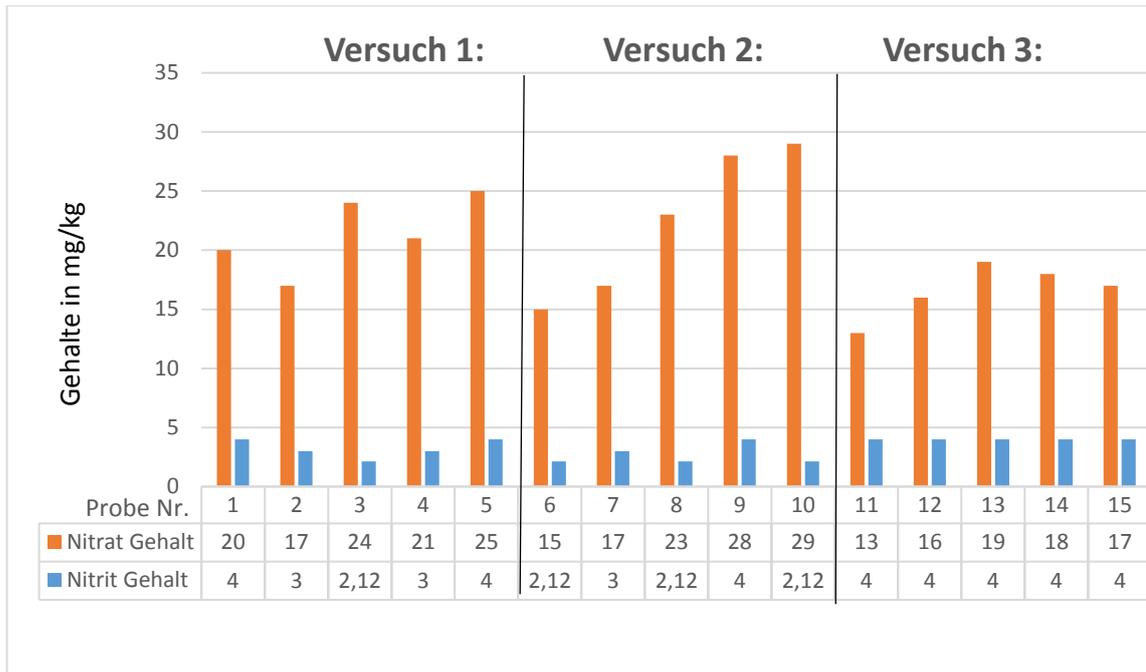


Abbildung 14: Nitrat- und Nitritgehalt in Brühwurst in Dosen

Die Nitratgehalte liegen auf einem höheren Niveau als die Nitritgehalte. Dies lässt sich in erster Linie durch die kurze metabolische Phase der Starterkulturen während der Zeit nach dem Kutterprozess bis zur Brühphase erklären. Die Zeitspanne nach dem Zuführen der Starterkulturen während des Kutterprozesses bis zum Bestücken der Autoklaven und der damit verbundenen Brühphase ist verhältnismäßig kurz und variiert zwischen 2 – 3 Stunden. Da die Zeitspanne der Lagerung der befüllten Dosen in den Autoklavenwägen bis zur Bestückung des Autoklaven nicht standardisiert ist, wirkt sich dies unterschiedlich auf die metabolische Aktivität der Starterkulturen aus. Die dadurch variierenden Reaktionsumsätze der enzymatischen Reduktion von Nitrat zu Nitrit führen zu den unterschiedlichen Nitratgehalten im Endprodukt. Während der darauffolgenden standardisierten Haltezeit im Autoklaven wird die metabolische Aktivität der Bakterien durch den günstigeren Temperaturbereich gleichmäßig gesteigert und führt zu keinen weiteren unterschiedlichen Veränderungen.

Die Reaktionsumsätze der enzymatischen Reduktion von Nitrat zu Nitrit sind gering, was an den sehr niedrigen Nitritkonzentrationen in der Brühwurst zu erkennen ist. Durch eine Verlängerung der metabolischen Phase der nitratreduzierenden Kulturen würde sich die Nitratkonzentration in der Brühwurst absenken lassen. Gleichzeitig könnte trotzdem die Nitritkonzentration auf dem gleichen niedrigen Niveau gehalten

werden, wenn sich die Reaktionsumsätze der salpetrigen Säure zu Stickstoffmonoxid entsprechend erhöhen lassen: $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow HNO_2 \rightarrow NO \rightarrow Mb - NO$.

Hierfür muss der pH-Wert niedrig genug sein, um das Dissoziationsgleichgewicht von der Seite des Nitrits auf die Seite der salpetrigen Seite zu rücken. Das gebildete Stickstoffmonoxid geht mit dem im Muskelfleisch enthaltenen Myoglobin eine Verbindung ein. Somit hängen die molaren Teilumsätze ΔN_{ij} der jeweiligen Edukte und Produkte innerhalb der Prozesskette am Ende auch vom Myoglobingehalt des verwendeten Muskelfleischs ab. Die pH-Werte lagen mit 5,88 bzw. 5,94 (s. Abb. 13) im Rahmen dieser Untersuchungen niedrig genug, um eine effektive Bildung von Stickstoffmonoxid zu induzieren. Die Konzentrationen an Myoglobin im verwendeten Muskelfleisch wurden nicht analysiert. Die Ergebnisse legen aber nahe, dass diese für die Umsetzungsprozesse hinreichend war.

Daher wurden im dritten Versuch die Zeitspannen für die Lagerung des Brühwurstbräts und die mit Brühwurstbrät befüllten Dosen geringfügig erhöht und gleichzeitig konstant gehalten, was tendenzmäßig ($p \leq 0,07$) zu niedrigeren Nitratgehalten im Endprodukt in Versuch 3 führte (Tabelle 22).

Tabelle 22: Durchschnittliche Nitrat- und Nitritgehalte der Brühwurst in Dosen

Versuche	Nitratgehalt	Nitritgehalt
Nr.	(mg/kg)	(mg/kg)
1	21,4 ^a	3,2 ^{ab}
2	22,4 ^a	2,6 ^b
3	16,6 ^b	4,0 ^a

Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0,07$ bei Nitrat; $p \leq 0,05$ bei Nitrit)

Die Nitritgehalte lagen in allen 3 Versuchen auf einem sehr tiefen Niveau, zeigten aber kein einheitliches Bild (Tabelle 22). Offensichtlich konnte die Umsetzung der salpetrigen Säure zu Stickstoffmonoxid nicht entsprechend der Verringerung des Nitratgehaltes erhöht werden. Da die Unterschiede sowohl beim Nitrat- als auch beim Nitritgehalt nur als Tendenz zu werten sind (statistische Absicherung bei Nitrat mit 7 % Irrtumswahrscheinlichkeit; bei Nitrit nur zu Versuch 2, aber nicht zur Versuch 1 mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit), sollte das Prozessverfahren zur Umsetzung von Nitrat zu Nit-

rit mit gleichzeitiger Umsetzung von salpetriger Säure zu Stickstoffmonoxid in weiterführenden Untersuchungen optimiert werden. Hierbei muss der Nitratkonzentration der Gewürzmischung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Da es sich um naturbelassene Bio-Gewürze handelt, welche nicht durch Teilextraktion standardisiert werden, muss je nach Chargen und Erntejahr der Einzelgewürze der Produktionsprozess überwacht und ggf. angepasst werden.

Die im Rahmen dieses E&F -Vorhabens entwickelten Innovationen im Bereich der Rezepturen und der Produktionstechnologie haben zu Brühwurst in Dosen mit sehr niedrigem Nitrat- und Nitritgehalt geführt. Die Detailangaben zu den statistischen Berechnungen befinden sich in den Anhängen 11 und 12.

8.1.4 Mikrobiologische Untersuchungen

Da in den Versuchen Brühwurst ohne den in der konventionellen Produktion verwendeten Zusatz von Na-Nitrit-Pökelsalz gearbeitet wurde, war es wichtig zu überprüfen, ob die mikrobiologische Sicherheit des Endproduktes auch ohne diesen Zusatz gewährleistet werden kann. Bei den relevanten Keimen, welche im Rahmen der Brühwurstproduktion ohne Zusatzstoffe ermittelt wurden, handelt es sich um anaerobe Keime. Die anaeroben Keime sind in Bezug auf Brühwurstkonserven relevant, da in den Konserven anaerobe Bedingungen vorherrschen. Besonders verschiedene anaerobe Keime wie Clostridien werden durch die Anwesenheit von Natriumnitrit effektiv eliminiert. So wird Natriumnitrit offiziell laut Richtlinie Nr. 95/2/EG (Anhang III, Teil C) ausschließlich als Konservierungsstoff zur Inaktivierung von bakteriellen Mikroorganismen eingesetzt.

Für die mikrobiologischen Untersuchungen der Brühwurst in Dosen ohne Zusatzstoffe wurden aus jedem der drei Versuchen jeweils fünf Dosen nach dem Zufallsprinzip entnommen (Gray, 2009) und bis zum Ende des MHD von zwei Jahren bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Nach Ablauf des MHD wurden die mikrobiologischen Untersuchungen auf die für Brühwurst relevanten Keime durchgeführt mit dem Ziel, die entsprechenden Richtwerte (Tabelle 23) nicht zu überschreiten.

Tabelle 23: Richt- und Warnwerte für relevante Mikroorganismen bei Brühwurst (DGHM, 2018)

Relevanter Keim	Richtwert	Warnwert
Aerobe mesophile Kolo- niezahl (Gesamtkeimzahl)	$5,0 \times 10^4 \frac{KbE}{g}$	-
Enterobacteriaceae	$1,0 \times 10^2 \frac{KbE}{g}$	$1,0 \times 10^3 \frac{KbE}{g}$
<i>Escherichia coli</i>	$1,0 \times 10^1 \frac{KbE}{g}$	$1,0 \times 10^2 \frac{KbE}{g}$
Milchsäurebakterien	$5,0 \times 10^4 \frac{KbE}{g}$	-
Hefen	$1,0 \times 10^4 \frac{KbE}{g}$	-
Sulfidreduzierende Clostri- dien	$1,0 \times 10^2 \frac{KbE}{g}$	$1 \times 10^3 \frac{KbE}{g}$
Koagulase-positive Staphylokokken	$1,0 \times 10^1 \frac{KbE}{g}$	$1,0 \times 10^2 \frac{KbE}{g}$
<i>Clostridium perfringens</i>	$1,0 \times 10^2 \frac{KbE}{g}$	$1 \times 10^3 \frac{KbE}{g}$
Salmonella	-	n.n. in 25 g
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	$1,0 \times 10^2 \frac{KbE}{g}$
anaerobe Sporenbildner mit Gasbildung	-	-

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die mikrobiologische Sicherheit der Brühwurst in Dosen auch ohne den Zusatz von Na-Nitrit-Pökelsalz gewährleistet werden kann (Abb. 15).

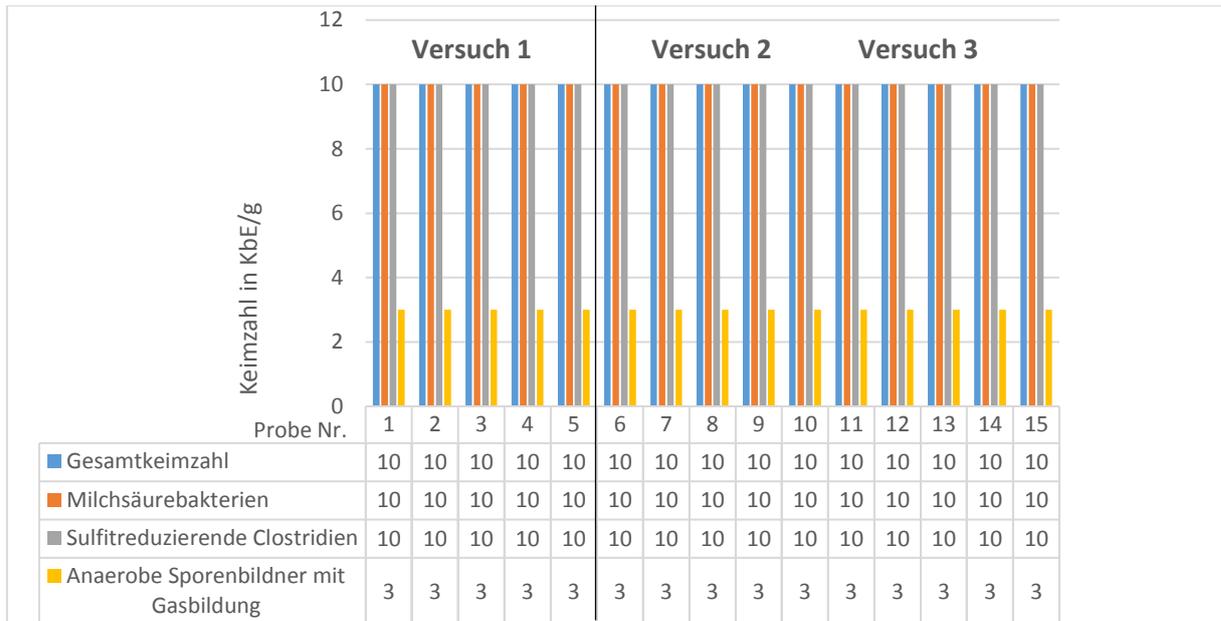


Abbildung 15: Gesamtkeimzahl und relevante Keime in Brühwurst in Dosen ohne Zusatzstoffe

Die Gesamtkeimzahl, die Konzentration der Milchsäurebakterien und der Sulfitreduzierenden Clostridien lagen bei 10 KbE/g und damit im unbedenklichen Bereich. Auch bei den anaeroben Sporenbildnern mit Gasbildung liegen die analysierten Werte konstant bei < 3 KbE/g. Somit wurde in diesem Bereich eine mikrobiologische Stabilität nachgewiesen.

8.1.5 Sensorische Analyse von Brühwürsten

Die sensorischen Eigenschaften von Lebensmitteln sind entscheidend für deren Nachfrage und Wiederkauf durch Konsumenten. Daher sollten bei der Entwicklung neuer Produkte die Konsumenten frühzeitig mit einbezogen werden, um die Produkte auf deren sensorische Präferenzen zu überprüfen um neue Konzepte zu bewerten (Kemp et al., 2009), denn etwa 75% der neuen Lebensmittelprodukte scheitern während des ersten Jahres (Buisson, 1995). Das Risiko dieses unnötigen Ressourcenverbrauches kann durch sensorische Tests deutlich reduziert werden.

Die Wissenschaft der Sensorik beschäftigt sich mit der menschlichen Wahrnehmung von Produkten und ihren Inhaltsstoffen durch den Seh-, Geruch-, Geschmack-, Haut- und Gehörsinn. Hierbei können analytische (objektive) und hedonische (subjektive)

Prüfungen durchgeführt (Busch-Stockfisch, 2010). Der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Dreieckstest gehört zu den Unterschiedsprüfungen und damit zu den analytischen Methoden, während das Rating zu den hedonischen Methoden gehört.

Zur Standardisierung von sensorischen Prüfungen wurden Normen durch das Deutsche Institut für Normung e. V. erarbeitet. Die Untersuchungen wurden in einem nach DIN EN ISO 8589 ausgestatteten Sensoriklabor der Universität Kassel und die Dreieckstests entsprechend der DIN EN ISO 4120 an folgenden Brühwurstvarianten durchgeführt (Tabelle 24):

Tabelle 24: Brühwurstvarianten für die sensorischen Untersuchungen

Produktionsverfahren	ohne Phosphatzusatz	mit Phosphatzusatz
Alternatives Umröteverfahren	A - P	A + P
Kaltfleisch mit Nitritpökelsalz	N - P	N + P
Warmfleisch ohne Nitritpökelsalz	W - P	W + P

Die unterschiedlichen Brühwürste für die sensorischen Untersuchungen wurden in separaten Ansätzen mit je 50 kg Warm- bzw. Kaltfleisch in einem kleineren Kutter produziert. Dabei wurde bei den Proben der Phosphatzusatz (2 g/kg Brätmasse in Pulverform) jeweils während des Kuttervorgangs zugesetzt. Bei den beiden Varianten mit Kaltfleisch wurde das Nitritpökelsalz (0,5 % NaNO₂ + 99,5 % NaCl, Zugabe: 20 g/kg Brätmasse als monoklin kristallines Mischsalz) ebenfalls während des Kuttervorgangs gemeinsam mit dem Phosphatzusatz hinzugefügt.

Das Ziel der sensorischen Ratings war eine Prüfung der Farb-, Konsistenz- und Gesamtpräferenz bei den zuvor erwähnten sechs Brühwurstprodukten. Das Ziel der Dreieckstests bestand darin, eine Überprüfung dieser Produkte auf eine orale Unterscheidbarkeit in Bezug auf die Rezeptur vorzunehmen. Hierbei sollten folgende **Hypothesen** geprüft werden:

Beim Rating:

- I. Die Farbe der Wurstprodukte, die mit Nitritpökelsalz (N) hergestellt wurde, ist nicht ansprechender als jene der Wurstprodukte, die mit dem alternativen Umröteverfahren (A) hergestellt wurden.
- II. Die Konsistenz der Wurstprodukte aus Warmfleisch ohne Phosphatzusatz (-P) ist nicht weniger ansprechend als die der Wurstprodukte mit Phosphatzusatz (+P).
- III. Die Gesamtpräferenz der Wurstprodukte, die aus dem Warmfleischverfahren oder mit dem alternativen Umröteverfahren hergestellt wurde, ist nicht weniger ansprechend und die der Wurstprodukte mit Phosphat- und Nitritpökelsalz nicht ansprechender als die der anderen Produkte.

Beim Dreieckstest:

- IV. Das Wurstprodukt mit Phosphat- und Nitritpökelsalzzusatz (N + P) ist gustatorisch nicht unterscheidbar von den anderen Produkten.

8.1.5.1 Rating

Alle Attribute (Farbe, Konsistenz, Gesamtpräferenz) der sechs Brühwurstprodukte wurden jeweils an zwei aufeinander folgenden Tagen von den gleichen elf Probanden auf einer ordinalen Skala von 1 bis 9 (1 „spricht mich gar nicht an“; 5 „weder noch“; 9 „spricht mich absolut an“) eingeordnet. Dafür wurde jeweils ein Zahlenstrahl mithilfe der Software FIZZ (Version 2.50) über den vorhandenen Monitor in den Kabinen eingeblendet. Hier wurden die jeweiligen Produkte individuell nacheinander in randomisierter Reihenfolge präsentiert und auf alle drei Attribute hin von den Panellisten bewertet.

Der Proband „Urban Lempp“ wurde im Rahmen des Ratings nicht berücksichtigt, da seine Bewertungen für jedes Attribut Ausreißer darstellten. Fraglich bleibt, ob dieser Proband die Bedeutung der Ziffern oppositionell angewendet hat (1 = spricht mich besonders an). Demzufolge wurden hier nur 10 Probanden in der Auswertung berücksichtigt, was aber nach ISO-DIN eine ausreichende Grundgesamtheit darstellt.

Die Farben der Produkte wurden unter Weißlicht getestet und als unterschiedlich empfunden (Tabelle 25).

Tabelle 25: Bewertung der Farben der Produkte auf einer Skala von 1 (spricht mich gar nicht an) bis 9 (spricht mich absolut an) (N = 60)

Parameter	Brühwurstvarianten ¹					
	A-P	A+P	N-P	N+P	W-P	W+P
Farbe	4,92 ^{bc2}	4,96 ^{bc}	6,15 ^{ab}	6,32 ^a	4,62 ^c	4,70 ^c
Konsistenz	5,14 ^a	5,54 ^a	5,64 ^a	5,60 ^a	5,72 ^a	5,65 ^a
Gesamtpräferenz	5,70 ^a	5,24 ^a	5,58 ^a	6,00 ^a	5,72 ^a	5,88 ^a

¹) Erläuterung zu den Brühwurstvarianten siehe Tabelle 24

²) Mittelwerte der einzelnen Parameter mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0.05$)

Das Produkt mit Phosphat- und Nitritpökelsalzzusatz (N+P) hatte eine ansprechendere Farbe als die Produkte, die mit dem alternativen Umröteverfahren (A-P und A+P) und diejenigen, die aus Warmfleisch (W-P und W+P) hergestellt wurden. Die Brühwurst mit Nitratpökelsalzzusatz ohne Phosphatzusatz (N-P) unterschied sich allerdings nicht signifikant von den mit dem alternativen Umröteverfahren hergestellten Brühwürsten (A-P und A+P). Demzufolge war nur die Farbe der Produkte mit Nitritpökelsalz ansprechender als die der Produkte mit dem alternativen Umröteverfahren, wenn Phosphat hinzugegeben wurde. Damit wurde die 1. Hypothese hinsichtlich des alleinigen Zusatzes von Nitritpökelsalz bestätigt; bei einer zusätzlichen Gabe von Phosphat zum Nitritpökelsalz jedoch widerlegt.

Zwischen den Brühwurstprodukten konnte bezüglich der Konsistenz (P-Wert = 0,92) und der Gesamtpräferenz (P-Wert = 0,77) kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Damit wurden die 2. und auch die 3. Hypothese bestätigt

8.1.5.2 Dreieckstest

Der Dreieckstest gehört zu den Unterschiedsprüfungen. Der Einsatz eignet sich für Proben, die sich ähnlich sind. Seine Stärke ist die relativ geringe Ratewahrscheinlichkeit von 33 %. Die Tests bezogen sich ausschließlich auf die Fähigkeit, die Proben zu unterscheiden und nicht auf die für das Rating ausgewählten Attribute. An beiden Wiederholungen waren die gleichen 11 Probanden involviert.

Die Brühwurst mit Phosphat- und Nitritpökelsalzzusatz konnte sensorisch von keinem anderen Produkt unterschieden werden (Tabelle 26), was die 4. Hypothese bestätigt.

Tabelle 26: P-Werte der Dreieckstests (N = 11)

Produktgegenüberstellung	Mittlere Anzahl korrekter Antworten (abgerundet)	P-Wert
N+P ¹ / N-P ¹	3	0,766
N+P ¹ / W+P ¹	6	0,122
N+P ¹ / W-P ¹	4	0,527
N+P ¹ / A-P ¹	2	0,925
N+P ¹ / A+P ¹	4	0,527

¹= Brühwurstvarianten siehe Tabelle 24

8.2 Salamiproduktion ohne Zusatzstoffe

Mit dem im Rahmen dieses F+E-Vorhabens vom Doktoranden neu entwickelten Produktionsverfahren mit der ebenfalls dafür von ihm neu entwickelten Quality-Management-Software und der darin verwendeten neu konzipierten Rezeptur wurde Salami ohne Zusatzstoffe in zwei Versuchsjahren im Praxisbetrieb in großtechnologischen Maßstab produziert. Es wurde während dieser Zeit in regelmäßigen Abständen von 5 Wochen pro Jahr von 10 Chargen Salamiprobe gezogen (insgesamt 20 Proben) und auf ihren Nitrat- und Nitritgehalt sowie ihren mikrobiologischen Zustand untersucht. Die

Chargen umfassten 100 Salami von denen jeweils fünf Salami (Gewicht je Salami 2 kg) mittels uneingeschränkter Zufallsstichprobe (Eckey et al., 2005) entnommen wurden. Von diesen 5 Salami wurden aus der Mitte jeweils 10 gleich starke Scheiben zu einer Probe (insgesamt 50 Salamischeiben) für die analytischen Untersuchungen auf Nitrat und Nitrit und den mikrobiologischen Zustand zusammengeführt.

Für die Nitrosaminbestimmung wurden von den 10 Chargen des zweiten Untersuchungsjahres drei Chargen mittels uneingeschränkter Zufallsstichprobe erfasst und daraus wiederum fünf Salami entnommen (Eckey et al., 2005). Nach dem zuvor beschriebenen Vorgehen wurden jeweils fünf Salamischeiben (25 insgesamt pro Charge) zu einer Probe vereinigt und auf ihren Nitrosamingehalt untersucht. Für den Stresstest mit einer Erhitzung der Salamischeiben auf 200 bzw. 230 °C wurden zusätzlich jeweils 10 Scheiben (50 insgesamt pro Charge) entnommen und diese in einer Standardvakuumverpackung bis zum Ende des MHD gekühlt aufbewahrt. Danach wurden von den 50 Scheiben Salami pro Charge jeweils 25 Scheiben auf 200 bzw. auf 230 °C erhitzt und anschließend auf ihren Nitrosamingehalt analysiert.

8.2.2.1 Nitrat- und Nitritgehalte

Die Ergebnisse der Nitrat- und Nitritgehalte von Salami ohne Zusatzstoffe für das erste und zweite Versuchsjahr zeigten kein einheitliches Bild (Abb. 16).

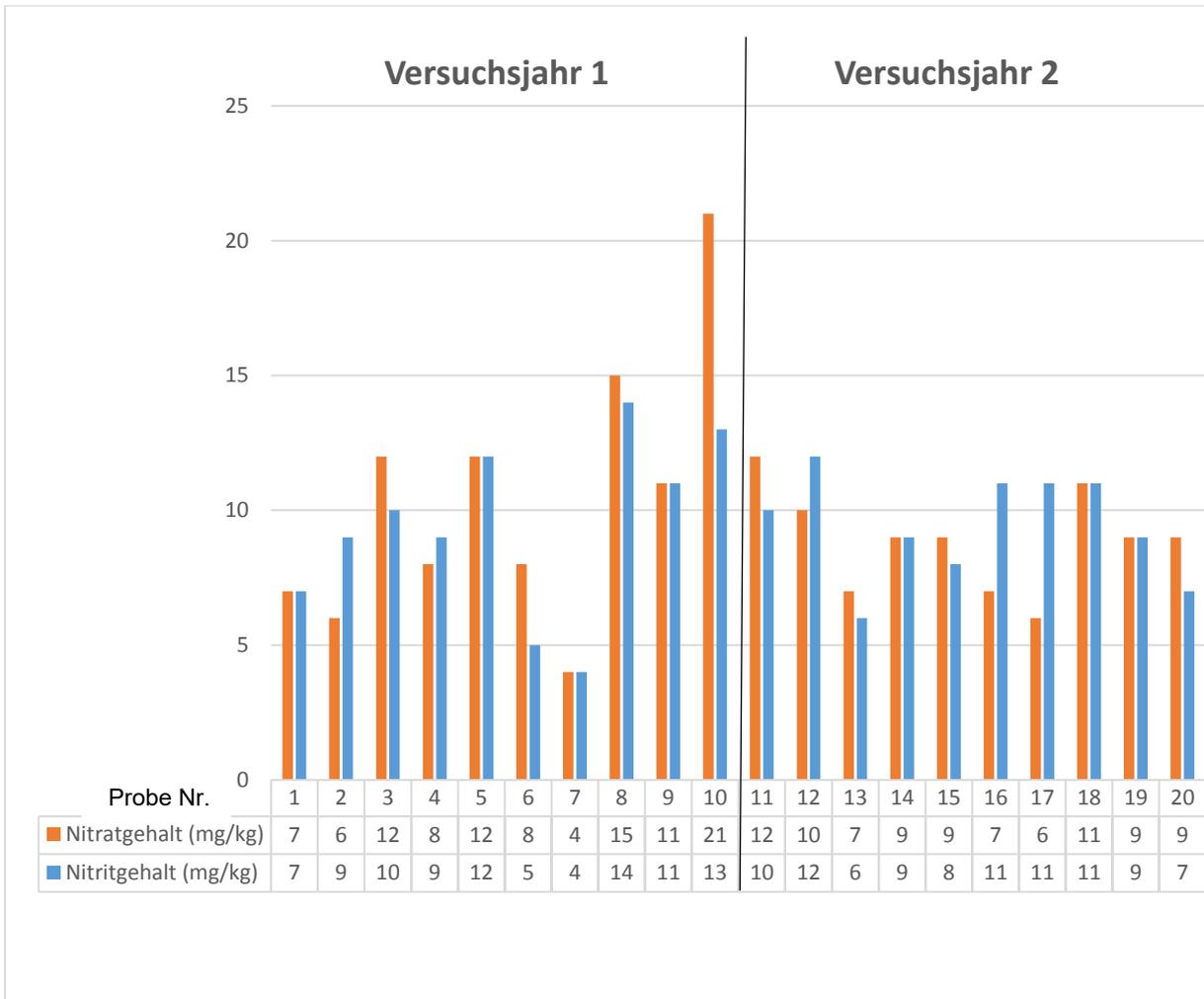
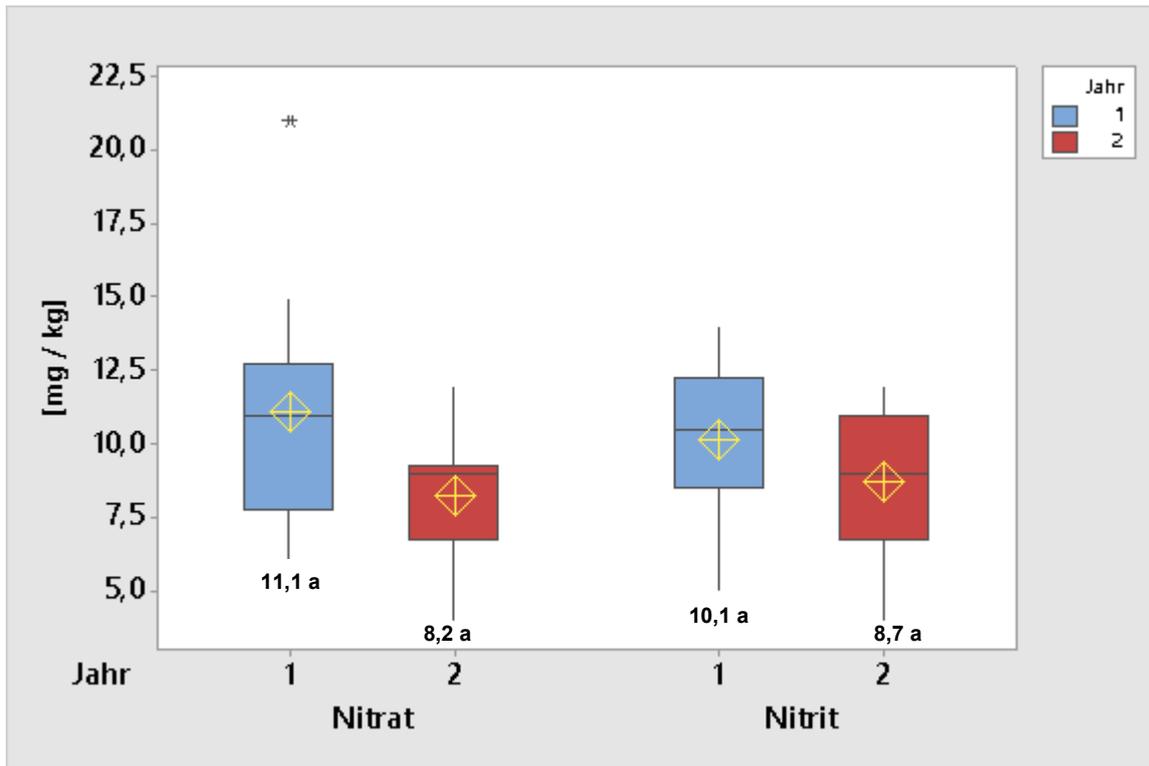


Abbildung 16: Nitrat- und Nitritgehalte von Salamiprobe

Die Variation der Nitratgehalte über den Zeitraum von 2 Jahren ist nicht überraschend, da es in Bezug auf die Nitratkonzentrationen der Naturgewürze chargenbezogen zu Unterschieden kommen kann. Zudem sind die Bedingungen während der Vorreifephase, bei welcher Nitrat als Edukt für Redoxreaktion fungiert, nicht immer exakt gleich. So kann z. B. die räumliche Verteilung der Salami in der Vorreifekammer zu Unterschieden führen. Der Mittelwert der Nitratgehalte über alle Proben liegt mit 9,65 mg/kg Salami in einem niedrigen Bereich. Ein gesetzlicher Höchstwert für Nitrat in Salami existiert nicht.

Bemerkenswert ist die Veränderung zwischen dem ersten und zweiten Versuchsjahr, wo mit einem Mittelwert von 11,1 bzw. 8,2 mg/kg Salami im zweiten Jahr eine Verbesserung eingetreten ist (Abb. 17).



Detaillierte Angaben zu den statistischen Auswertungen befinden sich im Anhang 10 und 11.

Abbildung 17: Vergleich des Nitrat- und Nitritgehalts in Salami ohne Zusatzstoffe im ersten und zweiten Versuchsjahr

Dieser Unterschied im Nitratgehalt ist zwar nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 8 % abzusichern ($p < 0,082$; s. Abb. 17) ist aber als starke Tendenz zu werten, was in Praxisversuchen im großtechnischen Maßstab von Bedeutung ist. Diese Verringerung im Nitratgehalt der Salami ist auf eine Modifikation des Produktionsprozesses zurück zu führen. Die Kontrolle der Rahmenbedingungen für die Vorreifephase konnten durch eine zusätzliche elektronische Steuerung verbessert und daher dieser Produktionsschritt standardisiert werden. Diese Änderung wurde aufgrund der Erkenntnisse aus dem ersten Versuchsjahr vom Doktoranden durchgeführt, ganz im Sinne des transdisziplinären Forschungsansatzes für dieses F+E-Vorhaben.

Beim Vergleich des ersten mit dem zweiten Versuchsjahr zeigt sich, dass durch Optimierung des Produktionsprozesses auch die Konzentration an Nitrit in der Salami gesenkt werden konnte. Im vorliegenden Fall war dies eine Verringerung des Nitritgehalts von 10,4 im ersten auf 8,7 mg/kg Salami im zweiten Versuchsjahr (Abb. 17). Allerdings ist dieser Unterschied nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von ca. 20 % statistisch abzusichern, was nicht als Tendenz gewertet werden kann.

Aufgrund des Verlaufs der Reaktionskette für die Nitritbildung ($NO_3^- \rightleftharpoons NO_2^- \rightleftharpoons HNO_2 \rightarrow NO \rightarrow MbNO \rightarrow MCNO$) lag die Arbeitshypothese nahe, dass eine Korrelation zwischen dem Nitrat- und dem Nitritgehalt in der Salami bestehen könnte. Dies konnte aber nicht belegt werden. Die entsprechende statistische Prüfung ergab keinen Zusammenhang (Abb. 18).

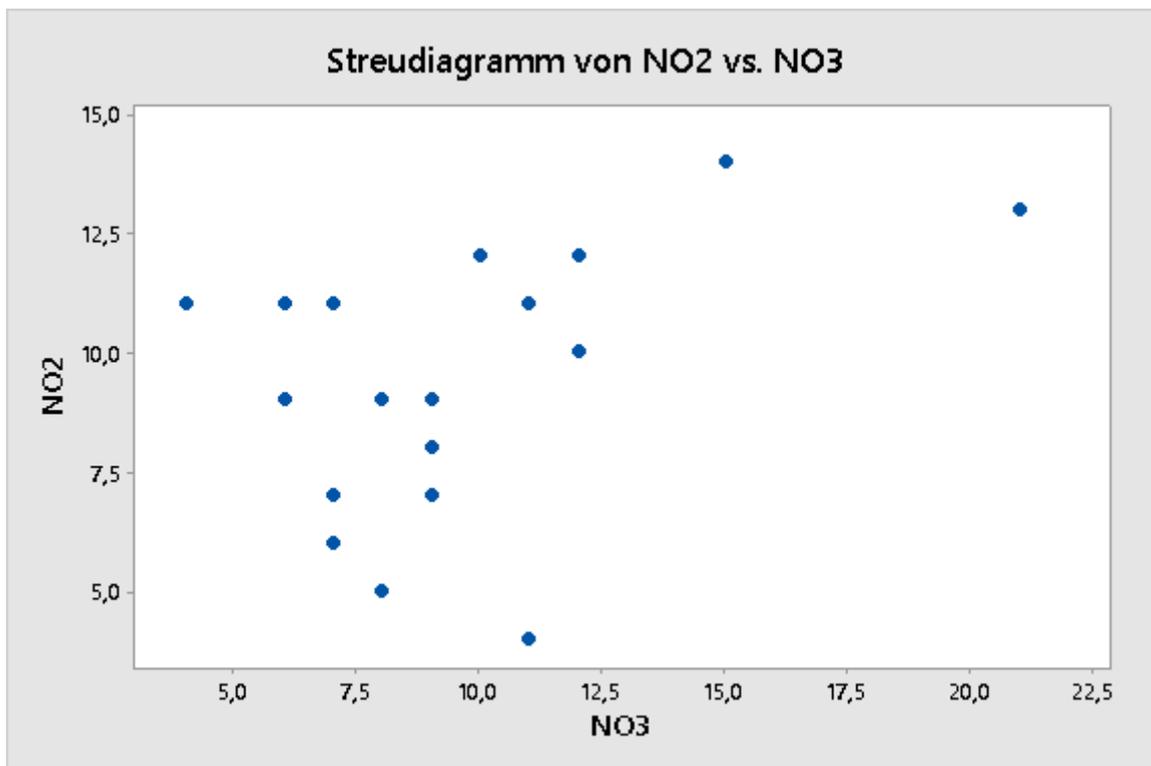


Abbildung 18: Ergebnis der Überprüfung auf eine Korrelation der Nitrat- und Nitritgehalte in Salami

Dieses Ergebnis lässt sich dadurch erklären, dass die Konzentration der verschiedenen Zwischenprodukte durch unterschiedliche Parameter beeinflusst und gesteuert wird, die nicht absolut konstant gehalten werden können. Daher ist es im Verlauf des Prozesses nicht ungewöhnlich, dass es zu unterschiedlichen Konzentrationen von verschiedenen Zwischenprodukten kommt. So sind im Falle der höheren Konzentrationen an Restnitrit verglichen mit den Konzentrationen an Restnitrat im Bereich der molaren Umsetzung von Nitrit zu undissoziierter salpetriger Säure und weiter zum Stickstoffmonoxid andere Reaktionsumsätze bzw. Reaktionslaufzahlen ξ_i mit abweichenden

stöchiometrischen Koeffizienten v_{ij} anzusetzen. Besonders wichtige Parameter während der Vorreifephase sind Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Standort in der Reifekammer. Diese Parameter sind theoretisch anhand der Steuerung auf ein gleiches Niveau geregelt, jedoch gibt es in der Praxis immer wieder Unterschiede in den Verläufen (diese wurden im zweiten Versuchsjahr optimiert). Dadurch sind die partiell höheren Restnitritkonzentrationen im Vergleich zu den Restnitratkonzentrationen in den Salamiprodukten zu erklären, was auch Ursache für die fehlende Korrelation zwischen diesen beiden Werten ist.

Die WHO gibt die täglich duldsame Aufnahme an Nitrat mit 3,7 mg/kg Körpergewicht an, was bei einem 70 kg schweren Erwachsenen insgesamt 259 mg/Tag ausmacht. Selbst bei einem täglichen Verzehr von 250 g Salami bedeutet dies für das vorliegende Produkt eine Aufnahme von ca. 0,25 mg Nitrat pro Tag, was im Vergleich zu den übrigen Nitratquellen in der täglichen Ernährung (u.a. Gemüse, Trinkwasser) vernachlässigbar ist (WHO, 2003). Für den Nitritgehalt in Lebensmitteln hat die EU 1995 eine Richtlinie herausgegeben (92/2/EG 20.2.1995), in der je nach Produkt die Höchstwerte mit 50 – 175 mg/kg Produkt angegeben sind. Mit einem durchschnittlichen Nitritgehalt von 9,55 mg/kg liegt dieser Wert für die mit dem alternativen Produktionsverfahren hergestellte Salami deutlich darunter. Bezogen auf die menschliche Gesundheit sind daher sowohl der Nitrat- als auch der Nitritgehalt in der mit dem alternativen Produktionsverfahren hergestellten Salami als unbedenklich anzusehen.

8.2.2.2 Nitrosamingehalte von Salami ohne Zusatzstoffe

Die gesundheitlichen Risiken von Nitrosaminen in der menschlichen Ernährung sind in der Literatur beschrieben (Jira, 2003; Matissek & Baltes, 2016). Da bei der Herstellung von Wurstwaren die Gefahr einer Bildung von Nitrosaminen besteht, wurde diesem Aspekt im vorliegenden F+E-Vorhaben bei der Produktion von Salami ohne Zusatzstoffen besondere Aufmerksamkeit geschenkt und der im Rahmen dieses Projektes neu entwickelte Produktionsprozess hinsichtlich der Bildung von Nitrosaminen untersucht. Da Salami häufig zur Herstellung von Pizzen verwendet wird war es geboten, die Bildung von Nitrosaminen unter entsprechenden Bedingungen zu prüfen. Dazu

diente die zuvor beschriebene Versuchsanlage (Kapitel 6.1.4). Nach erfolgtem Stress-test sind die Salamischeiben (Abb. 19 und 20) auf ihren Nitrosamingehalt untersucht worden.



**Abbildung 19: Scheiben von Salami ohne Zusatzstoffe thermisch behandelt
(200 °C für 12 Minuten)**



Abbildung 20: Scheiben von Salami ohne Zusatzstoffe thermisch behandelt (230 °C für 15 Minuten)

Die Ergebnisse der Nitrosamingehalte bei Salami ohne Zusatzstoffe aus dem technologisch neu entwickelten Produktionsverfahren zeigen insgesamt ein nahezu einheitliches Bild (Tabelle 27).

Tabelle 27: Nitrosamingehalte von Salami ohne Zusatzstoffe

Probe Nr.	Nitrosamine ($\mu\text{g}/\text{kg}$)							Behandlung
	NDMA	NDEA	NDPA	NDBA	NMOR	NPIP	NPYR	
1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	nicht erhitzt
2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
3	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	200 °C 12 Minuten
5	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	230 °C 15 Minuten
7	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	1,9	
8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,9	2,8	
9	1,3	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,9	1,3	

Bei den nicht erhitzten Proben liegen die Ergebnisse der verschiedenen N-Nitrosamine nach Ablauf des MHD unterhalb der Nachweisgrenze von $< 0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$. Es kommt somit während der Salamiproduktion und anschließender Lagerung nicht zur Bildung von N-Nitrosaminen. Anhand dieser Ergebnisse ist die Produktion von Salamiprodukten ohne Zusatzstoffe mit dem in diesem F+E-Vorhaben entwickelten großtechnischen Produktionsverfahren und neuen Rezepturen positiv zu bewerten. Die sehr niedrige Konzentration an Restnitrit in der Salami dürfte hierfür ein wesentlicher Faktor sein.

Bei der Hitzebehandlung der Salamischeiben ist entsprechend der Empfehlungen für typische tiefgefrorene Pizza die Temperatur von 12 Minuten bei dem auf $200 \text{ }^\circ\text{C}$ vorgeheizten Backofen gewählt worden. Besonders stark begünstigt wird die Nitrosaminbildung allerdings bei der vollständigen Dehydrierung der Salamischeiben. Da nicht auszuschließen ist, dass bei der Erhitzung die vorgeschriebene Temperatur und die Zeitdauer überschritten werden, wurde auch eine verschärfte Hitzebehandlung von $230 \text{ }^\circ\text{C}$ für 15 Minuten durchgeführt (Stresstest). Die Ergebnisse in Tabelle 27 zeigen, dass bei der üblichen Hitzebehandlung von $200 \text{ }^\circ\text{C}$ keine Änderung bei den Gehalten an Nitrosaminen allgemein und insbesondere bei den relevanten Nitrosaminen N-Nitrosodimethylamin (NDMA), N-Nitrosopyrrolidin (NPYR) und N-Nitrosopiperidin (NPIP) zu verzeichnen ist. Demnach ist die mit dem innovativen Produktionsverfahren hergestellte Salami selbst bei einer Weiterverarbeitung mit erhöhter Temperatur (wie z.B. Pizzen) hinsichtlich einer Bildung von Nitrosaminen unbedenklich.

Da bei der vollständigen Dehydrierung im Stresstest bei $230 \text{ }^\circ\text{C}$ bei diesen drei Nitrosaminen erhöhte Werte auftraten, wurden diese Abweichungen statistisch auf Signifikanzen geprüft (Tabelle 28).

Tabelle 28: Durchschnittlicher Nitrosamingehalt von Salami bei unterschiedlicher Erhitzung

Charge	Temperatur	Nitrosamine ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ¹⁾						
		NDMA	NDEA	NDPA	NDBA	NMDR	NPIP	NPYR
Ø von 3 Analysen	°C							
1	Ohne Erhöhung	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}
2	200 °C (12 Minuten)	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}
3	230 °C (15 Minuten)	0,8 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	0,4 ^{a)}	1,2 ^{b)}	2,0 ^{c)}

¹⁾ Für die statistische Auswertung wurden $< 0,5$ auf $0,4 \mu\text{g}/\text{kg}$ festgelegt
Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant ($p \leq 0,05$)

Die Durchschnittswerte des Nitrosamingehaltes in Salami von den drei untersuchten Chargen zeigen nur bei der Erhitzung auf 230 °C signifikante Unterschiede und zwar bei den beiden Nitrosaminen NPIP und NPYR. Die Erhöhung des Durchschnittswertes bei NDMA ist nicht signifikant. Allerdings sind die Gehalte an NDIP mit 1,2 mcg/kg und an NPYR mit 2,0 mcg/kg Salami gering. Für Nitrosamine in Wurstwaren existiert kein gesetzlich vorgeschriebener Höchstwert, sondern es wird auf das Minimierungsprinzip verwiesen (Göllner, 2022). Selbst die sehr hoch erhitzten Salamischeiben würden diesem Prinzip entsprechen. Eine derartige Erhitzung ist in der Praxis allerdings unerwünscht, da die Salamichips sehr hart werden und deren geschmacklichen Eigenschaften nicht der allgemeinen Präferenz entsprechen.

8.2.2.3 Mikrobiologische Stabilität der Salami ohne Zusatzstoffe

Zur Prüfung der mikrobiologischen Stabilität der Salamiprodukte ohne Zusatzstoffe, die mit dem im Rahmen dieses F+E-Vorhabens entwickelten neuen Produktionsverfahren und den neuen Rezepturen hergestellt worden waren, wurden die relevanten pathogenen Keime für Salamiprodukte (siehe Kap. 5.4.1) untersucht. Da der mikrobielle Verderb bei geschnittener Ware deutlich schneller voranschreitet, als bei ganzen Salamistangen (Grund: erhöhte spezifische Oberfläche und mögliche Kontamination durch den Schneidevorgang oder auch durch die Handhabung der Salami durch die Mitarbeiter*innen), wurden für diese Untersuchungen von jeder der für die Probenahme ausgewählten 20 Salamiprobe jeweils 10 Scheiben unter Schutzgas (75% N₂ und 25% CO₂) verpackt. Um extreme Bedingungen, wie sie im Einzelhandel auftreten können, zu simulieren, wurde vor den mikrobiellen Untersuchungen der Ablauf des MHD abgewartet.

Tabelle 29: Untersuchung der mikrobiellen Belastung von Salami

Mikroorganismen in koloniebildende Einheiten/g Salami							
Proben Nr.*	E-Coli	Enterobacteriaceae	koag. Pos. Staphylokokken	Salmonella spp. In 25 g	Listeria monocytogenes in 25 g	STEC/VTEC Shiagatoxin-Gen stx 1	STEC/VTEC Shiagatoxin-Gen stx 2
1	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
3	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
4	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
5	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
6	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
7	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
8	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
9	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
10	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
11	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
12	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
13	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
14	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
15	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
16	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
17	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
18	< 1,0*(10 ¹)	< 2,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
19	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
20	< 1,0*(10 ¹)	< 1,0*(10 ²)	< 1,0*(10 ²)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

*Versuchsjahr 1: Proben 1-10; Versuchsjahr 2: Proben 11-20

In den durchgeführten zwei Versuchsjahren konnten in keiner Probe Salmonellen nachgewiesen werden, ebenso keine *Listeria monocytogenes*. Es wird bei diesen beiden Analyseverfahren zunächst eine Untersuchung von 25 g Probenmaterial vorgenommen. Gleichzeitig wird auch eine Probenahme nach dem Zählverfahren, das sich auf eine Probenmenge von einem Gramm bezieht, vorgenommen. Diese Analyseergebnisse sind jedoch in diesem Fall nicht relevant, da es bei den Untersuchungen von 25 g Probenmaterial zu keinem Nachweis des Keimes gekommen ist. Bei den Nachweisverfahren von STEC/VTEC Shigatoxin-Gen stx 1 und stx 2 bezieht sich die Probenmenge auf ein Gramm. Es konnten bei beiden Keimen keine Nachweise festgestellt werden. Nachgewiesen werden konnten dagegen *E. Coli*, Enterobacteriaceae, koag. positive Staphylokokken, wobei letztere die höchsten Werte aufwiesen, gefolgt von Enterobacteriaceen. Die nachgewiesenen Keimzahlen liegen anhand der Richt- und Warnwerte nach (DGHM, 2017) in einem unbedenklichen Bereich. Zwischen den beiden Versuchsjahren konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Auf Grundlage der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Höchstwerte für diese Keime (Tabelle 30) sind sämtliche Proben als gesundheitlich unbedenklich einzustufen.

Tabelle 30: Richt- und Warnwerte für relevante Mikroorganismen bei schnittfester Rohwurst (Salami) (DGHM, 2017).

Relevanter Keim	Richtwert	Warnwert
<i>E. coli</i>	$10 \frac{KbE}{g}$	$10^2 \frac{KbE}{g}$
Enterobacteriaceae	$10^2 \frac{KbE}{g}$	$10^3 \frac{KbE}{g}$
Koag. Pos. Staphylokokken	$10^3 \frac{KbE}{g}$	$10^4 \frac{KbE}{g}$
<i>Listeria monocytogenes</i>	$10^2 \frac{KbE}{g}$	$10^3 \frac{KbE}{g}$

8.2.2.4 pH-Werte

Der pH-Wert spielt bei Salami ohne Zusatzstoffe in doppelter Hinsicht eine wichtige Rolle, nämlich einerseits für die mikrobiologische Stabilität und andererseits für die geschmacklichen Eigenschaften. Für die mikrobiologische Stabilität wird ein pH-Wert

zwischen 5,0 und 5,3 angestrebt. Für die Aromaentfaltung verbunden mit einem weniger säuerlichen Geschmack darf der pH-Wert aber durchaus diese Grenze überschreiten. Es galt also hier bei den Versuchen unter Praxisbedingungen die jeweils richtige Balance zu finden.

Die pH-Werte wurden an den gleichen Proben bestimmt, welche auch für die mikrobiologischen Untersuchungen verwendet wurden. Das bedeutet an geschnittenen und unter kontrollierter Atmosphäre bis zum Ende des Mindesthaltbarkeitsdatums gelagerten Salamiprobe aus dem ersten und zweiten Versuchsjahr. Die analysierten pH-Werte unterschreiten nie die kritische Schwelle von pH 5,0, was positiv zu bewerten ist (Abb. 21). In wenigen Salamiprobe hat sich der pH-Wert leicht erhöht, was die mikrobiologische Stabilität verringern könnte. Bei den durchgeführten Versuchen ist dies aber nicht der Fall, wie die Ergebnisse in Kap. 8.2.2.4 belegen. Auswirkungen auf die Aromaentfaltung und auf die Ausprägung eines säuerlichen Geschmacks bei der in den Praxisversuchen hergestellten Salami wurde in diesen Versuchen nicht untersucht.

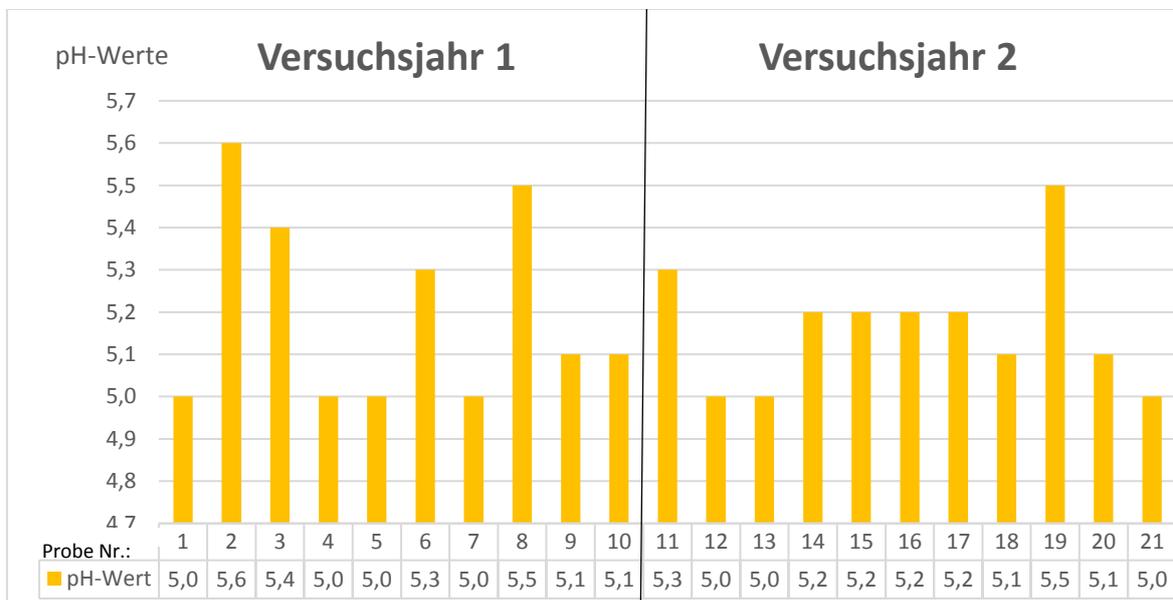
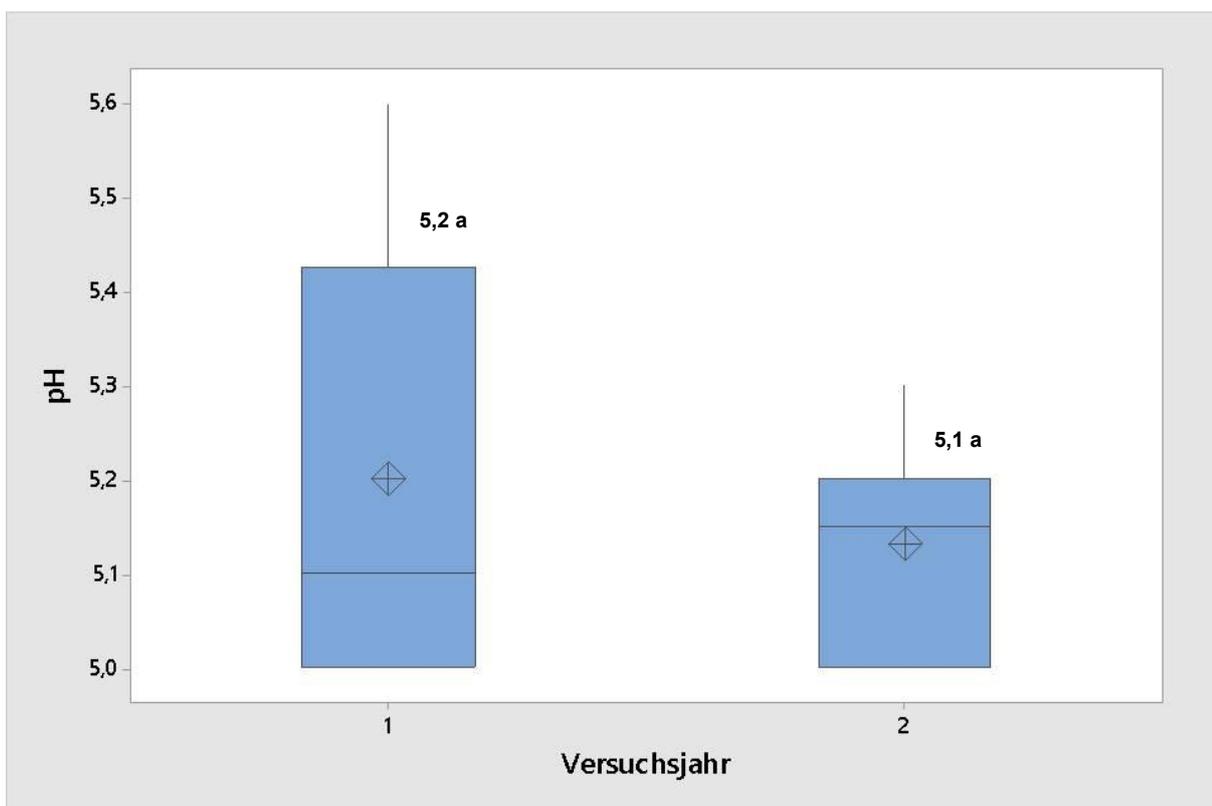


Abbildung 21: pH-Werte der Salami im ersten und zweiten Versuchsjahr

In wenigen Salamiprobe lag der pH-Wert leicht über der optimalen Spanne von 5,0 – 5,3, was aber nicht zur Verringerung der mikrobiologischen Stabilität geführt hat, wie die Ergebnisse in Tabelle 29 belegen. Ob sich dadurch bei der Aromaentfaltung und

dem säuerlichen Geschmack Auswirkungen ergeben haben wurde in diesen Versuchen nicht untersucht.

Im ersten Versuchsjahr lag die Spanne der pH-Werte zwischen 5,0 und 5,6. Im zweiten Versuchsjahr ergaben sich bei allen 10 Proben keine Abweichungen über die optimale Spanne der pH-Werte von 5,0 – 5,3 hinaus. Obwohl sich beim Vergleich des ersten mit dem zweiten Versuchsjahr diese Unterschiede als statistisch nicht signifikant erwiesen haben (Abb. 22) deutet dies auf eine positive Folge der im zweiten Versuchsjahr verbesserten technologischen Prozessführung hin.



Angaben zu den detaillierten statistischen Auswertungen befinden sich im Anhang 10 und 11.

Abbildung 22: Vergleich der pH-Werte bei Salami zwischen dem ersten und zweiten Versuchsjahr

9. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen dieses F&E-Forschungsvorhabens haben neue Erkenntnisse für die Einführung eines innovativen Produktionsverfahrens bei Brüh- und Frischwurst erbracht, die es schon jetzt ermöglichen, diese beiden Produktionsprozesse so zu steuern, dass ein Verzicht auf Nitritpökelsalz möglich ist. Damit konnte eine wesentliche Grundforderung der Konsumenten für die Produktion von Bio-Wurstwaren erfüllt werden. Besondere Bedeutung hat dieses innovative Produktionsverfahren vor allen Dingen für die Herstellung von Bio-Wurst im großtechnischen Maßstab.

Bei der **Brühwurst am Beispiel von BIO-Lyoner in Dosen** hat sich in diesem Forschungsvorhaben die Verwendung von Warmfleisch als zentraler Faktor erwiesen. Daneben waren die auf der Basis von Praxiserfahrungen und zusätzlich in Vorversuchen ermittelten Rezepturen mit naturbelassenen Zusatzstoffen (Bio-Kräuter- und Gewürzmischungen) eine wesentliche Voraussetzung für den Verzicht auf Nitritpökelsalz. Die in dieser Arbeit detailliert beschriebenen einzelnen Produktionsschritte wurden vom Doktoranden auf der Grundlage von Literaturstudien sowie Voruntersuchungen ergänzt durch das Erfahrungswissen ausgewählter Praktiker neu entwickelt und im Verlaufe der Untersuchungen im Sinne eines transdisziplinären Forschungsansatzes auf der Basis der jeweiligen wissenschaftlichen Ergebnisse optimiert. Die für den gesamten Produktionsprozess notwendige computergesteuerte Verfahrenstechnik wurde unter Anleitung des Doktoranden entwickelt und erfolgreich in den Versuchen eingesetzt. Die für eine weitergehende Verringerung des Nitratgehaltes - bei gleichbleibend geringem Nitritgehalt - in Brühwurst in Dosen mögliche Optimierung des Produktionsprozesses wurde vom Doktoranden in der vorliegenden Arbeit beschrieben.

Dabei standen aus technologischer Sicht für den Produktionsprozess insbesondere die P-Werte und die pH-Werte im Vordergrund. Hier mussten die einzelnen Verfahrensschritte und die Zusätze in Form von Kräuter- und Gewürzmischungen so aufeinander abgestimmt werden, dass ein Endprodukt erzeugt werden konnte, was sowohl aus gustatorischer und technologischer, als auch aus lebensmittelrechtlicher Sicht nicht zu beanstanden ist. Zudem müssen die Anforderungen erfüllt werden, die sich

aus den Richtlinien für Bio-Lebensmittel ergeben. Nicht zuletzt spielt die Verbraucherakzeptanz die alles überragende Rolle. Alle diese Aspekte wurden in der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit untersucht und haben zu positiven Ergebnissen geführt, so dass sich dieses neu entwickelte Produktionsverfahren zur Herstellung von Bio-Brühwurst (in Dosen) als praxistauglich erwiesen hat.

Allerdings hat sich in den wissenschaftlichen Untersuchungen gezeigt, dass in einigen Bereichen durchaus Möglichkeiten zur Optimierung einzelner Produktionsschritte bestehen. Auf den dafür notwendigen weiteren Forschungsbedarf hat der Autor in dieser Arbeit hingewiesen. Dies betrifft folgende Bereiche:

- a) Eine Neufassung des bisher gültigen P-Grenzwertes von 2,4; vorzugsweise auf die einzelne Fleischart bezogen.
- b) Prozessoptimierung, um konstant im Brät für die Brühwurstherstellung einen pH-Wert von 6,0 zu erreichen.
- c) Die vom Doktoranden beschriebene Prozessoptimierung durch eine Verlängerung der metabolischen Phase für eine weitergehende Verringerung des Nitratgehaltes bei gleichbleibend geringem Nitritgehalt in Brühwurst in Dosen ist zu prüfen.

Bei der **Frischwurst am Beispiel von Salami** (Edelsalami aus Schweinefleisch) lagen die für ein innovatives Produktionsverfahren analogen Rahmenbedingungen vor, denn es musste ein Produkt ohne Verwendung von Nitritpökelsalz und anderen Produktionshilfsmitteln, die mit E-Nummern deklariert werden müssen, hergestellt werden, welches zudem eine hohe Verbraucherakzeptanz findet. Die hierfür notwendigen Gewürz- und Kräutermischungen wurden vom Doktoranden neu entwickelt und der Produktionsprozess entsprechend angepasst. Zur Erreichung einer optimalen Produktqualität musste der Herstellungsprozess, insbesondere die Reifungsphase der Salami, standardisiert werden. Die dazu notwendige elektronische Steuerung dieses Prozessschrittes wurde ebenfalls vom Doktoranden entwickelt, geprüft und erfolgreich in den Untersuchungen eingesetzt.

Besonders kritisch waren bei der Salamiproduktion ohne Nitritpökelsalz und weiterer Produktionshilfsmittel mit E-Nummern Deklaration, die Erreichung der notwendigen Produkthygiene, eines möglichst nitrosaminarmen oder sogar -freien Produktes mit

hoher Verbraucherakzeptanz. Zudem sollten keine negativen Veränderungen während des Zeitraums für die Mindesthaltbarkeit und bei einer Verwendung der Salami z.B. bei der Pizzaerwärmung auftreten. Diese Probleme wurden in den vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen bearbeitet und es konnte mittels des neuen innovativen Produktionsverfahrens eine Salami hergestellt werden, die allen Aspekten gerecht wurde.

Allerdings wurde bei der Salami im Gegensatz zur Brühwurst keine sensorische Evaluierung durchgeführt. In weiterführenden Untersuchungen sollten daher

- a) sensorischen Untersuchungen durchgeführt werden,
- b) der Vorgang der Salamireifung weiter optimiert und standardisiert werden, z.B. mit Hilfe einer geeigneten elektronischen Steuerung.

Die vom Doktoranden im Rahmen dieses F&E-Forschungsvorhabens entwickelten innovativen Produktionsverfahren für Bio-Brüh- (Lyoner in Dosen) und Bio-Frischwurst (Edelsalami) im großtechnischen Verfahrensmaßstab sind für die praktische Anwendung im Produktionsprozess geeignet. Durch die in dieser Arbeit vorgeschlagenen weiteren Untersuchungen und Modifikationen bei einzelnen Produktionsschritten kann dieses innovative Produktionsverfahren über den bisher entwickelten Stand hinaus noch optimiert werden.

Besondere Beachtung musste der rechtlichen Situation für die Herstellung von Wurstwaren mit den innovativen Produktionsverfahren geschenkt werden, denn während der Untersuchungen im Rahmen dieses F&E-Vorhabens hat das niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz (LAVES) den Einsatz von Gemüsesaftkonzentrat für den technologischen Zweck der Umrötung als Verwendung eines Zusatzstoffes eingeordnet. Als Zusatzstoff ist das Gemüsesaftkonzentrat gemäß EU-VO 2017/625 Art. 138 nicht zugelassen. In Baden-Württemberg, dem Sitz der BESH und dem Ort, an dem die Brühwurstversuche durchgeführt wurden, wurde von Seiten der zuständigen Behörde sogar die Wirksamkeit des alternativen Umrötungsverfahrens angezweifelt und eine Überprüfung der alternativen Umrötung von Brühwurstprodukten angeordnet. Die damit verbundene Stufenkontrolle des CVUA (Chemisches- und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart) wurde von 4 Experten des CVUA und zusätzlich noch 2 Veterinären der örtlichen Behörde (Landratsamt Schwäbisch Hall-Amt für Veterinärwesen

und Verbraucherschutz-) durchgeführt mit dem Ergebnis, dass bei diesem alternativen Verfahren eine Umrötung ohne die Zugaben von Nitritpökelsalz ausschließlich durch die zugesetzte Bio-Gewürzmischung und das darin enthaltene Nitrat erfolgt (Kunzer et al., 2017). Die Reduktion von Nitrat zu Nitrit durch die zugesetzten nitratreduzierenden Starterkulturen (Starterkulturen BITEC STARTER C2 der Firma Frutarom) wurde im Rahmen dieser Überprüfung ebenfalls konstatiert. Die Funktionsweise und effektive Umsetzung des im Rahmen diese F&E-Vorhabens theoretisch und auch praktisch entwickelten standardisierten alternativen Umrötungsverfahrens wurde durch die Prüfungen des CVUA Stuttgart bestätigt (Kunzer et al., 2017).

Nach der erfolgten Verifizierung des alternativen Umrötungsverfahrens wurde dessen rechtliche Zulässigkeit vom CVUA Stuttgart geprüft und in der Folge ein Verbot des Verfahrens verfügt. Als Grund wurde auf das Erzeugen von nicht zugelassenen Lebensmittelzusatzstoffen i.S.d. § 6 Abs. 1 Nr. 1 c LFGB verwiesen (Landratsamt Schwäbisch Hall, 2017). Zur Begründung des Verbots des alternativen Umrötungsverfahrens bei Wurstprodukten wurden vom CVUA weiter folgende Argumente angeführt: Der Einsatz von Nitrit in Form von Natriumnitrit ist zwar zulässig, jedoch nur, wenn dieses in Form von Nitritpökelsalz dem Erzeugnis zugegeben wird und des Weiteren eine konservierende Eigenschaft aufweist, da Nitrit in Form von Natriumnitrit als Konservierungsstoff zugelassen ist. Fehlt es somit an einer konservierenden Eigenschaft, ist der Einsatz von Nitrit in Form von Natriumnitrit, auch als Reaktionsprodukt, als nicht zulässig zu beurteilen (Landratsamt Schwäbisch Hall, 2017).

Diese Interpretation in Bezug auf die Verwendung von Natriumnitrit als Zusatzstoff führt zu der Schlussfolgerung, dass Natriumnitrit als Umrötehilfsstoff nicht zugelassen ist, sondern nur dann, wenn eine ausreichend hohe Konzentration an Restnitrit zur Erzielung einer konservierenden Wirkung im Endprodukt nachweisbar ist. Die dafür notwendige Konzentration an Restnitrit wird vom CVUA Stuttgart nicht näher definiert. Es ist jedoch anzunehmen, dass Nitritkonzentrationen von mindestens 50 ppm bzw. mg/kg antizipiert werden, damit eine ausreichend konservierende Wirkung erzielt werden kann. Es lässt sich daraus schließen, dass der reduzierte Einsatz von Nitritpökelsalz, wie er in der Praxis häufig durchgeführt wird, da er zur Erreichung der Umrötung hinreichend ist, im Rahmen einer Wurstproduktion im Grundsatz nicht zulässig ist. Aus gesundheitlicher Sicht steht die Argumentation und Interpretation der Rechtslage der Lebensmittelüberwachung in Baden-Württemberg von Seiten des CVUA Stuttgart im

Gegensatz zu den Forderungen der Ernährungswissenschaften nach Wurstprodukten mit einem möglichst geringen Gehalt an Natriumnitrit, um davon ausgehenden gesundheitlichen Risiken vorzubeugen (Metzger, 2011; Nelson et al., 2011).

Die Ergebnisse der im Rahmen dieses F&E-Vorhabens durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen bei der Herstellung von Bio-Brühwurst in Dosen und von Bio-Salami ohne den Einsatz von Natriumnitrit als Konservierungsstoff haben eindeutig gezeigt, dass ein aus mikrobiologischer Sicht einwandfreies Wurstprodukt erzeugt werden kann (Abbildung 15, Seite 150; Tabelle 29, S. 164). Die mikrobiologische Stabilität der Wurstprodukte wurde einerseits durch die Verwendung der speziellen Kräuter- und Gewürzmischungen für Brühwurst und für Salami erreicht, andererseits spielen die dafür im Rahmen dieser Arbeit entwickelten innovativen und in allen für die Hygiene maßgebenden Faktoren standardisierten Produktionsverfahren eine wesentliche Rolle. Damit ist der vom Gesetzgeber vorgeschriebene Einsatz von Natriumnitrit als Zusatzstoff in der Form von Pökelsalz zur Erzielung einer mikrobiologischen Stabilität bei der Wurstherstellung in Frage zu stellen. Dieses Ziel ist aufgrund der vorgelegten Ergebnisse auch ohne Nitritpökelsalz zu erreichen. Es ist zudem ein offenes Geheimnis, dass in der Praxis Natriumnitrit hauptsächlich zur Umrötung von Brühwurstprodukten eingesetzt wird, während die konservierende Wirkung nur eine untergeordnete Rolle spielt (Jakob, 2004; Mayer, 2015).

Da jedoch Natriumnitrit nach Auffassung der Lebensmittelbehörde in Baden-Württemberg als Umrötehilfsmittel keine Zulassung hat, erscheint dieser Sachverhalt absurd. Die Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Untersuchungen und die gängige Praxis legen daher nahe, dass im Hinblick auf die Verwendung von Natriumnitrit ausschließlich in Form von Pökelsalz bei der Wurstherstellung eine grundlegende Neuorientierung von Seiten der Behörden und Gesetzgebung notwendig ist. Dies nicht zuletzt auch deshalb, da die Behörden in den anderen deutschen Bundesländern eine andere Rechtsauffassung vertreten, als dies in Niedersachsen und Baden-Württemberg der Fall ist. Dort wird die Verwendung von Kräuter- und Gewürzmischungen für die Wurstherstellung nicht untersagt.

Glossar

ADI-Wert	Die zulässige tägliche Aufnahmemenge eines bestimmten Stoffes
Aerob	mikrobieller Abbauprozess mit Sauerstoffzufuhr
Anaerob	mikrobieller Abbauprozess ohne Sauerstoffzufuhr
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
Beziehung	Abhängigkeit einer durch einen bestimmten Faktor hervorgerufenen Wirkung durch die Dosis dieses Faktors
Brühwurst	Brühwurst“ sind durch Brühen, Backen, Braten oder auf andere Weise hitzebehandelte Wurstwaren, bei denen zerkleinertes rohes Fleisch mit Kochsalz und ggf. anderen technologisch notwendigen Salzen meist unter Zusatz von Trinkwasser oder Eis ganz oder teilweise aufgeschlossen wurde und deren Muskeleiweiß bei der Hitzebehandlung mehr oder weniger zusammenhängend koaguliert ist, so dass die Erzeugnisse bei etwaigem erneuten Erhitzen schnittfest bleiben
Bündnerfleisch	gepökeltes und gereiftes, von Sehnen und Fett befreites Rindfleisch
Compounds	fertige Gewürzpräparate für Fleischerzeugnisse mit technologischen und aromabildenden Komponenten
Dissoziationsstufe	Einige Säuren können mehr als ein Proton abgeben. Die Protonenabgabe erfolgt über mehrere Dissoziationsstufen, wobei die Abgabe in der zweiten Stufe gegenüber der ersten deutlich erschwert ist. Ein physiologisch wichtiges Beispiel ist die zweiprotonige Kohlensäure (H_2CO_3).
Dosis-Wirkungs- Emulgator	Emulgatoren sind Hilfsstoffe, die dazu dienen, zwei nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Öl

	und Wasser, zu einem fein verteilten Gemisch, der sogenannten Emulsion, zu vermengen und zu stabilisieren extreme Umweltbedingungen zu bevorzugen.
Gefriertrocknung	Die Gefriertrocknung, auch Sublimationstrocknung bezeichnet ein Verfahren zur schonenden Trocknung von Produkten durch Sublimation von festem Wassereis zu Wasserdampf.
Hämoglobin	eisenhaltiger Proteinkomplex, der als Blutfarbstoff in den roten Blutkörperchen von Wirbeltieren enthalten ist.
Ionenstärke	Die Ionenstärke einer Lösung ist ein Maß für die elektrische Feldstärke aufgrund gelöster Ionen.
Kaltfleisch	Fleisch, bei dem die Totenstarre bereits eingetreten ist.
Keimzahl	Die Keimzahl ist die Anzahl an Mikroorganismen (Keime), Bakterien, Hefen und andere Pilze, in (auf) einer bestimmten Substratmenge
Komplexbildner	Komplexbildner sind Lewisbasen, d. h. chemische Verbindungen oder einfache Anionen mit freien Elektronenpaaren, die mit Metallionen oder Metallatomen als Lewissäuren Koordinationsverbindungen bilden.
Kutterhilfsmittel	Kutterhilfsmittel erhöhen das Wasserbindungsvermögen und die Fettemulgierung und stabilisieren dadurch das polydisperse System
Massentierhaltung	Intensivhaltung einer großen Anzahl von Tieren
Mesophil	mesophil ist die Eigenschaft von Lebewesen, mittlere, nicht
Metabolismus	Stoffwechsel
Mikrobiologische	konstante Einhaltung der Richt- bzw. Grenzwerte in Bezug auf Stabilität Keimzahlen der relevanten Mikroorganismen nach DGHM.
Mortalität	Die Mortalität (Sterblichkeit) ist ein Sterblichkeitsmaß für eine bestimmte Erkrankung.
Myoglobin	Myoglobin ist das Sauerstoff-bindende Protein des Muskels
naturbelassen	Produkte im natürlichen Zustand, ohne verändert worden zu sein.

Niereninsuffizienz	Bei Niereninsuffizienz (Nierenschwäche, Nierenversagen) sind die Nieren nur eingeschränkt oder gar nicht mehr fähig, harnpflichtige Substanzen auszuscheiden.
Oxidationsmittel	Ein Oxidationsmittel ist eine Substanz, die formal Elektronen aufnimmt und andere Substanzen oxidiert und dabei selbst reduziert wird.
pH-Wert	Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus einer H^+ bzw. H_3O^+ -Ionenkonzentration in mol/l.
post-mortem	betrifft die Prozesse, welche sich nach dem Tod eines Tieres oder Menschen ablaufen
Pufferkapazität	In der Chemie ist die Pufferkapazität die Menge starker Base (oder Säure), die durch eine Pufferlösung ohne wesentliche Änderung des pH-Wertes aufgenommen werden kann.
Reduktionsäquivalente	Als ein Reduktionsäquivalent bezeichnet man 1 mol Elektronen, die bei Redoxreaktionen entweder direkt oder in Form von Wasserstoff übertragen werden.
Reduktionsmittel	Ein Reduktionsmittel ist ein Stoff, der formal Elektronen abgibt und somit andere Stoffe reduziert und dabei selbst oxidiert wird.
Salami	Salamiprodukte sind gereifte Rohwürste, welche unangeschnitten ohne Kühlung lagerfähig sind. An die Oberfläche der Fleischteilchen ausgetretenes Muskeleiweiß hat im Verlauf der Reifung Fleisch- und Fettgewebsteilchen miteinander verbunden, bei grober Körnung Fettgewebe zu erkennen.
Säureregulator	Säureregulatoren sind Lebensmittelzusatzstoffe, die den Säuregrad oder die Basizität und damit den gewünschten pH-Wert eines Lebensmittels konstant halten.
Schweinemast	Das Ausmästen von Schlachtschweinen im Gewichtsreich 30 bis 125 kg.
Starterkulturen	Kulturen, welche aus technologischen Gründen in Würstwaren eingesetzt werden.

Umrötung	Unter "Umrötung" versteht man die Bildung der typischen hitzestabilen und roten Farbe von gepökelten Fleischzeugnissen.
Warmfleisch	Beim Warmfleisch handelt es sich um Fleisch, welches schlachtwarm vor Eintritt der Totenstarre verarbeitet wird.
Zusatzstoffe	Verbindungen, die Lebensmitteln zur Erzielung chemischer, physikalischer oder auch physiologischer Effekte zugegeben werden gesetzlich geregelt in (VO (EG) Nr.1333/2008, 2008).

Literaturverzeichnis

Aasen, I. M., Møretrø, T., Katla, T., Axelsson, L., & Storrø, I. 2000. Influence of complex nutrients, temperature and pH on bacteriocin production by *Lactobacillus sakei*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53(2), S. 159-66, DOI: 10.1007/s002530050003

Abram, F., Starr, E., Karatzas, K. A. G., Matlawska-Wasowska, K., Boyd, A., Wiedmann, M., Boor, K. J., Connally, D., O'Byrne, & C. P. 2008. Identification of components of the Sigma B regulon in *Listeria monocytogenes* that contribute to acid and salt tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*. 74(22), DOI: 10.1128/AEM.00442-08.

Albihn, A., Eriksson, E., Wallen, C., & Aspan, A. 2003. Verotoxinogenic *Escherichia coli* (VTEC) O157:H7 a nationwide Swedish survey of bovine faeces. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 44, 43-52, DOI: 10.1186/1751-0147-44-43.

Aldick, T., Bielaszewska, M., Zhang, W., Brockmeyer, J., Schmidt, H., Friedrich, A. W., Kim, K. S., Schmidt, M. A., Karch, H. 2007. Hemolysin from Shiga toxin-negative *Escherichia coli* O26 strains injures microvascular endothelium. *Microbes and Infection*. 9, 282-290, 10.1016/j.micinf.2006.12.001.

Alexander, E. R., Boase, J., Davis, M., Kirchner, L., Osaki, C., Tanino, T., Samadpour, M., Tarr, P., Goldoft, M.; Lankford, S., Kobayashi, J., Stehr-Green, P., Bradley, P., Hinton, B., Tighe, P., Pearson, B., Flores, G. R., Abbot, S., Bryant, R., Werner, S. B., & Vugia, D. J. 1995. *Escherichia coli* O157:H7 outbreak linked to commercially distributed dry-cured salami - Washington and California. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 44, 642-647, doi: 10.4081/ijfs.2014.3226.

M. R. and Alazawi, S. K. 1990. *Listeria monocytogenes* contamination of crops grown on soil treated with sewage-sludge cake. *Journal of Applied Bacteriology*. 69, 642-647, DOI: 10.1111/j.1365-2672.1990.tb01557.x

AMI. 2019. AMI -natürlich informiert. https://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/maerkte/ami-fleischwirtschaft/ami-meldungen-fleischwirtschaft/single-an-sicht?tx_aminews_singleview%5Baction%5D=show&tx_aminews_singleview%5Bcontroller%5D=News&tx_aminews_singleview%5Bnews%5D=12724&cHash=a0ae516923. [Online] 2019. [Cited: 1 27, 2021.]

Aquilanti, L., Garofalo, C., Osimani, A., & Clementi, F. 2016. Ecology of lactic acid bacteria and coagulase negative cocci in fermented dry sausages manufactured in Italy and other Mediterranean countries: an overview. *International Food Research Journal*. 23 (2), 429-445, doi: 10.3390/microorganisms8050629.

Baired-Parker, A.C. & Freame, B. 1967. Combined Effect of Water Activity, pH and Temperature on the Growth of *Clostridium botulinum* from Spore and Vegetative Cell Inocula. *Journal of Applied Bacteriology*, 30 (3), 420–429, DOI: 10.1111/j.1365-2672.1967.tb00320.x

Baker, D.A. 1993. Probability models to assess the safety of foods with respect to *Clostridium botulinum*. *Journal of Industrial Microbiology*. 12(3-5), 156-161, DOI: 10.1016/0168-1605(93)90177-i.

Baltes, W. 2000. Lebensmittelchemie. Springer, Berlin/Heidelberg, 5. Auflage, ISBN 3-540-66525-0.

Banspach, L. 2012. Nitratgehalte in Gemüse. [Cited: Mai 2, 2019.] https://www.vis.bayern.de/ernaehrung/lebensmittelsicherheit/unerwuenschte_stoffe/nitrat_gemuese.htm.

Barash, J.R. and Arnon, S.S. 2014. A Novel Strain of *Clostridium botulinum* That Produces Type B and Type H Botulinum Toxins. *Journal of Infectious Diseases*. 209(2), 183-191, Doi: 10.1093/infdis/jit449.

BasisVO, (178/2002). 2002. VERORDNUNG (EG) Nr. 178/2002 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. s.l. : Europäische Union, 2002.

Bauer, K.H., Frömming, K.-H., Führer, C., Lippold, B.C., & Müller-Goymann, C. 2017. Pharmazeutische Technologie: mit Einführung in Biopharmazie und Biotechnologie. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 10, überarbeitete und aktualisierte Auflage, ISBN 978-3-8047-3268-1.

Baye, S. 2015. Einflussfaktoren auf die Wärmebehandlung. Lebensmittelinstitut KIN, Neumünster, S. 1-12.

Baye, S., Benner, M. & Heyer, M. 2015. Enzyminaktivierung (E-Wert) und Kochschädigung (C-Wert). [book auth.] Wissenschaftler des Lebensmittelinstituts KIN. Kennzahlen der thermischen Haltbarmachung. Neumünster: KIN-Lebensmittelinstitut, S. 2-7.

Baye, S. 2015. Kennzahlen der Wärmekonservierung. [book auth.] Wissenschaftler des KIN Lebensmittelinstitut. Errechenbare Sicherheit D-Wert, F-Wert, D-Konzept. KIN-Lebensmittelinstitut, Neumünster, S. 1-15.

Beck, A., Dylla, R., Euen, S., Hamm, U., Lücke, F.K., Marx, B., & Wild, S. 2006. Pökelfstoffe in Ökofleischwaren. <https://orgprints.org/id/eprint/10466/>

Beck, A., Dylla, R., Geißlinger, M., Jakob, H., Liebl, B., Lücke, & F.-K. 2008. Leitfaden zur angepassten Herstellung von Öko-Fleisch- und Öko-Wurstwaren ohne oder mit reduziertem Einsatz von Pökelfstoffen. <https://orgprints.org/id/eprint/14275/>

Belitz, H.-D., Grosch, W. & Schieberle, P. 2008. Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Heidelberg: Springer Verlag, ISBN 978-3-540-73201-3.

Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Gatto, G.J., & Stryer, L. 2018. Stryer Biochemie. Heidelberg: Springer Spektrum, ISBN 978-3-662-54619-2.

Beutin, L., Zimmermann, S. & Gleier, K. 1998. Human Infections with Shiga Toxin-Producing Escherichia coli other than Serogroup O157 in Germany. Emerging Infectious Diseases. 4(4), 635-639, doi: 10.3201/eid0404.980415.

Blüchel, E. & Honikel, K.O. 2006. Handbuch der chemischen und physikalischen Fleisch und Fleischwarenanalyse. Kulmbach: Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel

BMEL. 2015/2020. [www.bmel.de/Lebensmittel-Kennzeichnung/Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse](http://www.bmel.de/Lebensmittel-Kennzeichnung/Leitsätze_für_Fleisch_und_Fleischerzeugnisse). https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeFleisch.pdf?__blob=publication-File&v=3. [Online] Homepage des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft. Neufassung vom 25.11.2015 (BANz AT 23.12.2015 B4, GMBI 2015 S. 1357), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung vom 23.09.2020 (BANz AT 29.10.2020 B4, GMBI 45/2020 S. 971, 2015/2020. [Cited: 1 25, 2021.]

- Böttger, E.C. & Kayser, F.H. 2010.** Bakterien als Krankheitserreger - Salmonella. F.H. Kayser (Hrsg.), 'Medizinische Mikrobiologie'. S. 296-299, Doi: 10.1055/b-002-98020.
- Bowman, J. P., Hages, E., Nilsson, R. E., Kocharunchitt, C., & Ross, T. 2012.** Investigation of the *Listeria monocytogenes* Scott A acid tolerance response and associated physiological and phenotypic features via whole proteome analysis. *Journal of Proteom Research*. 11, 2409-2426, DOI: 10.1021/pr201137c.
- Bremer, V., Leitmeyer, K., Jensen, E., Metzger, U., Meczulat, H., Weise, E., Werber, D., Tschaepe, H., Kreienbrock, L., Glaser, S. & Ammon, A. 2001.** Outbreak of *Salmonella* Goldcoast infections linked to consumption of fermented sausage. *Epidemiology and Infection*. 132, 881-887 DOI: 10.1017/s0950268804002699.
- Brenner, F. W., Villar, R. G., Angulo, F. J., Tauxe, R. & Swaminathan, B. 2000.** *Salmonella* nomenclature. *Journal of Clinical Microbiology* 38, 2465-2467, DOI: 10.1128/JCM.38.7.2465-2467.2000.
- Briones, V., Tellez, S., Goyache, J., Ballesteros, C., Lanzarot, M. D., Dominguez, L. & Fernandez-Garayzabal, J. F. 2004.** *Salmonella* diversity associated with wild reptiles and amphibians in Spain. *Environmental Microbiology* 6, 868-871, DOI: 10.1111/j.1462-2920.2004.00631.x.
- Bruno, V.M., Hannemann, S., Lara-Tejero, M., Flavell, R.A., Kleinstein, S.H. & Galan, J.E. 2009.** *Salmonella* Typhimurium type III secretion effectors stimulate innate immune responses in cultured epithelial cells. *Plos Pathogens* 5(8), DOI: 10.1371/journal.ppat.1000538
- Buchanan, R.L. & Bagi, L.K. 1997.** Effect of water activity and humectant identity on the growth kinetics of *Escherichia coli* O157:H7. *Food Microbiology* 14, 413-423, DOI:10.1006/fmic.1997.0101.
- Buisson, D. 1995.** Developing new products for the consumer. In: Marshall, D.W., 'Food choice and the consumer', Chapman & Hall, Cambridge, pp. 182-215, ISBN: 0751402346.
- Bülte, M. & Goll, M. 2006.** Pathogene Mikroorganismen. *Escherichia coli* und Shigellen. Behr's Verlag, Hamburg, ISBN: 978-3-95468-154-9.

Bülte, M. 2016. *Listeria monocytogenes* Band I: Vorkommen, Erkrankungsformen und Diagnostik. Behr's Verlag, Hamburg, ISBN: 978-3-95468-435-9.

Bürk, C., Dietrich, R., Acar, G., Moravek, M., & Bülte, M. 2003. Identification and Characterization of a new variant of Shiga Toxin 1 in *Escherichia coli* ONT:H19 of bovine origin. *Journal of Clinical Microbiology* 45, 2106-2112, Doi: 10.1128/JCM.41.5.2106-2112.2003.

BMEL 2022. Leitsätze für Fleisch- und Fleischerzeugnisse. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeFleisch.html.

Busch-Stockfisch, M. 2010. Sensorische Lebensmitteluntersuchung und Prüfmethoden. In: Frede, W. (Hrsg.), 'Handbuch für Lebensmittelchemiker': Springer Verlag, Berlin, 3. Auflage, S. 291-310, ISBN: 978-3-642-01684-4.

D.B. & McCann, V.L. 1986. An unusual case of cutaneous Listeriosis. *Journal of Clinical Microbiology* 23, 976-977, DOI: 10.1128/jcm.23.5.976-977.1986.

Casaburi, A., Blaiotta, G., Maurilleo, G., Pepe, I. & Villani, F. 2005. Technological activities of *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus simulans* strains isolated from fermented sausages. *Meat Science* 71, 643-650, DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.05.008.

Coles, L.T. & Clifton, P.M. 2012. Effect of beetroot juice on lowering blood pressure in free-living, disease-free adults: a randomized, placebo-controlled trial. *Nutrition Journal* 11, 106-111, DOI: 10.1186/1475-2891-11-106.

Conner, D.E., Scott, V.N. & Bernard, D.T. 1990. Growth, inhibition, and survival of *Listeria monocytogenes* as affected by acidic conditions. *Journal of Food Protection* 53, 652-655, DOI:10.4315/0362-028X-53.8.652.

Csonka, L.N., & Epstein, W. 1996. Osmoregulation, In: F.C. Neidhardt, R. Curtiss, E.C. Lin, K.B. Low, B. Magasanik, W.S. Reznikoff, M. Riley, M. Schaechter, & H.E. Umbarger (eds.), *Escherichia coli* and *Salmonella*: cellular and molecular biology. ASM Press, Washington, D.C., pp. 1210-1223, Doi: 10.1128/MMBR.65.1.119-130.2001.

- Cuatrecasas, J. & Croat, T.B. 1980.** Family 93. MALPIGHIACEAE. In: R.E. Woodson Jr., R.W. Schery, J. Cuatrecasas, T.B. Croat & J. Vivaldi (eds.), 'Flora of Panama. Annals of the Missouri Botanical Garden 67(4), 851-945.
- Cui, H., Gabriel, A.A. & Nakano, H. 2010.** Antimicrobial efficacies of plant extracts and sodium nitrite against *Clostridium botulinum*. Food Control 21, 1030-1036, DOI: 10.1016/j.foodcont.2009.12.023.
- CVUA. 2020.** CVUA Sigmaringen/ Phosphatzusatz. https://www.ua-bw.de/pub/beitrag.asp?subid=4&Thema_ID=2&ID=1900&Pdf=No&lang=DE. [Online] Dezember 15, 2020. [Cited: Dezember 15, 2020.]
- D'Aoust, J.Y. 1991.** Pathogenicity of Foodborne Salmonella. International Journal of Food Microbiology 12, 17-40, DOI: 10.1016/0168-1605(91)90045-q.
- Daims, H., Lebedeva, E.V., Pjevac, P., Han, P., Herbold, C., Albert, M., Jehmlich, N., Palatinszky, M., Vierheili, J., Bulaev, A., Kirkegaard, R.H., von Bergen, M., Rattei, T., Bendinger, B., Nielsen, P.H. & Wagner, M. 2015.** Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. Nature 528(7583), 504-509, Doi: 10.1038/nature16461.
- DAkkS. 2018.** Anlage zur Akkreditierungsurkunde D-PL-19389-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018. Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, Berlin.
- Deifel, A. 1993.** Die Chemie der L-Ascorbinsäure in Lebensmitteln. Chemie in unserer Zeit 4, 198–207, DOI:10.1002/CIUZ.19930270405.
- Denny, C.B., Goeke, D.J. & Sternberg, R. 1969.** Inoculation tests of *Clostridium botulinum* in canned breads with specific reference to water activity. Research report no. 4-69. National Canners Association, Washington, D.C.
- DFV. 2018.** Jahrbuch, Deutscher Fleischer-Verband e.V., Frankfurt am Main.
- DGHM. 2018.** Richt- und Warnwerte für Brühwurst, Kochwurst, Kochpökelware sowie Sülzen und Aspikwaren (Stückware, ganze Stücke ohne Anschnitt; Aufschnittware, Scheiben und Stücke mit Anschnitt und Brühwürstchen im Sinne des Leitsatzes 2.221) auf Hand. Beuth Verlag, Berlin.
- DGHM. 2017.** Richt- und Warnwerte für Rohwürste auf Handelsebene. Beuth VerlBerlin.

Diehl, F.D. 2000. Chemie in Lebensmitteln. Rückstände, Verunreinigungen, Inhalts- und Zusatzstoffe. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, ISBN: 978-3-527-66084-1.

Dubielzig, F. & Schaltegger, S. 2004. Transdisziplinär und transformativ forschen, Eine Methodensammlung, Bd. 2. Berlin: Springer VS, 2004, <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27135-0>.

Defila, R., & Di Gulio, A. 2018. Transdisziplinär und transformativ forschen: Eine Methodensammlung Taschenbuch. Herausgeber: Springer VS, ISBN-10: 3658215291

Dubielzig, F. & Schaltegger, S. 2004. Methoden transdisziplinärer Forschung und Lehre. Ein zusammenfassender Überblick, Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement (CNM) e.V. ISBN 978-3-935630-49-8.

Dunkelberg, H., Gebel, T. & Hartwig, A. 2007. Handbuch der Lebensmitteltoxikologie. Belastungen, Wirkungen, Lebensmittelsicherheit, Hygiene. Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, ISBN: 9783527311668.

Ebermann, R. & Elmadfa, I. 2011. Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung. Springer Verlag, Wien, 2. Auflage, ISBN 978-3-7091-0210-7.

Eckey, H.-F., Kosfeld, R. & Türck, M. 2005. Wahrscheinlichkeitsrechnung und Induktive Statistik. Grundlagen - Methoden - Beispiele. Gabler, Wiesbaden, ISBN: 3-8349-0043-5.

Efferth, T. 2006. Molekulare Pharmakologie und Toxikologie; Biologische Grundlagen von Arzneimitteln und Giften. Springer, Berlin, Heidelberg, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-48245-1>.

Eisenbrand, G., Schreier, P. & Meyer, A.H. 2006. Römpp Lexikon Lebensmittelchemie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN: 978-3-13-736602-7.

Emodi, A.S. & Lechowich, R.V. 1969. Low temperature growth of Type E Clostridium botulinum spores; I: Effects of sodium chloride, sodium nitrite and pH. Food science. doi.org/10.1111/j.1365-2621.1969.tb14366.x

EU-VO 2018. EU-Verordnung 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007). Amtsblatt der EU L 150.

- Facklam, R. 2002.** What Happened to the Streptococci: Overview of Taxonomic and Nomenclature Changes. *Clinical Microbiology Reviews*. 15(4), 613-630, doi: 10.1128/CMR.15.4.613-630.2002.
- Finlay, B. 1994.** Cell biology of Salmonella pathogenesis. In: V.L. Miller, J.B. Kaper, D.A. Portnoy & R.R. Isberg (eds.), 'Molecular Genetics of Bacterial Pathogenesis: A Tribute to Stanley Falkow', Chapter 16, pp. 249-261, DOI: <https://doi.org/10.1128/9781555818340.ch16>.
- Fischer, C., Honikel, K.-O. & Hamm, R. 1982.** Einfluß von Kochsalz auf biochemische Veränderungen, Wasserbindungsvermögen und Sarkomerenlänge in schlachtfriischem Rindfleisch. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 174, 447-452, DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01042723>.
- Fleming, D.O. & Hunt, D.L. (eds.) 2014.** *Biological Safety: Principles and Practices*. ASM Press, Washington DC, 4. Edition, ISBN: 978-1555819248.
- Foster, J.W. & Hall, H.K. 1991.** Inducible pH Homeostasis and the acid tolerance response of Salmonella Typhimurium. *Journal of Bacteriology*. 173, 5129-5135, DOI: 10.1128/jb.173.16.5129-5135.1991.
- Frank, C. & Alpers, K. 2003.** Infektionen mit EHEC beim Menschen. In: M. Hartung (Hrsg.), 'Bericht über die epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland 2002 – Übersicht über die Meldungen der Bundesländer, zusammengestellt vom Nationalen Referenzlaboratorium für die Epidemiologie der Zoonosen', BfR Pressestelle, Berlin, S. 161-164.
- Glatz, J. 2010.** Fleisch und Erzeugnisse aus Fleisch. In: Frede, W. (Hrsg.) *Handbuch für Lebensmittelchemiker*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, S. 563-585, DOI: 10.1007/978-3-642-01685-1.
- Gänzle, M.G. 2015.** Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. *Current opinion in Food Science* 2, 106-117, DOI: 10.1016/j.cofs.2015.03.001.
- Gareis, M., Kröckel, L., Dühorn, T. & Albert, T. 2003.** Mikrobiologische Qualität von Fleischerzeugnissen aus ökologischer Produktion. Forschungsprojekt FKZ 02OE070, Abschlussbericht, <https://orgprints.org/id/eprint/3810/>

Göllner, T. 2021. <https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/nitrat/index.htm>. <https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/nitrat/index.htm>. [Online] Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 10.4.2021. [Cited: 12.3.2021.]

Göllner, T. 2022. https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/toxische_reaktionsprodukte/nitrosamine/index.htm. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. [Online] September 19, 2022. www.lgl.bayern.de.

Gray, R.M. 2009. Probability, Random Processes, and Ergodic Properties. Springer-Verlag, New York, ISBN: 978-1-4419-1090-5.

Hammer, G.F. 2001. Technologische Wirkung von Di- und Triphosphaten in Brühwurstbrät. Bundesanstalt für Fleischwirtschaft. 152, 113-119.

Hammer, G.F. 1984. Technologie der Brühwurst - Zusatzstoffe und Zusätze. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Technologie der Brühwurst', Kulmbacher Reihe, Bd. 4, S. 80-102.

Hammer, G.F. 1988. Wirkung von Zusatzstoffen. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Technologie der Kochwurst und Kochpökelfleisch', Kulmbacher Reihe, Bd. 8, S. 39-52.

Hartwig, G., von der Linden, H. & Skrobisch, H.P. 2014. Thermische Konservierung in der Lebensmittelindustrie. BEHR'S VERLAG, Hamburg, ISBN: 978-3-95468-038-2.

Hauschild, A.H.W. & Dodds, K.L. 1993. Clostridium botulinum, Ecology and Control in Foods. Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315139623>.

Hechelmann, H. 1985. Mikrobiell verursachte Fehlfabrikate bei Rohwurst und Rohschinken. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken', Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 103-127.

Heimann, W. 2013. Grundzüge der Lebensmittelchemie. Springer Verlag, Berlin, 3. Auflage, ISBN: 9783662431856.

Heinrich, P.C., Müller, M. & Graeve, L. 2014. Biochemie und Pathobiochemie. Springer Verlag, Berlin, ISBN 978-3-642-17971-6.

- Heiss, R. & Eichner, K. 1995.** Haltbarmachen von Lebensmitteln. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, ISBN: 978-3-662-07664-4.
- Heller, K.J. 2006.** Mikrobiologie der Lebensmittelfermentation. Springer, Berlin/Heidelberg, ISBN: 978-3-540-24083-9.
- Hofman, K.A. & Rüdorff, W. 1973.** Anorganische Chemie. Springer, Wiesbaden, ISBN: 978-3-528-18221-2.
- Holleman, A. F., Wiberg, E. and Wiberg, N. 2016.** Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Walter-de-Gruyter-Verlag, Berlin, 103. Auflage, ISBN: 3-11-012641-9.
- Hölscher, J. 2016.** Ökobarometer 2016. http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Oekobarometer2016.pdf?__blob=publicationFile. [Online] 2016. [Cited: 1 28, 2021.]
- Honikel, K.O. 1987.** Wasserbindevermögen von Fleisch. Fleischwirtschaft. 67(4), 418-428.
- Honikel, K.O. 1986a.** Muskelstruktur und Fleischqualität. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität', Kulmbacher Reihe, Bd. 6, S. 18-38.
- Honikel, K.O. 1986b.** Wasserbindungsvermögen von Fleisch. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität', Kulmbacher Reihe, Bd. 6, S. 67-88.
- Jakob, H. 2022.** "Wasserbindung in Brühwurstprodukten." Interview von Hermann Jakob am 15. März 2022. Kulmbach, Handwerkskammer für Oberfranken, Meisterschule für Fleischermeister.
- Jakob, H. 2004.** Warmfleischverarbeitung - Zeit spielt eine wichtige Rolle - Warum Warmfleischverarbeitung bei der Wurstherstellung Sinn macht. Fleischwirtschaft 6, 44.
- Jakszyn, P. & Gonzales, C. A. 2006.** Nitrosamine and related food intake and gastric and oesophageal cancer risk: a systematic review of the epidemiological evidence. World Journal of Gastroenterology 12(27), 4296 – 4303, Doi: 10.3748/wjg.v12.i27.4296.

Jira, W. 2003. Chemische Vorgänge beim Pökeln und Räuchern. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Chemie des Lebensmittel Fleisch', Kulmbacher Reihe, Bd. 18, S. 119-150.

Kabisch, J., Pichner, R., Kaspar, D., Wuestner, S., Mueller, S., Scherer, S. & Gareis, M. 2011. Impact of nitrite on Gram positive food pathogens in raw sausage products. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung, Kulmbach.* 50, 215-228.

Kabisch, J., Scheuer, R., Rödel, W., & Gareis, M. 2008b. Influence on the microbial effect of sodium nitrite in raw fermented sausage. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach.* 47, 99-105.

Kabisch, J., Pichner, R. & Gareis, M. 2008a. Die ersten Reifetage sind entscheidend: Wirkung von Pökelsalz auf pathogene Keime in Rohwurstprodukten. *Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung.* 89, 409-413.

Kabisch, J. 2014. Mikrobiologische Sicherheit von Rohwurstprodukten. Wirkung von Natriumnitrit auf Lebensmittelinfektionserreger. Dissertation Technische Universität München.

Kabisch, J., Scheuer, R., Rödel, W., & Gareis, M. 2008. Untersuchung zur mikrobiologischen Wirksamkeit von Natriumnitrit bei Rohwurstherzeugnissen. Forschungsprojekt 04OE003/F, Abschlussbericht.

Karlson, P., Doenecke, D. & Koolman, J. 1994. Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN: 3-13-357814-6.

Katla, T., Møretrø, T., Sveen, I., Aasen, I.M., Axelsson, L., Rørvik, L.M., & Naterstad, K. 2002. Inhibition of *Listeria monocytogenes* in chicken cold cuts by addition of sakacin P and sakacin P-producing *Lactobacillus sakei*. *Journal of Applied Microbiology.* 93(2), 191-196, Doi: 10.1128/AEM.69.8.4431-4437.2003.

Katsaras, K., Hechelmann, H. & Lücke, F.K. 1985. *Staphylococcus aureus* und *Clostridium botulinum*. Bedeutung bei Rohwurst und Rohschinken. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 152-172.

Keim, H. 1999. *Fachwissen Technologie*, Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main, 12. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage.

Kemp, S.E., Hollowood, T. & Hort, J. 2009. Sensory evaluation: A practical handbook. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1. Edition, ISBN: 978-1-4051-6210-4.

Klettner, P.-G. 1984. Zerkleinerungstechnik. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.) 'Technologie der Brühwurst' Kulmbach, Kulmbacher Reihe, Bd. 4, S. 103-122.

Koch, W. 1998. Technologie der Zusatzstoffe, Phosphate, Anwendung und Wirkung in Lebensmitteln. Bd. 3: Lebensmittelchemie, Lebensmittelqualität. Behr's Verlag, Hamburg.

Kowalchuk, G.A. & Stephen, J.R. 2001. AMMONIA-OXIDIZING BACTERIA: A Model for Molecular Microbial Ecology. Annual Review of Microbiology. 55, 485-529, DOI: 10.1146/annurev.micro.55.1.485.

Krämer, J. 2016. Lebensmittel-Mikrobiologie. UTB GmbH, Stuttgart, 7. überarbeitete Auflage, ISBN: 978-3-8252-4658-7 .

Krieg, N.R. 2011. The Bacteroidetes, Spirochaetes, Tenericutes (Mollicutes), Acidobacteria, Fibrobacteres, Fusobacteria, Dictyoglomi, Gemmatimonadetes, Lentisphaerae, Verrucomicrobia, Chlamydiae, and Planctomycetes. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Springer, New York, DOI<https://doi.org/10.1007/978-0-387-68572-4>.

Kühne, D. 2003. Nitrit, Nitrat und Nitrosamine. Fleischwirtschaft 11, 143-147.

Kuhnert, P. 2014. Lexikon Lebensmittelzusatzstoffe. Zusatzstoffe, Enzyme, technische Hilfsstoffe, Nahrungsergänzungstoffe. Behr's Verlag, Hamburg, ISBN 978-3-95468-118-1.

BMEL. 2008. Durchführungsverordnung (EG) Nr. 889/2008 vom 5. September 2008 (Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle). Ökologischer Landbau, Anhang VIII.

Leistner, L. 1985. Allgemeines über Rohwurst und Rohschinken. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken', Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 1-29.

Lewin, K., Kingsley, D. & Jones, H.E. 1953. The Adolescent in Modern American Society. American Psychological Association, Washington DC, <https://doi.org/10.1037/11402-002>.

Linke, H. 1985. Qualitätsnormen für Rohschinken und Rohwürste. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 30-59.

Lücke, F.K. & Roberts, T.A. 1993. Control in meat and meat products. In: Hauschild, A.H.W. & Dodds, K.L. (eds.), 'Clostridium botulinum - Ecology and Control in Foods', CRC Dekker, New York, pp.177-207, ISBN: 9781315139623.

Lücke, F.K. & Hechelmann, H. 1985. Starterkulturen für Rohwurst und Rohschinken Zusammensetzung und Wirkung. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken', Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 193-219.

Lücke, F.K. 1985. Mikrobiologische Vorgänge bei der Herstellung von Rohwurst und Rohschinken. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken', Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 85-102.

Malheiros, P., Sant Anna, V., Todorov, S., Franco, B. 2015. Optimization of growth and bacteriocin production by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei*2a. Brazilian Journal of Microbiologie. 46(3), 825-834, DOI: 10.1590/S1517-838246320140279.

Marquardt, H., & Schäfer, S. (Hrsg). 2004. Lehrbuch der Toxikologie. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, ISBN-10: 3804717772.

Marshall, B.J., Ohye, D.F. & Christian, J.H.B. 1971. Tolerance of bacteria to high cocentrations of NaCl and glycerol in the growth medium. Applied Microbiology 21(2), 363-364, DOI: 10.1128/am.21.2.363-364.1971.

Matissek, R. & Steiner, G. 2006. Lebensmittelanalytik: Grundzüge Methoden Anwendungen. Springer Verlag, Berlin, 3. vollständig überarbeitete Auflage, ISBN-10: 3540625135.

Matissek, R. & Baltes, W. 2016. Lebensmittelchemie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-662-47111-1.

Mayer, D. 2015. "Erfahrungsbericht Handwerkliche Salamiproduktion." Interview von Dieter Mayer, 23. März 2015. Schwäbisch Hall, Erzeugerschlachthof, Wurstproduktion.

McNaught, A.D. & Wilkinson, A. 1997. Redox potentials. Blackwell Scientific Publications, Oxford, doi.org/10.1351/goldbook.RT06783

- Metzger, J.W. 2011.** Struktur und Eigenschaften von Wasser und wässrigen Lösungen. Lehrstuhl für Hydrochemie und Hydrobiologie in der Siedlungswasserwirtschaft, Universität Stuttgart.
- Minitab. 2010.** Minitab 17 Statistical Software (2010). State College, PA, Minitab, Inc.
- Möller, S., Rahn, M. & Schneider, F. 2001.** Wirkung verschiedener Phosphatpräparate auf Konsistenz und Sensorik von Brühwürsten. *Fleischwirtschaft*. 81, 101-103.
- Müller, W.D. 1988b.** Erhitzen und Räuchern. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.) 'Technologie der Kochwurst und Kochpökelerde'. Kulmbacher Reihe, Bd. 8, S. 144-164.
- Müller, W.D. 1988a.** Technologie der Kochpökelerde. In: Bundesanstalt für Fleischforschung. Kulmbach (Hrsg.), 'Technologie der Kochwurst und Kochpökelerde', Kulmbacher Reihe Bd. 8, S. 74-90.
- Munk, K., Dersch, P., Eikmanns, B., Eikmanns, M., Fischer, R. & Jahn, D. 2008.** Taschenlehrbuch Biologie: Mikrobiologie. Thieme, Stuttgart, pp. 568-570. ISBN 978-3-13-144861-3.
- Nau, H., Steinberg, P. & Kietzmann, M. 2003.** Lebensmitteltoxikologie. Rückstände und Kontaminanten: Risiken und Verbraucherschutz. Blackwell Verlag, Berlin, ISBN 10: 3826333306.
- Nelson, D.L. & Cox, M.M. 2011.** Lehninger Biochemie. Springer Verlag, Heidelberg, 4. Auflage. ISBN 978-3-540-68637-8.
- Nieken, U. 2012.** Chemische Reaktionstechnik 1. Institut für Chemische Verfahrenstechnik der Universität Stuttgart.
- Nitsch, P. 2008.** Aufrötung von Rindfleisch durch Sauerstoffdruckbehandlung. 1. Physikalisch-chemische Grundlagen. In: *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 47, S. 253–258.
- O'Mahony, M., Mitchell, E., Gilbert, R.J., Hutchinson, D.N., Begg, N.T., Rodhouse, J.C., Morris & J.E. 1990.** An outbreak of foodborne botulism associated with contaminated hazelnut yoghurt. *Epidemiology and Infection*. 104(3), 389-395, DOI: 10.1017/s0950268800047403.

Ohye, D.F. & Christian, J.H.B. 1967. Combined effects of temperature, pH and water activity on growth and toxin production by *Clostridium botulum* types A, B and E.. In: Toxin Production, pp. 217-223. procite:6653a688-0954-418b-9c75-bc04eff6e712, DOI: 10.1111/j.1365-2672.1967.tb00320.x.

Ottow, J. 2011. Mikrobiologie von Böden. Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik. Springer Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-642-00823-8.

Packer, L. & Fuchs, J. 1997. Vitamin C in Health and Disease. Marcel Dekker, Inc., New York, ISBN: 0-8247-9313-7.

Petig, M. 2020. Wachstum, Schlachtkörper- und Fleischqualität der bedrohten Schweinerasse Schwäbisch-Hällisches Schwein unter besonderer Berücksichtigung von Haltings-, Fütterungs-, und Kombinations-Kreuzungsvarianten. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

POTTHAST, K. 1986. Fleischfarbe, Farbstabilität und Umrötung. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), ‚Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität‘, Kulmbacher Reihe Bd. 6, S. 89-110.

Prändl, O., Fischer, A. & Schmidhofer, T. 1988. Fleisch. Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung. Ulmer, Stuttgart, S. 332 ff., 568 ff. ISBN: 3-8001-2135-2.

Quadt, A., Schönberger, S. & Schwarz, M. 2009. Statistische Auswertungen in der Sensorik - Leitfaden für die Praxis, Behr's Verlag, Hamburg, 1. Auflage, ISBN: 978-3-89947-531-9.

Raghoebarsing, A.A., Pol, A., van de Pas-Schoonen, K.T., Smolders, A.J.P., Ettwig, K.F., Rijpstra, I.W.C., Schouten, S., Sinninghe Damsté, J.S., Op den Camp, M.S.M.J. & Strous, M. 2006. A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification. *Nature*, 440(7086), 918-921, PMID: 16612380.

Rauert, P., Kleser, K. & Könsgen, C. 2017. Leben. Natur. Vielfalt. Die UN-Dekade. <https://www.undekade-biologischevielfalt.de/>. [Cited: 1 28, 2021.]

Reece, J.B., Urry, L.A., M.L., Wassermann, S.A., Minorsky, P.V., Jackson & R.B. 2016. Campbell Biologie. Pearson Deutschland GmbH, Hallbergmoos, 10. Auflage, ISBN: 978-3-86894-259-0.

- Repko, A.F. & Szostak, R. 2016.** Interdisciplinary Research: Process and Theory. SAGE Publications. Inc., Thousand Oaks, California, ISBN-10: 1506330487.
- Riedel, E. & Janiak, C. 2011.** Anorganische Chemie 8. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, 8. Auflage, ISBN: 978-3-11-022566-2.
- Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. & Mann, J. 2012.** Gesundheitsrisiko durch Phosphatzusätze in Nahrungsmitteln. Deutsches Ärzteblatt. 109 (4), 49-55.
- Rödel, W. & Scheuer, R. 2003a.** On the relationship between redox potential and bacterial growth. Part 1. Fleischwirtschaft. 83, 98-101.
- Rödel, W. & Scheuer, R. 2003b.** On the relationship between redox potential and bacterial growth Part 2. Fleischwirtschaft. 83, 127-131.
- Rödel, W. 1985.** Rohwurstreifung, Klima und andere Einflussgrößen. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken'. Kulmbacher Reihe, Bd. 5, S. 60-84.
- Rodloff, A.C. 2009.** Obligat anaerobe sporenbildende Stäbchen (Clostridien). In: H. Hahn, S.H.E. Kaufmann, T.F. Schulz & S. Suerbaum (Hrsg.), 'Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie', Springer Medizin Verlag, Heidelberg S. 336-344, DOI: 10.1007/978-3-662-61385-6_40.
- Rosenstein, R., Nerz, C., Biswas, L., Resch, A., Raddatz, G., Schuster, S.C., & Götz, F. 2009.** Genome analysis of the meat starter culture bacterium *Staphylococcus carnosus* TM300. Applied and Environmental Microbiology. 75(3), 811-822, DOI: 10.1128/AEM.01982-08.
- Roth, H.J. 2018.** Nitrosamine – kein neues Problem. Deutsche Apotheker Zeitung. 32, <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2018/daz-32-2018/nitrosamine-kein-neues-problem>.
- Ruckdeschel, G. 2009.** *Clostridium perfringens* und andere histotoxische sowie sonstige, gewöhnlich apathogene Klostridienarten. In: H.K. Geiss, R. Braun & B. Neumeister (Hrsg.), 'Mikrobiologische Diagnostik', Thieme, Stuttgart/New York.
- Savell, J.W. 2015.** Meat Color. s.l. : Meat Science, 2015. pp. 126-131. Vol. Chapter 6. [ÜBERPRÜFEN!!! Meat Science aus 2015 ohne Artikel von SAVELL]

- Schaack, D. & Rampold, C. 2018.** Produktionsstruktur im Deutschen Ökolandbau 2016. In: Zahlen, Daten, Fakten -Die Bio-Branche 2018. . https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Zahlen_und_Fakten/Brosch%C3%BCre_2018/ZDF_2018_Inhalt_Web_Einzelseiten_kleiner.pdf. [Online] 2018. [Cited: 1 27, 2021.]
- Schaack, D. 2017.** Bio-Fleischkäufe im ersten Halbjahr deutlich gestiegen. https://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/maerkte/ami-maerkte-oekolandbau/meldungen/single-ansicht?tx_aminews_singleview%5Baction%5D=show&tx_aminews_singleview%5Bcontroller%5D=News&tx_aminews_singleview%5Bnews%5D=3519&cHash=af723d775d4c56f3a5f2110518210fc. [Online] 2017. [Cited: 1 27, 2021.]
- Schelle, H. 1996.** Natriumascorbat- ein neues Antioxidationsmittel in Europa: Eigenschaften und Anwendung im Lebensmittelbereich. *Fleischwirtschaft*. 76(11), , 1100-1104.
- Schliefer, K. H. & Fischer, U. 1982.** Description of a New Species of the Genus *Staphylococcus*: *Staphylococcus carnosus*. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 32(2), 153-156, DOI: 10.1099/00207713-32-2-153.
- Schmid, A. 2006.** Einfluss von Nitrat und Nitrit aus Fleischerzeugnissen auf die Gesundheit des Menschen. *Ernährungs Umschau*. 53, 490-495.
- Schneider, E. 1985.** *Nutze die Heilkraft unserer Nahrung*. Saatkorn-Verlag, Hamburg, ISBN: 3-8150-9152-7.
- Schütze, B. 2018.** *Clostridium botulinum*. Geesthacht: Der Laborverbund, Dr. Kramer & Kollegen, 2018.
- Schütze, B. 2018.** LADR; Der Laborverbund Dr. Kramer & Kollegen. https://www.ladr-lebensmittel.de/fachinformationen/keime_visier/staphylococcus_aureus. [Online] LADR; Der Laborverbund Dr. Kramer & Kollegen, 2018. [Cited: März 5, 2022.]
- Schwägele, F. 1998.** Kühlen, Kühlung und Fleischreifung. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Kühlen, Zerlegen, Kühlung, Reifung', Kulmbacher Reihe, Bd. 15, S. 7-34.

Scott, WJ. 1957. Water relations of food spoilage microorganisms. *Advances in Food Research*. 7, 83-127, [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60247-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60247-5).

SH-Schweine, g.g.A.-Richtlinien. 2014. Spezifikation für Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch g.g.A. gemäß VO EU Nr. 664/2014. Bäuerliche Erzeugergemeinschaft Schwäbisch Hall, Karlsruhe.

Sitzmann, H. 2014. Salpetrigsäure. s.l. : Römpp Online, Georg Thieme Verlag.

Souci, S. W., Fachmann, W. & Kraut, H. 2011. *Lebensmitteltabelle für die Praxis - Der kleine Souci-Fachmann-Kraut*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 308 S., ISBN: 978-3-8047-2679-6.

Sperber, W.H. 1982. Requirements of *Clostridium botulinum* for growth and toxin production. *Food Technology*. 36, 89-94, DOI: 10.1128/aem.45.3.1150-1152.1983.

Spiller, A. & Schulze, B. 2008. *Zukunftsperspektiven der Fleischwirtschaft: Verbraucher, Märkte, Geschäftsbeziehungen*. Universitätsverlag, Göttingen, ISBN:

978-3-940344-13-7

Stahlmann, R. 2012. Botulinumtoxine. *Deutsche Apotheker Zeitung*. 34, <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2012/daz-34-2012/botulinumtoxine>.

Statista. 2021. Fleischkonsum in Deutschland. 2021.

Statistisches Bundesamt. 2019. Destatis, landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung, Viehbestand: Deutschland, Stichtag, Tierarten. https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/data;sid=AA5864133BABB0B412994A6F1FCA9CD1.GO_1_4?operation=previous&levelindex=3&levelid=1559552703563&levelid=1559552663522&step=2.

[Online] 2019. [Cited: 1 27, 2021.]

Steel, R. & Torrie, J. 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. McGraw-Hill, Tokyo, International 2nd revised edition, ISBN: 0070665818.

Stiebing, A. 1984. Erhitzen - Haltbarkeit. *Technologie der Brühwurst*, Institut für Technologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.

Straub, K.L., Benz, M., Schink, B. & Widdel, F. 1996. Anaerobic, nitrate-dependent microbial oxidation of ferrous iron. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(4), 1458–1460, DOI: 10.1128/aem.62.4.1458-1460.1996.

Strunk, N. 2011. Anaerobe Systeme. Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Stuttgart.

Urso, R., Rantsiou, K., Cantoni, C., Comia, G., & Cocolina, L. 2006. Technological characterization of a bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* and its use in fermented sausages production. *International Journal of Food Microbiology*. 110(3), 232-239, DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.015.

Veena, S. & Rashmi, S. 2014. A review on mechanism of nitrosamine formation, metabolism and toxicity in in vivo. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*. 6, 86-96, ISSN: 0975-5160.

Verbraucherzentrale. 2020. Natürlich, synthetisch oder gentechnisch - so werden Vitamine produziert. <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/lebensmittel/nahrungsergaenzungsmittel/natuerlich-synthetisch-oder-gentechnisch-so-werden-vitamine-produziert-42581>. [Online] Verbraucherzentrale Bundesverband e. V. (vzbv), 12 28, 2020. [Cited: 12 14, 2021.]

VO (EG) 2008. Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe. *Amtsblatt der EU* Nr. L 354, S. 16-33, berichtigt. *ABl.* 2010 Nr. L 105 S. 114-114).

Weber, H. 2003. Zutaten bei der Verarbeitung - Wirkung und Wirkungsweise. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Chemie des Lebensmittel Fleisch', Kulmbacher Reihe, , Bd. 18, S. 95-118.

Weber, H. 2009. Mikrobiologie der Lebensmittel. Band 1: Grundlagen. Behr's Verlag DE, Hamburg, 9. Auflage, ISBN: 3-89947-442-2.

WHO, (Hg). 2003. Nitrate and potential endogenous formation of N-nitroso compounds. WHO Food Additives. No 50. <https://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je06.htm>

Whyte, W.F., Greenwood, D.J., Lazes, P., & Pace, L.A. 1991. Participatory Action Research. Sage Publications, London, ISBN 10: 0803933185

- Wirth, F. 1984b.** Technologie der Brühwurst - Pökeln, Farbbildung, Farbhaltung. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, Kulmbacher Reihe, Bd. 4, S. 123-143.
- Wirth, F. 1988.** Technologie der Kochwurst und Kochpökelerde - Salzen und Pökeln. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Technologie der Kochwurst und Kochpökelerde', Kulmbacher Reihe, Bd. 8, S. 53-73.
- Wirth, F. 1984a.** Wasserbindung, Fettbindung, Strukturbildung. In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.), 'Technologie der Brühwurst', Kulmbacher Reihe, Bd. 4, S. 60-79.
- Zagorec, M & Champomier-Vergès, M.-C. 2017.** *Lactobacillus sakei*: A Starter for Sausage Fermentation, a Protective Culture for Meat Products. *Microorganisms*. 5(3), 56-68, DOI: 10.3390/microorganisms5030056
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C.M.A.P., Harris, H.M.B., Mattarelli, P., O'Toole, P.W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G.E., Gänzle, M.G., & Lebeer, S. 2020.** "A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 4, 2782-2858, DOI: 10.1099/ijsem.0.004107.
- Zimmermann, M. & Erbacher-von Grumbkow, C. 2003.** *Bürgersteins Mikronährstoffe in der Medizin: Prävention und Therapie. Ein Kompendium.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN: 978-3-8304-7162-2.
- Zorn, C. 1986.** Richtwerte für Nitrat in Gemüse. *AID Verbraucherdienst*. S. 166-173.
- ZusatzstoffVO, (1333/2008). 2008.** VERORDNUNG (EG) Nr. 1333/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008. Europäischen Union.

Anhang

Anhang 1: Die Bedeutung des F-Wertes

Ein entscheidender Faktor im Zuge des Brühprozesses ist die Hitzeinaktivierung von Mikroorganismen. Dabei sind in besonderem Maß bestimmte Bakterien Spezies relevant. Im Fokus sind in Bezug auf die Hitzeinaktivierung sporenbildende Bakterien wie Clostridium-, und Bacillus-Arten (Hauschild & Dodds, 1993). Im Unterschied zu den vegetativen Formen verschiedener Bakterien, Schimmelpilze sowie auch Hefen ist eine Pasteurisation (Temperaturen zwischen 60°C – 90°C) nicht ausreichend (Hauschild & Dodds, 1993; Baye, 2015; Baye et al., 2015). Daher ist eine deutlich höhere Hitzebehandlung notwendig, um sporenbildende Bakterien nachhaltig zu inaktivieren (Baye, 2015; Baye et al., 2015). Besondere Bedeutung wird diesbezüglich der Spezies Clostridium botulinum beigemessen (Hauschild & Dodds, 1993; Baye, 2015; Baye et al., 2015; Krämer, 2016). Da Clostridium-Arten im Gegensatz zu den aeroben Bacillus-Arten generell anaerob sind, können sie sich auch sehr gut in Wurstwaren sowie Wurstkonserven entwickeln (Hauschild & Dodds, 1993; Baye, 2015; Baye et al., 2015; Krämer, 2016). Es kommt hinzu, dass Clostridium botulinum aerotolerant ist. Auch handelt es sich um ein grampositives Bakterium, was es durch eine zusätzliche Murein-Schicht innerhalb der Zellwand robuster gegenüber verschiedenen Faktoren werden lässt (Hauschild & Dodds, 1993; Strunk, 2011; Barash & Arnon et al., 2014). Das Wachstum von Clostridium botulinum wirkt sich in besonderer Weise humantoxisch aus, da es zur Bildung von Metaboliten mit einem enorm toxischen Potenzial kommt (Hauschild & Dodds, 1993; Barash et al., 2014). Es handelt sich um ein Exotoxin, welches als Botulinumtoxin (BTX) bzw. Botulinumneurotoxin (BoNT) bekannt ist. Botulinumtoxin (BTX) ist das tödlichste bekannte Gift für höhere Lebewesen (Stahlmann, 2012; Barash & Arnon et al., 2014; Fleming & Hunt, 2014). Es wirkt direkt auf das vegetative Nervensystem beim Menschen, was zum Stillstand der Lungenfunktion sowie zu verschiedenen Formen von Muskelstörungen führen kann (Stahlmann, 2012; Barash & Arnon et al., 2014; Fleming & Hunt, 2014). Daher ist die Hitzeinaktivierung von Clostridium botulinum von entscheidender Bedeutung. Für Inaktivierung von sporenbildenden Bakterien sind deutlich höhere Temperaturen und auch Überdruck

erforderlich (Sterilisation) (Hauschild & Dodds, 1993; Baye, 2015; Baye et al., 2015; Krämer, 2016). Um die Inaktivierung einer Population von Mikroorganismen durch Hitze einwirkung quantifizieren zu können, sind nachfolgend verschiedene Zusammenhänge dargestellt.

$$F_S = D (\log_{10} a - \log_{10} b)$$

Parameter zur F-Wert-Berechnung

Parameter	Einheit
F_S	F-Wert bzw. Letalitätswert in Minuten (min)
D	Dezimalreduktionswert in Minuten (min) bei einer konstanten Temperatur
a	Anfangspopulation einer bestimmten Spezies in $\frac{KbE}{g}$
b	Population einer bestimmten Spezies in $\frac{KbE}{g}$ nach der Hitzebehandlung bei einer konstanten Temperatur
t	Verweilzeit, während der eine Hitze einwirkung stattfindet

Die Abtötungsrate der Mikroorganismenkulturen erfolgt nicht schlagartig innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls. Es kommt zu einer signifikanten Reduktion der Mikroorganismenpopulation pro Zeiteinheit. Dabei nimmt die Reduktion der Mikroorganismenpopulation um den Faktor 10 pro Zeiteinheit ab. Somit ergibt sich ein logarithmischer Verlauf der Mikroorganismenpopulation in Abhängigkeit von der Zeit (Stiebing, 1984; Müller, 1988; Beck et al., 2008; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015; Baye et al., 2015). So lässt sich folgender Zusammenhang der Mikroorganismenpopulation in Abhängigkeit von der Zeit bei konstanter Temperatur ($T = \text{konst.}$) darstellen:

$$b(t) = a \cdot 0,1^{\left(\frac{t}{D}\right)}$$

Die dezimale Reduktion D beschreibt in diesem Zusammenhang die Zeit, welche erforderlich ist, um eine Mikroorganismenpopulation bei konstanter Temperatur ($T = \text{konst.}$) um den Faktor 10 bzw. eine Zehnerpotenz (90 %) zu reduzieren.

In Bezug auf die dezimale Reduktion D hat sich bei der Sterilisation von Wurstkonserven das 12-D-Konzept entwickelt (Stiebing, 1984; Müller, 1988; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015; Baye et al., 2015). Somit wird im Rahmen des 12-D-Konzepts die anfängliche Mikroorganismenpopulation a 12-mal um den Faktor 10 gesenkt. Die Anfangspopulation a wird daher um 10^{-12} reduziert. Im Zuge der Betrachtung der relevanten pathogenen Bakterien-Art *Clostridium botulinum* soll damit bei einer durchschnittlichen Anfangspopulation a von einem Keim nur noch einer bei einer Billion Wurstkonserven nach der Hitzebehandlung überleben (Stiebing, 1984; Müller, 1988; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015; Baye et al., 2015). Besonders bei Wurstkonserven wird die Relevanz deutlich, da es sich um Wurstprodukte handelt, welche eine lange Haltbarkeit garantieren. Des Weiteren kann trotz der Abwesenheit von Luft ein anaerober Metabolismus wie von *Clostridium botulinum* in Wurstkonserven betrieben werden (Hauschild & Dodds, 1993; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015; Baye et al., 2015; Krämer, 2016). Dies führt zu einem entsprechenden Sicherheitskonzept, um Kontaminationen mit *Clostridium botulinum* im Endprodukt ausschließen zu können. Um die Population von *Clostridium botulinum* um 12 Zehnerpotenzen senken zu können, wird die dezimale Reduktion D bei einer Temperatur von 121,1 °C ermittelt. Dabei wird ein Wert von ($D = 0,21 \text{ min}$) generiert. Anhand des 12-D-Konzepts kommt es zu einem F -Wert von $12 * 0,21 \text{ min} = 2,52 \text{ min}$. Darauf gründet sich die Bedeutung des F -Wertes von 2,5, was im Bereich der Konservenproduktion von den entsprechenden Behörden häufig gefordert wird (botulinum-cook) (Stiebing, 1984; Müller, 1988; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015; Baye et al., 2015).

Der ermittelte F -Wert bildet ein Maß in Bezug auf den Erhitzungseffekt und somit auch in Bezug auf die Keimabtötung. Es entspricht jedoch nicht den realen Bedingungen eine Temperatur von 121,1 °C für 2,52 Minuten einzustellen. In der Praxis ergibt sich ein Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit, welcher in seiner Gesamtheit den F -Wert bestimmt (Stiebing, 1984; Müller, 1988; Beck et al., 2008; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015). Der reale F -Wert wird anhand des Temperaturverlaufs im Kern des Produktes ermittelt (Baye et al., 2015). Durch den Erhitzungs- und Abkühlungsvorgang

während des Brühprozesses ergeben sich bereits bei niedrigeren Temperaturen **F**-Werte, welche relevant sind. Daher wird ab einer definierten Temperatur während des Brühprozesses jede Minute der **F**-Wert ermittelt (Beck et al., 2008; Hartwig et al., 2014; Baye et al., 2015). Die Summe der **F**-Werte im relevanten Temperaturbereich ergibt den Gesamt-**F**-Wert, welcher als aussagekräftiger Wert für das entsprechende Produkt herangezogen wird. Es ergeben sich somit Zeitintervalle von einer Minute. Durch die Verringerung der Zeitintervalle und somit einer Erhöhung der Messpunkte, lässt sich die Ermittlung des Gesamt-**F**-wertes exakter gestalten. Jedoch ergibt sich bei Zeitintervallen von einer Minute bereits ein ausreichend genauer Wert (Beck et al., 2008; Hartwig et al., 2014; Baye, 2015).

Anhang 2: Der a_w -Wert

Der a_w -Wert ist eine dimensionslose Größe, welche aus dem Quotienten zweier Dampfdrücke berechnet wird (Heiss & Eichner, 1995; Baltes, 2000; Weber, 2009; Matissek & Baltes, 2016).

$$a_w = \frac{p_i}{p_0}$$

Parameter zur Berechnung des a_w -wertes

Parameter	Beschreibung
a_w	Wasseraktivität im Lebensmittel
p_i	Wasserdampfpartialdruck im Lebensmittel bei einer Temperatur T_i
p_0	Sättigungsdampfdruck von Wasser bei einer Temperatur T_i

Die Wasseraktivität berechnet sich aus dem Quotienten des jeweiligen Wasserdampfpartialdrucks des Lebensmittels und des Sättigungsdampfdrucks von Wasser bei jeweils gleicher Temperatur (Heiss & Eichner, 1995; Baltes, 2000; Weber, 2009; Matissek & Baltes, 2016). Das in Lebensmitteln gebundene Wasser verfügt über einen niedrigeren Dampfdruck als freies Wasser. Durch die zunehmende Konzentration an gelösten Stoffen, verringert sich der Wasserdampfpartialdruck (p_i), was infolgedessen auch eine Verringerung des a_w -wertes bewirkt (Stiebing, 1984; Heiss & Eichner, 1995; Weber, 2009). In Bezug auf die Haltbarmachung von Rohwürsten wie Salami wird Kochsalz (NaCl) verwendet. Kochsalz senkt sehr effektiv den a_w -Wert, da sich die Konzentration an gebundenem Wasser in der Wurst erhöht (Leistner, 1985; Lücke & Roberts, 1993; Gareis et al., 2003). Im Verlauf der Dissoziation des Kochsalzes (NaCl) in der wässrigen Phase lagern sich die polaren Wassermoleküle an die Natrium-Ionen (Na^+) und Chlorid-Ionen (Cl^-). Durch die Hydratisierung der Natrium-Ionen (Na^+) und Chlorid-Ionen (Cl^-) werden Wassermoleküle (H_2O) gebunden (Metzger, 2011). Dieser Vorgang ist exotherm. Entsprechend muss eine Hydrationsenthalpie aufgebracht werden, um die gebundenen Wassermoleküle (H_2O) wieder freizusetzen (Metzger, 2011).

Dies führt zu einer effektiven Verringerung ungebundener Wassermoleküle (H_2O) in Bezug auf bakteriellen Metabolismus. Durch die Verringerung der ungebundenen Wassermoleküle verringert sich die Wasseraktivität und somit werden mikrobielle Stoffwechselprozesse zunehmend gehemmt. Besonders die dissoziierten Natrium-Ionen (Na^+) aus dem Kochsalz (NaCl) weisen aufgrund ihres geringen Ionenradius eine hohe Hydratationszahl (8) auf (Metzger, 2011). Dies bewirkt eine verstärkte Anlagerung von Wassermolekülen (H_2O), welche für bakterielle Stoffwechselprozesse inaktiviert werden.

Da der Wasserdampfpartialdruck den Zähler des Quotienten bei der a_w -Wert-Berechnung bildet, ergibt sich bei reinst. Wasser (destilliertes Wasser) ein a_w -Wert von 1 (Heiss & Eichner, 1995; Baltes, 2000; Weber, 2009; Matissek & Baltes, 2016). Hier liegen keine gelösten Stoffe in der wässrigen Phase vor. Entsprechend verringert sich die Konzentration an ungebundenem Wasser (H_2O) durch das Dissoziieren von Salzen in wässrigen Phasen.

Anhang 3: Pathogene Keime in der Rohwurstproduktion

Grenzbereiche für das Wachstum von *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* und *Clostridium botulinum*

(Kabisch et al., 2008 S. 103, 110, 114); (Schütze, 2018 S. 1)

Gattung (Spezies)	Parameter	Grenzwerte
Listeria monocytogenes	Temperatur (T)	
	minimale Temperatur	0-2,5 °C
	maximale Temperatur	43 °C
	Wasseraktivität (a_w)	
	minimaler a_w -Wert	0,9-0,89
	pH-Wert	
minimaler pH-Wert	4,5	
optimaler pH-Wert	6,5-7,5	
maximaler pH-Wert	9,0	
Beschreibung:		
<p>Es handelt sich um einen fakultativ anaeroben Erreger, welcher ubiquitär in der Umwelt vorhanden ist. Verrottendes Pflanzenmaterial im Boden wird als natürliches Habitat bevorzugt (Al-Ghazali & Alazawi, 1990; Kabisch et al., 2008; Bülte, 2016).</p> <p><i>Listeria monocytogenes</i> ist ein grampositiver Erreger, welcher besonders widerstandsfähig und robust ist (Kabisch et al., 2008; Bülte, 2016). <i>Listeria monocytogenes</i> ist unter besonders ungünstigen Bedingungen wie niedrigem pH-Wert, niedrigen Temperaturen oder hohem Salzgehalt zur Vermehrung fähig (Ahamad & Marth, 1989; Abram et al., 2008; Kabisch et al., 2008; Bowman et al., 2012; Bülte, 2016).</p> <p><i>Listeria monocytogenes</i> gilt als humanpathogen. Eine Infektion beim Menschen wird vor allem durch Lebensmittel wie beispielsweise Rohwürste verursacht (Kabisch et al., 2008; Bülte, 2016). Der Erreger wird durch kontaminierte Nahrungsmittel aufgenommen. Die meisten Infektionen mit <i>Listeria monocytogenes</i> verlaufen klinisch inapparent, also ohne erkennbare Symptome. Tritt jedoch eine Infektion mit klinischen Symptomen auf, weist der Erreger eine vergleichsweise hohe Mortalitätsrate in Bezug auf andere Lebensmittelpathogene auf (Cain & McCann, 1986; Kabisch et al.,</p>		

2008; Bülte, 2016). *Listeria monocytogenes* fungiert häufig als Verursacher von Rückrufaktionen im Lebensmitteleinzelhandel (LEH). Meistens sind kurzgereifte Rohwürste wie Salamisticks betroffen (Kabisch et al., 2008).

<i>Escherichia coli</i> (E.Coli) [EHEC/STEC]	Temperatur (T)	
	minimale Temperatur	8 °C
	optimale Temperaturbereich	37-41 °C 45-46 °C
	maximale Temperatur	
	Wasseraktivität (a_w)	
	minimaler a_w -Wert	0,95
	pH-Wert	
	minimaler pH-Wert	4,2
	optimaler pH-Wert	6,5-7,5
	maximaler pH-Wert	9,5

Beschreibung:

Besondere Relevanz in Bezug auf Lebensmittelsicherheit haben die Stämme der enterohämorrhagischen *Escherichia coli* (EHEC). Diese gramnegativen Stämme produzieren besonders humantoxische Metabolite (Bürk et al., 2003; Frank & Alpers, 2003; Bülte & Goll, 2006). Es handelt sich um Shiga- und Verotoxin. Shiga- und Verotoxin sind sehr starke Zellgifte, welche beim Menschen schwere Erkrankungen hervorrufen können (Buchanan & Bagi et al., 1997; Beutin et al., 1998; Albiñ et al., 2003; Bürk et al., 2003; Aldick et al., 2007). Die Keime werden häufig in Därmen von Wiederkäuern wie Rindern nachgewiesen (Albiñ et al., 2003). Die Widerstandsfähigkeit und Robustheit dieser Keime ist besonders ausgeprägt (Conner et al., 1990). Eine Infektion beim Menschen erfolgt meist durch den Verzehr von verunreinigten Lebensmitteln (Bülte & Goll, 2006). Da die Keime häufig in der Darmflora von Rindern zu finden ist, erfolgt eine Kontamination meist durch mangelnde Schlachthygiene während des Schlachtprozesses (Kabisch et al., 2008). Entsprechende Kontaminationen treten meist bei Rinderhackfleisch und Rohwürsten wie Rindersalami auf (Alexander et al., 1995; Bülte & Goll, 2006). Kurzgereifte Rohwürste sind im Zusammenhang der Rohwurstherstellung stärker gefährdet.

Salmonella spp.	Temperatur (T)	
	minimale Temperatur	5,2 °C

	optimale Temperaturbereich	37-42 °C
	maximale Temperatur	45-46 °C
	Wasseraktivität (a_w)	
	minimaler a_w -Wert	0,94
	pH-Wert	
	minimaler pH-Wert	4,2
	optimaler pH-Wert	6,5-7,5
	maximaler pH-Wert	9,5

Beschreibung:

Salmonellen gehören zur Gruppe der Enterobacteriaceae (Briones et al., 2004). In Bezug auf die Morphologie handelt es sich um stäbchenförmige gramnegative Bakterien, welche meist humanpathogen sind und entsprechende Erkrankungen beim Menschen hervorrufen können (Finlay, 1994; Csonka & Epstein, 1996; Böttger & Kayser, 2010). Einer der bekanntesten Vertreter der pathogenen Salmonellen Gattungen bildet Salmonella Typhi (Typhus) (Brenner et al., 2000). Salmonellen sind im Allgemeinen als Durchfallerreger bekannt. In diesem Zusammenhang kommt es meist zu einer Infektion über kontaminierte Lebensmittel (Finlay, 1994; Bremer et al., 2001). An erster Stelle sind dabei die Salmonellen Gattungen Salmonella Enteritidis und Salmonella Typhimurium zu nennen (Foster & Hall, 1991; Brenner et al., 2000; Kabisch et al., 2008; Bruno et al., 2009). Infolge einer Infektion durch diese Stämme kommt es beim Menschen häufig zu spontanen Durchfallerkrankungen, welche meist nicht antibiotisch behandelt werden müssen. Die Symptome werden durch Endotoxine verursacht, welche von Salmonellen als Metabolite ausgeschieden werden (D'Aoust, 1991; Brenner et al., 2000; Kabisch et al., 2008). In Bezug auf eine Kontaminationsgefährdung sind vor allem ungekochte rohe Fleischwaren relevant. Daher ist dieses Gefährdungspotenzial in Bezug auf die Herstellung von Rohwürsten wie Salami im besonderen Maße zu berücksichtigen. Hierbei ist eine Kontamination der verwendeten Rohwaren wie entsprechende Abschnitte zu vermeiden. In diesem Zusammenhang ist auch die Einhaltung der Kühlkette von entscheidender Bedeutung. Weitere gefährdete Lebensmittel sind Muscheln und rohe Eier sowie die entsprechend weiterverarbeiteten Produkte wie Mayonnaise und Speiseeis. (Kabisch et al., 2008)

<i>Clostridium botulinum</i>	Temperatur (T)	
	minimale Temperatur	3,3 °C
	maximale Temperatur	50 °C
	Wasseraktivität (a_w)	
	minimaler a_w -Wert	0,93
	pH-Wert	
	minimaler pH-Wert	4,5

Beschreibung:

Clostridium botulinum gehört zur Familie der Clostridiaceae. Es handelt sich um ein gram-positives Bakterium, welches als sehr robust und widerstandsfähig einzuordnen ist (Baker, 1993; Hauschild & Dodds, 1993; Rodloff, 2009; Schütze, 2018). Ein weiteres Merkmal ist die Fähigkeit Sporen zu bilden, was die Beständigkeit unter widrigen Bedingungen weiter erhöht (Hauschild & Dodds, 1993; Schütze, 2018). Obwohl es sich um ein obligat anaerobes Bakterium handelt, ist der Keim unempfindlich gegenüber Luftsauerstoff (aerotolerant) (Hauschild & Dodds, 1993; Schütze, 2018). *Clostridium botulinum* ist als besonders humanpathogen einzuordnen. Dies ist auf die Bildung des neurotoxischen Botulinumtoxin (BTX) zurückzuführen. Es handelt sich um ein Exotoxin, welches von verschiedenen Stämmen der Bakterienspezies *Clostridium botulinum* gebildet wird (Baker, 1993; Rodloff, 2009; Stahlmann, 2012). Botulinumtoxin (BTX) ist ein sehr starkes Nervengift, welches eine akute Störung des vegetativen Nervensystems verursacht (Karlson et al., 1994; Stahlmann, 2012). Infolgedessen kommt es zu Muskelschwäche bis hin zum Stillstand der Lungenfunktion. *Clostridium botulinum* ist ubiquitär verbreitet und kommt vor allem im Boden vor. Besonderes Risiko in Bezug auf Lebensmittelsicherheit stellen Konserven dar (Lücke & Roberts, 1993; Cui et al., 2010). Daher sind in Bezug auf die Produktion von Wurstkonserven die Temperaturführung sowie der F-Wert relevant. Durch die Fähigkeit Sporen zu bilden, ist *Clostridium botulinum* besonders unempfindlich gegenüber hohen Temperaturen. Clostridien verfügen über die Fähigkeit Polysaccharide, Proteine und Nucleinsäuren anaerob abzubauen (Hauschild & Dodds, 1993; Rodloff, 2009; Schütze, 2018).

Anhang 4: Rezepturen für Kräuter- und Gewürzmischungen**Bio-Ecoland Gemüsebouillon**

Bio-Zutaten	Anteile in Prozent (%)
Kurkuma gemahlen	4,95
Karottenpulver	8,25
Tomatenpulver	6,60
Pastinakenpulver	6,60
Reismehl	6,60
Zwiebelpulver	6,60
Knoblauchpulver	3,30
Steinsalz	33,00
Kokosblütenzucker	9,90
Olivenöl	4,95
Kümmel gemahlen	1,65
Muskatnuss gemahlen	2,64
Schabzigerklee gemahlen	4,95

Bio-Ecolandwürzer

Bio-Zutaten	Anteile in Prozent (%)
Pfeffer weiß, fein gemahlen	3,58
Zwiebelpulver	14,34
Bockshornklee, geröstet, fein gemahlen	2,15
Liebstockwurzel, fein gemahlen	7,17
Ecoland Gemüsebouillon	10,75
Knoblauchpulver	3,58
Steinsalz	21,51
Pastinakenpulver	14,34
Rübenzucker	14,34
Liebstockblatt, fein gemahlen	3,58
Petersilienwurzel	3,58
Schabzigerklee gemahlen	1,08

Anhang 5: Definition der Wurstarten

Definition Brühwürste und Rohwürste (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2022)

Wurstart	Definition
Schnittfeste Rohwürste	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gereift ➤ Unangeschnitten ohne Kühlung lagerfähig ➤ Wird durch Abtrocknung und Absäuerung schnittfest. ➤ An die Oberfläche der Fleischteilchen ausgetretenes Muskeleiweiß hat im Verlauf der Reifung Fleisch- und Fettgewebsteilchen miteinander verbunden. ➤ Bei grober Körnung ist Fettgewebe zu erkennen. ➤ Bei luftgetrockneten oder schwach geräucherten sind auf dem Darm zuweilen weißliche Beläge von Mikroorganismen zu erkennen. ➤ Bei schnittfesten Rohwürsten mit Belägen von Mikroorganismen, in weißer Tauchmasse oder in Hüllen mit weißen Pigmentanteilen, liegen die absoluten Gehalte für das bindgewebseiweißfreie Fleischeiweiß um ein Zehntel, bei solchen mit Hinweisen auf einen besonders hohen Reifegrad (z. B. „Dauer-, ausgereift oder hart gereift“ um zwei Zehntel höher als bei den einzelnen Sorten angegeben. Die Verwendung von weißer Tauchmasse oder weißpigmentierter Hülle wird kenntlich gemacht.
Streichfähige Rohwurst	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sortenabhängig gereift, umgerötet, jedoch nur gering abgetrocknet. ➤ Nicht zur längeren Lagerung bestimmt. ➤ Das aus zerkleinertem Fettgewebe freigesetzte Fett umhüllt Fleischteilchen und bewirkt Streichfähigkeit, die bei fein zerkleinerter Ware am ausgeprägtesten ist.

Brühwürstchen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Meist für den Warmverzehr bestimmt. ➤ Wird gebrüht und ist danach schnittfest ➤ Lose kühlbedürftig und zum alsbaldigen Verzehr bestimmt. ➤ Der Ausdruck „in Eigenhaut“ weist darauf hin, dass die Ware vor der Abgabe von der Hülle befreit wurde. Die angegebenen absoluten Gehalte für das bindegewebeiseiweißfreie Fleischeiweiß liegen bei Würstchen, die in Behältnissen mit Lake haltbar gemacht wurden und sich noch in diesen Behältnissen befinden oder die lose z. B. als Dosenware deklariert sind um jeweils 0,5 Prozentpunkte niedriger (7,5 % statt 8 %), da in solchen Behältnissen Austauschvorgänge mögliche sind.
Brühwürste fein zerkleinert	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Umgerötet ➤ Wird gebrüht und ist danach schnittfest ➤ In Hüllen mit größeren oder kleineren Kaliber, alternativ in Dosen oder Gläser gefüllt.
Grobe Brühwürste	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Umgerötet ➤ Wird gebrüht und ist danach schnittfest ➤ In Hüllen mit größeren oder kleineren Kaliber, alternativ in Dosen oder Gläser gefüllt. ➤ Grob zerkleinert, hat in der Regel auch fein zerkleinerte Anteile. ➤ Bei groben Brühwürstchen im Darm mit Hinweisen auf eine besondere Abtrocknung oder eine damit zusammenhängende Lagerfähigkeit in ungekühltem Zustand (z.B. „Dauer- oder lagerfähig“) liegen die absoluten Gehalte für das bindegewebeiseiweißfreie Fleischeiweiß um ein Zehntel des Wertes höher als bei den einzelnen Sorten angegeben.
Brühwurst mit Einlagen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Grundbrät entspricht der fein zerkleinerten Brühwurst. ➤ Enthält grobstückige Fleischeinlagen

Anhang 6: Für Bio-Wurst- und Bio-Fleischverarbeitung zugelassene Zusatzstoffe (EU-VO 2018/848, 2018)

	E-Nummer	Klassenname / technologische Wirkung
Natriumnitrit	E 250	Konservierungsstoff
Kaliumnitrat	E 252	Konservierungsstoff
Milchsäure	E 270	Säuerungsmittel /Kutterhilfsmittel
Apfelsäure	E 296	Säuerungsmittel /Kutterhilfsmittel
Ascorbinsäure	E 300	Antioxidationsmittel /Umrötehilfsmittel
Natriumascorbat	E 301	Antioxidationsmittel /Umrötehilfsmittel
Lecithine	E 322	Emulgator
Zitronensäure	E 330	Säuerungsmittel /Kutterhilfsmittel
Natriumcitrat	E 331	Säureregulator / Kutterhilfsmittel
Calciumcitrate	E 333	Säureregulator / Kutterhilfsmittel
Weinsäure	E 334	Säuerungsmittel /Kutterhilfsmittel
Natriumtartrate	E 335	Säureregulator / Kutterhilfsmittel
Kaliumtartrate	E 336	Säureregulator / Kutterhilfsmittel
Monocalciumphosphat	E 341	Stabilisator / Kutterhilfsmittel
Natriumalginat	E 401	Verdickungsmittel
Agar-Agar	E 406	Geliermittel
Carrageen	E 407	Geliermittel
Johannesbrotkernmehl	E 410	Verdickungsmittel
Guarkernmehl	E 412	Verdickungsmittel
Gummi arabicum	E 414	Verdickungsmittel
Xanthan	E 415	Verdickungsmittel
Siliciumdioxid	E 551	Rieselhilfe
Talkum	E 553b	Trennmittel

**Anhang 7: P-Zahlen von Warmfleisch beim Schwein – Stichprobenerhebung
aus der Produktion**

Proben Nr.	P-Zahl Schwein	Proben Nr.	P-Zahl Schwein
1	2,31	35	2,25
2	2,34	36	2,15
3	2,32	37	2,15
4	2,41	38	2,18
5	2,33	39	2,22
6	2,62	40	2,31
7	2,30	41	2,32
8	2,23	42	2,22
9	2,23	43	2,20
10	2,20	44	2,30
11	2,47	45	2,28
12	2,31	46	2,33
13	2,34	47	2,37
14	2,32	48	2,29
15	2,30	49	2,28
16	2,47	50	2,38
17	2,44	51	2,36
18	2,17	52	2,29
19	2,34	53	2,28
20	2,40	54	2,38
21	2,32	55	2,36
22	2,39	56	2,51
23	2,39	57	2,47
24	2,27	58	2,15
25	2,38	59	2,35
26	2,16	60	2,31
27	2,22	61	2,41
28	2,24	62	2,19
29	2,15	63	2,40
30	2,24	64	2,41
31	2,17	65	2,39
32	2,17	66	2,34
33	2,17	67	2,49
34	2,34		

Anhang 8: Deskriptive Statistik zu den Boxplots für P-Zahlen, Nitrit- und Nitratgehalten sowie pH-Werten bei der Brühwurst

Variable	Versuch	N	N*	Mittelwert	SE des Mittelwerts	StdAbw	Varianz	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Nitrat	1	5	0	21,40	1,44	3,21	10,3	17	18,5	21	24,5	25
	2	5	0	22,40	2,82	6,31	39,8	15	16	23	28,5	29
	3	5	0	16,60	1,03	2,30	5,3	13	14,5	17	18,5	19
Nitrit	1	5	0	3,20	0,374	0,84	0,7	2	2,5	3	4	4
	2	5	0	2,60	0,4	0,89	0,8	2	2	2	3,5	4
	3	5	0	4,00	0	0,00	0	4	4	4	4	4
pH	1	5	0	5,88	0,02	0,045	0,002	5,8	5,85	5,9	5,9	5,9
	2	5	0	5,94	0,04	0,089	0,008	5,8	5,85	6	6	6
	3	5	0	5,90	0,0316	0,071	0,005	5,8	5,85	5,9	5,95	6
p value	1	5	0	2,26	0,0678	0,152	0,023	2,1	2,15	2,2	2,4	2,5
	2	5	0	2,38	0,02	0,045	0,002	2,3	2,35	2,4	2,4	2,4
	3	5	0	2,32	0,049	0,110	0,012	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4

Anhang 9: Deskriptive Statistik zu den Boxplots für Nitrit- und Nitratgehalte sowie pH-Werten bei den Salamiprodukten

Variable	Jahr	N	N*	Mittelwert	SE des Mittelwerts	StdAbw	Varianz	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Nitrat	1	10	0	10,40	1,57	4,97	24,71	4,00	6,75	9,50	12,75	21,00
	2	10	0	8,90	0,59	1,85	3,43	6,00	7,00	9,00	10,25	12,00
Nitrit	1	10	0	10,10	0,86	2,73	7,43	5,00	8,50	10,50	12,25	14,00
	2	10	0	8,70	0,79	2,50	6,23	4,00	6,75	9,00	11,00	12,00
pH	1	10	0	5,20	0,07	0,23	0,05	5,00	5,00	5,10	5,43	5,60
	2	10	0	5,13	0,03	0,11	0,01	5,00	5,00	5,15	5,20	5,30

Anhang 10: Statistik Ergebnisse BrühwurstuntersuchungenEinfache ANOVA: $\text{NO}_3/\text{NO}_2/\text{pH}$ - und P-Werte vs. Versuch

Methode

Nullhypothese: Alle Mittelwerte sind gleich.

Alternativhypothese: Mindestens ein Mittelwert weicht ab.

Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$

Für die Analyse wurde von gleichen Varianzen ausgegangen.

Faktorinformationen

Faktor	Stufen	Werte
Jahr	3	1; 2; 3

Varianzanalyse

Analyse	Quelle	DF	Kor SS	Kor MS	F-Wert	p-Wert
NO_3	Jahr	2	96,13	48,07	2,60	0,115
	Fehler	12	221,60	18,47		
	Gesamt	14	317,73			
NO_2	Jahr	2	4,933	2,4667	4,93	0,027
	Fehler	12	6,000	0,5000		
	Gesamt	14	10,933			
pH-Wert	Jahr	2	0,009333	0,004667	0,93	0,420
	Fehler	12	0,060000	0,03228		
	Gesamt	14	0,069333			
p-Wert	Jahr	2	0,03600	0,01800	1,46	0,271
	Fehler	12	0,14800	0,01233		
	Gesamt	14	0,18400			

Zusammenfassung des Modells

Analyse	S	R-Qd	R-Qd(kor)	R-Qd(prog)
NO_3	4,29729	30,26%	18,63%	0,00%
NO_2	0,707107	45,12%	35,98%	14,25%
pH-Wert	0,0707107	13,46%	0,00%	0,00%
p-Wert	0,111056	19,57%	6,16%	0,00%

Mittelwerte

Analyse	Jahr	N	Mittelwert	StdAbw	95%-KI
NO_3	1	5	21,40	3,21	(17,21; 25,59)
	2	5	22,40	6,31	(18,21; 26,59)
	3	5	16,60	2,30	(12,41; 20,79)
NO_2	1	5	3,200	0,837	(2,511; 3,889)
	2	5	2,600	0,894	(1,911; 3,289)
	3	5	4,000	0,000	(3,311; 4,689)
pH-Wert	1	5	5,2000	0,2309	(5,0806; 5,3194)
	2	5	5,1300	0,1059	(5,0106; 5,2494)
	3	5	5,9000	0,0707	(5,8311; 5,9689)
p-Wert	1	5	2,2600	0,1517	(2,1518; 2,3682)
	2	5	2,3800	0,0447	(2,2718; 2,4882)
	3	5	2,3200	0,1095	(2,2118; 2,4282)

Standardabweichung der Mittelwerte

Analyse	Zusammengefasste StdAbw
NO_3	4,29729
NO_2	0,707107
pH-Wert	0,0707107
p-Wert	0,111056

Paarweise Vergleiche nach Tukey

Gruppierungsinformationen anhand der Tukey-Methode und 95%-Konfidenz

Analyse	Jahr	N	Mittelwert	Gruppierung
NO_3	2	5	22,40	A
	1	5	21,40	A
	3	5	16,60	A
NO_2	3	5	4,000	A
	1	5	3,200	A B
	2	5	2,600	B
pH-Wert	2	5	5,9400	A
	3	5	5,9000	A
	1	5	5,8800	A
p-Wert	2	5	2,3800	A
	3	5	2,3200	A
	1	5	2,2600	A

Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Gruppierungsbuchstaben haben, unterscheiden sich signifikant.

Paarweise Vergleiche nach Fisher.

Gruppierungsinformationen anhand der Fisher-Grenzdifferenz und 95%-Konfidenz

Analyse	Jahr	N	Mittelwert	Gruppierung
NO_3	2	5	22,40	A
	1	5	21,40	A
	3	5	16,60	A
NO_2	3	5	4,000	A
	1	5	3,200	A B
	2	5	2,600	B
pH-Wert	2	5	5,9400	A
	3	5	5,9000	A
	1	5	5,8800	A
p-Wert	2	5	2,3800	A
	3	5	2,3200	A
	1	5	2,2600	A

Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Gruppierungsbuchstaben haben, unterscheiden sich signifikant.

Individuelle 95%-KIs nach Fisher

Fehlerbalkendiagramm von Nitrat vs. Versuch

Anhang 11: Statistik Ergebnisse SalamiuntersuchungenEinfache ANOVA: $\text{NO}_3/\text{NO}_2/\text{pH}$ -Werte vs. Jahr

Methode

Nullhypothese: Alle Mittelwerte sind gleich.

Alternativhypothese: Mindestens ein Mittelwert weicht ab.

Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$

Für die Analyse wurde von gleichen Varianzen ausgegangen.

Faktorinformationen

Faktor	Stufen	Werte
Jahr	2	1; 2

Varianzanalyse

Analyse	Quelle	DF	Kor SS	Kor MS	F-Wert	p-Wert
NO_3	Jahr	1	11,25	11,25	0,80	0,383
	Fehler	18	253,30	14,07		
	Gesamt	19	264,55			
NO_2	Jahr	1	9,800	9,800	1,43	0,247
	Fehler	18	123,000	6,833		
	Gesamt	19	132,800			
pH-Wert	Jahr	1	0,02450	0,02450	0,76	0,395
	Fehler	18	0,58100	0,03228		
	Gesamt	19	0,60550			

Zusammenfassung des Modells

Analyse	S	R-Qd	R-Qd(kor)	R-Qd(prog)
NO_3	3,75130	4,25%	0,00%	0,00%
NO_2	2,61406	7,38%	2,23%	0,00%
pH-Wert	2,61406	7,38%	2,23%	0,00%

Mittelwerte

Analyse	Jahr	N	Mittelwert	StdAbw	95%-KI
NO_3	1	10	10,40	4,97	(7,91; 12,89)
	2	10	8,900	1,853	(6,408; 11,392)
NO_2	1	10	10,100	2,726	(8,363; 11,837)
	2	10	8,700	2,497	(6,963; 10,437)
pH-Wert	1	10	5,2000	0,2309	(5,0806;5,3194)
	2	10	5,1300	0,1059	(5,0106;5,2494)

Standardabweichung der Mittelwerte

Analyse	Zusammengefasste StdAbw
NO_3	3,75130
NO_2	2,61406
pH-Wert	0,179660

Paarweise Vergleiche nach Tukey

Gruppierungsinformationen anhand der Tukey-Methode und 95%-Konfidenz

Analyse	Jahr	N	Mittelwert	Gruppierung
NO_3	1	10	10,40	A
	2	10	8,900	A
NO_2	1	10	10,100	A
	2	10	8,700	A
pH-Wert	1	10	5,2000	A
	2	10	5,1300	A

Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Gruppierungsbuchstaben haben, unterscheiden sich signifikant.

Paarweise Vergleiche nach Fisher.

Gruppierungsinformationen anhand der Fisher-Grenzdifferenz und 95%-Konfidenz

Analyse	Jahr	N	Mittelwert	Gruppierung
	1	10	10,40	A

NO_3	2	10	8,900	A
NO_2	1	10	10,100	A
	2	10	8,700	A
pH-Wert	1	10	5,2000	A
	2	10	5,1300	A

Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Gruppierungsbuchstaben haben, unterscheiden sich signifikant.

Salamirohdaten

Jahr	NO3	NO2	pH	V_Jahr
1	7,0	7,0	5,0	1
1	6,0	9,0	5,6	1
1	12,0	10,0	5,4	1
1	8,0	9,0	5,0	1
1	12,0	12,0	5,0	1
1	8,0	5,0	5,3	1
1	4,0	11,0	5,0	1
1	15,0	14,0	5,5	1
1	11,0	11,0	5,1	1
1	21,0	13,0	5,1	1
2	12,0	10,0	5,3	2
2	10,0	12,0	5,0	2
2	7,0	6,0	5,0	2
2	9,0	9,0	5,2	2
2	9,0	8,0	5,2	2
2	7,0	11,0	5,2	2
2	6,0	11,0	5,2	2
2	11,0	4,0	5,1	2
2	9,0	9,0	5,1	2
2	9,0	7,0	5,0	2

Ehrenwörtliche Erklärung zu meiner Dissertation mit dem Titel:

„Entwicklung eines innovativen Produktionsverfahrens für die Herstellung von Wurstwaren ohne Verwendung von Zusatzstoffen“

„Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig, ohne unerlaubte Hilfe Dritter angefertigt und andere als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Dritte waren an der inhaltlichen Erstellung der Dissertation nicht beteiligt; insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines kommerziellen Promotionsberaters in Anspruch genommen. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren durch mich verwendet worden.“

Wolpertshausen, im Juni 2023

Sebastian Bühler

: