

Verfahren zur technologischen Aufwertung von Fleischerzeugnissen durch zielgerichtete Veränderung einzelner Prozesse am Beispiel von Rohwurst

vorgelegt von Diplom-Ingenieur
Christoph Hildebrand

Von der Fakultät III – Prozesswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -
genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. H. Haase
Gutachter : Prof. Dr. sc. techn. F. Thiemig
Prof. Dr.-Ing. F. Reimold
Prof. Dr.-Ing. E. Flöter

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 21. Januar 2019

Berlin 2019

Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation in allen Teilen selbstständig angefertigt wurde und die benutzten Hilfsmittel vollständig angegeben worden sind.

Veröffentlichungen von irgendwelchen Teilen der vorliegenden Dissertation sind von mir nicht erfolgt.

Weiter erkläre ich, dass ich nicht schon anderweitig einmal die Promotionsabsicht angemeldet oder ein Promotionseröffnungsverfahren beantragt habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Ich habe Dir versprochen, dass sie fertig wird
Für Sebastian von Plessen
Du hast uns viel zu früh verlassen

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen tiefsten Dank den vielen Personen entgegenbringen, ohne deren Hilfe die Anfertigung dieser Promotionsschrift niemals möglich gewesen wäre:

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. sc. techn. F. Thiemig, meinem Doktorvater, für die interessante Aufgabenstellung, die mir trotz der zum Teil beschwerlichen Umstände Flexibilität bei der Ausgestaltung der Arbeit gegeben hat, sowie für die vielfältige Unterstützung durch immerwährende Diskussionsbereitschaft, Anregungen und das vielfältige Fachwissen.

Zudem möchte ich mich sehr bei Frau Prof. Dr.-Ing. F. Reimold für die Betreuung dieser Arbeit bedanken. Der große fachliche und persönliche Beistand während der nicht immer einfachen Zeit war für mich sehr wertvoll. Das habe ich nie als selbstverständlich angesehen. Herzlichen Dank.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Flöter für die Begutachtung dieser Arbeit und das entgegengebrachte Interesse und Herrn Prof. Dr. rer. nat. H. Haase für die Übernahme des Promotionsausschuss-Vorsitzes.

Ein großer Dank geht ebenfalls an meine Kollegen und ehemalige Kollegen am Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte. Durch Euch war das Arbeiten immer eine Freude und ich habe stets ein offenes Ohr für meine Anliegen, Probleme oder Einfälle gefunden.

Besonders möchte ich mich bei Adam Erdös, Tanja Bantleon, Bernd Sundag bedanken, die mich auch in angespannten Phasen ertragen haben. Dank gebührt auch Martha Kardell sowie meiner Freundin Karoline Paul für die ausführliche und intensive Korrektur.

Ein besonderer Dank geht an die Studenten, die sich durch ihre Leistungen in die Arbeit eingebracht haben. Es war mir eine Freude mit Euch zusammenzuarbeiten und ich hätte es nur schwer ohne euch geschafft.

Meinen Freunden gilt ebenfalls unendlicher Dank für den Beistand und die vielen Stunden in denen ich Zerstreuung finden konnte. Keiner von Euch hat je daran gezweifelt, dass die Arbeit fertig wird und ihr habt mich immer unterstützt. Das ist Euch sehr hoch anzurechnen.

Das größte Dankeschön geht an meine liebe Familie Dorothea, Bernhard, Cornelia und Stephan Hildebrand sowie meiner Oma Gertrud Prehm, die mir unglaubliches möglich gemacht hat. Die Hilfe in finanzieller, emotionaler und ganz praktischer Hinsicht war essentiell, damit diese Arbeit überhaupt verfasst werden konnte. Besonderer Dank geht an meine Mutter, die diese Arbeit gefühlt öfter gelesen hat als ich.

Viele Dank an Euch alle, Ihr seid die beste Familie, die man sich wünschen kann.

Kurzfassung

Die Ernährungswirtschaft und im Speziellen die Fleischindustrie ist einem enormen Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Das betrifft die Preise der Produkte und zudem immer mehr die Qualität. Hochqualitative Produkte besitzen besondere sensorische Merkmale, die vom Verbraucher geschätzt und dementsprechend honoriert werden. Zur Erzeugung dieser hohen Wertschöpfung werden Verfahren angewendet, die zum Teil schon Jahrhunderte in dieser Form genutzt werden. Ein maßgebliches Problem dieser Prozesse ist, dass sie sehr viel Zeit in Anspruch nehmen.

Ein relevantes Produkt, das davon betroffen ist, ist die Rohwurst. Rohwürste, im Speziellen schnittfähige Rohwürste, durchlaufen einen Fermentationsprozess, der mit einer langwierigen Wasserabgabe verbunden ist. Das ist zum einen aus sensorischen Gesichtspunkten wichtig, bedingt aber auch die lange Haltbarkeit der Produkte, durch das eingesetzte Hürdensystem.

Damit eine schnellere Produktion hochwertiger, gut aromatisierter Rohwürste möglich wird, soll das Fermentationssystem neu gestaltet werden. Dazu wird eine vorgelagerte Fermentation des Fettgewebes angestrebt, wodurch die gewünschten Reifeorganismen schon vor Beginn der eigentlichen Wurstproduktion vermehrt und angepasst vorliegen. Damit die Wasserabgabe der erhöhten Fermentationsgeschwindigkeit gleichgeschaltet ist, wird das Magerfleisch partiell vor der Produktion getrocknet. Diese Trocknung hat diverse Effekte auf die Fermentation und damit die gesamte Reifung. Die Reifezeit wird von mehreren Wochen auf 7 Tage verkürzt. Die Ausbildung der geforderten Textur kann unter Anwendung spezieller Maßnahmen wesentlich schneller erfolgen. Besondere Beachtung findet die mikrobielle Milchsäurebildung, die sich bei korrekt eingestelltem Ausgangswassergehalt durch die Wassergehaltsentwicklung einschränken lässt. Auf diese Weise läuft eine ordnungsgemäße Reifung auch bei Kohlenhydratüberschuss ab. Daraus ergibt sich die völlig neue Möglichkeit bisher nicht einsetzbare Einlagematerialien wie Brot, getrocknete oder kandierte Früchte, Extrusionsprodukte bis hin zu Schokolade in die Rohwurst einzubinden und hoch innovative Produkte zu erzeugen.

Zur Verbesserung der sensorischen Qualität wurde zudem der Räucherprozess, der bei Rohwürsten speziell aus Nordeuropa, integraler Bestandteil der Produktion ist, verändert. Das industriell übliche Friktionsräucherverfahren liefert nicht die gleiche Aromagestaltung, wie das traditionellere Glimmrauchverfahren. Das Friktionsräucherverfahren bietet hingegen ökonomische und ökologische Vorteile, die zusammen mit einer geringeren PAK Belastung das Glimmrauchverfahren verdrängt haben. Zur Verbesserung der Aromabeaufschlagung durch das Friktionsräucherverfahren, sollen Verschiedene Holzarten in Kombination angewendet werden, was ein Verfahren zur Kombination der Holzblöcke notwendig macht. Zur Bewertung der Ergebnisse wurde ein Aromarad für geräucherte Fleisch und Wurstwaren entwickelt, das eine qualitative Einordnung ermöglicht. Zudem wurden Änderungen erfasst, die durch die Räucherholzmodifikation bei Rohwürsten hervorgerufen werden.

Abstract

The food industry, and the meat industry in particular, is facing enormous competitive pressure. This concerns the prices of the products and more and more the quality. High-quality products have special sensory characteristics, which are appreciated and rewarded by the consumer. To generate this high increase in value, processes are used, some of which have been used in for centuries. A major difficulty with these processes is that they take a lot of time.

A relevant product that are affected are raw-fermented sausages. Raw-fermented sausages, especially slicable raw-fermented sausages, undergo a fermentation process that involves a time-consuming release of water. This is important from a sensory point of view, but it also determines the long shelf life of the products due to the utilised hurdle system.

The fermentation system is redesigned to enable a faster production of high-quality, well-flavored raw-fermented sausages. For this purpose, an up-front fermentation of the fatty tissue is targeted, whereby the desired ripening organisms are already present in an increased and adapted form before the actual sausage production begins. The lean meat is partially dried before production to ensure that the water output is equal to the increased fermentation rate. This drying has various effects on the fermentation process and thus on the entire ripening. The ripening time is reduced from several weeks to 7 days. The required texture can be formed much faster by applying special measures. Special consideration is paid to microbial lactic acid formation, which can be limited by the development of water content if the initial water content is adjusted correctly. In this way a proper ripening also takes place with excess carbohydrate. This results in the new possibility of integrating inlay materials such as bread, dried or candied fruits, extruded products and chocolate into raw-fermented sausage and producing highly innovative products.

To improve the sensory quality, the smoking process, which is an integral part of the production of raw-fermented sausages, especially from northern Europe, has also been modified. The industrial common friction smoking process does not provide the same aroma composition as the more traditional smoulder smoke. The friction smoking, that offers economic and ecological advantages combined with a lower PAH load, has replaced the smoulder smoke. In order to improve the aroma impact by the friction smoke, different types of wood should be used in combination, which makes a technique for combining the blocks of wood necessary. To evaluate the results, an aroma wheel was developed for smoked meat and sausages, which allows a qualitative classification. In addition, changes in raw sausages caused by the modification of wood were recorded.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	3
Danksagung	7
Kurzfassung	8
Abstract.....	9
Inhaltsverzeichnis	10
Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	18
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	20
1 Einleitung und Zielstellung	23
2 Stand der Technik	30
2.1 Rohwurst	30
2.1.1 Rohwursttechnologie	31
2.1.2 Haltbarmachung durch Hürdentechnologie	36
2.1.3 Rohwurstaroma	48
2.1.4 Strukturbildung bei schnittfester Rohwurst	50
2.1.5 Hygienisch kritische Phase und Rohwurstfehler	52
2.1.6 Technologische Eingriffspunkte in der Rohwurstherstellung	53
2.1.7 Präzisierte Aufgabenstellung - Fermentationsmodifikation zur Verbesserung der Fermentationssicherheit und -geschwindigkeit	55
2.2 Räuchern.....	67
2.2.1 Räuchermittel	69
2.2.2 Rauchbestandteile	70
2.2.3 Wirkungen der Rauchbeaufschlagung	72
2.2.4 Vorteile und Nachteile der verschiedenen Räucherverfahren	74
2.2.5 Verfahrensentwicklungen Räuchern	75
2.2.6 Technologische Eingriffspunkte Räuchern	76
2.2.7 Bewertung von Raucharomen	77
2.2.8 Präzisierte Aufgabenstellung – Modifikation des Friktionsräucherverfahrens	78
3 Material und Methoden	83
3.1 Versuchsaufbau Rohwurstfermentation	83
3.1.1 Technische Ausrüstung zur Herstellung der Fleischerzeugnisse	83
3.1.2 Rohstoffe	84
3.2 Analytik.....	86
3.2.1 pH-Wert	86
3.2.2 Wassergehalt	86
3.2.3 Farbe.....	87
3.2.4 Wasseraktivität (a_w -Wert)	87
3.2.5 Temperatur.....	88
3.2.6 Festigkeit	88
3.2.7 Textur	88
3.2.8 Mikrobiologische Analysen.....	89

3.2.9	Begleitende analytische Messungen.....	90
3.2.10	Qualitätsbewertung der Produkte nach DLG-Schema	90
3.2.11	Schmelz- und Siedetemperaturen.....	91
3.2.12	Zugstabilität.....	92
3.2.13	Thermostabilität / Hydrostabilität.....	92
3.2.14	Friktionsstabilität.....	93
3.2.15	Verarbeitungszeit	93
3.2.16	Optisch analytische Methoden	93
3.2.17	Räucherprogramm	94
3.2.18	Aromaprofilermittlung von geräucherten Rohwürsten	95
3.3	Statistische Auswertung	97
4	Diskussion der Ergebnisse – Modifikation Fermentationsverfahren.....	98
4.1	Entwicklung des Fermentationsverfahrens unter Verwendung von vorfermentiertem Fett	98
4.1.1	Fermentationsversuche mit Fett.....	99
4.1.2	Einbinden des fermentierten Fettes in das Rohwurstbrät	102
4.1.3	Versuchsreihen im kleintechnischen Maßstab.....	108
4.1.4	Mikrobiologische Bewertung des Produktionsverfahrens	128
4.1.5	Qualitätsbewertung der neuartig hergestellten Produkte.....	134
4.1.6	Bewertung der Farbe der Produkte.....	136
4.1.7	Industrielle Eignung des Verfahrens.....	139
4.1.8	Texturmessungen der Würste unter Einsatz von fermentiertem Fett.....	143
4.1.9	Begleitende analytische Messungen der Wurst mit vorfermentiertem Fett	145
4.1.10	Bewertung der Rohwürste mit vorfermentiertem Fett nach DLG-Schema.....	145
4.1.11	Zusammenfassung der Verfahrensentwicklung – „vorfermentiertes Fett“	146
4.2	Ergebnisse Einsatz kohlenhydratreicher Einlagen	148
4.2.1	Bestimmung des Kohlenhydrateinflusses	148
4.2.2	Integration von Brot	154
4.2.3	Mikrobiologische Untersuchung	166
4.2.4	Farbentwicklung.....	170
4.2.5	Texturmessung	171
4.2.6	Begleitende analytische Messungen von Rohwurst mit Broteinlage.....	172
4.2.7	Bewertung der Rohwürste mit Broteinlage nach DLG-Schema	172
4.2.8	Einsatz von Fruchteinlagen.....	173
4.2.9	Zusammenfassung der Verfahrensentwicklung – „Kohlenhydratreiche Einlagen“	177
5	Diskussion der Ergebnisse - Modifikation des Räucherverfahrens	178
5.1.1	Untersuchungen zur Thermo-Irreversibilität des Trägerstoffes.....	179
5.1.2	Untersuchung der Zugstabilität kombinierter Holzblöcke	180
5.1.3	Thermo- und Hydrostabilität der kombinierten Holzblöcke	181
5.1.4	Optimierung der Bearbeitungszeit	182
5.1.5	Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen.....	185
5.1.6	Friktionsstabilität der kombinierten Holzblöcke	189
5.1.7	Beeinflussung der Produktcharakteristika von Rohwurst durch die modifizierte Räucherung	189

5.1.8	Ergebnisse Aromaprofilanalyse unter Verwendung verschiedener Holzsorten.....	190
5.1.9	Zusammenfassung der Ergebnisse der Räucherversuche	199
6	Zusammenfassung	201
6.1	Fermentationsverfahren	202
6.2	Modifikation des Räucherverfahrens.....	204
6.3	Ausblick	205
7	Literaturverzeichnis	207
	Anhang.....	218

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung des Herstellungsablaufs von schnittfester Rohwurst im Schneidmischer oder Kutter nach KOCH (KOCH 1988)	33
Abbildung 2:	Schematische Darstellung des Hürdensystems mit verschiedenen Hürden (F=Erhitzen; t=Kühlen; a_w =Wasseraktivität; pH=pH-Wert; pres.=Konservierungsstoffe) und → als Kennzeichnung für die Keime (HENNEY, et al. 2010, LEISTNER 1995)	37
Abbildung 3:	Sequenz der Einzeleffekte (Hürden), welche im gemeinsamen Zusammenwirken die mikrobiologische Stabilität der Rohwurst während der Reifung und Lagerung bedingen (BUCKENHÜSKES, 1994), dargestellt von (WEBER 1996)	41
Abbildung 4:	Exemplarischer pH-Wert-Verlauf bei der Rohwurstfermentation (SIELAFF 1996)	47
Abbildung 5:	pH-Wert-Verlauf in Rohwurst bei unterschiedlichen Reifetemperaturen in Abhängigkeit der Reifezeit (RÖDEL 1985)	48
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Ausprägung der Schnittfestigkeit bei Rohwurst (PRÄNDL, FISCHER 1988)	51
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der avisierten Neuordnung der Hürden bei der Rohwurstreifung für die geplante Prozessoptimierung	56
Abbildung 8:	Schematische Darstellung des zu entwickelnden Produktionsverfahrens für schnittfeste Rohwurst mit einer gezielten Aromaentwicklung (die grünen Felder geben die angedachten Modifikationen bzw. die Folgen der Modifikationen im Verfahren an)	59
Abbildung 9:	Schematische Darstellung der theoretischen pH-Wert-Beeinflussung durch die Verfügbarkeit von Wasser in Salami	63
Abbildung 10:	Skizze von kombinierten Holzblöcken zum Verreiben in der Friktionsräucheranlage zur Raucherzeugung aus zwei verschiedenen Holzblöcken verbunden durch eine Zwischenschicht	79
Abbildung 11:	Reaktion von Formaldehyd mit Gelatine (RENNER 2004)	80
Abbildung 12:	Entwickeltes Aromarad für die Aromaanalyse der mit unterschiedlichen Holzkombinationen geräucherten Wurstwaren (HILDEBRAND, REIMOLD 2013)	96
Abbildung 13:	Durchschnittliche Keimzahlentwicklung von S VIII durch die 24-stündige Fermentation mit Biobak K bei 30 °C	101
Abbildung 14:	Entwicklung des Wassergehaltes von gewolftem Magerfleisch auf Lochblechen bei der Trocknung mit konstanter Luftumwälzung und ohne Temperaturerhöhung	107
Abbildung 15:	Gemessene Farbveränderung während der Trocknung des Magerfleisches für die Herstellung von Rohwurst mit separat fermentiertem Fett	108
Abbildung 16:	Box-Whisker-Plot der durchschnittlichen pH-Werte von Magerfleisch vor und nach einer mindestens 2 stündigen Trocknung	109
Abbildung 17:	Wassergehalte während der Reifung von Rohwurst nach Rezept aus Tabelle 13 mit unterschiedlicher Ausgangstrocknung des Magerfleisches	109
Abbildung 18:	pH-Wert-Entwicklung der nach konventionellem Verfahren (ohne Fermentation des Fettes) produzierter Rohwurst, die unter Verwendung von getrockneten Magerfleischbestandteilen mit verschiedenen Trocknungszeiten hergestellt wurde ...	111
Abbildung 19:	pH-Wert-Entwicklung während der Reifung von Rohwurst, die mit fermentiertem Fett und mit unterschiedlicher Ausgangstrocknung (V2 – 1 h Trocknung, V3 – 2 h Trocknung, V4 – 3 h Trocknung) des Magerfleisches hergestellt wurde	112

Abbildung 20:	pH-Wert-Verlauf von Rohwürsten - hergestellt mit originären und vorkonditionierten Magerfleischfraktionen mit unterschiedlichen Trocknungszeiten sowie unter Einsatz von fermentiertem Fett	114
Abbildung 21:	Wassergehaltsverlauf von mit vorfermentiertem Fett und vorgetrocknetem Fleisch hergestellten Rohwürsten (Versuchsreihen V5 – V6)	115
Abbildung 22:	Darstellung der PE-Werte der Rohwürste mit fermentiertem Fett und verschiedener Magerfleischzusammensetzung der Versuchsreihen V5 – V9 in Penetrationseinheiten nach 6 Tagen Reifung und 7 Tagen Kühllagerung bei 7 °C in Vakuumverpackung	116
Abbildung 23:	pH-Wert-Verlauf von Rohwürsten mit und ohne Phosphatzugabe, die mit fermentiertem Fett und verschiedenen getrockneten Fleischfraktionen mit 1,5 h und 4 h Trocknungszeit hergestellten wurden	118
Abbildung 24:	Wassergehaltsverlauf von Rohwurstproben, hergestellt mit vorfermentiertem Fett mit und ohne Phosphat.....	119
Abbildung 25:	Ergebnisse der Festigkeitsmessungen der Versuchsreihen V10 und V11 nach 6 Tagen Reifung und 7 Tagen Kühllagerung (7 °C)	120
Abbildung 26:	pH-Wert-Entwicklung von Rohwürsten - hergestellt nach Rezeptur aus Tabelle 13, mit den verschiedenen getrockneten Magerfleischfraktionen nach Tabelle 22 und unterschiedlich hohen Natriumdiphosphat-Beimengungen	121
Abbildung 27:	Wassergehaltsentwicklung von Rohwürsten - hergestellt nach Rezeptur aus Tabelle 13, mit den verschiedenen getrockneten Magerfleischfraktionen nach Tabelle 22 und unterschiedlich hohen Natriumdiphosphat-Beimengungen	122
Abbildung 28:	Ergebnisse der Penetrationsmessung (in Penetrationseinheiten) von Rohwürsten hergestellt nach Rezeptur aus Tabelle 13, mit den verschiedenen getrockneten Magerfleischfraktionen nach Tabelle 22 und unterschiedlich hohen Natriumdiphosphat-Beimengungen (nach 3 Tagen: PE d3; 6 Tagen: PE d6; 14 Tagen: PE d14)	123
Abbildung 29:	Verläufe des pH-Wertes von Rohwürsten mit verschiedenen Herstellungsverfahren (V12, V14 und V15: Wiederholungsversuche; V13: konventionell hergestelltes Produkt, unter gleichen Bedingungen gereift).....	125
Abbildung 30:	Wassergehalts-Verläufe von Rohwürsten mit verschiedenen Herstellungsverfahren (V12, V14 und V15 Wiederholungsversuche; V13 konventionell hergestelltes Produkt, unter gleichen Bedingungen gereift).....	126
Abbildung 31:	Ergebnisse der Festigkeitsmessungen der Versuchsreihen V12 – V15 nach 6 Tagen Reifung und 7 Tagen Nachreifung bei 6 °C	127
Abbildung 32:	Keimzahlentwicklung von originärem Magerfleisch, nach der Trocknung unter Luftumwälzung bei ca. 30 °C für 4 Stunden und unter Zusatz von Ascorbinsäure und NPS sowie der Mischung aus originärem und getrocknetem Magerfleisch vor der Zugabe des fermentierten Fettes	129
Abbildung 33:	Mesophile aerobe Keimentwicklung von nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst; am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühllagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst.....	129
Abbildung 34:	Keimentwicklung der Laktobazillen von nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst; am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühllagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage	

	nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst	130
Abbildung 35:	Entwicklung proteolytischer Keime der nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst: am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühlagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst	132
Abbildung 36:	Keimentwicklung der Hefen und Schimmelpilze der nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst: am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühlagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst	133
Abbildung 37:	Gemittelte L-Werte der Versuchsproben V1 bis V17 nach 6 Tagen Reifung.....	136
Abbildung 38:	Gemittelte a*-Werte der Versuchsproben V1 bis V17 nach 6 Tagen Reifung.....	137
Abbildung 39:	Gemittelte b*-Werte der Versuchsproben V1 bis V17 nach 6 Tagen Reifung	138
Abbildung 40:	Herstellungsschema für Rohwurst, hergestellt mit vorfermentiertem Fett und vorgetrocknetem Fleisch nach Rezeptur aus Tabelle 23	140
Abbildung 41:	pH-Wert-Verlauf der Versuchsreihen V16 bis V19, die unter industriellen Bedingungen nach dem entwickelten Verfahren hergestellt wurden	142
Abbildung 43:	Darstellung der Standardabweichungen der Kraft- und Wegmesswerte der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen	143
Abbildung 42:	Darstellung der Messergebnisse der Kraft- und Wegmessung der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen	143
Abbildung 45:	Exemplarische Messkurve der Texturprüfung der kommerziellen Rohwurstproben (Referenzprobe)	144
Abbildung 44:	Exemplarische Messkurve der Texturprüfung der mit vorfermentiertem Fett hergestellten Rohwurstproben	144
Abbildung 46:	Auswertung der DLG Prüfbögen von Rohwürsten mit vorfermentiertem Fett nach Qualitätszahl und einzelnen Kategorien: 1. Äußeres; 2. Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung; 3. Konsistenz; 4. Geruch und Geschmack	146
Abbildung 47:	pH-Wert-Verläufe von Rohwürsten mit verschiedenen Vortrocknungsgraden unter Verwendung von 1 % Glucosezusatz	149
Abbildung 48:	Wassergehaltsentwicklung von Rohwurstproben mit 1 % Glucoseeinsatz und unterschiedlichen Trocknungszeiten von Magerfleisch	150
Abbildung 49:	Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalt-Verläufe von Rohwürsten mit zweistündiger Magerfleischvortrocknung bei unterschiedlichen Glucosekonzentrationen	151
Abbildung 50:	pH-Wert-Minimum während der Reifung von Rohwürsten bei unterschiedlichem Ausgangswassergehalt sowie der Tag des Erreichens des minimalen pH-Wertes.....	153
Abbildung 51:	Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalt-Verläufe von Rohwürsten ohne Vortrocknung des Magerfleisches unter Zusatz verschiedener Brotsorten (WBoT: Weißbrot einlage ohne Trocknung; GBoT: Graubrot einlage ohne Trocknung; SBoT: Schwarzbrot einlage ohne Trocknung; kBoT: kein Brot ohne Trocknung).....	156
Abbildung 52:	Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalts-Verläufe von Rohwürsten unter Verwendung von vorgetrocknetem Magerfleisch und unter Verwendung verschiedener	

	Brotsorten (WB 1: Weißbroteinlage Versuchsreihe 1; GB 1: Graubroteinlage Versuchsreihe 1; SB 1: Schwarzbroteinlage Versuchsreihe 1).....	158
Abbildung 53:	Darstellung des pH-Wert- und Wassergehalt-Verlaufes von Rohwürsten mit vorgetrocknetem Magerfleisch unter Zusatz verschiedener Brotsorten (WB 2: Weißbroteinlage Versuchsreihe 2; GB 2: Graubroteinlage Versuchsreihe 2; SB 2: Schwarzbroteinlage Versuchsreihe 2)	160
Abbildung 54:	Darstellung des pH-Wert- und Wassergehalt-Verlaufes von Rohwürsten mit vorgetrocknetem Magerfleisch unter Verwendung verschiedener Brotsorten (WB 3: Weißbroteinlage Versuchsreihe 3; GB 3: Graubroteinlage Versuchsreihe 3; SB 3: Schwarzbroteinlage Versuchsreihe 3)	162
Abbildung 55:	Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalt-Verläufe von Rohwürsten mit nach Regime vorgetrocknetem Magerfleisch unter Zusatz verschiedener Brotsorten (Mittelwerte Versuchsreihen 4 - 6) (WB M: Weißbroteinlage Versuchsreihen 4 - 6; GB M: Graubroteinlage Versuchsreihen 4 - 6; SB M: Schwarzbroteinlage Versuchsreihen 4 - 6).....	164
Abbildung 56:	Rohwurstprobe mit Graubroteinlage nach 3 Tagen Reifung	165
Abbildung 57:	Rohwurstprobe mit Graubroteinlage nach 7 Tagen Reifung.....	165
Abbildung 58:	Keimzahlen der Wurstproben mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien am 7. Tag nach der Produktion.....	167
Abbildung 59:	Keimzahlen der Wurstproben mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien am 14. Tag nach der Produktion.....	168
Abbildung 60:	Keimzahlen der Wurstproben mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien am 21. Tag nach der Produktion.....	169
Abbildung 61:	Auswertung der Farbmessungen von unterschiedlichen Brotwürsten mit den dazugehörigen Standardabweichungen	170
Abbildung 63:	Darstellung der Standardabweichungen Kraft- und Wegmesswerte der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen.....	171
Abbildung 62:	Darstellung der Bruchkraft- und Wegmittelwerte der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen	171
Abbildung 64:	Auswertung der DLG-Prüfbögen von Rohwürsten mit vorfermentiertem Fett nach Qualitätszahl und einzelnen Kategorien: 1. Äußeres; 2. Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung; 3. Konsistenz; 4. Geruch und Geschmack.....	173
Abbildung 65:	pH-Wert-Entwicklung von Rohwürsten mit unterschiedlichen Fruchteinlagen (pH Mango: mit Mangoeinlagen; pH Ananas: mit Ananaseinlagen; pH Apfel: mit Apfeleinlagen)	174
Abbildung 66:	Wassergehaltsentwicklung von Rohwürsten mit unterschiedlichen Fruchteinlagen (H2O Mango: mit Manoeinlagen; H2O Ananas: mit Ananaseinlagen; H2O Apfel: mit Apfeleinlagen).....	174
Abbildung 67:	Rohwurst mit Mangoeinlagen nach 5 Tagen Reifung	175
Abbildung 69:	pH-Wert-Verlauf von Rohwurst mit Ingwereinlage	176
Abbildung 68:	Rohwurst mit Ingwereinlage nach 3 Tagen Reifung	176
Abbildung 70:	Graphische Darstellung der ermittelten Verfestigungszeiten von Schwartenmasse in Abhängigkeit der zugesetzten Flüssigrauchmenge.....	183
Abbildung 71:	Rasterelektronenmikroskopaufnahme von 2 Stunden hydrothermisch behandelte Schweineschwartenmasse; Vergrößerung (A) 150x, (B) 6000x; der weiße Pfeil zeigt den	

	zur Vergrößerung gewählten Ausschnitt, die blauen Pfeile weisen auf Gelatinestränge, die roten Pfeile auf enthaltene Öltröpfchen hin	185
Abbildung 72:	Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von Schweineschwarte mit 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol, Vergrößerung: (A) 150x; (B) 1000x; (C) 6000x; die weißen Pfeile zeigen die zur Vergrößerung gewählten Ausschnitte, der blaue Pfeil weist auf Gelatinestränge, die roten Pfeile auf enthaltene Öltröpfchen hin.....	186
Abbildung 73:	Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gelatinehaltiger Schweineschwarte mit ausgetrockneter Oberfläche, 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol, Vergrößerung: (A) 150x; (B) 1000x; (C) 6000x; die weißen Pfeile zeigen die zur Vergrößerung gewählten Ausschnitte, die blauen Pfeile weisen auf Gelatinestränge, der rote Pfeil auf enthaltene Öltröpfchen	187
Abbildung 74:	Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gelatinehaltiger Schweineschwarte mit 1 % Flüssigrauch und 5 % Ethanol, Vergrößerung: (A) 150x; (B) 1000x; (C) 6000x; die weißen Pfeile zeigen die zur Vergrößerung gewählten Ausschnitte, die blauen Pfeile weisen auf Gelatinestränge, der rote Pfeil auf enthaltene Öltröpfchen hin	188
Abbildung 75:	Spinnennetzgrafik der ASZ 1 – Orale Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Buchenholz.....	191
Abbildung 76:	Spinnennetzgrafik der ASZ 1 – Orale Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Buchen- und Kiefernholz	191
Abbildung 77:	Spinnennetzgrafik der ASZ 2 – Gewürzprägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Kiefernholz.....	192
Abbildung 78:	Spinnennetzgrafik der ASZ 2 – Gewürzprägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Lärchenholz.....	192
Abbildung 79:	Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert.....	193
Abbildung 80:	Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Lärchenholz geräuchert.....	194
Abbildung 81:	Spinnennetzgrafik der ASZ 4 – Typisierung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert	195
Abbildung 82:	Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchenholz geräuchert.....	196
Abbildung 83:	Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert.....	196
Abbildung 84:	Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Lärchenholz geräuchert.....	197
Abbildung 85:	Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Fichtenholz geräuchert.....	197
Abbildung 86:	Spinnennetzgrafik der ASZ 6 – subjektive Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchenholz geräuchert.....	198
Abbildung 87:	Spinnennetzgrafik der ASZ 6 – subjektive Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert.....	199

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Reifeverfahren bei schnittfester Rohwurst und Dauerrohurst (SIELAFF 1996).....	36
Tabelle 2:	Untere pH-Grenzwerte von einigen lebensmittelverderbenden und toxinbildenden Mikroorganismen ohne Einschränkung der Wasserverfügbarkeit (LEISTNER&GOULD 2002)	40
Tabelle 3:	Durchschnittliche Zusammensetzung von Holz und dazugehörige Pyrolysetemperaturen (JIRA 2004, PASCHEN 2012, PRÄNDL, FISCHER 1988).....	67
Tabelle 4:	Raucharten mit den jeweiligen Pyrolysetemperaturen und Raucheigenschaften (PRÄNDL, FISCHER 1988).....	68
Tabelle 5:	Holzarten und bei der Pyrolyse erzeugte Aromen (FRITZ 2013).....	70
Tabelle 6:	Zusammensetzung des Rauches in Abhängigkeit unterschiedlicher Raucherzeugungsverfahren (modifiziert) (TÓTH 1982)	71
Tabelle 7:	Darstellung verschiedener Räucherverfahren (modifiziert) (LÜCK 2013, PRÄNDL, FISCHER 1988).....	72
Tabelle 8:	Rauchbestandteile von Holzarten in g / 100 g Sägemehl (Auszug nach SPANYAR, 1960b)	72
Tabelle 9:	Technische Ausrüstung für die Herstellung der Wurstwaren.....	83
Tabelle 10:	Fleischrohstoffe und Zutaten zur Herstellung der Rohwurstproben für die Modifikation des Fermentationsverfahrens.....	84
Tabelle 11:	Fleischrohstoffe und Zutaten für die Herstellung der Rohwurstproben (Thüringer Runde) zur Prüfung der Modifikation des Räucherverfahrens	84
Tabelle 12:	Starterkulturen der Firma Wiberg mit Angabe der enthaltenen Mikroorganismen (WIBERG GMBH 2012)	85
Tabelle 13:	Verwendete Rohwurstrezeptur zur Entwicklung des modifizierten Herstellungsverfahrens von schnittfester Rohwurst	86
Tabelle 14:	Nährböden und analysierte Keimarten bei der Bestimmung der mikrobiologischen Eigenschaften von Rohwurst	89
Tabelle 15:	Bebrütungsbedingungen der mikrobiologischen Nährmedien zur Untersuchung von Wurstwaren	89
Tabelle 16:	Kalträucherprogramm für Rohwurst, Kochwurst und Schinken.....	95
Tabelle 17:	Gemessene durchschnittliche Analysewerte bei Magerfleisch und Fett vom Schwein ...	98
Tabelle 18:	Einsatzmengen sowie durchschnittliche pH-Werte vor und nach der Fermentation von Fett mit ausgewählten Starterkulturen	100
Tabelle 19:	Durchschnittliche pH-Werte von Salami (Vorversuch 1) mit vorfermentiertem Fett während der Reifung	103
Tabelle 20:	Durchschnittliche pH-Werte von Salami (Vorversuch 3) mit vorfermentiertem Fett und vorgetrocknetem Magerfleisch während der Reifung.....	105
Tabelle 21:	Fleischzusammensetzung der Rohwürste für die Verfahrensentwicklung mit vorfermentiertem Fett.....	106
Tabelle 22:	Magerfleischzusammenstellung für die Versuche zur Strukturverbesserung unter Einsatz unterschiedlicher Phosphatkonzentrationen	121
Tabelle 23:	Zusammenstellung für Rohwurst, die mit fermentiertem Fett hergestellt wurde.....	124

Tabelle 24:	Ausgangswassergehalte, pH-Wert-Minima und Tag der pH-Wert-Minima während der Reifung in Abhängigkeit der Trocknungsdauer bei verschiedenen Glucosekonzentrationen	152
Tabelle 25:	Ausgangswassergehalte sowie Wassergehalte nach der Trocknung der eingesetzten Brotsorten für die Verwendung in Rohwurst	154
Tabelle 26:	Zusammensetzung und Einlagemenge der unterschiedlichen Würste mit Broteinlage ohne Magerfleischvorbehandlung	155
Tabelle 27:	Zusammensetzung und Trocknungszeiten der Versuchsreihen WB1, GB1 und SB1.....	157
Tabelle 28:	Eingesetzte Rohstoffe für die Produktion von Rohwürsten mit Broteinlage (Versuchsreihe 2).....	160
Tabelle 29:	Eingesetzte Rohstoffe für die Produktion von Rohwürsten mit Broteinlage (Versuchsreihe 3).....	162
Tabelle 30:	Durchschnittliche Keimzahlen der Rohwürste mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien an den Tagen 7, 14 und 21 nach der Produktion.....	166
Tabelle 31:	Flüssigrauchkonzentration der Versuche 1a – 4a, die in Schwartenmasse eingesetzt wurde, um die Verfestigung nachzuweisen	179
Tabelle 32:	Angewandte Flüssigrauchkonzentrationen für die Zugversuche des Pyrolyseträgerstoffes	180
Tabelle 33:	Zugkraft in N nach dem Erhitzen auf 80 °C und bei 100 % rel. Luftfeuchte für 10 Min., 24 h Aushärtung	181
Tabelle 34:	Zugkraft in N nach dem Erhitzen auf 80 °C und bei 100 % rel. Luftfeuchte für 10 Min., 7 Tage Aushärten.....	182
Tabelle 35:	Zugkräfte der Holzblöcke mit Haftsubstanz bei 1 %iger Flüssigrauchzugabe und verschiedenen Ethanolkonzentrationen in der Schwartenmasse (bei 80 °C und 100 % rel. Luftfeuchte)	184
Tabelle 36:	Favorisierte Holzzusammensetzungen für das Räuchern mit der Friktionsrauchanlage Maurer mc 5, Allround-System-Rondette	200
Tabelle 37:	Ermittelte Parameter zur vorgelagerten Fermentation von Fettgewebe	202
Tabelle 38:	Trocknungsregime für die Magerfleischfraktion der Rohwurst mit vorfermentiertem Fett	203

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzungen

APZ	Aromaprofilzahl
ASU	Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren
ASZ	Aromasegmentzahl
ASZ 1-6	Aromasegmentzahl 1-6
C.	Clostridium
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage
dest.	destiliert
DLG	Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft e.V.
E.	Escherischia
EG	Europäische Gemeinschaft
Eh	Sauerstoffverfügbarkeit
EU	Europäische Union
fak.	fakultativ
GB 1-GB 6	Versuchsreihe 1-6 Rohwurst mit Graubroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
GBM	Mittelwert der Versuchsreihen 4-6 Rohwurstprobe mit Graubroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
GBoT	Versuchsreihe Rohwurst mit Graubroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
GC	Gas-Chromatographie
Geha	Gewürzmüller und Haak
Gluc.	Glucose
GSP	Glutaminat-Stärke-Phenolrot
IEP	Isoelektrischer-Punkt
K.-F.	Konkurrenzflora
KBE	Koloniebildende Einheiten
kBM	Mittelwert der Versuchsreihen 4-6 Rohwurstprobe ohne Broteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
KBoT	Versuchsreihe Rohwurst ohne Broteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
Kons	Konservierungsstoff
Lag-Phase	Anlaufphase

Log-Phase	Wachstumsphase
Magerfl.	Magerfleisch
MRS	Lactobacillus-Agar nach de. Man, Regosa und Sharpe
n	Probenumfang
n.N.	Nomen nominandum
NPS	Nitritpökelsalz
PAK	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PC	Plate-Count-Agar
PE	Penetrationseinheit
PE d14	Ergebnis der Penetrationsmessung nach 14 Tagen Reifung
PE d3	Ergebnis der Penetrationsmessung nach 3 Tagen Reifung
PE d6	Ergebnis der Penetrationsmessung nach 6 Tagen Reifung
PE-Tüten	Polyethylen-Tüten
Ref.	Referenzwert
REM	Raster-Elektronen-Mikroskop
S I	Schweinefleisch der Geha-Sortierungsklasse 1
S II	Schweinefleisch der Geha-Sortierungsklasse 2
S VIII	Schweinefleisch der Geha-Sortierungsklasse 8
S.	Staphylococcus
SB 1-SB 6	Versuchsreihe 1-6 Rohwurst mit Schwarzbroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
SBM	Mittelwert der Versuchsreihen 4-6 Rohwurstprobe mit Schwarzbroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
SBot	Versuchsreihe Rohwurst mit Schwarzbroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
V1 - V20	Versuchsreihen zur Verfahrensentwicklung mit fermentiertem Fett
WB 1-WB 6	Versuchsreihe 1-6 Rohwurst mit Weißbroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
WBM	Mittelwert der Versuchsreihen 4-6 Rohwurstprobe mit Weißbroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
WBoT	Versuchsreihe Rohwurst mit Weißbroteinlage und ohne Trocknung des Magerfleisches
YGC	Hefeextrakt-Glucose- Chloramphenicol-Agar

Symbole

a^*	Rot-Blau-Wert im $L^*a^*b^*$ -System
a_w	Wasseraktivitätswert
b^*	Gelb-Grün-Wert im $L^*a^*b^*$ -System
c	Stoffmengenkonzentration in $\text{mol}\cdot\text{m}^3$
D	Diffusionskoeffizient in m^2/s
d	Tag
E	Europäische Zusatzstoffnummer
F	Erhitzen
h	Stunde
H_0	Nullhypothese
H_A	Alternativhypothese
J	Transportierte Stoffmenge in mol
kg	Kilogramm
L^*	Helligkeitswert im $L^*a^*b^*$ -System
p	Ergebniswert des statistischen Signifikantestes
t	Zeit
x	Diffusionsweg in m

Griechische Buchstaben

α	Signifikanzniveau
φ	rel. Luftfeuchtigkeit

Chemische Symbole

CO_2	Kohlenstoffdioxid
NaCl	Natriumchlorid
NO	Stickoxid
$-\text{OH}$	Hydroxygruppe
$-\text{R}$	Rest des Moleküls

Begriffserklärung Fettfermentation:

Die Fermentation von Fett, Fettgewebe bzw. die Fettfermentation beschreibt im Zusammenhang dieser Arbeit die milchsäurebezogene Verwertung von Kohlenhydraten durch Mikroorganismen, welche an der Oberfläche und zum Teil innerhalb von Fettgewebe erfolgt. Dabei ist die Verfügbarkeit von Wasser zusätzlich zum Vorhandensein der Kohlenhydrate entscheidend, damit eine mikrobiologische Aktivität möglich ist.

1 Einleitung und Zielstellung

Die Lebensmittelindustrie ist ein sehr differenziert aufgestellter Industriezweig, der die Anwendung verschiedenster technologischer Verfahren in sich vereint (ÖLTJEN&WIESE-WILLMARING 2012). Er enthält Aufgabenbereiche, die sehr anspruchsvoll umzusetzen sind, was hochentwickelte, angepasste Methoden voraussetzt. Bei der Produktion und Vermarktung muss vorrangig das Verbraucherinteresse gesehen werden. Der Wunsch nach traditionellen Herstellungsweisen ist bei den Verbrauchern besonders ausgeprägt, auch wenn diese die geforderte Lebensmittelsicherheit und Produktqualität nicht unbedingt gewährleisten können. Insbesondere der Bereich der Fleischwaren ist hier zu nennen. Es ist durchaus üblich, die gewünschte traditionsbewusste Herstellung zu bewerben, auch wenn die tatsächlichen Herstellungsmethoden größtenteils verfahrenstechnisch dominiert sind. Die industrielle Produktion von Fleischerzeugnissen hat sich besonders aufgrund der gestiegenen hygienischen Ansprüche stark verändert (HUANG, et al. 2017).

Die Herstellungsverfahren der Fleischerzeugnisse Rohwurst, Kochwurst und Brühwurst unterscheiden sich grundlegend. Die Anforderungen an die Produkte machen die Anwendung unterschiedlicher Verfahrensführungen notwendig. Bei der Verarbeitung von thermisch unbehandeltem Ausgangsmaterial muss z.B. darauf geachtet werden, dass das Temperaturniveau während der Zerkleinerungsprozesse nicht zu hoch ansteigt. Kommt es zu einer frühzeitigen Koagulation des Muskeleiweißes, sind die funktionellen Eigenschaften verändert und es ist z.B. bei Brüh- und Rohwurst keine Schnittfestigkeit mehr zu erreichen (SIELAFF 1996).

Die angewandten Verfahren haben großen Einfluss auf die Lebensmittelsicherheit der Fleischerzeugnisse. Besonders die Haltbarkeit von thermisch unbehandelten Wurstwaren wie Rohwurst wird durch verfahrenstechnische Mechanismen, die das Wachstum von Verderbnisorganismen hemmen, bedingt.

Die Nachfrage nach hochwertigen und sicheren Fleischerzeugnissen ist in Deutschland in den letzten Jahren stark gestiegen, was eine gesicherte Produktion zum Beispiel von lang gereiften Rohwürsten schwieriger macht (N.N. 2017). Die langen Reifezeiten machen eine kurzfristige Reaktion auf den steigenden Absatz schwierig, da eine verkürzte Reifung bisher nicht zu gleichwertigen Produkten geführt hat. Durch den gestiegenen Anspruch der Verbraucher ergibt sich die Notwendigkeit die Herstellungsverfahren zu Modifizieren und sie sicher, ökonomisch sowie qualitätsorientiert auszurichten.

Innerhalb dieser Arbeit sollen verschiedene Prozesse der Fleischerzeugnisherstellung hinsichtlich ihrer verfahrenstechnischen Ausrichtung geprüft und verändert werden. Die Modifikationen sollen eine Optimierung des jeweiligen Prozesses zur Folge haben. Verbesserungen können dabei z.B. eine Zeitersparnis, ein ernährungsphysiologischer oder wirtschaftlicher Vorteil, ein erhöhter Genusswert sowie eine Kombination aus unterschiedlichen Änderungen sein.

Es sollen zwei maßgebliche Prozesse optimiert werden:

- Die Fermentation bei der Herstellung schnittfester Rohwurst mit den Teilprozessen
 - der pH-Wert-Führung, der Strukturbildung sowie der Aromatisierung soll beschleunigt ablaufen,
 - zudem soll der Einsatz von kohlenhydratreichen Einlagen in Rohwurst ermöglicht werden.
- Der Kalträucherprozess soll hinsichtlich des Rohstoffeinsatzes und der daraus folgenden Aromatisierung für Rohwurst modifiziert werden.

Bei der Modifikation des Fermentationsprozesses ergibt sich die Notwendigkeit aus den durch der Fermentation folgenden langen Produktionszeiten, die eine kurzfristige, nachfrageorientierte Herstellung unmöglich machen. Die Rohwurstherzeugung soll in kürzerer Zeit und mit sehr hochqualitativen Produkten realisiert werden. Zudem beschränkt der mikrobiologische Prozess zurzeit die Variationsbreite, da durch z.B. Kohlenhydratüberdosierungen nicht tolerierbare Qualitätsmängel, wie eine Übersäuerung, auftreten. Es können keine Einlagen wie Brot, Früchte und zum Teil Gemüsesorten genutzt werden, da diese einen hohen Kohlenhydratgehalt aufweisen. Diese Herausforderungen sollen angegangen werden, wodurch die Verfahrensführung der Rohwurstherstellung grundsätzlich verbessert wird.

Die Modifikation des Räucherprozesses erfolgt maßgeblich aus sensorischen Gesichtspunkten mit einem ökonomischen Zusatznutzen. Es sollen Holzvariationen einsetzbar gestaltet werden, was bisher nicht erzeugbare, einzigartige Aromakombinationen ermöglicht und neue Rohstoffe verwendbar macht. Das Verfahren wird variabler und es können die Räucherrohstoffkosten gesenkt werden.

Bei der Produktion von Fleischerzeugnissen werden sogenannte Hürden aufgebaut, um die Haltbarkeit zu gewährleisten. Diese Hürden stellen verschiedene Konservierungsmechanismen dar, die einzeln oder in Kombination umfassenden Einfluss gegen mikrobiologischen Verderb haben.

Bei thermisch behandelten Fleischerzeugnissen wie z.B. Brüh- und Kochwurst wird die mikrobiologische Konservierung maßgeblich durch die Temperaturbeaufschlagung realisiert. Die Temperatur beeinflusst dabei sowohl die funktionellen Eigenschaften z.B. Wasserbindevermögen und a_w -Wert sowie sensorische Eigenschaften wie die Textur und das Aroma, was zusätzlich zur Inaktivierung/Hemmung der Mikroflora beiträgt.

Die fermentative Stabilisierung von Rohfleischerzeugnissen ist in der Fleischindustrie ein gängiges Verfahren zur Herstellung diverser Produkte mit verschiedensten sensorischen Eigenschaften wie Schinken, Salami, Teewurst etc. Bei richtiger Anwendung und Handhabung im Produktionsprozess ermöglicht dieses Verfahren ein sehr sicheres Endprodukt (N.N. 1992).

Produkte wie Rohwürste haben eine hohe Wertsteigerung durch die Prozessierung und die daraus folgende Erzeugung besonderer, beliebter sensorischer Eigenschaften.

Rohwurst wird aus unbehandeltem Einsatzmaterial hergestellt und erfährt während des gesamten Produktionsablaufs keine thermische Behandlung (LEROY, et al. 2006), was die große technologische Herausforderung bedingt und das Hürdensystem so bedeutend für diese Produktgruppe macht.

Das eingesetzte **Hürdensystem** besteht aus nacheinander beginnenden, sich überschneidenden, natürlichen Konservierungsverfahren, die einem mikrobiologischen Verderb entgegenwirken. (BUCKENHÜSKES 1993, LEISTNER 2002) Die Hürden der traditionellen Rohwurstherstellung laufen in der Reihenfolge

- Konservierungsstoff (Kons.),
- Sauerstoffverfügbarkeit (Eh),
- Konkurrenzflora (K.-F.),
- Säureproduktion (pH) und
- Trocknung (a_w) ab.

Die Ausprägung und Abfolge der Hürden sind aus den historischen Gegebenheiten bei der Entstehung der Rohwurstproduktion hervorgegangen. Das Fleisch wurde mit nitrathaltigem Meersalz behandelt, gewürzt und bei kühlen Temperaturen gelagert, wobei es zur Milchsäurebildung durch ubiquitär vorkommende Milchsäurebakterien aus dem fleischeigenen Glykogen kam. Während dieser Zeit wurde der Sauerstoff im System abgebaut, die Milchsäurebakterien vermehrten sich und freies Wasser wurde partiell abgegeben.

Im Zuge der Industrialisierung der Produktion von Rohwurst wurden verschiedene Prozesse angepasst. Es wurden bessere hygienische Bedingungen eingeführt, die Konservierungsmittel Nitrat und Nitrit isoliert und definiert zugegeben, Starterkulturen zur Sicherung der Produktion selektiert, verbesserte Hüllmaterialien entwickelt und auf die Reifung ausgerichtete Klimatisierungsanlagen eingesetzt. Auf diese Weise wurde die Stärke der Hürden beeinflusst und die Produktionssicherheit erhöht, was Voraussetzung für die angestrebten Modifikationen ist. Die Reihenfolge der Hürden und die damit verbundenen technologischen Eigenschaften wurden jedoch, bis auf wenige Ausnahmen wie z.B. bei einem vorgelagerten Ablaken, nicht verändert (N.N. 1969).

Innerhalb dieser Arbeit soll eine Veränderung der Hürdenpriorität mit dem Ziel der Prozessoptimierung der Rohwurstreifung durchgeführt werden, wodurch eine schnellere und sichere Rohwurstherstellung ermöglicht wird. Während dieses Schrittes werden die ablaufenden Einzelprozesse Fermentation und Wasserabgabe untersucht.

Die konventionelle Abfolge der Hürden ist bei der Rohwurstherstellung zwar ebenfalls technologisch bedingt und sinnvoll, aber durch die verbesserte Situation im hygienischen Bereich sowie der Entwicklungen in der Starterkulturtechnologie ist eine Änderung der Hürdenabfolge und dadurch eine Optimierung der Herstellungszeit überfällig.

Modifizierungen in der Rohwursttechnologie beziehen sich insbesondere auf die Prozesse der Fermentation und im Speziellen auf die Geschwindigkeit und Ausprägung der pH-Wert-Senkung und Wasserverfügbarkeit für mikrobiologische Prozesse bzw. das Einstellen des a_w -Wertes. Vor

allem das Einsetzen der a_w -Wert-Hürde beginnt spät im Prozess und ist immer mit der Wasserabgabe aus dem in Hüllen gefüllten Produkt verknüpft. Eine Veränderung des Hürdensystems führt zu veränderten Fermentationsbedingungen, die sowohl eine sichere wie auch schnellere Herstellung zulassen. Zusätzlich ermöglicht die Modifikation der Verfahrensführung den Einsatz neuer Rohstoffe, die die Produktvielfalt bei Haltbarmachung durch das Hürdensystem erhöhen. Es soll bei der Bearbeitung zu verschiedenen Veränderungen des Hürdensystems kommen, die die Reihenfolge und interne Beeinflussung der Hürden modifizieren und das Produktionsverfahren qualifizieren.

Das konventionelle Hürdensystem für Rohwurst beginnt mit der ersten Hürde, der Zugabe von Konservierungsmitteln. Im Fleischbereich wird beispielsweise Nitritpökelsalz (NPS) zugegeben, um das Wachstum von Salmonellen und Clostridien einzuschränken (LEISTNER 2002). Ein zusätzlicher Effekt des Nitrits in der Rohwurstproduktion besteht in der Farbstabilisierung des Muskelfarbstoffes Myoglobin (THIEMIG 2010).

Die zweite Hürde besteht in der Reduzierung der Sauerstoffverfügbarkeit durch den Abschluss der Inhaltsstoffe vom Luftsauerstoff durch eine Diffusionsbarriere in Form einer Hülle, den Verbrauch des Sauerstoffs durch aerobe Mikroorganismen sowie unter Umständen dem Einsatz von Antioxidationsmitteln. Der Eh-Wert sinkt infolge der Maßnahmen in den ersten Stunden nach der Produktion ab (SIELAFF 1996). Der Ausschluss und Verbrauch von Sauerstoff schränkt dabei die Vermehrungsfähigkeit von aeroben Mikroorganismen entscheidend ein (N.N. 1990). Die Sauerstoffreduzierung hat weiterhin einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der Starterkulturen. Diese sind meist anaerobe Mischkulturen, deren Einsatz erfolgt, um die gewünschte Stabilisierung und Aromatisierung des Produktes zu erzielen und die Produktionssicherheit zu erhöhen.

Der anaerobe Stoffwechsel der Starterkulturen auf der Basis von Kohlenhydraten stellt durch eine pH-Wert-Absenkung im Produkt eine weitere Hürde dar (LEISTNER 1985). Der resultierende erhöhte Milchsäuregehalt fördert das Wachstum von säuretoleranten Mikroorganismen und hemmt damit das Wachstum unerwünschter, aerober Mikroorganismen (LEISTNER 1995).

Die Langzeitstabilisierung der Produkte erfolgt durch die Absenkung des frei verfügbaren Wassers innerhalb eines Produktes (a_w -Wert-Senkung). Bei dessen Senkung steht entsprechend reduziert Wasser für mikrobiologische Prozesse zur Verfügung und die Aktivität der Mikroorganismen wird, mit Ausnahme von wenigen xerophilen Hefen und Schimmelpilzen an der Produktoberfläche, eingeschränkt. Deren Wachstum kann bei Bedarf jedoch durch eine Kontaktierung der Oberfläche mit Räucherrauch entgegengewirkt werden.

Der Einsatz von Räucherrauch hat neben der mikrobiologischen Wirkung eine Aromatisierung zur Folge. Diese Aromatisierung ist besonders in Nordeuropa sehr beliebt und wird bei der Rohwurstproduktion nahezu durchgängig eingesetzt.

Traditionell findet die Aromatisierung durch Glimmrauch Akzeptanz. Insbesondere bei kaltgeräucherten Produkten kommt es zu einer charakteristischen Aromaausprägung. Da nicht alle Raucherzeugungsverfahren diesem Anspruch gerecht werden, soll innerhalb dieser Arbeit eine verfahrenstechnische Lösung zur Angleichung des Friktionsräucherverfahrens an das Glimmrauchverfahren erfolgen. Der Räucherrauch wird aus unbehandeltem Holz gewonnen und

durch Pyrolyse erzeugt. Dabei wird das Holz bei hohen Temperaturen verschwelt und der Rauch zur Produktoberfläche geleitet, wo er kondensiert. Die konservierende Wirkung beruht dabei stark auf dem Inhaltsstoff Formaldehyd, der zusätzlich eine Härtung von Naturdärmen bzw. kollagenem Material hervorruft. Zudem sind das Räucheraroma und die durch den Rauch erzeugte Oberflächenfärbung typisch für viele Fleisch- und Wurstwaren.

Die Raucherzeugung durch Pyrolyse des Holzes kann mit diversen Verfahren erfolgen. Es sind das direkte Verglimmen durch Entzünden des Räuchermaterials oder durch Energiezuführung mit einer Heizschlange oder Gasflamme möglich. Es kann jedoch auch im heißen Luft- oder Dampfstrom verschwelt werden. Zudem ist die Energiezufuhr durch Reibung (Friktion) ein gängiges Verfahren zur Raucherzeugung. Das Friktionsrauchverfahren hat gegenüber den anderen Verfahren einige Vorteile, weshalb es vermehrt angewendet wird. Die Gas- oder Dampfstromverfahren leiten das erwärmte Heizmedium mit in die Räucherammer, wodurch ein Kalträuchern nicht möglich ist. Das klassische Glimmrauchverfahren sowie die indirekten Formen des Verschwelens erzeugen hohe Raucherzeugungstemperaturen, bei denen die Bildung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) begünstigt wird. Zudem ist immer eine erhöhte Gefahr durch das brennende/schwelende Holzmaterial gegeben, was die Betriebssicherheit verringert.

Beim Friktionsrauchverfahren wird der Rauch bei niedrigen Temperaturen erzeugt, was die Bildung der PAK reduziert und somit gesundheitlich bessere Produkte verspricht. Es gibt jedoch eine Abweichung der Aromen. Das eingesetzte Räuchermaterial ist teurer als beim Glimmrauchverfahren, da beim Friktionsrauchverfahren massive Holzblöcke Verwendung finden, die meist aus Hartholz bestehen. Ein Nachteil, den es durch die Modifikation des Verfahrens auszugleichen gilt.

Fermentationstechnologie von Rohwürsten:

Durch eine Vorbehandlung der Fettbestandteile durch gezielte Beeinflussung der Mikroflora soll die Ausgangssituation der Reifung verbessert werden. Die mit den Starterkulturen zugegebenen Keimarten setzen sich durch und es kann schneller zur Ausbildung der pH-Wert-Hürde und der Konkurrenzflora kommen. Weiterhin soll die a_w -Wert-Hürde früher einsetzen und so die Lebensmittelsicherheit verbessert werden. Dieses kann durch Zugabe verschiedener wasserbindender Stoffe, eine Verbesserung der Wasserbindung des Fleisches durch Zusätze oder durch eine geeignete Vortrocknung geschehen. So kann gewährleistet werden, dass zu Beginn der Reifung die Hürde der Konkurrenzflora, kurz darauf die pH-Wert-Hürde und bei Erreichen des pH-Wert-Minimums auch die a_w -Wert-Hürde aufgebaut sind.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Aktivität hinsichtlich der Milchsäurebildung durch eine Modifikation des Wassergehaltes zu verändern. Die Beeinflussung des pH-Wertes durch den Wassergehalt basiert auf der These, dass eine Steuerung der Fermentation durch die Wasserverfügbarkeit für das mikrobiologische Wachstum möglich ist. Dazu wird der Wassergehalt so weit eingeschränkt, dass es erst zu einem pH-Wert-Abfall kommt und ab einem zu ermittelnden Wassergehalt die Milchsäureproduktion eingeschränkt wird. Dadurch kann das

pH-Wert-Minimum eingegrenzt werden und die Fermentation auch bei abweichenden Kriterien wie einem Kohlenhydratüberschuss oder erhöhter Temperatur erfolgen. Bei Gewährleistung einer Fermentation mit erhöhter Kohlenhydratkonzentration wird ein Einsatz von kohlenhydratreichen Einlagen wie Brot oder Früchten mit hohem Zuckergehalt realisierbar. Diese Rohstoffe sind bisher aufgrund der starken Beeinflussung der Fermentation nicht nutzbar.

Räuchertechnologie:

Um die Aromatisierung durch das weit verbreitete Friktionsrauchverfahren dem Glimmrauchverfahren gleichzusetzen, werden Modifikationen der Räucherrohstoffzusammensetzung vorgenommen. Es werden unterschiedliche Holzarten eingesetzt, die durch ein neuartiges Kombinationsverfahren auch in Mischungen verwendbar sein sollen. Dadurch soll der entstehende Rauch die Vorteile des Friktionsrauchverfahrens mit einer Verbesserung des Aromas verbinden. Die Vorteile sind eine Verringerung der Emission von Rauch in die Umwelt, ein geringerer Energieeintrag als beim gesteuerten Verglimmen von Sägespänen und ein niedriger Gehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Rauch sowie auf den Produkten. Sensorische Abweichungen sollen durch die gezielte Rohstoffauswahl des Räucherholzes eingeschränkt bzw. beseitigt werden.

2 Stand der Technik

Bei der Herstellung von Fleischwaren kommen diverse technologische Prozesse zur Anwendung. Das können beispielsweise eine thermische Beeinflussung der Produkte, fermentative Verfahren oder auch die gezielte Zerkleinerung von Rohstoffen sein.

Für die Auslegung eines Prozesses werden Zielstellungen formuliert, die durch eine Einwirkung mit steuerbaren Parametern erreicht werden. Dabei wird ein Rohstoff in den Prozess eingegeben, es kommt zu einer Verarbeitung, die im Ausgang ein Produkt zur Folge hat. Ein Prozess muss immer wertschöpfend sein und aus dem Rohstoff einen Vorteil für den Verbraucher oder den nächsten Prozessschritt schaffen (MAU 2003).

Am Beispiel der Zerkleinerung heißt das:

- Das Gut kommt mit einer bestimmten Partikulierung in den Prozess.
- Es wird durch eine Einwirkung wie Schneiden zerkleinert, bei der die Messergeschwindigkeit, die Schnittfrequenz und Prozessdauer mögliche Steuerungsparameter sind.
- Es entsteht ein Produkt mit geringerer Partikulierung und dem Prozess entsprechender Größenverteilung.

Bei der Rohwurstherstellung sind die mikrobiologischen Prozesse besonders bedeutungsvoll. Hier sind unterschiedliche Parameter gegeben, durch die die Produktsicherheit sowie die Anforderungen an die Verfahrensführung beeinflusst werden. Insbesondere der Wassergehalt, das Wasserbindevermögen, der a_w -Wert und der pH-Wert sowie die Entwicklung der Mikroorganismen sind während der Reifung von Interesse.

2.1 Rohwurst

„Rohwürste sind in der Regel umgerötete, ungekühlt (über +10 °C) lagerfähige, in der Regel roh zum Verzehr gelangende Wurstwaren, die streichfähig oder nach einer mit Austrocknung verbundenen Reifung schnittfest geworden sind. Zucker werden in einer Menge von nicht mehr als 2 % zugesetzt (GMBL 1974).“

Rohwürste sind Fleischerzeugnisse, die aus thermisch unbehandeltem Grundmaterial erzeugt werden und während der Lagerung, meist bis zum Verzehr, keine thermische Behandlung erfahren (FREY 2014). Rohwurst ist eine der beliebtesten Aufschnittwaren und hat im Vergleich zu den Wurstsorten Brüh- und Kochwurst eine hohe Wertschöpfung. Bei der Herstellung sind jedoch Lager- und Reifekonditionen einzuhalten, die relativ kostenintensiv sind. Sie müssen in die Berechnung einbezogen werden. Aus technologischer Sicht ist die Rohwurst eines der anspruchsvollsten Wurstprodukte, da durch die unbehandelten Ausgangsprodukte ein hohes Verderbnisrisiko besteht. Dieses Verderbnisrisiko muss auf technologischem Weg minimiert werden. Zur Anwendung kommt das Hürdenprinzip. Durch verschiedene Hürden werden die Eigenschaften von Mikroorganismen ausgenutzt, die eine Inaktivierung von Schadkeimen zur Folge haben.

Rohwürste lassen sich vorrangig in zwei Kategorien unterteilen, schnittfeste und streichfähige Rohwürste. (RIMBACH, et al. 2010) Streichfähige Rohwürste sind z.B. Mettwürste und Teewürste. Schnittfeste Würste bieten eine breitere Variation. Es gibt Sorten wie Salami, Cervelatwurst, Coppa di Parma, Plockwurst oder Landjäger. Diese unterscheiden sich in der Rezepturgestaltung, der Textur, dem Reifeverfahren, dem Einsatz von Mikroorganismen sowie in der Räucherung. Salami war im Zeitraum von Juli 2015 bis Juli 2016 z.B. mit 2,6 kg Einkaufsmenge je Privathaushalt die am meisten gehandelte Wurstsorte in Deutschland (BVDF 2014). Dieser hohe Verbrauch resultiert aus dem hohen Genusswert, aber auch der vielfältigen Verwendung z.B. als Pizzabelag. Der starke Konsum belegt die Notwendigkeit, neue verbesserte Produktionsmethoden zu erforschen, mit denen eine schnellere und leistungsfähigere Produktion gewährleistet werden kann. Die Steigerung des weltweiten Fleischverzehrs durch die Zunahme der Weltbevölkerung erhöht die benötigte Menge Rohwurst zusätzlich, insbesondere da wertvolles Fleischprotein ungekühlt lagerfähig verfügbar gemacht werden kann. Innerhalb dieser Arbeit liegt der Fokus auf schnittfester, lang gereifter Rohwurst, so dass sich alle Angaben zur Herstellungstechnologie wie Reifung, Mikroflora, Rezeptur, Aroma und Texturbildung darauf beziehen.

2.1.1 Rohwursttechnologie

Obwohl die Rohwurstproduktion einer der anspruchsvollsten Abläufe der Fleischerzeugnisproduktion ist (ESCUDERO 2014, KOCH 1988, SCHEID 1971), entsteht bei ordnungsgemäßer Produktion und Handhabung ein sehr sicheres Fleischerzeugnis (GAREIS 2013, KABISCH, et al. 2012). Entscheidend für das Produkt ist, dass entsprechend der Namensgebung keine thermische Behandlung (Temperaturen $> 35^{\circ}\text{C}$) erfolgt (KOCH 1988). Bei der Behandlung in höheren Temperaturbereichen kommt es zu Denaturierungserscheinungen und einer Beeinflussung des Aromas, die ein fehlerhaftes untypisches Erzeugnis zur Folge haben. Dies zeigt sich in Farbveränderungen sowie einer Überbetonung des Säurecharakters durch die vermehrte Milchsäurebildung. Die Wahl der Reifetemperatur beeinflusst auch bei der konventionellen Herstellung die Produkte. Es können Reife-/Fermentationstemperaturen gewählt werden, die bei ca. 30°C liegen, wodurch jedoch schlecht aromatisierte, meist stark gesäuerte Produkte erzeugt werden. Die Verkürzung der Reifungszeit durch eine Erhöhung der Reifetemperaturen ist demnach nur begrenzt zielführend. Geringere Temperaturen zwischen 15 und 20°C sind üblicher und sorgen für eine bessere Aromatisierung. Teilweise werden auch Temperaturen zwischen 5 und 10°C gewählt. Diese niedrigen Reifetemperaturen kommen zum Beispiel bei der Verwendung von Nitrat als Konservierungsmittel zum Einsatz, da die Konservierungsmittelhürde erst durch die Reduktion des Nitrats zu Nitrit aufgebaut werden muss und die Kühlung einen vorzeitigen Verderb verhindert (LEROY, VERLUYTEN 2006, N.N. 1992).

Herstellung von Rohwurst

In der Regel wird zur Produktion von Rohwurst Schweine- oder Rindfleisch mit geringem Bindegewebsanteil und geringem Fettgehalt eingesetzt (FREY 2014, SIELAFF 1996). Wichtig ist es den Bindegewebsgehalt gering zu halten, da das Bindegewebe nicht wie bei thermisch behandelten Produkten in Gelatine überführt wird und als zähe Faser im Produkt verbleibt. Die Bindegewebsfasern werden im Normalfall von den Messern im Schneidmischer nicht ausreichend zerkleinert (SCHMIDT 1953, SIELAFF 1996).

Das Fleisch wird unter Zusatz von Gewürzen und Zusätzen zerkleinert, in Wursthüllen gefüllt und gereift. Fleisch ist grundsätzlich ein hervorragendes Medium für mikrobiologisches Wachstum, das sich durch die Zusammensetzung und die gute Wasserverfügbarkeit auszeichnet. Die mikrobiologische Qualität des Fleisches ist für Rohwurst von größerer Bedeutung als für Wurstsorten mit einem thermischen Konservierungsschritt (BRANSCHIED, et al. 2007, FREY 2014), da das mikrobiologische Reifeverfahren eine geringe Keimbelastung als Voraussetzung hat (KRÖCKEL 2013). Die vorliegende Mikroflora kann ansonsten die zugegebenen Starterkulturen im Wachstum behindern, im Extremfall sogar überwachsen (WEBER 1996). Diese Gefahr kommt insbesondere bei Nichteinhaltung der geforderten Hygiene und der Reifeparameter zum Tragen. Zudem sollte das Fleisch dahingehend durch die Fleischreifung konditioniert sein, dass der pH-Wert zwischen 6,0 und 5,5 liegt. Der niedrige pH-Wert sorgt für eine Schrumpfung der Myofibrillen und so für eine Erweiterung der Kapillarräume, wodurch die Wasserabgabe begünstigt wird (SIELAFF 1996). Das Fettgewebe sollte frisch, weiß, fest und kernig sein (KOCH 1988), da ein zu weiches Fett das Produkt in der Textur verändert. Die Farbe des Fettes ist für das Schnittbild von Bedeutung (SIELAFF 1996), da ein gelbes Fett im Produkt unansehnlich wirkt. Wichtig ist zudem, dass die Zerkleinerung des Fettes im gut gekühlten bzw. gefrorenen Zustand erfolgt, da nur so glatte Schnittkanten am Fett zu erreichen sind und ein Fettaustritt vermieden werden kann (ŠIKIĆ 1980).

Für die Produktion von Rohwürsten ist der Einsatz verschiedener Wursthüllen möglich (ESCUDERO 2014, LANG&EFFENBERGER 2006, WILFER 2005). Grundsätzlich sollen die Hüllen für Rohwurst einen gewissen Grad der Permeabilität besitzen, damit es zu einer Wasserabgabe während der Reifung und einer Aufnahme des Raucharomas während des Räucherschrittes kommen kann (ESCUDERO 2014).

Für die Ausbildung des Aromas und der typischen Textur sind weitere Zusatzstoffe und Zutaten notwendig. Die Gestaltung der Rezeptur ist dabei mitbestimmend für die spätere Qualität und die mikrobiologische Stabilität der Produkte (REIMOLD 2009). Es kommen verschiedenste Gewürze wie Pfeffer, Kümmel, Koriander, Knoblauch, Thymian, Sellerie und weitere zum Einsatz, die teilweise antimikrobiologisches Potential besitzen (DOBBERSTEIN, et al. 2012).

Die Rohwurstproduktion ist im Vergleich zur Herstellung der meisten anderen Wurstsorten ein zeitintensiver Prozess. Dabei fällt der Anteil der Brätbereitung relativ gering aus. Der größte Zeitfaktor ergibt sich aus der Reifung, also den mikrobiologischen und chemisch-physikalischen Prozessen nach dem Füllen des Brätes in die Wursthüllen.

Die Herstellung des Brätes von schnittfester Rohwurst findet häufig entsprechend dem Schema in Abbildung 1 statt.

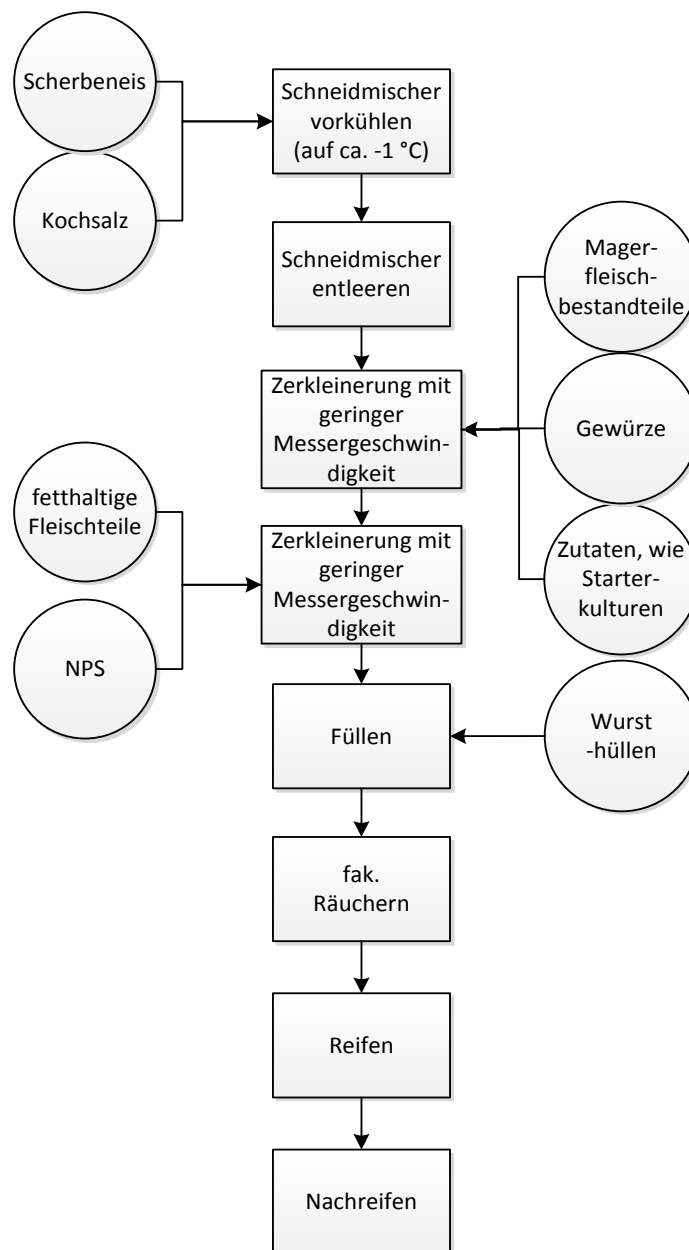


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Herstellungsablaufs von schnittfester Rohwurst im Schneidmischer oder Kutter nach KOCH (KOCH 1988)

Bei der Produktion werden, um klare Schnittbilder zu erzeugen und Reibung sowie negative Veränderungen der Materialien beim Zerkleinern zu vermeiden, gekühlte bzw. gefrorene Rohstoffe verwendet. Es gibt grundsätzlich vier Zerkleinerungsgeräte, mit denen Rohwurst produziert werden kann: den Schneidmischer, den Kutter, den Wolf und den Füllwolf (BÜCHELE 2013). Im behandelten Fall soll der Schneidmischer zur Produktion verwendet werden, da er eine geringe mechanische Belastung auf das Fett ausübt. Zudem sind die Anordnung und Schärfe der Messer für das spätere Schnittbild der Rohwurst wichtig, da es leicht zu Veränderungen des Fettes und dadurch zu einem unklaren Schnittbild kommen kann (N.N. 2011).

Die Schüssel des Schneidmischers wird vor der Produktion mit Eis gekühlt, um ein unmittelbares erwärmen der Rohstoffe zu verhindern (ESCUADERO 2014). Die Magerfleischbestandteile mit den Gewürzen und Zutaten werden in die trockene Kutterschüssel gegeben und zerkleinert. Hohe Messergeschwindigkeiten können durch einen hohen Energieeintrag eine Erwärmung des Brätes hervorrufen, was zu vermeiden ist. Partiiell kommt es bei der Zerkleinerung mit hohen Messergeschwindigkeiten zu Temperaturspitzen, die auch bei geringeren Brättemperaturen die Strukturbildung beeinflussen können (THIEMIG 2010). Bei gewünschter Partikulierung des Magerfleisches kommen die fetthaltigen Fleischteile, vornehmlich Nackenspeck, hinzu. Das Fett ist ebenso gekühlt oder gefroren. Die Zugabe des Pökelsalzes erfolgt zeitgleich mit dem Fett, damit während der Fettzerkleinerung ein Lösen der Proteine aus dem Magerfleisch erfolgt, wodurch die Umhüllung und das Einbinden des Fettes in die Magerfleischmatrix verbessert werden. Durch die Salzzugabe kommt es zum sogenannten Einsalzeffekt (PÜSCHEL, et al. 2011, TERNES 1998). Das Fleisch erhält ein verbessertes Wasserbindevermögen, wodurch sich das Verhalten des Bräts ändert (SCHEID 1971). Es zeigt ein verstärktes Kohäsionsverhalten und liegt in großen Agglomeraten im Schneidraum des Zerkleinerungsgerätes vor. Nachfolgend wird bis zur geforderten Fettpartikelgröße zerkleinert. Das Magerfleisch besitzt durch die zeitversetzte Zugabe des Fettes immer eine geringere Partikulierung als das Fett und kann so die Fettpartikel umhüllen und besser in das Proteingefüge einbinden. Durch die Zerkleinerung der Muskelfasern wird das Sarkolemm teilweise zerstört und der Inhalt der Zellen kann sich in der kontinuierlichen Phase verteilen. Es erfolgt ein Austritt von Sarkoplasmprotein. Das zugegebene Kochsalz sorgt zudem für eine verbesserte Quellung der Myofibrillen und unterstützt die Hydratation der Proteine (TERNES 1998, TOLDRA 2010). Durch diesen Vorgang kann die typische Schnittfestigkeit erreicht werden (SIELAFF 1996), da die gelösten Proteine während der Reifung ein Gel bilden, dessen Netzwerk bei der Trocknung erhalten bleibt. Das Brät sollte nach der Herstellung eine niedrige Temperatur von ca. -4 bis 0 °C besitzen, um ein Schmieren während des Füllvorganges zu verhindern (PICK 1999, TERNES 1998).

Die Reifung kann nach verschiedenen Reifeverfahren durchgeführt werden:

- dem Naturreifeverfahren,
- dem modifizierten Naturreifeverfahren und
- der Klimareifung.

Sie unterscheiden sich in der Steuerung der externen Reifeparameter Temperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit (SIELAFF 1996, WIBERG GMBH).

Beim **Naturreifeverfahren** findet keine Steuerung der Reifeparameter statt (PRÄNDL, et al. 1988). Es sind die ortsgebundenen Gegebenheiten, die zur Reifung der Würste geeignet sein müssen. So werden Würste in Berghöhlen oder Kellern gereift, in denen konstante klimatische Bedingungen herrschen. Die Temperatur darf während der Reifung nicht zu hoch sein und nicht zu stark schwanken, was zu Produkten wie Sommersalami geführt hat, die im Winter produziert und im Sommer verkauft wurden (LEISTNER 1985). Das Naturreifeverfahren war Anfang des 20. Jahrhunderts Stand der Technik (SCHEID 1971), wird heute jedoch nur in noch seltenen Fällen

eingesetzt, da die Produktionszeit eingeengt ist und sich die Reifung nicht steuern lässt (SIELAFF 1996).

Beim **modifizierten Naturreifeverfahren** werden wenige Parameter durch Eingriffe gesteuert. So kann eine Regelung der Temperatur erfolgen und in Grenzen die Luftfeuchtigkeit durch Verdunstung beeinflusst werden. Auch durch eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit mit Ventilatoren ist es möglich, das Naturreifeverfahren anzupassen. Mitte des 20. Jahrhunderts war die modifizierte Naturreifung eine aktuelle Methode (SCHEID 1971).

Die gängigste Methode ist die Reifung mit dem **Klimareifeverfahren**, bei dem alle externen Parameter steuerbar sind und so die Reifung immer unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden kann (BOZZINI 2008). Dieses Verfahren hat Vorteile in Bezug auf die Konstanz der Produktqualität. Es ist jedoch durch die Eingriffe in die Umgebungsbedingungen sowohl bei den Investitionskosten als auch im Betrieb das kostenintensivste Verfahren zur Rohwurstreifung. Insbesondere die Regelung der Luftfeuchte mit Wasserdampf und das Einhalten der Temperatur sind energieintensiv. In neueren Anlagen wird deshalb die Befeuchtung mit feinst versprühenden Düsensystemen durchgeführt (BORATTO 2014, VEMAG ANLAGENBAU GMBH 2014).

Durch die Steuerung der Parameter wird der Rohwursthersteller in die Lage versetzt, schnittfeste Rohwürste schon nach 4-10 Tagen anbieten zu können. Diese besitzen zwar die geforderte Schnittfestigkeit, haben jedoch durch die kurze, meist chemische Säuerung kein gut ausgeprägtes Rohwurstaroma. Lang gereifte Dauerwaren hingegen benötigen 3-5 Wochen oder länger (SIELAFF 1996), bis sie die gewünschte Qualität besitzen.

In Tabelle 1 sind die langsame Reifung und das Schnellreifeverfahren gegenübergestellt. Die angegebenen Steuerungsparameter sind die verwendeten Zusatzstoffe, im Speziellen Pökelfstoffe und Kohlenhydrate, die Reifetemperatur, die rel. Luftfeuchtigkeit φ , die Luftgeschwindigkeit und die Reifezeit. Die Temperatur hat Einfluss auf die Festigkeit der Rohwurst (STAHNKE 1994). Durch höhere Temperaturen entstehen im Allgemeinen weichere Produkte. Die Wasserabgabe während der Reifung wird im Wesentlichen durch die rel. Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit beeinflusst. Die Trocknung der Würste wird jedoch durch die Diffusion des Wassers vom Inneren der Wurst zur Oberfläche und dem Proteinverhalten z.B. in Form von Trockenrandbildung beschränkt (LEROY, VERLUYTEN 2006). Der Kochsalzgehalt hat in den sensorisch akzeptablen Grenzen nur geringen Einfluss auf pH-Wert-Verlauf und a_w -Wert und ist vor allem sensorisch von Bedeutung (P.A. BAUMGARTNER 1980).

Tabelle 1: Vergleich der Reifeverfahren bei schnittfester Rohwurst und Dauerrohwrurst (SIELAFF 1996)

Verfahren	Langsame Reifung	Schnellreifung
Zusatzstoffe	NPS (oder Salz und Salpeter) 0,2 - 0,6 % Trockenstärkesirup bzw. Rüben oder Rohrzucker	NPS 0,6 - 1,0 % Zuckerstoffe bestehend aus Rüben- und zusätzlich Traubenzucker, Starterkulturen, Ascorbinsäure
Reifetemperatur ¹ - Vorklimatisierung - Räucherprozess - Nachreifen	15-25 °C 15-20 °C, z.T. bis 24 °C 12-16 °C	15-25 °C 20-28 °C (bei Starterkultureinsatz höhere Temperaturen)
Relative Luftfeuchtigkeit - Vorklimatisierung - danach - a_w-Wert der Wurst jeweils	< 60 % 95-90-85-80-75-70 % (Kammer) 7 - 5 % über ϕ	< 60 % 95-90-85-80 % (Kammer) Feste Abfolge von Stufen
Strömungsgeschwindigkeit der Luft - Vorklimatisierung - Räuchern / Reifen - Nachreifen	0,5-0,7 m/s 0,1-0,3 m/s 0,2-0,05 m/s	0,5-0,7 m/s 0,1-0,3 m/s 0,1-0,3 m/s
Dauer - Vorklimatisierung - Räuchern - Nachreifen	6-12 Stunden 2-6 Tage 3-8 Wochen	6-12 Stunden 1-3 Tage 1-3 Tage

¹liegt bei langsam reifenden, luftgetrockneten Würsten (fermentierte Rohwürste) zwischen 12 – 15 °C

2.1.2 Haltbarmachung durch Hürdentechnologie

Die Hürdentechnologie ist ein Zusammenspiel verschiedener Konservierungsmethoden, um Lebensmittel während aller Phasen ihres Bestehens zu konservieren (LEISTNER&GOULD 2002, TERNES 1998). Dabei kann nur eine Hürde, wie Kühlung der Rohwaren oder eine Kombination von Hürden, wie bei der Rohwurstherstellung erfolgen. Die Haltbarmachung durch die Hürdentechnologie ist in der gesamten Lebensmittelindustrie präsent und ist grundsätzlich bei jedem Produkt anwendbar (LEISTNER 2002). Die Konservierung kann sich dabei auf chemischen, physikalischen, enzymatischen oder mikrobiologischen Verderb beziehen (LEISTNER&GOULD 2002, PILECKY 2011). Verschiedene, durch Hürden stabilisierte Lebensmittel, sind Zwieback, Sauerkraut oder Honig. Sie weisen alle eine besonders ausgeprägte Hürde auf. So haben Zwieback und Honig besonders geringe a_w-Werte. Sauerkraut hat einen sehr geringen pH-Wert und besitzt, da es ebenfalls ein Fermentationsprodukt ist, eine ausgeprägte Lactobazillenflora, welche Konkurrenz Bakterien im Wachstum behindern. Produkte mit so vielfältiger Hürdenkombination wie Rohwurst hingegen sind selten. Rohwurst wird unter Einsatz von 5 ausgebildeten Hürden stabilisiert und ist dadurch eines der am lagerfähigsten Fleischprodukte.

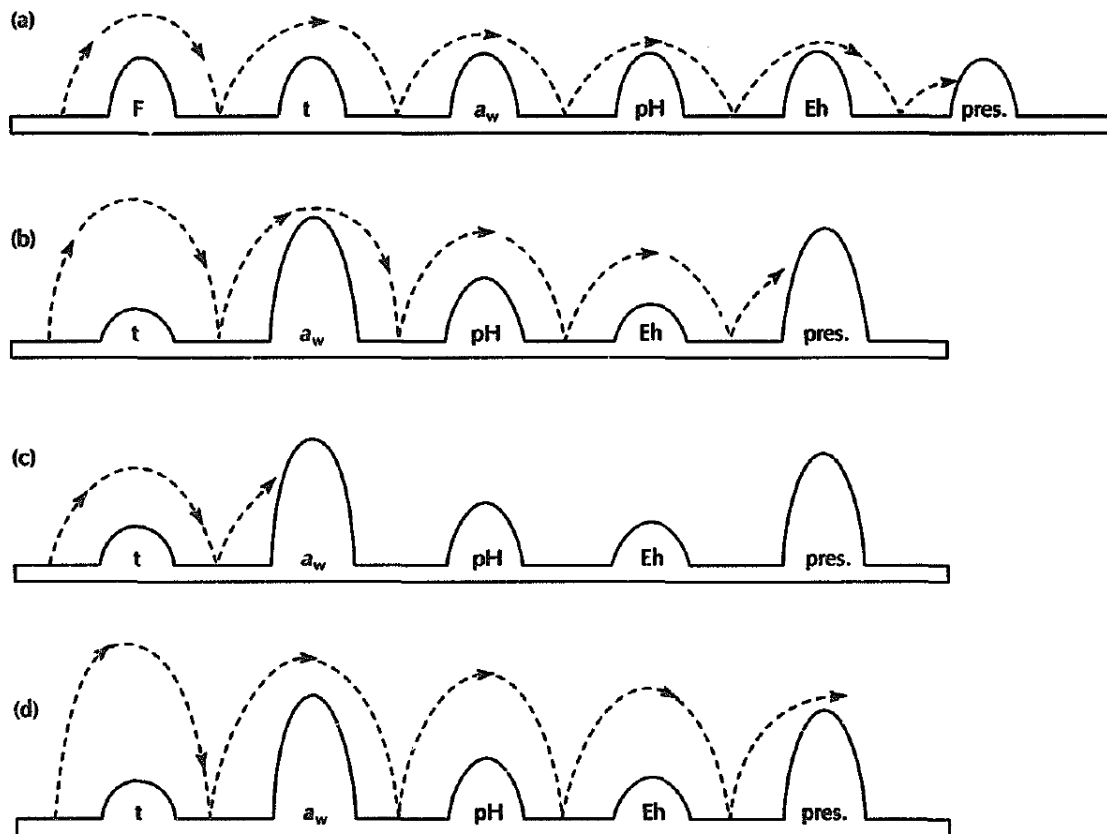


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Hürdensystems mit verschiedenen Hürden (F=Erhitzen; t=Kühlen; a_w =Wasseraktivität; pH=pH-Wert; pres.=Konservierungsstoffe) und $\rightarrow$ als Kennzeichnung für die Keime (HENNEY, et al. 2010, LEISTNER 1995)

Die Abbildung 2 zeigt unterschiedliche Beispiele für den Einsatz mehrerer Hürden zur Konservierung von Lebensmitteln und dem Schutz vor mikrobiologischem Verderb. Einzelne Hürden bieten unter Umständen keinen ausreichenden Schutz gegen die Verderbnisorganismen. Eine intelligente Kombination von Konservierungsmechanismen hingegen schwächt die Mikroorganismenpopulation der Schadkeime so stark, dass sie nicht in der Lage ist, alle Hürden zu überwinden. Es entsteht ein mikrobiologisch sicheres Produkt. Die mit den Buchstaben a – c bezeichneten Modelle zeigen wirksame Hürdensysteme, bei denen die Keime (gekennzeichnet durch $\rightarrow$) die Hürden (—) nicht überwinden können. Das Modell d ist ein nicht wirksames Hürdensystem. Die Keime überwinden alle Hürden und bleiben vermehrungsfähig.

Nachfolgend werden die im System Rohwurst aktiven Hürden erläutert, um den Einfluss und die Mechanismen während der Reifung zu verdeutlichen.

Als erste Hürde setzt die Wirkung der zugegebenen Konservierungsmittel Natriumnitrit oder Natriumnitrat ein. Bei der Rohwurstproduktion dürfen Natrium- (E 250) und Kaliumnitrit (E 249) sowie Natrium- (E 251) und Kaliumnitrat (E 252) als **Konservierungsstoffe** eingesetzt werden (LEISTNER 1995, THIEMIG 2010). Die Verwendung von Nitrat ist dabei auf Rohwürste beschränkt, die mindestens vier Wochen gereift sind. Die Nutzung sowie die vorgegebenen

Restnitritmengen nach Beendung der Reifung sind nach europäischem Recht geregelt. Die zulässigen Höchstmengen, die zugesetzt werden dürfen, sind in der Verordnung (EU) Nr. 1129/2011 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 geregelt. Für Nitrite (E 249 und E 250) sowie Nitrate (E 251 und E 252) sind das 150 mg/kg (ppm) (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN UNION 2011). Nach KABISCH (2012) sollten zur Sicherheit der Produkte mindestens 100 ppm Nitrit zu Beginn der Reifung zugesetzt werden (KABISCH, PICHNER 2012). LEISTNER nennt eine Mindestmenge von 125 ppm. Zudem dürfen die Stoffe E 249 und E 250 nur in einer Mischung mit Kochsalz oder einem Kochsalzersatz offen verkauft werden (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN UNION 2012). Bei einer Verwendung von 25 g/kg liegt im Brät eine Konzentration von ca. 125 ppm Nitrit vor, sodass von einer Hemmwirkung ausgegangen werden kann.

Abgesehen von den Einflüssen auf sensorischen, im Speziellen die optischen, Produktcharakteristika übt das Nitrit einen konservierenden Effekt aufgrund seiner Wirkung auf die Mikroflora von Fleischerzeugnissen aus. Neben *C. botulinum* zeigen Nitrite zudem wachstumshemmende Effekte gegen Pseudomonaden, *E. coli* und coliforme Keime, Salmonellen sowie Bacillus- und andere Clostridium-Arten in unterschiedlicher Ausprägung (KABISCH, PICHNER 2012). Enterohämorrhagische *E. coli* werden durch Nitrit nur geringfügig beeinflusst. Bei ihnen ist die Wasserverfügbarkeit von vorrangiger Bedeutung (GAREIS 2013).

Nitrit wird in verschiedenen Einsatzmengen in Mischungen mit Kochsalz verwendet und so eine Hemmung des Keimwachstums bewirkt. Handelsübliche Anteile von Natriumnitrit in Kochsalz liegen zwischen 0,4 - 0,9 %. Da die eingesetzten Konzentrationen jedoch unterhalb der erforderlichen Mindestmenge für die alleinige Hemmwirkung von Nitrit auf *C. botulinum* liegen (ca. 200 mg/l bei pH 5,5 (MÖHLER 1980)), ist die Wachstumseinschränkung nicht ausschließlich auf das Vorhandensein des Nitrits zurückzuführen. Vielmehr sind hierfür dessen Reaktionsprodukte sowie synergistische Effekte durch das Zusammenwirken von Nitrit-, Salzkonzentration bzw. a_w -Wert, pH-Wert und Redoxpotential verantwortlich.

Als antimikrobiell wirksame Verbindungen werden vorrangig schwefelhaltige Reaktionsprodukte des Nitrits mit antioxidativen Eigenschaften vermutet (MÖHLER 1980).

Es zeigt sich eine hohe Korrelation zwischen Nitritwirkung und dem pH-Wert des Milieus. Grundsätzlich bewirkt ein niedrigerer pH-Wert eine Anhebung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Nitrit. Als unempfindlich gegenüber den in Fleischwaren eingesetzten Nitritmengen gelten Mikrokokken, Lactobacillen und Enterokokken (BUNDESANSTALT FÜR FLEISCHFORSCHUNG 1981, PRÄNDL, FISCHER 1988). Die gewünschten Milchsäureproduzenten werden durch das Nitrit nicht gehemmt, so dass diese sich bevorzugt vermehren können (N.N. 1992).

Für die Lagerung von verzehrfertigen Produkten sind niedrigere Temperaturen als begünstigend bzw. erforderlich für die suppressorische Nitritwirkung gegen bestimmte Mikroorganismenspezies zu betrachten (MÖHLER 1980).

Zudem wird **Kochsalz** in Verbindung mit der Konservierungsmittelhürde genannt. Die Wirkung von Natriumchlorid ist jedoch ausschließlich durch die anfängliche Senkung der Wasserverfügbarkeit für die Mikroorganismen gegeben. Sie ist demnach Bestandteil der Konservierung durch a_w -Wert-Senkung. Das Salz hat in dieser Hinsicht einen Einfluss auf den

osmotischen Druck (VKS 2009). Als zusätzliche Folge der Salzzugabe ist die verbesserte Solvation der Muskelproteine zu nennen, die dadurch verstärkt für die spätere Texturbildung zur Verfügung stehen (WEBER 1996).

Das **Redoxpotential (Eh-Wert)** ist ein Maß für das Bestreben eines Mediums, eine Oxidation oder Reduktion durchzuführen (RANDALL, et al. 2002). Bei hohem Redoxpotential steht im Falle von Fleisch Sauerstoff für Oxidationsprozesse zur Verfügung. Die Sauerstoffverfügbarkeit ist wichtig für die Wachstumsbedingungen von aeroben Mikroorganismen. Aerobe Mikroorganismen benötigen Sauerstoff für ihre Stoffwechselprozesse, sonst ist keine Vermehrungsfähigkeit gegeben. Durch den Einsatz von Antioxidantien wie Ascorbinsäure und ein anfängliches aerobes Mikroorganismenwachstum wird der Eh-Wert reduziert (WEBER 1996). Diese Reduktion ist ausschlaggebend für ein anaerobes Milieu und somit für das bevorzugte Wachstum der gewünschten Mikroorganismen in der Rohwurst. Die fakultativ anaeroben Milchsäurebakterien, die die Rohwurstreifung maßgeblich beeinflussen, haben einen Selektionsvorteil (HUGAS&MONFORT 1997).

Bei fortlaufender Reifung steigt der Eh-Wert wieder leicht an, da die sauerstoff-verbrauchenden Mechanismen abnehmen (TERNES 1990). Zudem werden durch die Wasserabgabe Diffusionswege für den Luftsauerstoff in das Innere der Wurst verbessert. Das Sinken dieser Hürde kann durch andere später aufgebaute Hürden kompensiert werden (PETÄJA 1977). Ein auftretender Synergieeffekt ist, dass Nitrit bei niedrigem Eh-Wert wirksamer gegen Verderbnisorganismen ist (TERNES 1998).

Durch die Verwertung von Kohlenhydraten, besonders der zugesetzten Mono- und Disaccharide, wird von den Starterkulturen Milchsäure gebildet (BALTES 2011). Die daraus folgende für die Reifung wichtige Hürde, ist die Säureanreicherung während der Fermentation. Durch die Anreicherung mit Säure sinkt der **pH-Wert** im Wurstbrät, wodurch nur säuretolerante Mikroorganismen weiter vermehrungsfähig sind (TOLDRÁ 2010). Wichtig ist, dass teilweise pathogene Keime durch den niedrigen pH-Wert (BAUER 2004), speziell Koagulase-negative Kokken wie *Staphylococcus aureus* gehemmt werden (LEROY, VERLUYTEN 2006). Damit die Fermentation gesteuert und sicher abläuft, werden in der Industrie Starterkulturen aus gewünschten Mikroorganismen zugesetzt (EHRMANN 2014, HAMMES&KNAUF 1994, HUGAS&MONFORT 1997, INCZE 1998). In der Regel sind die Starterkulturen Mischkulturen, um die gewünschte Lebensmittelsicherheit und Aromatisierung zu erreichen. Eingesetzt werden hauptsächlich Laktobazillen, Mikrokokken, Staphylokokken, aber auch Laktokokken, Pediokokken oder Enterokokken sowie Hefen und Schimmelpilze können enthalten sein (HAMMES&KNAUF 1994). Der pH-Wert kann durch die gezielte Zugabe von Nährstoffen, insbesondere Kohlenhydraten, in gewissem Maße gesteuert werden (TERNES 1998). Um die Vermehrung der meisten toxinbildenden Arten zu verhindern, ist möglichst schnell ein pH-Wert unter 5,3 zu erzielen (BORATTO 2014, LÜCKE 1994, SIELAFF 1996), was durch einen Glucosezusatz erreicht werden kann. Bei diesem pH-Wert müssen die Mikroorganismen eine gewisse Säuretoleranz aufweisen, um weiter vermehrungsfähig zu sein. Zudem wird bei diesem Wert die Gelbildung initiiert und damit das Wasser partiell gebunden, wodurch es reduziert für die mikrobiologischen Prozesse zur Verfügung steht (HÄUßLER 2011). Bei diesen Bedingungen sind

die Wachstumsgrenzen von ungewünschten Mikroorganismen erreicht. Dadurch können sich während der Reifung säureempfindliche Mikroorganismen, zu denen auch viele Lebensmittelverderber gezählt werden, nicht vermehren. Andere Keime werden durch die nachfolgenden Hürden gehemmt und sind nicht im fertigen Produkt enthalten (N.N. 1992, N.N. 2010). Die in Tabelle 2 enthaltenen pH-Werte sind als ungefähre pH-Wachstumsuntergrenzen ohne Einschränkung durch einen verringerten a_w -Wert oder Konservierungsstoffzusatz zu sehen. Die Hürden pH- und a_w -Wert besitzen jedoch einen Synergieeffekt, der das Wachstum von verschiedenen Keimen schon früher begrenzt. So kann *Clostridium botulinum* Typ A oder B durch einen pH-Wert von 4,5 oder einen a_w -Wert von 0,95 gehemmt werden. Bei Verringerung des a_w -Wertes ist ein Wachstum bei a_w -Wert 0,93 und pH-Wert 5,3 schon ausgeschlossen (NAGL n.N.).

Tabelle 2: Untere pH-Grenzwerte von einigen lebensmittelverderbenden und toxinbildenden Mikroorganismen ohne Einschränkung der Wasserverfügbarkeit (LEISTNER&GOULD 2002)

Mikroorganismus	ungefähre pH-Wert-Grenze für Wachstum
<i>Bacillus cereus</i>	5,0
<i>Clostridium perfringens</i>	5,0
<i>Campylobacter sp.</i>	4,9
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	4,8
<i>Clostridium botulinum</i>	4,6
<i>Escherichia coli</i>	4,4
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	4,4
<i>Listeria monocytogenes</i>	4,3
<i>Yersinia enterocolitica</i>	4,2
<i>Staphylococcus aureus</i>	4,0
meisten Salmonellen	3,8
<i>Bacillus coagulans</i>	3,8
meisten Lactobacillusarten	3,0-3,5
<i>Gluconobacter sp.</i>	3,0
<i>Acetobacter sp.</i>	3,0
<i>Bacillus acidocaldarius</i>	2,5
<i>Alicyclobacillus</i>	2,0
<i>Aspergillus flavus</i>	2,0
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1,6
<i>Candida krusei</i>	1,3

Eine weitere Hürde gegen den mikrobiologischen Verderb ist die **Konkurrenz**, die zwischen den Mikroorganismen entsteht. Werden die säuretoleranten, gewünschten Mikroben begünstigt, stehen den unerwünschten Keimen nicht ausreichend Nährstoffe zur Verfügung. Ferner haben Lactobacillen einen hemmenden Einfluss auf Campylobacter und Salmonellen. Sie sind teilweise in der Lage, Bakteriozine und Wasserstoffperoxid zu bilden, die kompetitiv auf andere Arten wirken (KRÖCKEL 2011, N.N. n.N.).

Im Laufe der Reifung wird aus der Wurst Wasser abgegeben (KOCH 1988). Durch die Wasserabgabe und die Säuerung wird die Schnittfestigkeit erreicht (GEWÜRZMÜLLER GMBH 2001). Die Wasserabgabe führt zu einem Konservierungseffekt, der bestimmend für die langfristige Haltbarkeit ist. Entscheidend ist hier die Wasserverfügbarkeit für Lebensvorgänge der Mikroorganismen (DEVICES 2014). Ausgedrückt wird diese als a_w -Wert. Der **a_w -Wert** ist der Dampfdruck über dem Medium bezogen auf den Dampfdruck über reinem Wasser (CALRIGHT INSTRUMENTS, TERNES 1998, U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION 2010). Dieser sinkt mit dem Wasserverlust und schränkt das gesamte Mikroorganismenwachstum ein (LÜCKE 1994). Die Wirkung wird durch die Kochsalzzugabe verstärkt (CANSTEIN 2005). Durch den Wasserentzug entsteht ein Konzentrationsgefälle zwischen der Mikroorganismenzelle und der Umgebung. Der osmotische Druck auf die Zelle wird erhöht. Es wird Wasser aus der Zelle abgegeben, wodurch der Zelltonus sinkt. Einige der häufigsten Lebensmittelverderber wie Pseudomonaden (a_w 0,97), Clostridien (a_w 0,94) oder die meisten Bacillusarten (a_w 0,93) sind sehr anfällig für eine Reduktion des a_w -Wertes (LEISTNER&GOULD 2002).

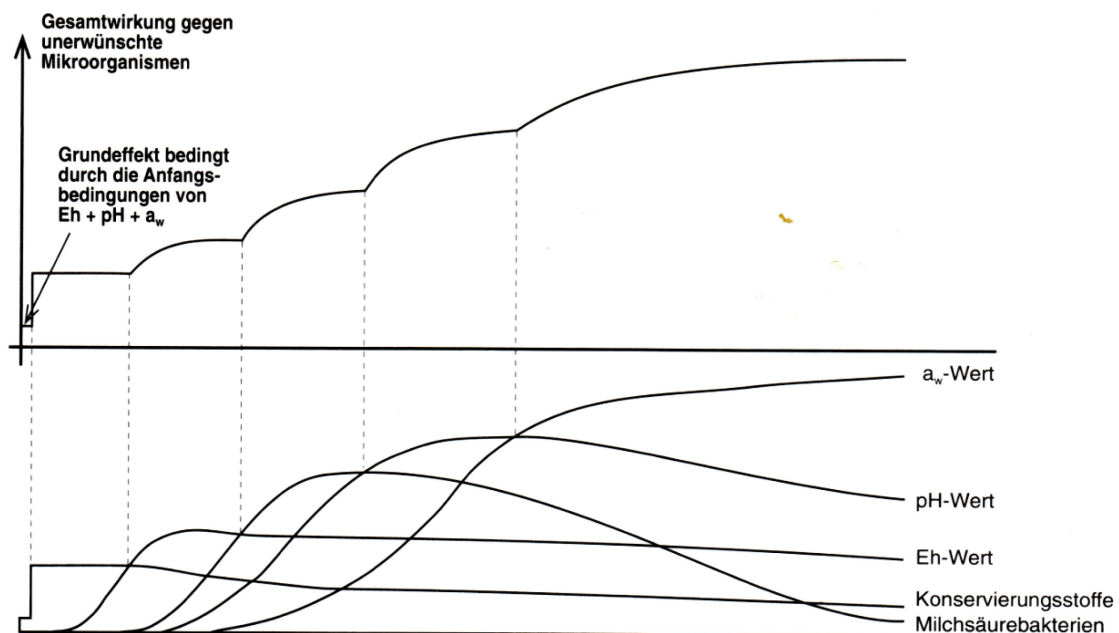


Abbildung 3: Sequenz der Einzeleffekte (Hürden), welche im gemeinsamen Zusammenwirken die mikrobiologische Stabilität der Rohwurst während der Reifung und Lagerung bedingen (BUCKENHÜSKES, 1994), dargestellt von (WEBER 1996)

In Abbildung 3 ist das Aufeinanderfolgen der Hürden zur Rohwurstkonservierung grafisch dargestellt. Zu erkennen ist, dass eine geringe Grundkonservierung vom Medium Fleisch gegenüber den Idealwachstumsbedingungen vorhanden ist. Die einzelnen Konservierungseffekte sind nicht alle dauerhaft wirksam, sondern bauen sich teilweise wieder ab. Die kumulative Wirkung der Mechanismen sorgt für eine sehr ausgeprägte Lebensmittelsicherheit, die sich während der Herstellung bzw. Reifung stetig erhöht. Die Langzeithaltbarkeit der Produkte wird dabei maßgeblich durch die Wasserabgabe und den damit verbundenen a_w -Wert erreicht (WEBER 1996).

Durch den Einsatz der Hürden ist die Wahrscheinlichkeit einer durch den Verzehr von Rohwurst ausgelösten Erkrankung sehr gering. Salmonellen, Listerien, Enterobacteriaceae, Staphylokokken und Clostridien werden durch verschiedene Mechanismen schon in der Anfangsphase gehemmt (GAREIS 2013). Einige können in geringen Konzentrationen im Endprodukt enthalten sein, jedoch ohne nachteilige Wirkung auf das Produkt oder den Konsumenten. Die wichtigsten Hürden für die Rohwurstsicherheit sind der pH-Wert und der a_w -Wert. Grundsätzlich sind pathogene Keime ab einem a_w -Wert unterhalb 0,94 nicht mehr aktiv. Ausnahmen sind die gram-positiven Keime *Staphylococcus aureus* mit 0,84 und *Listeria monocytogenes* mit 0,89 (GAREIS 2013, N.N. 2008, NOTERMANS 2008).

Die originären Fleischbestandteile müssen aufgrund der Lebensmittelsicherheit einen geringen Keimgehalt aufweisen. Auch die Fleischqualität spielt für das spätere Produkt eine große Rolle. Die Haltbarkeit der Rohwurst ist zudem in großem Maße von der Frische des eingesetzten Fettmaterials abhängig. Da der mikrobiologische Verderb bei sachgerechter Produktion und Reifung so gut wie ausgeschlossen ist, verderbt die Wurst durch Oxidation der Lipide. Beim Einsatz von frischem Fett läuft die Lipidoxidation verzögert ab und das Produkt ist länger haltbar. Beim Verderb durch Oxidation kommt es zur Bildung aromaintensiver Stoffe wie Ketonen und Aldehyden, die wiederum in bestimmten Aromakompositionen erwünscht sind (GANDEMER 2002, N.N. 1991, N.N. 1992). Um den Fettabbau zu verzögern, werden oft antioxidativ wirksame Stoffe eingesetzt. Unter anderem wird Ascorbinsäure zu diesem Zweck zugegeben (ZANARDI, et al. 2004).

Während der Reifung der Rohwurst finden diverse biologische im Besonderen mikrobiologische und biochemische Prozesse statt, die das Produkt beeinflussen und maßgebend für die spätere Qualität sind. Dabei sind diese zu großen Teilen auch an der technologischen und hygienischen Stabilisierung der Produkte beteiligt. Die Konservierung findet chemisch / physikalisch statt, wobei erst die chemische und nachfolgend die physikalische Konservierung überwiegt. Bei der chemischen Konservierung wird nicht ausschließlich ein haltbarkeitsverlängernder Effekt erreicht, zeitgleich findet eine Stabilisierung der Fleischfarbe statt. Der Muskelfarbstoff Myoglobin wird mit einem Stickoxidmolekül (NO) ligiert, wodurch der Ladungszustand des zentralen Eisenatoms des Myoglobins als zweiwertig erhalten bleibt. Bei einer Oxidation des Eisenatoms entsteht eine dreiwertige Ladung und die Farbwirkung verändert sich, das Myoglobin wirkt braun. Um die Farbwirksamkeit des Nitrits bzw. Stickoxids zu steigern, wird Ascorbinsäure oder Ascorbat zugegeben (BERG, et al. 2012), die demnach eine duale Funktion erfüllen. Es kommt zu einer antioxidativen Wirkung sowie zu einer Verbesserung der Umrötung.

2.1.2.1 Hochfunktionelle Starterkulturen

Starterkulturen und Schutzkulturen sind speziell auf die Herstellung von Lebensmitteln zugeschnittene, vermehrungsfähige Mikroorganismen (SAHM, et al. 2013), die in diversen Lebensmitteln eingesetzt werden (KRÖCKEL 2013). Ihr Einsatz wurde in den 1950er und 1960er Jahre von NIINIVAARA auf den Weg gebracht (NIINIVAARA 1993). Starterkulturen bzw. die gewünschten Mikroorganismen für die Fermentation werden zweckorientiert zugesetzt (EHRMANN 2014). Sie sind für die Aromabildung, Strukturierung und Konservierung während der Reifung verantwortlich (HAMMES&KNAUF 1994, SAHM, ANTRANIKIAN 2013) und werden in relativ hohen Keimzahlen zugegeben (BUSCH 2010, CHR. HANSEN A/S). Der Mindestkeimgehalt sollte laut Literatur bei ca. 10^5 Keimen / g liegen, liegt in der Praxis jedoch oft bei 10^6 - 10^7 Keimen / g, um eine sicherere Produktion zu gewährleisten. So wird eine zahlenmäßige Überlegenheit gegenüber „Schadkeimen“ provoziert (LEROY, VERLUYTEN 2006).

Ohne eine Fermentation ist die Aromatisierung einer Rohwurst nicht zu erreichen (ARYANTA, et al. 1991, N.N. 1992). In einer Spontanflora bei der Rohwurstbereitung dominieren *Lactobacillus curvatus* und *sakei* den Fermentationsprozess (LEROY, VERLUYTEN 2006), weshalb diese Keime oft auch in Starter- und Schutzkulturen angewandt werden. Die Spontanflora besteht zusätzlich aus vielen weiteren Keimen, die zum Teil unerwünscht sind, das Produkt nachteilig beeinflussen können und die Produktionssicherheit reduzieren (DAL BELLO 2015, ERKES 2015). Diese werden durch die Starterkulturen verdrängt.

Produkte, die unter Verwendung chemischer Säuerungsmittel hergestellt sind, weisen zwar einen säuerlichen Geschmack auf, sind aber ansonsten ausschließlich durch die Gewürzkomponenten aromatisiert. Ein qualitativ hochwertiges bzw. sicheres Produkt lässt sich nur durch den Einsatz von Mikroorganismen erzeugen, sei es durch Starterkulturen oder die originäre Fleischflora. Industriell werden fast ausschließlich Starterkulturen in der Produktion zugesetzt. Starterkulturen haben die Aufgabe, die Fermentation sicherer zu gestalten und die Reifezeit zu verkürzen (BUSCH 2010, DELEVES-BROUGHTON 2013, KRÖCKEL, et al. 2011). Eine wiederkehrende langwierige Selektion der gewünschten Mikroorganismen aus der Fleischflora wird unnötig und Fehlfabrikate können reduziert werden (VOGEL 2011). Die in Starterkulturen eingesetzten Mikroorganismen werden entsprechend ihrer Eigenschaften wie Salz-Toleranz, pH-Toleranz, Aromabildung, Durchsetzungsfähigkeit gegenüber unerwünschten Keimen, der Peroxidbildung sowie ihrem toxischen Potential vorselektiert (EHRMANN 2014, ERKES 2015, KRÖCKEL 2013). In neueren Untersuchungen werden zusätzlich die Antibiotikaresistenz und die Bildung von Bakteriozinen geprüft, um die Starterkulturen sowie den Fermentationsverlauf noch sicherer zu gestalten (MEILE 2015, MIESCHER SCHWENNINGER 2015, VOGEL 2015). Die Untersuchungen, die Antibiotikaresistenzen betreffend, dienen dazu eine zufällige Übertragung der Resistenzen auf Krankheitserreger auszuschließen. Die Bakteriozine sollen die Wirksamkeit der Starterkulturen als Konkurrenzflora verbessern und sie direkt gegen ungewünschte Keime wirken lassen.

Bei der Wahl der Starterkulturen ist darauf zu achten, welches Fermentationsergebnis gewünscht wird. Es lassen sich die pH-Wert-Entwicklung, das Säurespektrum und die Aromabildung beeinflussen (LEROY, VERLUYTEN 2006, M-C 1993, OLESEN 2003). Durch die

Mikroorganismen werden Fleischbestandteile wie Proteine und Fette abgebaut. Die Proteolyse-, Carbohydrolyse- und Lipolyseprodukte sind wichtige Aromakomponenten oder Vorstufen der aromatisierenden Bestandteile (KRÖCKEL 2013). Laut einiger Autoren soll die Reifung zur Unterdrückung proteolytischer Mikroorganismen dienen (N.N. 1990). Das ist jedoch nur bedingt der Fall, da es bei vollständiger Unterdrückung nicht zu einer ausgewogenen Aromabildung kommen kann. Die proteolytischen Keime wachsen vorwiegend nahe der Oberfläche der Wurst, da ein großer Teil dieser Mikroorganismen aerob ist (OLESEN 2003). Die Fermentation verlangsamt das Ranzigwerden des Fettes durch den Sauerstoffverbrauch und die Fermentationsaromen maskieren ranzige Aromen zusätzlich (OLESEN 2003, STAHNKE 1994).

Chronologisch findet der überwiegende Teil der Proteolyse und Lipolyse in den ersten Reifungstagen statt, da die Aktivität der entsprechenden Mikroflora mit sinkendem pH-Wert abnimmt (HUGHES, et al. 2002). Das Absinken des pH-Wertes erfolgt erst nach einer Adaptionsphase der Lactoflora (N.N. 1991). Das Wachstum der Starterkulturen in Rohwurst gliedert sich entsprechend der Kinetik anderer mikrobiologischer Prozesse in die Adaptionsphase (Lag-Phase), die Wachstumsphase (Log-Phase), die Stationäre-Phase und die Absterbe-Phase (BRANDT&GÄNZLE 2006, GAREIS 2013). Während der Lag-Phase kommt es zu einer Anpassung an die Umgebung und die Mikroorganismen richten ihre Stoffwechselfunktionen entsprechend aus. Es kommt währenddessen nicht zu einer Zunahme der Keimzahlen der Starterkultur (BRANDT&GÄNZLE 2006). Eine erhöhte Anfangskeimzahl erhöht daher die Reaktionsgeschwindigkeit der Fermentation (LÜCKE 1994, N.N. 1992). In der Log-Phase findet die Vermehrung der Mikroorganismen statt. Je nach Keim und Milieubedingungen werden hier Stoffwechselprodukte wie Milchsäure gebildet. Im Verlauf der Stationären-Phase bleiben die Keimzahlen auf einem gleichbleibenden Niveau und es werden maßgeblich Stoffwechselprodukte gebildet. Die Absterbe-Phase ist durch eine Reduktion der Keimzahlen gekennzeichnet, die auf Nährstoffmangel, Konkurrenz, veränderten Umgebungsbedingungen oder Alter der Kultur beruhen kann.

- *Lactobacillus sakei, brevis, plantarum, curvatus, buchneri, paracasei, acidilactici*

sind Milchsäureproduzenten, deren hauptsächlicher Zweck die pH-Wert-Senkung ist (HERTEL 2013, SIELAFF 1996). Sie bedingen eine gute Schnittfestigkeit und Haltbarkeit der Rohwurst, insbesondere kurzgereifter Produkte (HUEFNER&HERTEL 2008, PRÄNDL, FISCHER 1988) und sind bei der Rohwurstreifung in Europa etabliert (HAMMES&KNAUF 1994, HUGAS&MONFORT 1997). Aufgrund der pH-Wert-Senkung verbessern die Milchsäurebakterien zudem die Produktfarbe durch Begünstigung der Umrötung (EHRMANN 2014, HERTEL 2013). Für die Vielfalt des Aromas besitzen sie aufgrund ihrer geringen Proteolyse- und Lipolyseaktivität geringes Potential (OLESEN 2003). Sie bilden Lactate und Acetate (WEBER 1996) und erzeugen das typische milchsaure Fermentationsaroma der Rohwurst (HERTEL 2013, HOF, et al. 2009). Durch die anaeroben Verhältnisse überwachsen sie die schlechter angepassten Keime und tragen so zur Konservierung bei (ZRENNER&HAFFNER 1999). Für die Rohwurstproduktion werden ausschließlich homofermentative Lactobacillen eingesetzt, da es bei heterofermentativen Keimen zur Bildung

von CO₂ kommt (KRÖCKEL 2010, KRÖCKEL 2013), was zu einer Bildung von Hohlstellen bis hin zum Platzen der Wursthülle führt.

- *Staphylococcus xylosus, warneri, carnosus*

Staphylokokken erfüllen mehrere Aufgaben innerhalb der Rohwurst. Eine der wichtigsten Aufgaben beim Einsatz in lang gereiften Produkten ist die Aromabildung (EHRMANN 2014, OLESEN 2003, SIELAFF 1996). Sie sind in der Lage, proteolytische und lipolytische Abbauprodukte zu bilden, die das Aroma stark beeinflussen (HERTEL 2013). Sie weisen eine wesentlich höhere proteolytische Aktivität gegenüber den Lactobacillen auf, wobei z.B. *S. warneri* proteolytisch aktiver ist als *S. xylosus* (TALON 1996). Die Bildung von Katalase hat einen verzögernden Effekt auf das Ranzigwerden des Fettes (OLESEN 2003, STAHNKE 1994, WIBERG GMBH).

Beim Einsatz von Nitrat und auch geringfügig bei Nitriteinsatz kommt die Nitratreduktase der Staphylokokken zum Tragen (HAMMES&KNAUF 1994, PRÄVE, et al. 1994). Sie reduziert Nitrat zu Nitrit (HERTEL 2013), wodurch die mikrobiologische Wirksamkeit gegeben ist und es zudem zu einer Farbausbildung durch die Umrötung kommt (EHRMANN 2014). Aufgrund der aromabildenden und der nitratreduzierenden Eigenschaften sind Staphylokokken gut für die Herstellung lang gereifter Rohwürste geeignet (OLESEN 2003).

- *Pediococcus pentosaceus, alimentarius, acidilactici*

sind seltener in der Spontanflora vorhanden als Lactobazillen und Staphylokokken (LEROY, VERLUYTEN 2006). Sie bilden Milchsäure und sind gewöhnlich homofermentativ wie die eingesetzten Lactobazillen (BISCHOFF&AUTENRIETH 2009). Die Fähigkeit zur Nitratreduktion besitzen sie nicht (SIELAFF 1996). Der Einsatz in Starterkulturen erfolgt als Ergänzung, um eine Verbesserung der Milchsäureproduktion zu erreichen (HAMMES&KNAUF 1994).

- *Micrococcus varians, Kocuria salsicia*

Mikrokokken besitzen ebenso wie Staphylokokken die Fähigkeit, Nitratreduktase zu bilden. Ihr Metabolismus ist nicht an die Vermehrung gekoppelt, sondern kann auch ohne Zellzuwachs vorstattengehen (OLESEN 2003). Analog haben sie Einfluss auf die Aromabildung. Sie tragen zu den typischen, proteolytisch beeinflussten Aromen von z.B. mediterranen Rohwürsten bei. Sie sind insbesondere wichtig für die Aromabildung von langgereiften Rohwürsten (KABISCH, PICHNER 2012). Staphylokokken wurden bis 2010 ebenfalls zu den Mikrokokken gezählt (EUZÉBY 2010), die aktuelle Einteilung lässt eine wesentlich bessere Differenzierung bei Starterkulturen zu.

- *Debaryomyces hansenii, Candida famata, utilis*

sind Hefen, die bei der Produktion von Rohwurst nur bei luftgetrockneter Ware eingesetzt werden (IUCCI 2007, SIELAFF 1996). Sie sind in der Lage, Lipidoxidaionsprodukte zu erzeugen, die die charakteristische Parfümranzigkeit der mediterranen Rohwurstprodukte unterstützen (HAMMES&KNAUF 1994, IUCCI 2007). Zusätzlich verbrauchen sie Sauerstoff an der Oberfläche der Würste und verhindern das Ranzigwerden des Fettes im Wurstinneren, da die Sauerstoffdiffusion unterbunden wird (OLESEN, et al. 2000). Durch den Sauerstoffverbrauch

kommt es zu einer Farbstabilisierung der Würste. Das enthaltene Nitrosomyoglobin wird verlangsamt abgebaut und es entsteht weniger Oxy-myoglobin. Zudem sind sie in der Lage, von den Laktobacillen gebildete Peroxide zu spalten (SIELAFF 1996), was den Fettverderb verlangsamt.

- *Penicillium nalgiovense, chrysogenum, candidum*

Schimmelpilze werden dazu eingesetzt, das Oberflächenwachstum unerwünschter Keime zu unterbinden (HERTEL 2013). Ursprünglich war dieser Belag durch die Hausflora des Betriebes bedingt (SUNESSEN&STAHNKE 2003). Durch das gezielte Belegen der Wurtoberfläche können sich schädliche Keimarten nicht gegen die Konkurrenz durchsetzen (SIELAFF 1996, WIBERG GMBH). Sie sind wie die Hefen maßgeblich bei mediterranen Produkten zu finden (HAMMES&KNAUF 1994). Sie verbrauchen Luftsauerstoff und schützen vor Licht, was den Fettverderb verzögert (GRAZIA, et al. 1986, HERTEL 2013). Ferner bedingen sie eine bestimmte Aromaentwicklung durch Lactat-Oxidation, Proteolyse und Lipolyse (SUNESSEN&STAHNKE 2003). In Italien und Frankreich sind ca. 90 % der Rohwürste mit einem Schimmelbelag versehen (LEISTNER 1985).

- *Streptomyces griseus*

Streptomyceten sind aerobe Keime, die in der Lage sind, Nitratreduktase zu bilden. In der Regel bilden sie keine Säuren, können jedoch geruchsintensive Verbindungen wie Geosmin erzeugen, die einen Anteil am Aroma haben. In einigen Fällen können sie antioxidativ wirksam sein (SIELAFF 1996). Durch das Belegen der Oberfläche haben sie wie die Schimmelpilze und Hefen Einfluss auf die Sauerstoffdiffusion und das Oberflächenkeimspektrum.

2.1.2.2 pH-Wert-Entwicklung

Die Entwicklung des pH-Wertes ist bei der Rohwurstherstellung maßgeblich von der Milchsäurefermentation abhängig (LÜCKE 1994). Dabei werden vorhandene Kohlenhydrate von enthaltenen Mikroorganismen zu Milchsäure umgesetzt.

Regional gibt es Unterschiede in der Herstellung und Reifung schnittfester Rohwürste. Das hat auch abweichende pH-Wert-Entwicklungen zur Folge, die für die jeweiligen Produkte typisch sind und das entstehende Aroma stark beeinflussen (BORATTO 2014). Unterschieden werden kann dabei grob nach nord- und südeuropäischen Produkten, wobei die Rohwurst in Südeuropa im Gegensatz zu Nordeuropa die am meisten verzehrte Wurstware ist (SELGAS, et al. 2009). Ein exemplarischer, typischer pH-Wert-Verlauf für Rohwurst ist in Abbildung 4 dargestellt.

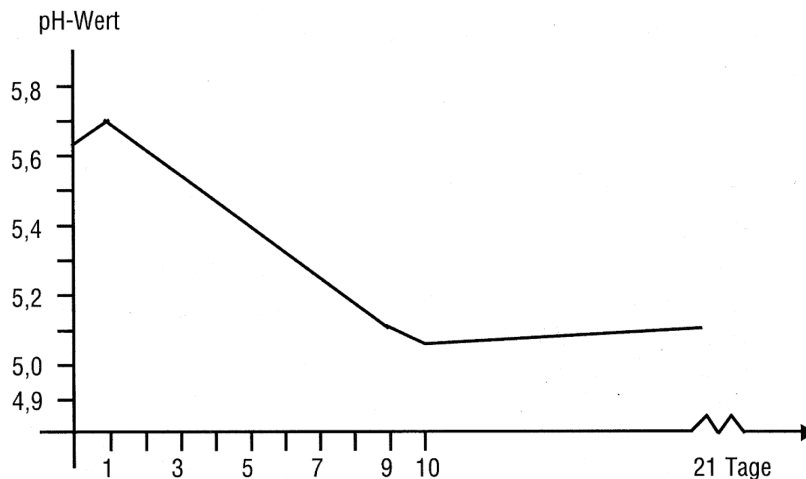


Abbildung 4: Exemplarischer pH-Wert-Verlauf bei der Rohwurstfermentation (SIELAFF 1996)

In den ersten drei Tagen steigt der pH-Wert leicht an bzw. fällt nicht ab. In dieser Zeit stellen sich die Mikroorganismen auf die veränderte Umgebung ein. Starterkulturen beginnen mit dem Stoffwechsel, die fleischeigene Flora wird zurückgedrängt. Aerobe Mikroorganismen haben noch einen aktiven Stoffwechsel, wodurch es zu einem leichten Anstieg des pH-Wertes kommen kann. Zudem wird die anfänglich erzeugte Milchsäure durch das fleischeigene Puffersystem neutralisiert, so dass eine pH-Senkung nicht sofort eintritt.

Nachfolgend kommt die produzierte Milchsäure zum Tragen und senkt den pH-Wert. Wie stark und schnell ist dabei von Faktoren wie dem Gehalt an freiem Wasser, der Nährstoffverfügbarkeit und nicht zuletzt von der Temperatur abhängig (P.A. BAUMGARTNER 1980). Die Temperaturabhängigkeit der pH-Wert-Entwicklung ist in Abbildung 5 dargestellt. Bei einer Erhöhung der Temperatur ist ein schnellerer pH-Wert-Abfall zu beobachten. Bei 20 °C, 25 °C und 30 °C ist eine steile, sofortige pH-Wert-Senkung zu erkennen, während sich bei einer Temperatur von 15 °C erst ein Plateau und anschließend ein stetiger pH-Wert-Abfall ergeben. Auch die Minimalwerte unterscheiden sich in Abhängigkeit der Temperaturen. Bei 15 °C kommt es zu einem pH-Wert-Abfall bis ca. 5,2, während die Verläufe bei höheren Temperaturen auf ca. 4,8 abfallen.

Es wird ein hygienisch als sicher geltender Säuregrad von $\text{pH} < 5,3$ erreicht (BORATTO 2014, LÜCKE 1994). Unterhalb dieses pH-Wertes haben Salmonellen, Listerien und *Staphylococcus aureus* in Rohwurst praktisch keine Vermehrungsmöglichkeiten. Bei schimmelpilzgereiften Rohwürsten verhindern die unter Umständen als Starterkulturen eingesetzten Mikroorganismen die Besiedelung der Rohwurstoberfläche durch giftige oder unansehnliche Schimmelpilze und unerwünschte Hefen und Bakterien (KRÖCKEL, DEDERER 2011). Andernfalls kann die Oberfläche durch eine Räucherung vor einem mikrobiologischen Belag geschützt werden.

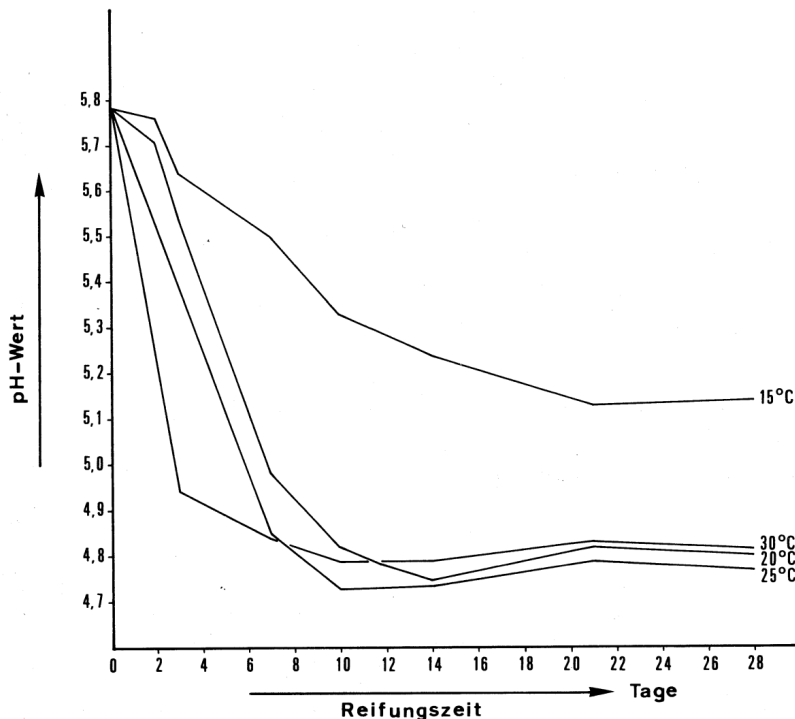


Abbildung 5: pH-Wert-Verlauf in Rohwurst bei unterschiedlichen Reifetemperaturen in Abhängigkeit der Reifezeit (RÖDEL 1985)

Bei 15 °C tritt keine weitere pH-Wert-Senkung bei der Lagerung ein, was mit der Wasserabgabe während der Reifung in Zusammenhang steht. Durch die Reduktion des Wassers ist bei einer anschließenden Lagerung bei Raumtemperaturen keine Milchsäurebildung mehr zu erwarten. Dieses Phänomen ist Grundlage der Theorie zur Fermentationssteuerung durch Wasserentzug. LÜCKE schreibt hierzu, dass unterhalb eines a_w -Wertes von 0,92 praktisch keine Milchsäurebildung mehr stattfindet (LÜCKE 1994).

2.1.3 Rohwurstaroma

Das Aroma von Rohwurst ist sehr stark von der Fermentation geprägt (ARNAU 2014). Ohne den Fermentationsprozess ist ein entsprechender Geschmack nicht zu erreichen (N.N. 1992), da die Mikroorganismen durch den Abbau von Kohlenhydraten, Lipiden und Proteinen wichtige Aromakomponenten erzeugen (SCHIEBERLE 2013, SIELAFF 1996). Die Bildung von Genusssäuren wie Milch- oder Essigsäure sind dabei von zentraler Bedeutung, da sie das säuerliche Aroma prägen (SIELAFF 1996). Für die Aromaentwicklung der Rohwurst sind weiterhin proteolytische und lipolytische Abbaureaktionen bedeutsam (ANDRÉE 2014, STAHNKE 1994). Dabei werden diese Spaltungsreaktionen innerhalb mikrobiologischer Stoffwechselprozesse und von fleischeigenen Enzymen durchgeführt (HERTEL 2013). Die mikrobiologische Proteolyse von Fleischproteinen ist gering, kann aber ausschlaggebend für den Beginn der Proteolyseprozesse sein. Zusätzlich werden die Spaltprodukte der Muskelproteine von den Mikroorganismen zu aromawirksamen Substanzen weiterverarbeitet. Es werden aromaintensive Ester gebildet und der Nicht-Protein-Stickstoffanteil steigt aufgrund der Aminosäurefreisetzung (LEROY, VERLUYTEN 2006).

Die Lipolyse findet durch mikrobiologische enzymatische Fettspaltung und durch autoxidative Prozesse statt (SCHMID&VERGER 1998). Bei der Lipolyse werden Triglyceride in 1,2 - Diglyceride abgebaut. Dabei werden freie Fettsäuren gebildet. Mikrobiologische Lipasen erzeugen Ester von Hexansäure bis zu Ölsäure.

Dazu kommt eine autolytische Veränderung des Fettes, die durch die Lipolyse begünstigt wird (LEROY, VERLUYTEN 2006, N.N. 1992, N.N. 1992, OLESEN 2003, STAHNKE 1994, TALON 1996). Die lipolytischen Enzyme haben ein pH-Optimum vom leicht sauren bis zum leicht basischen Bereich (PETERSEN, et al. 2001), wie es z.B. in Speck vorliegt. Dabei kommt es zur Freisetzung überwiegend geruchs- und geschmacksneutraler Fettsäuren beispielsweise aus Schweinefett. Diese werden grundsätzlich im weiteren Verlauf durch desmolytische Prozesse zu Methylketonen abgebaut. Sie sind aromaaktiv und führen zur sogenannten Parfümranzigkeit, die beispielsweise bei Blauschimmelkäse zum Tragen kommt (TERNES 1998). Bei vielen Produkten wäre ein solches Aroma als Qualitätseinbuße zu betrachten, bei Salami hingegen werden teilweise gezielt Schimmelpilze eingesetzt, die ein solches Aroma begünstigen (ERDÖS 2010, ZANARDI, GHIDINI 2004).

Das Rohwurstaroma wird entscheidend durch die Zutaten, Gewürze und Zusatzstoffe geprägt. Die eingesetzten Gewürze sind regional teilweise sehr verschieden. In Rohwurst wurden über 800 Aromasubstanzen aus 13 Stoffgruppen nachgewiesen (N.N. 1992). Identifizierte Aromastoffe sind z.B. aliphatische Kohlenhydrate, Aldehyde, Ketone, Alkohole, Karbonsäuren, Ester, Stickstoffverbindungen, Furane, Chloride, Terpene und Schwefelverbindungen. Viele stammen aus der Fermentation, der Fett- und Proteinspaltung, einige auch aus der Räucherung (OLESEN 2003). Es soll jedoch möglich sein, das Aroma von Rohwürsten mit nur 25 Einzelkomponenten zusammenzustellen. Diese Komposition enthält verschieden aromaaktive Stoffe, die nur in Kombination das Aroma von Rohwurst nachahmen (SCHIEBERLE 2013). Das muss nicht bedeuten, dass nicht auch andere Stoffe im Aroma der Rohwurst wahrnehmbar sind. Vor allem unter Beachtung der Tatsache, dass sich verschiedene Rohwurstsorten teilweise stark im Aroma unterscheiden. Dabei sind regionale Unterschiede, insbesondere innerhalb Europas, zu nennen.

Die aus Nordeuropa stammenden schnittfesten Rohwürste sind meist stärker gesäuert mit geringen Anteilen an Essigsäure zusätzlich zur Milchsäure. Sie weisen einen pH-Wert von 4,8 – 5,4 auf und sind wesentlich dominanter im Säurearoma als südeuropäische Rohwürste. In Südeuropa wird eine milde Säure ohne Essigsäureanteil bevorzugt. Der pH-Wert liegt z.B. in Italien zwischen 5,4 und 6,4 (RASON, et al. 2007). Das Aroma wird hierbei wesentlich stärker von proteolytischen und lipolytischen Abbauprodukten bestimmt (LEROY, VERLUYTEN 2006, N.N. 1992, N.N. 1992, OLESEN 2003, STAHNKE 1994, TALON 1996).

2.1.4 Strukturbildung bei schnittfester Rohwurst

Die Struktur der Rohwurst wird durch mehrere Parameter beeinflusst. Maßgeblich wird die Struktur bei schnittfester Rohwurst durch eine pH-induzierte Gelbildung bestimmt. Dabei werden gelöste Proteinbestandteile des Muskelfleisches beim Unterschreiten des Isoelektrischen-Punktes (IEP) vom Sol- in den Gelzustand überführt (PRÄNDL, FISCHER 1988, SIELAFF 1996). Am Isoelektrischen-Punkt sind die Nettoladungen der Moleküle ausgeglichen. Die Abstoßungskräfte gehen gegen Null, während die Anziehungskräfte eine Aggregation zur Folge haben (CHMIEL 2011). Die Proteine flocken aus einer kolloidalen Lösung aus. Es findet in vielen Fällen ein Sol-Gel-Übergang statt, der zu einer verfestigten Struktur führt (LATSCHA, et al. 1988). Der Isoelektrische-Punkt wird von unterschiedlichen Autoren sehr different angegeben. Die IEPs der verschiedenen Proteine im Muskeleiweiß liegen laut LEISTNER zwischen pH-Wert 5,5 und 5,0 (LEISTNER 1990). Gemittelt wird oft ein Wert von 5,3 angenommen (N.N. 1992). Nach HONIKEL (1986) liegt er bei ca. 5,5. NINIVAARA und PONJA (1954), geben ihn ohne Kochsalzzugabe zu den Fleischproteinen mit pH-Werten von 5,1 bis 5,5 an. Es ist zu erkennen, dass der genaue Wert dieses technologisch bedeutungsvollen Punktes in Abhängigkeit von Wechselwirkungen zwischen Rohmaterialien, Zutaten und Herstellungsverfahren von den zitierten Autoren verschieden angegeben wird.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass beim Isoelektrischen-Punkt das Wasserbindevermögen des Fleisches sein Minimum erreicht und die Wasserabgabe sowie die Strukturbildung begünstigt sind. Beim Erreichen des Isoelektrischen-Punktes kommt es zu einer Re-Vernetzung der gelösten Proteine, die wiederum die Magerfleischpartikel untereinander verbinden. Als für die Strukturbildung wichtiger Punkt wurde innerhalb dieser Arbeit pH 5,3 angenommen, da hier die Strukturierung injiziert wird und gleichzeitig die mikrobiologische Sicherheit durch die Wachstumseinschränkung säureintoleranter Keime verbessert wird.

In Abbildung 6 ist der Ablauf des Aufbaus der Schnittfestigkeit schematisch dargestellt. Während der Herstellung schnittfester Rohwurst wird das Magerfleisch zerkleinert, wodurch sich die Oberfläche vergrößert. Durch die Zugabe von Salz wird die Ionenkonzentration erhöht, was zu einer verbesserten Löslichkeit der fibrillären Muskelproteine führt. Auch ein Einsatz von Phosphat erhöht die Proteinlöslichkeit, führt aber zeitgleich zu einer Erhöhung des pH-Wertes (MÜNCH, et al. 2014). Die Wirkung im Fleisch beruht unter anderem auf der Erhöhung des pH-Wertes und damit einer Entfernung vom IEP, auf Erhöhung der Ionenstärke, ähnlich der Salzzugabe sowie auf spezifischen Interaktionen mit den fibrillären Muskelproteinen (MURF 2008). Es werden lösliche Komplexe mit polyvalenten Ionen gebildet, was ein Lösen der Quervernetzungen der Filamente zur Folge hat. Das Actin und Myosin lösen sich voneinander, da das Phosphat eine höhere Affinität zu den Molekülen besitzt, als die beiden zueinander (MURF 2008, N.N. 1996). Die Anwendung in Rohwurst ist aufgrund der pH-Wert-stabilisierenden Wirkung nicht üblich. Die Verbesserung der Proteinlöslichkeit und der Emulgierereigenschaften können jedoch bei geringen Konzentrationen zur Texturverbesserung bzw. zur Verbesserung der Schnittfestigkeit genutzt werden. Phosphat soll bei Rohwurst das Mundgefühl verbessern und die Brätviskosität verringern (THORSTEN MÜLLER 2009). Zu Prüfen sind die Auswirkung auf das Wasserbindevermögen und die notwendigen Konzentrationen für eine Texturverbesserung.

Sollte das Wasser während der Reifung wesentlich besser gebunden werden, ist von einem Phosphateinsatz abzusehen, da die partielle Abgabe des freien Wassers essentiell für die Haltbarkeit und Strukturbildung der Würste ist.

Die eigentliche Strukturbildung erfolgt dann durch die Vernetzung der Proteinmoleküle während der Reifung. Die gelösten Proteine umhüllen die Magerfleisch- und Fettpartikel. Bei der milchsäureabhängigen pH-Wert-Senkung kommt es zur Unterschreitung des IEP und zu einer Netzbildung unter Wasserabgabe. Es bildet sich ein Proteinnetzwerk und sorgt so für ein „Verkleben“ der Brätbestandteile. Nur bei einer Unterschreitung des Isoelektrischen-Punktes wird aus den gelösten myofibrillären und sarkoplasmatischen Proteinen ein Gel und die irreversible Texturbildung wird möglich. Das bedeutet, die Schnittfestigkeit ist vom pH-Wert-Verlauf bestimmt. Wichtig für die Vernetzung der Magerfleischpartikel sind zusätzlich der Fettgehalt und die Fettpartikelgröße bzw. die Fettverteilung. Was bei streichfähigen Würsten gewünscht ist - das Umhüllen der Fleischpartikel mit Fett und dadurch eine Abschirmung voneinander - ist für die Struktur schnittfester Rohwurst schädlich. Die Abschirmung hat zur Folge, dass die Proteinfilamente beim Unterschreiten des IEP separiert vorliegen und kein Netzwerk bilden können. Zudem gleiten die Partikel durch den umgebenden Fettfilm bei mechanischer Belastung voneinander ab, die Wurst ist streichfähig. Bei schnittfester Wurst wäre das ein gravierender Produktfehler.

Die endgültige Textur des Produktes wird durch den Grad des Wasserentzugs bestimmt. Je mehr Wasser abgegeben wird, desto mehr verfestigt sich die Struktur (STAHNKE 1994). Bei langgereiften Salamiprodukten ist eine feste Textur gewünscht, was bei kurzgereifter Ware eher unerwünscht bzw. durch den langsamen Prozess des Wasserentzugs nicht erreichbar ist. Zudem führt ein Wasserverlust zu einem höheren Preis, da aus der gleichen Rohstoffmenge weniger Produkt entsteht. Deshalb haben günstige Produkte einen relativ hohen Wassergehalt.

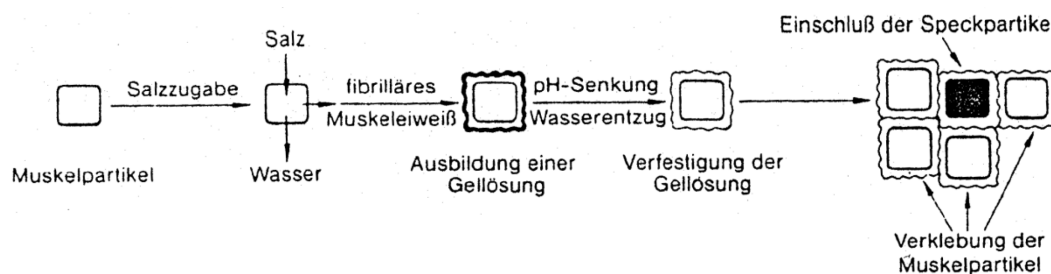


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Ausprägung der Schnittfestigkeit bei Rohwurst (PRÄNDL, FISCHER 1988)

2.1.5 Hygienisch kritische Phase und Rohwurstfehler

Wird bei der Rohwurstproduktion hygienisch korrekt gearbeitet, ist ein fehlerhafter Fermentationsverlauf unwahrscheinlich (N.N. 1986). Die Kontamination mit lebensmittelverderbenden Keimen erfolgt fast ausschließlich als Sekundärkontamination nach der Schlachtung, da das Fleisch selber annähernd keimfrei gewonnen wird (WEBER 1996). Ausnahmen bilden Tiere, bei denen durch Stresseinwirkung die Abwehrmechanismen gestört sind und Kontaminanten in die Blut- und Lymphbahnen gelangen. Veränderungen, die die Haltbarkeit einschränken, können chemische, physikalische oder biologische Einflüsse sein. Chemische Einflüsse können die Proteinzersetzung oder die Autoxidation des Fettes sein. Physikalischer Verderb entsteht durch mechanische Belastungen, Verunreinigungen oder durch zu trockene oder zu feuchte Umgebungsbedingungen. Schwerpunktmäßig ist bei Fleischwaren der mikrobiologische Verderb zu sehen. Durch die Nährstoffsituation, insbesondere den hohen Wassergehalt, ist ein schnelles Mikroorganismenwachstum möglich, das oft eine enzymatische Zersetzung der Fleischbestandteile zur Folge hat, die sich aromatisch stark negativ auswirkt.

Das Rohwurstbrät unterliegt während der Herstellung einem besonders hohen Lebensmittelsicherheitsrisiko. Das rohe Fleischbrät wird für mehrere Tage bis Wochen bei Umgebungstemperaturen von über 15 °C gereift. Das Risiko wird durch den Einsatz von Nitritpökelsalz erheblich verringert (KABISCH, PICHNER 2012). Das Nitrit hat eine hohe Wirksamkeit gegen Clostridien und Salmonellen sowie in geringem Umfang gegen *Staphylococcus aureus* (P.A. BAUMGARTNER 1980). Es wird daher in der ersten Phase der Reifung von lang gereiften Rohwürsten als unverzichtbar angesehen (GAREIS 2013, KABISCH, PICHNER 2012, LEISTNER 2002). Einige Bakterien sind für den Menschen gefährlich und verursachen Lebensmittelintoxikationen oder Lebensmittelinfektionen. Kommt es zu Lufteinschlüssen oder zu einer starken mikrobiologischen Verunreinigung sind Fehlprodukte nicht ausgeschlossen. Besonders die Anfangsphase, in der das Brät einen hohen Wassergehalt und Eh-Wert hat, ist als kritisch zu betrachten. Ist zu diesem Zeitpunkt keine Konservierung durch Nitrit und eine ausreichende Menge an geeigneten Mikroorganismen (z.B. durch Starterkulturen) im Brät vorhanden, können sich schädliche Keime ungehindert vermehren. Meist folgt aufgrund der proteolytischen Aktivität der Schadkeime ein pH-Wert-Anstieg, der die ordnungsgemäße Reifung grundsätzlich verhindert.

Weitere Ursachen für eine nicht ordnungsgemäße Reifung der Rohwurst kann das fehlende Einhalten der erforderlichen Reifeparameter sein. Die äußeren Steuerungsparameter der Rohwurstreifung sind:

- Temperatur
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Luftgeschwindigkeit
- Behandlungsdauer (P.A. BAUMGARTNER 1980, RÖDEL 1985, STAHNKE 1994)

Werden diese Parameter ungünstig gewählt, folgen Fehlprodukte. Die verschiedenen Produktfehler resultieren aus unterschiedlichen Reifungs- oder Rezepturfehlern:

- Eine zu starke Säuerung der Produkte tritt auf, wenn die Kohlenhydratzugabe zu hoch erfolgt und die Mikroorganismen die Möglichkeit haben, große Mengen Milchsäure zu bilden.
- Falls die Reifetemperaturen für die eingesetzte Starterkultur mit einem genügenden Kohlenhydratreservoir zu hoch gewählt werden, findet die Milchsäurebildung enorm beschleunigt statt (P.A. BAUMGARTNER 1980), was zu Denaturierungserscheinungen führt.
- Zu geringe Mengen an Kohlenhydraten rufen eine ungenügende pH-Wert-Senkung hervor, wodurch das Produkt nicht ausreichend konserviert und mikrobiologisch anfällig ist.
- Eine zu gering gewählte rel. Luftfeuchte eventuell in Kombination mit einer zu hohen Luftgeschwindigkeit hat eine Trockenrandbildung zur Folge. Dabei wird aus der Wurtoberfläche vermehrt Wasser abgeführt und es diffundiert nicht ausreichend Wasser aus dem Wurstinneren in die Randzone nach. Durch die Abtrocknung kommt es zum Übergang der Muskelproteine in einen amorphen Zustand, der wesentlich vermindert wasserdurchlässig ist und so einen Verschluss der Wurtoberfläche bildet.
- Ein Trockenrand zum Reifungsbeginn führt zusätzlich zu einem feuchten Kern, der wiederum die Kernfäule stark begünstigt (WEISS, et al. 2013).

Durch Weiterentwicklungen der Verfahrensführung bei der Rohwurstherstellung können diese Probleme eingeschränkt oder sogar eliminiert werden. Bei jeder Veränderung des Hürdensystems ist zu beachten, dass das empfindliche System so verändert wird, dass die korrekte Funktion der Hürden nicht gestört wird.

2.1.6 Technologische Eingriffspunkte in der Rohwurstherstellung

Neuere technologische Entwicklungen bestehen aus dem Einsatz unterschiedlicher Fettreduzierungsverfahren wie dem „more or less“ Prinzip, der Anreicherung mit Gemüse und Früchten und unterschiedlichen Fettaustauschstoffen (REIMOLD 2014) sowie dem Einsatz von Präbiotika und Probiotika. Zum Beispiel wurden Lebensmittelfasern zur Fettreduktion (MÜNCH, MÜLLER 2014, REIMOLD 2014) oder als Ballaststoffe eingesetzt. Dabei kamen unter anderem Weizenfasern zur Anwendung. Diese hatten neben dem ernährungsphysiologischen Einfluss auch technologische Auswirkungen auf die Produkte. Es wurde beobachtet, dass die pH-Werte schneller und tiefer gefallen waren (MÜNCH, MÜLLER 2014).

Es wurden Laktobacillen-Stämme isoliert, die einen probiotischen Effekt aufweisen sollen (KRÖCKEL 2013, LICK 2014). Zudem wurden Untersuchungen durchgeführt, die die Starterkulturleistungen verbessern sollten, indem die Mikroorganismen verschiedenen Stressoren ausgesetzt wurden (HUEFNER&HERTEL 2008). Es wurde ferner versucht funktionelle

Fleischwaren durch die Anreicherung mit ω -3 Fettsäuren, Antioxidantien, positiven pflanzlichen Inhaltsstoffen, mineralischen Nährstoffen, bioaktiven Peptiden sowie Vitaminen zu entwickeln (MÜNCH, MÜLLER 2014).

Es wurden unterschiedliche Systeme zur Verringerung der Produktionszeit erprobt, die jedoch spezifische Nachteile haben. Eine vorangegangene Trocknung des Fleisches, wie durch das von der Firma VAN HEES vorgeschlagene Verfahren, setzt den Einsatz von GDL voraus, was die Aromatisierung einschränkt. Das von ARNAU beschriebene System, bei dem die Rohwurst nach dem Schneiden in Scheibenform nachgetrocknet wurde, um einen möglichst kurzen Diffusionsweg zu gewährleisten, hat die Trocknungszeit reduziert, was jedoch mit einem Anstieg der Keimzahlen einher ging (ARNAU 2014).

Ferner wurden Entwicklungen auf technischer Basis in Form von Belüftungsführung, Luftumwälzung und Klimatisierung umgesetzt. Dabei ermöglicht meist eine bessere Steuerung sowie eine verbesserte messtechnische Auswertung einen Vorteil bei der Abtrocknung und Reifung der Rohwürste (BORATTO 2014).

Während der Rohwurstherstellung ist auf viele Parameter zu achten, die ein sicheres Produkt gewährleisten. Da die Anfangszeit der Fermentation hygienisch von besonderer Bedeutung ist, muss hier der notwendige Schutz vor Verderb vorhanden sein. Prämisse muss sein, alle Veränderungen des Hürdensystems unter Berücksichtigung dieser ersten sensiblen Phase zu realisieren. Zudem soll eine produkttypische Umrötung des Magerfleisches erfolgen. Daraus ergibt sich für die Entwicklung die Unverzichtbarkeit des Konservierungsstoffes Nitrit, da eine kurze Reifezeit angestrebt ist und bei einem Nitratsatz eine Mindestreifezeit von vier Wochen gesetzlich vorgeschrieben ist. Diese lange Reifezeit wurde auf Grund der Notwendigkeit der Reduktion des Nitrats zu Nitrit durch die Mikroflora festgelegt.

Die nachfolgend einsetzenden Hürden können jedoch verändert werden. Konventionell kommen die Senkung des Eh- und des pH-Wertes zum Tragen. Durch eine vorgezogene Trocknung sowie eine Auslagerung der beginnenden Fermentation, ist ebenfalls eine sichere Produktion mit einer veränderten Abfolge der Hürden denkbar. Die Auslagerung der ersten Fermentationsphase in einen Teil des Brätes sorgt für die notwendige Anpassung der Starterkulturen (Lag-Phase), eine anfängliche pH-Wert-Senkung sowie für eine Anreicherung der gewünschten Mikroorganismen. Diese Anreicherung kann bei für die Starterkulturen optimalen Temperaturbedingungen erfolgen, da der Großteil des Brätes nicht beeinflusst wird.

Die Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit erfolgt durch die vorgezogene Trocknung, da die Wasserabgabe der maßgebliche geschwindigkeitsbestimmende Prozessschritt der Herstellung ist. Die Verlagerung des Trocknungsprozesses wird aufgrund der verbesserten mikrobiologischen Startsituation möglich, da zum Zeitpunkt der Brätbereitung bereits hohe Keimzahlen vorliegen und die Trocknung die erreichbare Keimzahl wenig beeinflusst.

Eingriffspunkte: Reihenfolge der Hürden, Fermentationsbedingungen, Auslagerung der Lag-Phase, Einschränkung der Wasserverfügbarkeit

Die Beeinflussung der Fermentation durch die Senkung des Ausgangswassergehaltes kann genutzt werden, um bisher nicht verwendbare Einlagegüter in das Rohwurstbrät zu bringen. Es wird eine geringere Beeinflussung der Milchsäurebildung vermutet, da die Stoffwechselaktivität herabgesetzt wird.

Die Prozessänderung soll verschiedene technologische Vorteile hervorbringen. Es soll die Reifezeit verkürzt und durch die Vorfermentation die Mikroorganismenzahl so erhöht werden, dass eine Fehlfermentation durch hohe Konkurrenzfähigkeit der Starterkulturen praktisch ausgeschlossen wird. Das Verfahren soll wenn möglich ohne Klimareifekammer auskommen und durch die kürzere Reifezeit eine kurzfristige Produktion ermöglichen.

Hinsichtlich der Beschleunigung der Herstellung von Rohwurst und des Abkoppelns von Klimatechnik im Produktionsprozess wurden bereits Forschungsbemühungen durchgeführt. Die Firma VAN HEES hat zu dieser Problematik ein Produkt entwickelt, mit dem sich laut den Herstellern schnittfeste Rohwurst in 48 h zur Endreife führen lässt (HÄUßLER 2011).

Durch diese Modifikationen des herkömmlichen Reifeverfahrens soll in dieser Arbeit der Einsatz von stark kohlenhydrathaltigen Einlagematerialien in Rohwurst möglich werden. Bei einer konventionellen Herstellung werden Kohlenhydrate von den spezifischen Mikroorganismen verstoffwechselt. Eine hohe Konzentration an Kohlenhydraten verstärkt die Milchsäurebildung, weshalb ein Überschuss an Kohlenhydraten normalerweise zu vermeiden ist. Das schließt unter anderem Einlagematerialien wie Brot, Getreide, Obst und teilweise Gemüse aus. Eine Einschränkung der Stoffwechselaktivität der zugegebenen Mikroorganismen zum geeigneten Fermentationszeitpunkt kann ungekühlt haltbare Rohwurstprodukten mit derartigen Einlagematerialien ermöglichen. Entscheidend ist, dass es zu einer gewissen pH-Wert-Senkung bzw. zur Stabilisierung der Produkte kommen muss und die Fermentation anschließend durch die Einstellung der inneren fermentationsbestimmenden Parameter eingeschränkt wird.

2.1.7 Präzisierte Aufgabenstellung - Fermentationsmodifikation zur Verbesserung der Fermentationssicherheit und -geschwindigkeit

Die Theorie des modifizierten Herstellungsverfahrens zur Reifung von Rohwurst basiert darauf, den Fermentationsprozess zu beschleunigen und das Produkt schon am Anfang der Reifung so zu stabilisieren, dass das Risiko von Fehlchargen minimiert bzw. ausgeschlossen wird. Dazu ist es notwendig, den traditionellen Herstellungsablauf zu verändern. Die Lag-Phase der Fermentation, in der sich die Mikroorganismen ihrer neuen Umgebung anpassen, soll verkürzt werden und eine Vermehrung der gewünschten Keime in den Fettbestandteilen der Fleischrohstoffe stattfinden. Dazu wird das Fett separat zerkleinert und mit Starterkulturen vermengt. Es erfolgt eine Überdosierung von Kohlenhydraten, damit eine sehr gute Nährstoffbasis für die Mikroflora vorliegt. Zudem wird die Fermentationstemperatur auf 30 °C als optimale Temperatur für das entsprechende Keimspektrum und den Rohstoff angehoben und so ein vermehrtes Wachstum erreicht. Das Fett wird anschließend mit den Magerfleischbestandteilen zu einem Brät verarbeitet, in Wursthüllen gefüllt und gereift.

Die verbesserten Voraussetzungen für die Reifung der Rohwurst sollen die Säurebildung beschleunigen und den pH-Wert schnell unter den gewünschten Wert von 5,3 bringen. Zusätzlich erfolgt durch die erhöhte Zahl der eingebrachten Mikroorganismen eine verbesserte Konkurrenzsituation für die Starterkulturen.

Die beschleunigte Fermentation und das schnelle Erreichen des pH-Wertes von 5,3 machen es notwendig, den geforderten a_w -Wert von 0,93 ebenfalls möglichst schnell zu erreichen. Dazu wird es erforderlich, eine erhöhte Wasserbindung oder einen verbesserten Wasserentzug zu realisieren, als es bei konventioneller Herstellung der Fall ist. So zeigt die Wurst schneller die lebensmittelsicherheitstechnisch relevanten Werte und kann an den Verbraucher abgegeben werden. In Abbildung 7 ist die avisierte Entwicklung der Hürden zur Konservierung der Rohwurst dargestellt. Die Entwicklung wird in zwei Teile untergliedert. Die Einstellung der inneren Fermentationsparameter wie der Fermentation der Fettbestandteile und der Vortrocknung des Magerfleisches zur Beschleunigung der Wasserabgabe sowie zur Ausbildung der a_w -Wert-Hürde. Anschließend folgt die Reifung bzw. Fermentation der gefüllten Würste mit der Steuerung durch die äußeren Fermentationsparameter.

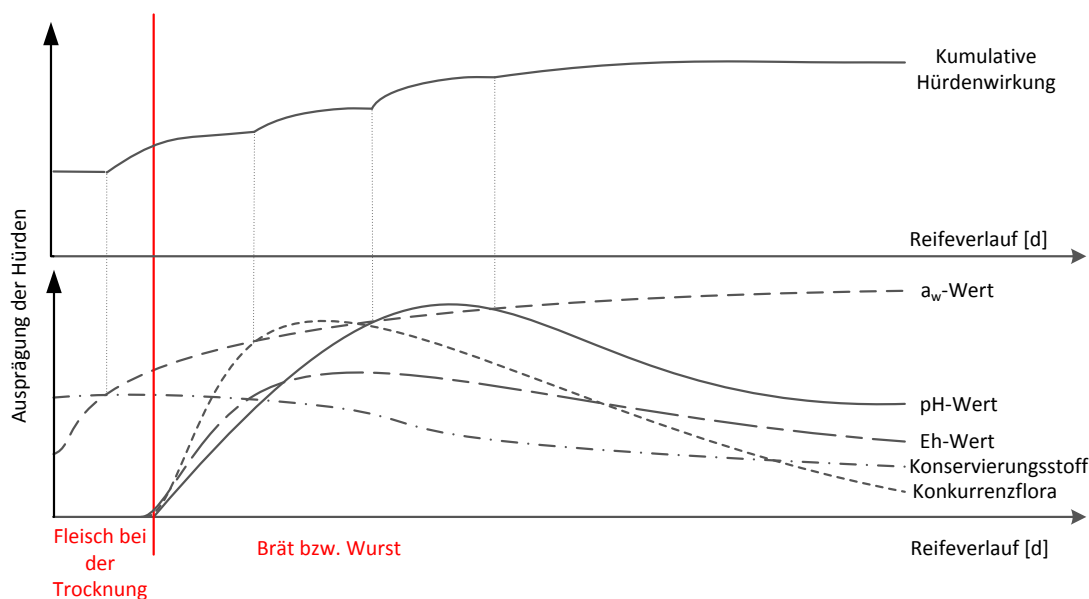


Abbildung 7: Schematische Darstellung der avisierten Neuordnung der Hürden bei der Rohwurstreifung für die geplante Prozessoptimierung

Die Trocknung des Magerfleisches erfolgt unter Zugabe von Nitritpökelsalz, so dass die Konservierungsstoffhürde von Anfang an ausgebildet ist. Durch die Trocknung erhöht sich die a_w -Wert-Hürde. Nach der Brätbereitung und dem Füllen des Brätes kommt es durch mikrobiologische Prozesse zu einem Absinken des pH-Wertes sowie des Eh-Wertes. Welche genaue Rolle jeder einzelne Konservierungsmechanismus zu diesem Zeitpunkt spielt, ist nicht abzusehen. Wahrscheinlich ist jedoch, dass der pH-Wert von größerer Bedeutung gegenüber dem Eh-Wert ist, da er eine starke Einschränkung für Verderbniskeime bedingt. Beide liefern durch ihre Ausbildung einen wichtigen Beitrag zur Selektion der gewünschten Mikroflora.

Auf dieser Grundlage und in Zusammenhang mit der erhöhten Ausgangskeimzahl durch die Vorfermentation des Fettes kann sich eine sehr starke Konkurrenzflora aus anaeroben, säuretoleranten Keimen aufbauen.

2.1.7.1 Fermentation des Fettes

Die Fermentation des Fettes war eine grundlegende Voraussetzung für die Realisierbarkeit des Verfahrens. Die Anreicherung der Starterkulturen sollte innerhalb der Fettphase erfolgen, da in der Magerfleischphase Negative Auswirkungen auf die Proteinstruktur infolge der Säureeinwirkung zu erwarten waren. Durch ein vorzeitiges Erreichen des IEP innerhalb der Magerfleischphase wäre eine Strukturbildung bei nachfolgender Rohwurstproduktion ausgeschlossen:

- Es musste eruiert werden, ob es innerhalb der Fettphase zu einer pH-Wert-Senkung durch die Mikroorganismen kommt und ob diese ausreichend ist, um eine sichere Produktion zu gewährleisten.
- Die Anreicherung der gewünschten Fermentationskeime sollte durch mikrobiologische Analysen nachgewiesen werden. Das Fett hat originär einen höheren pH-Wert und eine wesentlich höhere und ungünstigere Keimbelastung als das Magerfleisch.
- Bei der Fermentation mit auf die Starterkulturen ausgerichteten Bedingungen musste eine Vermehrung von Schadkeimen ausgeschlossen werden.
- Zudem war es wichtig, die sensorische Entwicklung des Fettgewebes zu betrachten, da die Fettveränderungen die Produktqualität stark beeinflussen. Insbesondere bei Fett können durch oxidative Prozesse starke Fehlgerüche entstehen, die das Produkt ranzig schmecken lassen. Solche Entwicklungen können bei der Vorfermentation des Fettes nicht ausgeschlossen werden. Teilweise sind diese Fettabbauprodukte gerade erwünscht, da eine leichte Parfümranzigkeit die langgereifte Charakteristik der angestrebten mediterranen Produkte unterstützt.

Zum Beleg des Fermentationsverlaufs wurde Fett mit Glucose und Starterkulturen für 24 h bei 30 °C inkubiert. Anschließend wurde der pH-Wert gemessen und der sensorische Eindruck ermittelt. Als Nachweis für die Anreicherung der Fermentationskeime wurden mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt.

2.1.7.2 Herstellung und Bewertung der Wurstwaren

Der traditionelle Herstellungsprozess schnittfester Rohwurst soll in unterschiedlichen Versuchsreihen um zu ermittelnde Verfahrensschritte erweitert und so eine Reaktionsbeschleunigung erzielt werden. Der Herstellungsprozess wird dadurch voraussichtlich aufwendiger gestaltet.

Angedacht sind:

- ein vorgeschalteter Fettfermentationsprozess
- das Einstellen der Magerfleischeigenschaften
- ein Mischprozess

Die vorgeschaltete Fettfermentation soll den Mikroorganismen die Möglichkeit geben, sich bei Optimalbedingungen an das Milieu anzupassen und von der Lag-Phase in die exponentielle Phase zu gelangen. Damit ist es möglich, eine sofortige Produktivität der Kultur zu erreichen, den Säureschutz der Wurst schnell aufzubauen und eine erhöhte Zahl an Schutzkulturen in das Brät einzubringen. Dadurch soll die Aktivität der favorisierten Mikroorganismen gesteigert werden sowie eine mögliche gezielte Veränderung des Fettaromas durch Säureeinwirkung und Lipolyse erreicht werden. Durch die Lipolyse soll sich das Aroma langgereifter Rohwurst einstellen.

Die Beeinflussung der Magerfleischeigenschaften bezieht sich auf den Wassergehalt und die Proteinlöslichkeit zur Strukturbildung. Die Auswirkungen der schnellen Säurebildung und der möglichen Veränderung der Fetteigenschaften müssen durch Maßnahmen wie Salzzugabe, Phosphateinsatz oder Trocknung eingeschränkt bzw. gezielt gesteuert werden.

Der Mischprozess ist aufgrund der separaten Verarbeitung des Fettes notwendig. Es muss darauf geachtet werden, dass es durch das Mischen nicht zu unkontrollierten optischen Veränderungen des Fettes kommt und ein unklares Schnittbild entsteht.

Ziel ist es, die Reifung um mindestens 2/3 der konventionellen Reifezeit zu verkürzen und eine ausgewogene Aromaausbildung zu erreichen, ohne dass eine Klimatisierung der Würste während der Reifung erfolgen muss.

In Abbildung 8 ist die angestrebte Herstellung schematisch dargestellt. Die angedachten Erweiterungen des Herstellungsverfahrens sind in grün abgebildet.

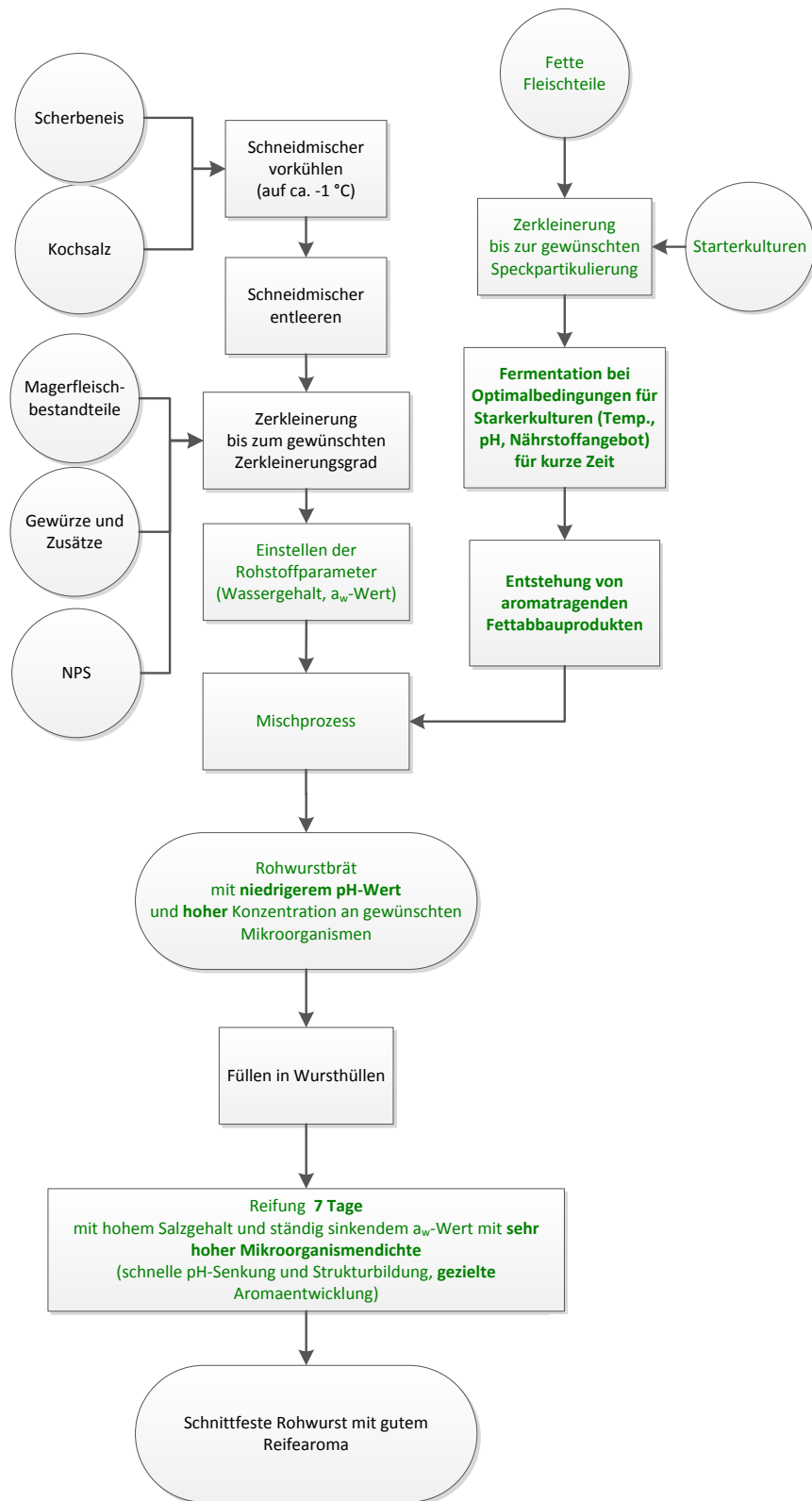


Abbildung 8: Schematische Darstellung des zu entwickelnden Produktionsverfahrens für schnittfeste Rohwurst mit einer gezielten Aromaentwicklung (die grünen Felder geben die angedachten Modifikationen bzw. die Folgen der Modifikationen im Verfahren an)

- Zu Beginn wird die Fermentation des Fettes durchgeführt. Dazu wird das einzusetzende Fett mit den Starterkulturen sowie einer hohen Dosierung an Glucose vermengt und anschließend bei Optimalbedingungen ca. 24 h bebrütet. Während der Fermentationsphase des Fettes kommt es aufgrund der Temperatur zu einer vermehrten Bildung von Fettabbauprodukten, die für eine spätere Aromatisierung zuträglich sind.
- Es folgt die Konditionierung der Magerfleischfraktion, in der der Wassergehalt bzw. der a_w -Wert des Fleisches angepasst wird. Das kann durch Zusätze oder durch kontrollierte Trocknung erfolgen.
- Anschließend wird das Rohwurstbrät produziert. Das Magerfleisch wird zerkleinert und mit Gewürzen, Zusätzen sowie dem Nitritpökelsalz versetzt.
- Nachfolgend werden Magerfleisch und fermentiertes Fett zerkleinert und miteinander vermengt. Im Resultat entsteht ein Rohwurstbrät mit eingestellten Parametern und einer erhöhten Ausgangskeimzahl der unmittelbar aktiven Starterkulturen sowie einem leicht reduzierten pH-Wert.
- Das Brät wird analog zur konventionellen Herstellung in dafür geeignete Rohwurstdärme gefüllt und gereift. Die Reifung erfolgt mit gesteuerter Temperatur und rel. Luftfeuchte, soll aber durch die Verfahrensentwicklung final auch bei Umgebungsbedingungen ohne Klimakonditionierung funktionieren.

Durch das Reifeverfahren lässt sich innerhalb von 7 Tagen eine ausgereifte, schnittfeste Rohwurst erzeugen, die durch ein ausgeprägtes Reife Aroma gekennzeichnet ist.

Die weiteren Verfahrensschritte werden analog zu der konventionellen Rohwurstherstellung durchgeführt. Bei den ersten Versuchen erfolgt die Reifung bei einer Temperatur von 18 °C - 24 °C ohne eine weitere Klimatisierung.

Während der weiterführenden Versuche erfolgt die Reifung bei Temperaturen von ca. 22 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von ca. 45 %.

Im Ergebnis werden die Anpassungen des Verfahrens zur weiteren Optimierung getroffen.

2.1.7.3 Auswahl des geeigneten Trocknungsgrades

Bei der Herstellung von Rohwurst ist der Fermentationsprozess der entscheidende Schritt, der die Haltbarkeit der Produkte und die Schnittqualität gewährleistet. Für die Langzeithaltbarkeit einer ausgereiften Salami ist die Wasserabgabe ebenso entscheidend, wie für die charakteristische Textur. Bei keinem oder geringem Wasserverlust entstehen wesentlich elastischere Produkte, die eine nicht produkttypische Festigkeit besitzen und nicht die geforderte Haltbarkeit aufweisen. Die verbesserten Fermentationsvoraussetzungen machen eine schnelle Wasserabgabe notwendig, um die Prozessgeschwindigkeit zu erhöhen. Ein reduzierter Ausgangswassergehalt beeinflusst die Fermentationsgeschwindigkeit wie auch die Ausprägung des pH-Wert-Abfalls, da bei geringerer Wasserverfügbarkeit die mikrobiologischen

Stoffwechselprozesse und damit auch die Milchsäureproduktion gehemmt werden. Die Hemmung beruht darauf, dass Wasser als Transportmedium für Nährstoffe, Mineralstoffe oder Botenstoffe innerhalb der Zellen benötigt wird.

Die Abgabe des Wassers ist bei der Reifung ein stetiger Prozess, der durch die rel. Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit in der Reifekammer beeinflusst wird. Die Regelung erfolgt bei der Reifung nach der Formel 1:

Formel 1: a_w -Wert der Wurst $\times 100 - 5$ = rel. Luftfeuchte in der Reifekammer in %

Wird die Reifung derart gesteuert, wird unmittelbar das freie Wasser, welches abgegeben werden soll, als Basis für die Berechnung herangezogen. Ausgedrückt wird das freie Wasser im a_w -Wert. Es wird eine Differenz von konstant 5 % rel. Luftfeuchte als Gradient von Wurtoberfläche zu Reifekammer angestrebt. Durch Einhalten dieser reifungsabhängigen rel. Luftfeuchte kann die Bildung eines Trockenrandes vermieden werden. Bei einer beschleunigten Fermentation muss auch die Wasserabgabe angepasst werden. Nur so kann das Produkt schneller die Endreife erreichen, da bei der Produktion von schnittfester Rohwurst nicht ausschließlich die Fermentation der geschwindigkeitsbestimmende Prozess ist (ARNAU 2014). Die Beschleunigung der Wasserabgabe ist bei bereits gefüllten Würsten nur in sehr geringem Umfang ohne maßgebliche Qualitätseinbußen zu ermöglichen.

Es wurden Verfahren entwickelt, die einen nachgelagerten Wasserentzug realisieren, indem die aufgeschnittene Rohwurst in Scheiben getrocknet wurde. Diese Verfahrensweise führte jedoch zu einer Veränderung der Farbe und zu einer Erhöhung des Keimgehaltes der Produkte (ARNAU 2014).

Die Parameter der Wasserabgabe lassen sich vereinfacht durch das erste Fick'sche Gesetz (Formel 2) erläutern, da die Wasserabgabegeschwindigkeit maßgeblich von der Diffusion des Wassers aus dem Wurstinneeren bestimmt wird.

Formel 2: Erstes Fick'sches Gesetz (KURZWEIL, et al. 2008)

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

- J: Transportierte Stoffmenge
- D: Diffusionskoeffizient in $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- c: Stoffmengenkonzentration in $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$
- x: Entfernung zum Diffusionsziel in m

Laut des ersten Fick'schen Gesetzes ist die transportierte Stoffmenge abhängig von der Diffusionskonstanten **D**, der Konzentration **c** und dem Diffusionsweg **x**. Die Diffusionskonstante lässt sich kaum beeinflussen und ist im System Rohwurst als gegeben hinzunehmen. Die Konzentration **c** an enthaltenem Wasser ist der Wert, der beeinflusst werden soll. Die Formel gibt an, dass bei geringerem Wassergehalt auch weniger Wasser abgegeben werden kann. Die Konzentration ist der Zielwert. Der Weg **x**, den das Wasser aus dem Wurstinneeren an die Oberfläche zurücklegen muss, ist nach dem Füllen der Wurst nicht mehr veränderbar. Der Weg **x** ist jedoch der einzige Parameter, der sich ohne Veränderung der Zusammensetzung modifizieren lässt. Der Diffusionsweg ist demnach der Angriffspunkt für eine beschleunigte

Wasserabgabe. Da eine Kaliberreduzierung nicht angestrebt wird, muss das enthaltene Wasser vor dem Füllen bzw. vor der Brätbereitung abgeführt werden. Der geeignete Wassergehalt liegt vor, wenn die Milchsäureproduktion bis zu einem pH-Wert unter 5,3 zügig geschieht und anschließend durch die weitere Reduktion der Wasserverfügbarkeit ebenfalls eingeschränkt wird. Dabei soll das Produkt final die Charakteristiken von Rohwurst aufweisen ohne Nachteile bei der Textur- und Strukturbildung.

2.1.7.4 Einbringen von stark kohlenhydrathaltigen Einlagen in Rohwurst

Die Optimierung des Fermentationsprozesses soll vorrangig die Reifezeit verkürzen sowie die Lebensmittelsicherheit erhöhen. Während der Entwicklung war es notwendig, die Wasserverfügbarkeit zu verringern. Neben den weiteren Nährstoffen wie Kohlenhydraten oder Proteinen ist Wasser für die Vermehrung und den Stoffwechsel von Mikroorganismen unabdingbar (NAGL n.N.).

Eine Einschränkung der Wasserverfügbarkeit kann die Stoffwechselaktivität demnach beschränken (M. RÜEGG 1976). Auf diese Weise wird die Fermentation durch die Verfügbarkeit des Wassers im Brät gesteuert. Durch diese Art der Steuerung ist nicht mehr die Energieverfügbarkeit also der Kohlenhydratgehalt im Brät der Steuerungsmechanismus, der den pH-Wert-Verlauf maßgeblich beeinflusst. Davon ausgehend, dass die milchsäureproduzierenden Mikroorganismen ab einem bestimmten Wassergehalt die Säureproduktion einschränken, wird es möglich, durch gezielte Wasserbeschränkung die Säuerung zu einem gewünschten Zeitpunkt (pH-Wert) abubrechen. LÜCKE sagt dazu, dass die Milchsäureproduktion ab einem a_w -Wert von 0,955 eingeschränkt wird und ab 0,92 fast nicht mehr vorhanden ist (LÜCKE 1994). Dieser Bereich kann demnach zur Steuerung der Fermentation genutzt werden. Der Vorteil kann darin gesehen werden, dass in Kombination mit einer beschleunigten Milchsäurebildung und Aromatisierung zeitgleich ein sicherer a_w -Wert erreicht wird und das Produkt sofort vermarktbar ist. Kann die Einschränkung des Wassergehaltes entsprechend umgesetzt werden, ist eine Reifezeit von ca. 7 Tagen denkbar, wodurch eine erhebliche Einsparung von Zeit- und Lagerkapazität möglich wird, was die Wirtschaftlichkeit der Rohwurstproduktion positiv beeinflusst.

Durch das Abkoppeln der pH-Wert-Entwicklung von der Kohlenhydratkonzentration kann angenommen werden, dass die Möglichkeit gegeben ist, Einlagen, die konventionell eine Fehlfermentation in Form einer Übersäuerung auslösen, einzusetzen. Der pH-Wert-Abfall, der aus einer Überdosierung der Kohlenhydrate folgen würde, wird durch die Einschränkung des Wassers und der daraus resultierenden geringeren Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen nicht erreicht.

Schematisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 9 dargestellt. Es handelt sich bei den Werten um theoretische pH-Wert-Minima bei unterschiedlichen Ausgangswassergehalten während der Rohwurstreifung. Es soll gezeigt werden, dass ein niedriger Ausgangswassergehalt der Theorie folgend einen höheren Minimal-pH-Wert hervorruft.

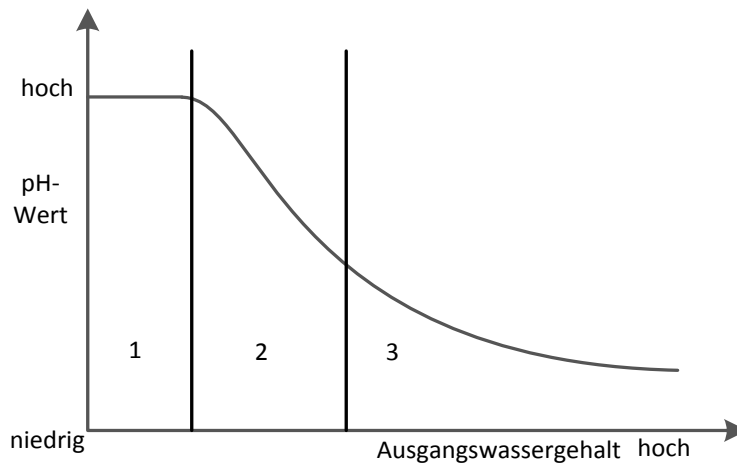


Abbildung 9: Schematische Darstellung der theoretischen pH-Wert-Beeinflussung durch die Verfügbarkeit von Wasser in Salami

Die Abbildung 9 lässt erkennen, wie sich theoretisch bei verschiedenen Ausgangswassergehalten der minimale pH-Wert einstellt:

- In Bereich 1 ist der Ausgangswassergehalt so niedrig, dass keine Stoffwechselaktivität hinsichtlich der Milchsäureproduktion stattfindet. Der pH-Wert sinkt nicht ab.
- In Bereich 2 läuft das der These entsprechende Verfahren ab. Es findet Milchsäurebildung am Anfang der Reifung statt, während der Reifung wird Wasser abgegeben und die Milchsäurebildung aufgrund der Wasserunterversorgung eingestellt (HERTEL 2013). Daraus folgt, dass der minimale pH-Wert durch die Beschränkung des Wassergehaltes begrenzt werden kann.
- Bereich 3 kennzeichnet den konventionellen Ausgangswassergehalt ohne Beeinflussung. Die Wasserabgabe erfolgt ausschließlich während der Reifung und es kommt zu einem pH-Wert-Abfall in maßgeblicher Abhängigkeit der Kohlenhydratkonzentration.

Trifft die Theorie zu, kann das Feld der nutzbaren Einlagen maßgeblich erweitert werden. Es ließen sich Materialien wählen, die langkettige Kohlenhydrate enthalten wie Getreide, Brot, Extrudate aus Getreide, Kartoffelprodukte oder auch Einlagen mit kurzkettigen Kohlenhydraten wie Obst, Gemüse, kandierte Produkte, Schokolade, Kekse und vieles mehr.

Entscheidend für den Reifeverlauf sind dann nicht mehr der Anteil an Kohlenhydraten, sondern die eingebrachte Wassermenge und die hygroskopischen Eigenschaften der jeweiligen Stoffe. Sollte das Einlagenmaterial ein hohes Maß an Wasser an sich binden, kann das Texturprobleme zur Folge haben und infolge der Wasseranreicherung eine Fehlfermentation an der Einlagen- / Brätgrenzfläche hervorrufen.

2.1.7.5 Änderung der Kohlenhydratkonzentration im Brät

Die Trocknung des Magerfleisches sowie die Zugabe von Salzen bewirken eine Reduktion des freien Wassers, das für das mikrobiologische Wachstum im Brät zur Verfügung steht. Durch diese Einschränkung kann als limitierender Faktor der pH-Wert-Senkung der Wassergehalt anstelle der Kohlenhydratkonzentration verwendet werden. Durch Broteinlagen, als Bsp. für kohlenhydratreiche Einlagen, soll die Theorie geprüft werden. Bevor eine zwingende Anreicherung mit Kohlenhydraten in Form der angestrebten Broteinlagen erfolgen konnte, war zuvor der Nachweis der Kohlenhydratunabhängigkeit der pH-Wert-Entwicklung zu erbringen. Die Notwendigkeit resultierte aus den Schwankungen, die durch die angestrebten unterschiedlichen Einlagematerialien erzeugt werden. Bei einer Konzentrationsabhängigkeit müsste das System für jede Kohlenhydratkonzentration und jeden Einlagenrohstoff neu ausgelegt werden. Der Nachweis erfolgte durch die Zugabe unterschiedlicher Konzentrationen von Glucose bei der Brätbereitung, da sich so die Kohlenhydratkonzentrationen genau regulieren ließen. Glucose wird von den zugesetzten Lactobacillen bevorzugt gegenüber höherwertigen Zuckern verstoffwechselt und kann sehr schnell verarbeitet werden. Auf dieser Basis waren die Ergebnisse auch auf höherwertige Kohlenhydratmoleküle übertragbar, da es bei einer Abhängigkeit von der Kohlenhydratkonzentration bei Glucose zu einer stärkeren Milchsäurebildung kommt. Der Effekt ist demnach wesentlich schneller und deutlicher wahrzunehmen. Die genauen einzustellenden Parameter, insbesondere der Wassergehalt, ließen sich erst am Brotzusatz ermitteln. Das Brot besitzt durch die Vorbehandlung selber einen spezifischen Wassergehalt, der wiederum die Bräteigenschaften beeinflusst.

2.1.7.6 Einsatz von Brot im Brät schnittfester Rohwurst

Als mögliches Einlagenmaterial werden verschiedene Brotsorten avisiert. Sie besitzen einen hohen Anteil an Kohlenhydraten und können daher grundlegende Ergebnisse zur Anreicherung mit Kohlenhydraten insbesondere langkettigen Molekülen liefern. Dazu werden die Brotsorten Weißbrot, Graubrot und Schwarzbrot gewählt. Diese sind in ihrer Zusammensetzung verschieden, so dass der Einfluss auf den pH-Wert differenziert ausfallen kann. Das Verfahren, im Speziellen die Trocknung, soll anschließend den Broteinlagen angepasst werden.

Da die vorgezogene Fermentation des Fettes die pH-Wert Entwicklung beschleunigt, wird vorerst eine konventionelle Fermentation angestrebt. Durch die beschleunigte pH-Wert-Absenkung könnten die Versuchsergebnisse verändert werden und die Verfahrensentwicklung nicht realisierbar sein. Bei erfolgreicher Umsetzung mit konventioneller Fermentation kann eine Einbindung des fermentierten Fettes erfolgen. Das Brot soll vor dem Einsatz hinsichtlich des Wassergehaltes angepasst werden, damit ein zu großer Wassereintrag vermieden wird und sich keine punktuelle Milchsäurebildung an den Einlagen vollzieht.

Zur Beurteilung des Erfolges werden verschiedene Parameter herangezogen:

- Der Fermentationsverlauf ist das ausschlaggebende Kriterium. Dabei ist besonders der pH-Wert-Verlauf zu beachten, da er als Maß für die Kohlenhydratumsetzung zu Milchsäure dient. Zusätzlich sind Fermentationsfehler wie Gasbildung, Verfärbungen oder aromatische Auswirkungen wie Fäulnis bedeutsam.
- Die Produktstruktur, insbesondere der Erhalt der Krumenstruktur des Brotes nach dem Misch- und Abfüllprozess, ist ebenfalls zu beachten. Zu gewährleisten sind die Schnittfestigkeit und die Einbindung der Bröteinlagen in das Brät.
- Trotz der Vorbehandlung des Brotes ist eine Rehydratation zu erwarten, da das Brät zu Beginn der Reifung einen hohen Wassergehalt besitzt. Es ist darauf zu achten, dass die Brottextur nicht aufweicht oder zu fest bleibt und dadurch zu einem unangenehmen Mundgefühl führt.
- Die Aromaentwicklung soll so gestaltet werden, dass das Brot gut wahrnehmbar ist und sich mit dem Rohwurstaroma ergänzt. Ein ausgewogenes Mengenverhältnis aus Bröteinlage, Magerfleisch und Fett muss gefunden werden, damit ein aromatisch, texturrell und aus Sicht der Strukturbildung qualitativ hochwertiges Produkt entsteht.

Die Verwendung der kohlenhydratreichen Einlagen sollte nach Prüfung mit dem entwickelten Verfahren zum Einsatz des fermentierten Fettes erfolgen. Dazu wurde das Fleisch entsprechend vorbehandelt, so dass nur eine eingeschränkte pH-Wert-Senkung erwartet wird. Das einzubringende Brot wurde ebenfalls vorgetrocknet. Dadurch wurde ein zusätzlicher Wassereintrag vermieden und das Brot bei der Verarbeitung strukturell stabilisiert. Die Größe der Brotbestandteile wurde nach verschiedenen Kriterien festgelegt. Der Verarbeitungsaufwand sollte gering gehalten, der optische Eindruck dem Produkt angepasst und die strukturelle Integrität der Produkte gewährleistet werden.

Durch das wesentlich geringere spezifische Gewicht des getrockneten Brotes war die Ermittlung der Massenverhältnisse abhängig von der eingesetzten Brotsorte erforderlich. Die zugegebene Brotmenge wurde durch die Zielstellung, das Wurstprodukt nicht zu stark zu entfremden, limitiert. Zudem waren technologische Einschränkungen vorhanden. Bei einem zu großen Brotanteil war eine gestörte Strukturbildung zu erwarten, was genau zu beobachten und bewerten war. Ferner waren übergeordnet die Fermentationsbeeinflussung und die Anpassung und Optimierung des Verfahrens durchzuführen.

2.1.7.7 Einsatz von getrockneten und kandierte Früchten in schnittfester Rohwurst

Die These, dass die Fermentation auch bei Vorhandensein eines Kohlenhydratüberschusses fehlerfrei ablaufen kann, legt den Grundstein für weitere Rezepturmodifikationen. Insbesondere Fruchteinlagen, ob getrocknet oder kandierte, beeinflussen durch den hohen Gehalt an

kurzkettigen Kohlenhydraten die Fermentationsentwicklung. Es sollen verschiedene Einlagematerialien geprüft werden, um die Eignung des Verfahrens zu belegen.

Für den Einsatz der Fruchteinlagen gelten die gleichen Grundvoraussetzungen wie für den Einsatz von Brot. Die Früchte haben einen hohen Kohlenhydratanteil. Es soll so wenig zusätzliches Wasser wie möglich in das Brät eingebracht werden, damit der Fermentationsverlauf wenig beeinflusst wird und die fermentationsbestimmenden Faktoren, insbesondere der Wassergehalt, dem des präparierten Brätes entspricht. Aus diesem Grund werden getrocknete oder kandierte Rohstoffe gewählt.

Die Eignung der Einlagen ist nach verschiedenen Gesichtspunkten zu bewerten:

- Analog zur Verwendung von Brot als Einlagematerial muss darauf geachtet werden, dass der Fermentationsverlauf so gestaltet ist, dass keine Produktfehler wie eine Übersäuerung oder Verfärbungen auftreten. Zusätzlich kann durch hygroskopische Gegebenheiten an den Einlagenoberflächen eine Anhäufung von Wasser auftreten, die zu einer punktuellen Milchsäurebildung an diesen Stellen und einer verstärkten Säuerung an den Grenzflächen und damit ungewünschten Denaturierungserscheinungen führt.
- Die Struktur der Einlagen muss auf das Produkt Rohwurst abgestimmt werden. Es ist möglich, dass die Struktur der Einlagen nicht die gleichen Schneidwiderstände erzeugt und somit eine Darreichung in Scheibenform nicht möglich ist.
- Die Textur der Einlagen kann ein unangenehmes Mundgefühl erzeugen. Sie kann zu stückig, zu fest, zu weich, zu gummiartig oder zu schmierig sein.
- Die Gestaltung des Aromas muss dem Produkt angepasst werden.

Die Verfahrensweise beim Einbringen getrockneter oder kanderter Fruchteinlagen war analog zur Anwendung von Broteinlagen. Es sollte eine Erweiterung der Veredelungsmöglichkeiten von Rohwurst realisiert werden. Bei Fruchteinlagen spielen jedoch, anders als bei Brot, zusätzliche Faktoren eine Rolle:

- Es kann durch die in den Früchten enthaltenen Fruchtsäuren zu einer Beeinflussung der Fermentation kommen.
- Durch die abweichenden Texturen können haptisch ungewohnt wirkende und dadurch nicht vermarktbar Produkte entstehen.
- Die durch die Früchte eingebrachten Aromen passen nicht zum Rohwurstaroma und es ist denkbar, dass nur wenig sensorisch akzeptable Produkte entstehen.

Das Einbringen und Untermengen der Einlagenpartikel wird unproblematischer als bei Einlagen aus Brot eingeschätzt, da kandierte und getrocknete Früchte eine größere mechanische Stabilität im Vergleich zur Krumenstruktur von Brot besitzen.

2.2 Räuchern

Das Ziel des Räuchern ist es, den Geschmack und das Aroma von Lebensmitteln durch eine appetitliche Rauchnote zu vervollständigen, dem Räuchergut eine ansprechende Oberflächenfärbung zu verleihen und durch die antimikrobiellen Bestandteile des Rauches eine Oberflächenkonservierung zu erreichen (BORATTO 2014, MRAK, et al. 1984). Räuchern wird bei diversen Fleisch- und Wurstwaren, auch häufig bei Fisch (REHBRONN, et al. 1983, TÜLSNER&KOCH 2010) und seltener bei Käse angewandt. Es wird angenommen, dass ca. 40 % bis 60 % der Fleischwaren geräuchert angeboten werden (TOLDRÁ 2010). Bei der Herstellung von Bier, Tee oder Whisky kann ebenfalls eine Rauchanwendung erfolgen. Das äußere Erscheinungsbild von Wurst- und Fleischerzeugnissen wird wesentlich von der Rauchbeaufschlagung bestimmt. Durch Fehler während des Räucherprozesses kann es dazu kommen, dass bei einem guten Ausgangsprodukt eine ungleichmäßige, zu schwache oder zu starke Oberflächenfärbung oder ein unpassendes Aroma und damit starke Qualitätsmängel entstehen.

Räuchern ist in der Regel das Behandeln von Lebensmitteln mit Rauch aus unbehandeltem Holz. Für das spätere Aroma des Produktes stellt die Zusammensetzung des Holzes und somit die Holzart einen wichtigen Parameter dar (JIRA 2004, TÓTH 1982). Holz besteht maßgebend aus den drei Bausteinen Cellulose, Hemicellulose und Lignin (Tabelle 3). Diese Stoffe pyrolysieren bei unterschiedlichen Temperaturen (Tabelle 3). Dabei werden die Holzbestandteile thermisch abgebaut und es entstehen Reaktionsprodukte, die kurz nach der Raucherzeugung oxidativ weiterreagieren.

Tabelle 3: Durchschnittliche Zusammensetzung von Holz und dazugehörige Pyrolysetemperaturen (JIRA 2004, PASCHEN 2012, PRÄNDL, FISCHER 1988)

Bestandteil	Nadelholz [%]	Laubholz [%]	Pyrolysetemperaturen [°C]
Cellulose	42 – 49	42 – 51	260-310
Hemicellulose	24 – 30	27 – 40	200-260
Lignin	25 – 30	18 – 24	310-500

Damit die Stoffe in Rauch übergehen, muss dem Holz Energie zugeführt werden (MRAK, CHICHESTER 1984). Die Energiezuführung erfolgt je nach angewandtem Verfahren auf unterschiedliche Weise. Vornehmlich kommen das Glimmrauchverfahren, das Friktionsrauchverfahren, das Dampfrauchverfahren, das Fluidisationsrauchverfahren sowie das Schwelrauchverfahren zur Anwendung (Tabelle 4).

Tabelle 4: Raucharten mit den jeweiligen Pyrolysetemperaturen und Raucheigenschaften (PRÄNDL, FISCHER 1988)

Raucherzeugungsart	Pyrolysetemp. [°C]	Eigenschaften
Glimmrauch	400 - 800	trocken, O ₂ - haltig
Friktionsrauch	300 - 500	trocken, O ₂ - reich
Dampfrauch	300 - 400	feucht, O ₂ - arm
Fluidisationsrauch	300 - 400	trocken, O ₂ - haltig
Schwelrauch	300 - 400	trocken, O ₂ - arm

Beim **Glimmrauchverfahren** werden Späne auf ein Glutbett gegeben und mit einem Heizdraht oder einer Gasflamme entzündet, um sie unter Sauerstoffzufuhr zu verschwelen (LÜCK&JAGER 1995). Die Luftzufuhr und Spanmenge sind regelbar, wodurch sowohl Rauchmenge als auch die Pyrolysetemperatur beeinflusst werden können. Dabei kommt es zu Temperaturen von bis zu 1000 °C (JIRA 2004, TÓTH 1982). Die hohen Temperaturen treten in Mikrozononen des Räucherstoffes auf. Makroskopisch ergeben sich Temperaturen von ca. 800 °C. Bei diesen hohen Temperaturen entstehen abweichende Pyrolyseprodukte als bei anderen Raucherzeugungsverfahren (TÓTH 1982).

Zur Herstellung von Rauch wird weiterhin das **Friktionsverfahren** verwendet (BORATTO 2014, TÓTH&WITKOWSKI 1985). Dabei wird ein kompaktes Holzelement auf ein rotierendes, gezahntes Rad gedrückt und durch die entstehende Reibungswärme das Holz pyrolysiert. Die Temperaturen, die dabei am Reibrad entstehen, liegen bei ca. 300 – 500 °C, also weit unter denen des Glimmrauchverfahrens. Das Verfahren zeichnet sich durch den besseren Raucherzeugungsgrad aus und hat somit eine geringere Rauchbeaufschlagungszeit. Die Verringerung der benötigten Zeit resultiert aus einem höheren Gehalt an gewünschten Rauchinhaltsstoffen (TÓTH 1982), die verstärkt auf der Produktoberfläche kondensieren und die gewünschten Effekte wie die Aromatisierung und Farbgebung hervorrufen.

Rauch kann ferner durch das Verwenden einer **Dampfrauchanlage** erzeugt werden. Dabei wird ein Dampf-Luftgemisch mit einer Temperatur von ca. 300 °C in Holzspäne injiziert und diese dadurch pyrolysiert (TÓTH 1982). Dabei entsteht ein teer- und rußfreier Rauch, der sich durch einen sehr geringen Benzo(α)pyrengengehalt auszeichnet. Das Dampfrauchverfahren kann nur bei Räucherkamertemperaturen über 60 °C angewendet werden, da der Rauch sonst aufgrund der hohen Feuchtigkeit kondensieren würde. Durch diese hohe Anwendungstemperatur ist die vielseitige Verwendung des Rauches nicht mehr gegeben. Das Dampfrauchverfahren bietet sich demnach nur für Betriebe an, die keine Rohwurst- oder Rohpökelpunkte räuchern.

Das **Fluidisationsrauchverfahren** zeichnet sich dadurch aus, dass Sägespäne mit einem heißen Luftstrahl in der Schwebe gehalten, pyrolysiert und die Reste mit einem Zyklon abgeschieden werden (TÓTH 1982). Das Verfahren verursacht wie das Dampfrauchverfahren höhere Energiekosten, da nicht nur das Holz, sondern zusätzlich ein Heizmedium erwärmt werden muss. Beim **Schwelrauch (Endothermrauch)** werden zusammengepresste Holzspäne mit einer elektrischen Direktheizung bei 300 - 400 °C verschwelt (PRÄNDL, FISCHER 1988, TÓTH 1982). Die Raucherzeugungstemperatur ist regelbar (JIRA 2004). In Mikrozononen werden auch hier hohe

Temperaturen von über 800 °C erreicht, regelbar ist demnach nur die makroskopische Raucherzeugungstemperatur.

2.2.1 Räuchermittel

Üblicherweise werden beim Räuchern Harthölzer wie Buche oder Eiche verwendet. Diese zeichnen sich durch einen geringeren Gehalt an Methoxigruppen im Lignin und einen höheren Säuregehalt im Vergleich zum weicheren Nadelholz aus (TÓTH 1982). Durch diesen geringeren Anteil an Methoxigruppen werden andere Produkte bei der Raucherzeugung als bei der Verwendung von Nadelholz gebildet, die sich durch ein eigenes Raucharoma auszeichnen. Regional kommen bei der Räucherung teils sehr unterschiedliche Holzarten zum Einsatz. In den USA wird viel mit Hickory oder Mesquite geräuchert, in Deutschland werden Buche und Eiche bevorzugt. In einigen Regionen werden zudem Obsthölzer verwendet. In Asien ist Bambus ein beliebtes Räuchermittel.

Das Räuchern mit Weichhölzern ist weniger verbreitet, da diese Hölzer bei der Verwendung des Glimmrauchverfahrens einen beißigen, terpenartigen Geschmack entwickeln (PRÄNDL, FISCHER 1988). Das ist auf die zusätzlichen Methoxigruppen am Lignin sowie auf eine höhere Konzentration an Harzen und ätherischen Ölen zurückzuführen. Aus Nadelholz werden bei der Raucherzeugung vermehrt Guajacolphenole gebildet, die das Raucharoma gegenüber dem von Harthölzern verändern (JIRA 2004). Der hohe Gehalt an Harzen führt insbesondere bei Verwendung des Glimmrauchverfahrens zu einer vermehrten Bildung von Ruß. Für regionale Spezialerzeugnisse wie Schwarzwälder Schinken sind die sich daraus ergebende dunklen Produktoberflächen und der arteigene Geschmack kennzeichnend. In den meisten Fällen ist das sehr intensive Aroma jedoch unerwünscht.

Die Aromatisierung durch Räucherrauch führt in Bezug auf Fleischwaren zu einer angenehmen Abrundung des Aromas. Die Beschreibung des Raucheinflusses erfolgt dabei nach Intensität und der Zuordnung bestimmter Attribute wie sauer, süß und bitter. Diese Eindrücke können weiter spezifiziert werden. Häufig kommen Beschreibungen wie scharf, teerig, honig-artig, fruchtig oder harzig zum Einsatz (FRITZ 2013).

Verschiedenen Holzarten werden dabei differenzierte Aromausprägungen zugesprochen. In Tabelle 5 sind Holzarten und deren Raucharoma dargestellt. Die erzeugten Aromavarianten sind zudem von der Art der Raucherzeugung und der Feuchte des Räucherholzes abhängig.

Tabelle 5: Holzarten und bei der Pyrolyse erzeugte Aromen (FRITZ 2013)

Holzart	Erzeugtes Aroma
Apfel	mild, fruchtig
Birne	mild, volle betonte Holznote
Buche	würzig, ausgewogen
Eiche	intensiv, herb-holzige
Erle	kräftig, würzig,
Esche	fein-würzig, edles Aroma
Hickory	nussig-aromatisch
Tanne und Fichte	harzig-würzig bis teerig

Das Raucharoma ist sehr komplex und von einer Vielzahl von Komponenten abhängig (FELDHEIM 2002). Es wurden ca. 70 aromaaktive Verbindungen in geräucherten Fleischwaren nachgewiesen. Besonders die phenolischen Bestandteile sind für das Aroma bedeutend. Die Rauchzusammensetzung ist jedoch sehr variabel und teilweise wurden Verbindungen nur einmal identifiziert. Es entstehen in vermehrtem Maße Carbonyle, Alkoholaldehyde, Ketoaldehyde, Ketoalkohole und Carbonsäuren (ALÉN, et al. 1996). Besondere Bedeutung kommt den cyclischen Verbindungen im Räucherrauch zu. Zahlreich sind dabei die heterocyclischen Verbindungen. Dazu gehören Verbindungen wie Butenolide, denen karamellige, rauchig verbrannte, würzig-vanilleähnliche sowie schwach saure Aromen zugeordnet werden (TÓTH 1982). Pyrole zeigen im Rauch süßliche, verbrannte Noten, Pyrazin hat ein popkornähnliches Aroma. Monocyclische Aromaten können bekannte Aromaträger wie Benzaldehyd oder Anisaldehyd sein. Aromatische Säuren sind vornehmlich Phenolsäuren. Dazu gehören Resorcyssäure, Vanillinsäure und Syringasäure, die im Rauch und auf geräucherten Produkten detektiert wurden. Weiter sind im Rauch bicyclische und polycyclische Aromaten nachgewiesen worden (TÓTH 1982).

2.2.2 Rauchbestandteile

Rauch ist ein disperses System aus Feststoffen und Flüssigkeiten, die von einer Gasphase umgeben sind und transportiert werden (VOGEL&BÄRWINKEL 2005). Geschätzt sind ca. 10.000 Verbindungen im Räucherrauch enthalten, von denen ca. 500 zum Raucharoma beitragen sollen. Es werden Phenole, organische Säuren, Alkohole, Ester und Carbonylverbindungen bei der Raucherzeugung und der anschließenden Oxidation der Rauchbestandteile gebildet (MEIER 2005).

Bei der Pyrolyse des Rauches entsteht aus Cellulose zunächst Glukose, die über 1,6 Dehydroglukose zu Essigsäure und Spuren von Furanen reagiert. Aus Hemicellulose entstehen Furanderivate und aliphatische Carbonsäuren. Das Lignin wird hauptsächlich zu Phenolen abgebaut. Der Rauch wird nach der Erzeugung von der Pyrolysefläche abgeleitet. Dieser Transport stellt einen wichtigen Unterschied zwischen den Erzeugungsverfahren dar.

Beim **Glimmrauchverfahren** wird der Rauch nur langsam von den heißen Spänen getrennt. Durch die hohen Temperaturen, die in der Nähe der Raucherzeugung herrschen, kommt es zu

einer stärkeren Polymerisation der Pyrolyseprodukte. Es entstehen in vermehrtem Maße polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Zusätzlich entstehen generell weniger der erwünschten Aromaträger, da die Holzbestandteile zu großen Teilen vollständig zu CO₂ abgebaut werden.

Beim **Frikionsverfahren** wird der Rauch schnell von der relativ kleinen Raucherzeugungsfläche abgeleitet. Hier finden die Sekundärreaktionen bei niedrigen Temperaturen statt. Das hat einen geringeren Anteil an PAK zur Folge, die bei Temperaturen von 400 - 1000 °C entstehen (TÓTH 1982). Auch die Entwicklung der geschmacksgebenden Verbindungen wie Carbonyle, Ester, Furane, Säuren, Phenole und Lactone wird bei niedrigen Temperaturen begünstigt.

Als optimale Temperaturen werden unter 400 °C für die Pyrolyse und ca. 200 °C für die nachfolgende Oxidation angesehen (ZIEGENHALS, et al. 2008). Für die Oxidation ist ein entsprechender Luftüberschuss nötig.

Bei den unterschiedlichen Verfahren entstehen aufgrund der abweichenden Temperaturen auch veränderte Pyrolyseprodukte. Diese sind in Tabelle 6 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der Gesamtsäure beim Frikionsverfahren höher ist und dass die aroma-bestimmenden Carbonyle und Phenole höher konzentriert sind als es beim Glimmrauchverfahren der Fall ist. Der Rauch aus dem Frikionsverfahren ist aromaintensiver. Die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe und damit das Aroma unterscheiden sich von dem des Glimmrauchverfahrens.

Tabelle 6: Zusammensetzung des Rauches in Abhängigkeit unterschiedlicher Raucherzeugungsverfahren (modifiziert) (TÓTH 1982)

Bestimmung	Glimmrauch [%]	Frikionsrauch [%]
Gesamtsäure	1,28	4,98
Carbonyle	0,63	4,78
Gesamtphenole	0,07	0,22
Wassergehalt	86,70	70,60

Beim Räuchern wird zwischen drei Verfahren unterschieden, dem Kalträuchern, dem Warmträuchern und dem Heißträuchern. Diese laufen bei verschiedenen Temperaturen in der Rauchbehandlungskammer ab. Die drei Räucherverfahren werden anhand von Temperaturgrenzen kategorisiert (Tabelle 7). Durch die Temperaturführung ist es möglich, den Räucherprozess mit anderen Prozessen zu kombinieren. Beim Heißträuchern wird häufig der Brühprozess von Brühwurst integriert. An die Durchführung des Kalträucherns ist meist die Reifung und Umrötung von Produkten wie Rohwurst und Rohschinken angeschlossen. Das Warmträuchern wird sehr selten angewendet. Die verschiedenen Produktkategorien verlangen durch ihre Beschaffenheit und die gewünschte Aromatisierung eine differenzierte Rauchanwendung (SIELAFF 1996).

Tabelle 7: Darstellung verschiedener Räucherverfahren (modifiziert) (LÜCK 2013, PRÄNDL, FISCHER 1988)

Verfahren	Temperatur [°C]	Dauer	Erzeugnisse
Kalträuchern	12 - 24	Tage - Wochen	Rohwurst, Rohpökelfware, Brühdauerwürste, Kochwürste
Warmträuchern	25 - 50	1 - 3 Stunden	großkalibrige Brühwürste z.B. italienische Mortadella
Heißträuchern	60 - 100	20 - 60 min	Brühwürste, selten Kochwürste

Tabelle 8: Rauchbestandteile von Holzarten in g / 100 g Sägemehl (Auszug nach SPANYAR, 1960b)

Rauchbestandteil	Buche	Eiche	Fichte	Kiefer
Monocarbonyl	1,77	2,40	3,06	3,10
Oxi- und Di- carbonyl	3,60	1,98	6,30	6,12
Formaldehyd	0,15	0,14	0,21	0,20
Acetaldehyd	0,66	0,63	1,15	1,00
Aceton	0,74	0,37	0,69	0,54
Furfurol	0,18	0,35	0,21	0,18
Gesamtsäure	4,06	3,56	3,07	3,17
Ester	6,69	10,47	8,08	11,16
Phenole	0,14	0,16	0,29	0,29

Der Vergleich zwischen Laubhölzern und Nadelhölzern in Tabelle 8 zeigt, dass im daraus gebildeten Rauch mehrere Unterschiede bestehen. HITZEL gibt an, dass die Pyrolyseprodukte bei verschiedenen Holzarten divergieren. Zudem beschreibt er, dass auch die Pyrolysetemperatur aufgrund der Holzeigenschaften variiert, was ebenfalls die Rauchbestandteile beeinflusst (HITZEL, et al. 2013). Viele der aromagebenden Stoffe sind in Nadelholzrauch vermehrt zu finden, was auf den höheren Anteil an Lignin zurückgeführt werden kann (ALÉN, KUOPPALA 1996). Darunter fallen die Carbonylverbindungen sowie die Aldehyde und Phenole. Die Aldehyde können für den bei Nadelholz bemängelten, beißenden Eindruck verantwortlich sein. Der Mehranteil an phenolischen Bestandteilen kann für eine bessere Aromatisierung sorgen. Da das Holz, das zur Räucherung eingesetzt wird, ein Naturprodukt ist, sind in der Zusammensetzung des Holzes und des gebildeten Rauches Schwankungen vorhanden. Die aufgezeigten Tendenzen, den höheren Gehalt an Aromakomponenten im Nadelholz betreffend, verdeutlichen das Potential eines modifizierten Holzeinsatzes.

2.2.3 Wirkungen der Rauchbeaufschlagung

Die Räucherfarbe entsteht durch das Belegen der Oberfläche mit Bestandteilen des Rauches. Diese Stoffe sind zum Teil selbst färbend wie die Teerfraktion und die Phenole, gehen aber auch Reaktionen mit den Produktbestandteilen ein. Es reagieren Carbonyle und Formaldehyd mit Proteinbestandteilen. Reaktionspartner sind dabei die Aminosäuren Arginin, Glycin, Histidin, Glutaminsäure und Lysin. Auch Maillard-Reaktionen laufen ab.

Die Färbung des Räuchergutes kann Töne von Gelb über Braun bis Tiefschwarz annehmen. Das in der Regel gepökelte Brät scheint durch die Wursthülle und verstärkt die dunkle Färbung. Bei der Verwendung von harzreichen Hölzern entstehen mehr dunkle Rußpartikel, die sich auf der Oberfläche anlagern (Schwarzräucherung).

Durch das Räuchern entwickelt sich ein komplexer Geschmackseindruck, der sich aus den Rauchbestandteilen sowie aus Reaktionen von diesen mit Bestandteilen des Räuchergutes entwickelt.

Das gewünschte Aroma ist sehr vom Produkt abhängig. Brüh-, Roh- und Kochwurst benötigen jeweils differenzierte Raucharomen. Das optimale Raucharoma ist individuell, regional und saisonal verschieden.

Die Wirkung des Räucherns soll neben dem sensorischen Beitrag die Haltbarkeit der Produkte erhöhen (TOLDRA 2010). Verschiedene Auswirkungen des Räucherns auf die Produktoberfläche sind zu verzeichnen. Die bakterizide Wirkung des Rauches ist zu großen Teilen auf die Entstehung von Phenolen und Aldehyden zurückzuführen. Sie sind im Rauch mit Anteilen von 30 - 300 mg / kg vorhanden. Die stärkste bakterizide Wirkung im Rauch besitzt Formaldehyd, welches zu den entstehenden Carbonylen gehört. Die Menge an Formaldehyd im Rauch soll unabhängig von Glimmtemperatur, Holzart und Feuchtigkeit des Holzes sein.

Die beim Räuchern entstehenden Carbonsäuren sind vor allem Ameisen- und Essigsäure, die ebenfalls eine gewisse antimikrobielle Wirkung zeigen. Die Ester der aliphatischen Carbonsäuren sind zu den Aromabildnern zu rechnen. Die aromagebenden Komponenten des Rauches sind vielfältig. Viele der bakterizid wirkenden Stoffe sind gleichzeitig Aromalieferanten. Das Aroma wird zudem durch Harze, Teer sowie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) erzeugt. Das sind Mehrfachbenzolringe, die durch ihre elektrochemische Konfiguration aromatisch wirken. Sie können unterschiedlich hoch kondensiert auftreten, besitzen jedoch zumeist 2 - 7 Benzolringe. Sie sind allgemein lipophil und bei Raumtemperatur Feststoffe. Durch die große Zahl an möglichen Seitenketten der Moleküle existieren geschätzt 10.000 verschiedenen Formen an PAK.

Von den PAK stehen einige im Verdacht krebserregend zu sein, weshalb ihre Konzentration so gering wie möglich zu halten ist. Ihre Bildung ist noch nicht vollständig geklärt, jedoch wurde ermittelt, dass sie mit steigenden Raucherzeugungstemperaturen von 400 - 800 °C in stärkeren Konzentrationen vorhanden sind (ALÉN, KUOPPALA 1996, PÖHLMANN, et al. 2012). Daraus resultiert die Forderung, die Raucherzeugungstemperatur gering zu halten. Da die Bestimmung der gesamten PAK im Rauch sehr schwierig ist, wird unter anderem Benzo(α)pyren als Indikatorsubstanz verwendet. Dieses ist besonders kanzerogen und es wird vermutet, dass es im direkten Zusammenhang mit den PAK-Gehalt steht.

Die im Rauch enthaltenen Phenole besitzen eine gewisse antioxidative Wirkung auf die Bestandteile des Produktes. Die Phenole sind in der Lage, in das Produkt zu diffundieren und so ihre Wirkung im gesamten Gut zu entfalten (KJÄLLSTRAND&PETERSSON 2001).

Das im Rauch enthaltene Formaldehyd ist nicht nur antimikrobiell wirksam, sondern zusätzlich in der Lage, Proteinmoleküle zu vernetzen. So kann ein Quellen von Naturdärmen verhindert und durch die Härtung eine geringe Konservierungswirkung und der typische Biss bei

Brühwürstchen erreicht werden. Das Formaldehyd ist mit ca. 200 mg / 100 g im Räucherrauch enthalten (TOLDRA 2010).

2.2.4 Vorteile und Nachteile der verschiedenen Räucherverfahren

Das **Glimmrauchverfahren** ist von den beschriebenen Verfahren das ursprünglichste, da die Raucherzeugung ohne maßgebliche Steuerung verläuft. Die Späne werden entzündet und kontrolliert verglimmt. Das sorgt für einen verfahrenstechnisch geringen Aufwand. Es ist keine Ventilations-, Kühl- oder Heiztechnik notwendig. Die Raucherzeugung wird durch die Spanmenge und eventuelle Lüftungsklappen geregelt. Es entsteht ein Produkt mit traditionellem Raucharoma, das beim Kunden hohe Akzeptanz findet. Nachteilig sind die lange Prozesszeit im Vergleich zum Friktionsrauchverfahren sowie die hohe Belastung mit PAK und die hohe Emission an Rauchgasen in die Umwelt. Der Abbruch des Räucherprozesses kann durch eine Wasserspülung erreicht werden, wobei eine Fortsetzung der Räucherung mit denselben Räucherrohstoffen dann nicht möglich ist.

Beim **Schwelrauchverfahren** lässt sich die Energiezufuhr zwar genau regulieren, die anschließende exotherme Pyrolyse ist jedoch ebenso schlecht regulierbar wie beim Glimmrauchverfahren, wodurch es zu hohen Pyrolysetemperaturen kommt.

Das **Friktionsrauchverfahren** hat vor allem verfahrenstechnische Vorteile. Die Raucherzeugung ist schnell und erreicht durch die hohe Energiezufuhr innerhalb kurzer Zeit eine hohe Rauchdichte. Das Stoppen der Raucherzeugung für eine Räucherpause ist unproblematisch und die Rauchentfernung kann durch den Einsatz von Wasser in der Raucherzeugungskammer erfolgen (TÓTH 1982), da Räuchergut und Raucherzeuger räumlich getrennt voneinander sind.

Das **Dampf-** und das **Fluidisationsrauchverfahren** lassen sich gut steuern. Mit der Einstellung des Luft- oder Dampfstromes wird gleichzeitig die Pyrolyse gestoppt. Beide Verfahren haben jedoch den Nachteil, dass sie ein heißes Medium für die Pyrolyse benötigen. Der Dampf bzw. die heiße Luft transportieren den Rauch und müssen in die Räucherkammer geleitet werden. Damit ist eine Kalträucherung nicht möglich.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Räucherprozess

Bei der Pyrolyse von Holz entstehen nicht nur gewünschte Reaktionsprodukte. Bei den hohen Temperaturen, die gerade in Glimmrauchanlagen auftreten, entstehen zusätzlich vermehrt PAK. Für ihre Bildung ist eine Mindesttemperatur von 400 °C notwendig (FELDHEIM 2002). Sie entstehen hauptsächlich bei der unvollständigen Pyrolyse von organischem Material unter Sauerstoffabschluss (ZIEGENHALS, MÜLLER 2008). Es sind aus kondensierten Benzolringen aufgebaute Moleküle, die durch die Konformation ihrer Doppelbindungen aromatisch wirken (Smith 1984). Man unterscheidet zwei Gruppen an PAK, leichte mit 3 oder 4 Benzolringen und schwere mit 5 oder mehr Benzolringen (JIRA 2003). Diese Stoffgruppe entsteht vorwiegend bei der an die Pyrolyse angeschlossene Oxidation der Pyrolyseprodukte (JIRA 2004). Zu ihnen zählen etwa 660 Verbindungen, die im Räucherrauch vorkommen. Gebildet werden sie aus Cellulose und Hemicellulose nach der sekundären Bildung von Glucose und Pentose (TOLDRA 2010).

Die akut toxische Wirkung der PAK ist grundsätzlich als gering einzuschätzen (JIRA 2003). Von einem Teil der PAK geht bestätigt eine krebserregende Wirkung aus, einige stehen im Verdacht kanzerogen zu wirken (IARC 1987; IARC 2010). Insbesondere die Gruppe mit 4 bis 7 Benzolringen ist als potentiell gefährlich zu bewerten (JIRA 2003). Das Scientific Committee on Food (SCF) empfiehlt eine Senkung der PAK auf das technologisch erreichbare Minimum, um die Gefahr der Krebserzeugung möglichst gering zu halten. Von der amerikanischen Umweltbehörde wurden 16 PAK als besonders gesundheits- und umweltgefährdend eingestuft (JIRA 2003).

Der Kondensationspunkt von PAK liegt bei ca. 200 °C, somit lassen sich die enthaltenen PAK aus dem Rauch abtrennen. Jedoch werden mit den unerwünschten Stoffen auch große Teile gewünschter Aromaträger entfernt (FELDHEIM 2002).

In Fleisch- und Wurstwaren wurde der Benzo(α)pyrengelhalt als Indikator für den Gesamt-PAK-Gehalt verwendet (JIRA 2003), da eine Verhältnismäßigkeit zum Gesamt-PAK-Gehalt vorlag. Der Median der Benzo(α)pyrengelhalte lag in den Jahren 2003/2004 bei den von der „Bundesanstalt für Ernährung und Lebensmittel“ untersuchten Fleisch- und Wurstwaren bei 0,06 µg / kg und war damit um zwei Zehnerpotenzen niedriger als der damals vorgegebene Höchstwert von 5 µg / kg (JIRA 2005). Seit August 2011 wird zur Bestimmung des PAK-Gehaltes die PAK-4 (Summe aus Benzo(α)pyren, Benzo(α)anthracen, Benzo(β)fluoranthen und Chrysen) verwendet. Seit dem 01.09.2014 ist zudem der gesetzlich erlaubte Höchstgehalt an Benzo(α)pyren von 5,0 µg / kg auf 2,0 µg / kg gesenkt worden und die PAK-4 Höchstgrenze wurde von 30,0 µg / kg auf 12,0 µg / kg reduziert (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN UNION 2011). Bei Untersuchungen wurde gezeigt, dass die hauptsächliche kanzerogene Wirkung von Benzo(α)pyren, Benzo(β)fluoranthen und Benzo(α)anthracen ausgeht (JIRA 2005). Aus diesem Grund wurden diese Substanzen in die PAK-4 einbezogen.

2.2.5 Verfahrensentwicklungen Räuchern

Die Entwicklungen bei der Verfahrensführung des Räucherns sind in den letzten Jahren gering ausgefallen. Bei der traditionellen Frischrauchanwendung wurde seit den 1980er Jahren nur sehr wenig entwickelt. In diesem Bereich wurden Änderungen vorgenommen, die zum Beispiel eine Verbesserung der Zirkulation von Luft und Rauch und damit gleichmäßigere Produkte zum Ziel hatten. Auch wurde darauf geachtet, durch geeignete Umlauf- und Kondensationsverfahren die Emission und die Umweltbelastung zu verringern. Diese Entwicklungen sollten die damit verbundenen Kosten senken und das ökologische Image verbessern (ZIEGENHALS, MÜLLER 2008). Die üblichen Verfahren der Raucherzeugung sind seit mehreren Jahren unverändert oder wurden gegebenenfalls nur leicht modifiziert.

Es wurden Entwicklungen im Bereich des Flüssigrauchs und der Raucharomen durchgeführt. Sie werden häufig mit Ultraschallsystemen auf den Produkten verteilt bzw. vernebelt (GLEICH 2013). Bei der Herstellung und Anwendung von Raucharomen und Rauchkondensaten kam es aufgrund einer Änderung der rechtlichen Lage im Jahr 2005 zu Neuerungen. Es wurden Primärrauchkondensat und Primärrauchteerfraktion, die zur Herstellung von Raucharomen verwendet werden sollten, zugelassen (STIEBING 2008). Mit den zugelassenen Ausgangsprodukten können mit Hilfe von anderen Zusatzstoffen eine Vielzahl von Raucharomen

erzeugt werden (RED ARROW HANDELS GMBH 2010). Diese werden häufig in Kombination mit Würzmischungen angeboten. Zur Anwendung der Primärrauchprodukte sind entsprechende Raucherzeuger erhältlich, die den herkömmlich erzeugten, konservierten Rauch durch Erhitzen und Versprühen wieder in den Zustand des originären Rauches versetzen. Diese Art der Raucherzeugung ist emissionsarm und wenig arbeitsintensiv. Es ist ferner möglich, Flüssigraucharomen einzusetzen, die in Kombination mit Bräunungshilfen eine traditionelle Rauchanwendung imitieren. Um den Einsatz zu erleichtern und eine Produktgleichmäßigkeit zu garantieren, sind spezielle Berieselungs- und Tauchanlagen erhältlich.

Um die Emissionen der herkömmlichen Verfahren zu senken, wurde der Einbau von Rauchfiltern und Abgasfiltern erprobt. Durch sie sollen die üblichen Nachverbrennungsanlagen ersetzt und so Energiekosten verringert werden. Sie sollen sich durch eine einfache Handhabung, Reinigung und Installation auszeichnen (SIELAFF 2008).

Auch die Verbesserung des frisch erzeugten Rauches wurde angestrebt. Es wurden verschiedene Holzarten wie Birke, Eiche, Fichte oder Pappel auf die entstehende Aromatisierung und die resultierenden PAK-Gehalte untersucht (HITZEL, PÖHLMANN 2013). Ebenso wurden unterschiedliche Räucherbedingungen geprüft, die sich z.B. durch eine Veränderung des Wassergehaltes des Räuchermaterials auszeichneten (PÖHLMANN, HITZEL 2012). Die verschiedenen Holzarten und Räucherbedingungen zeigten sowohl sensorische als auch analytische Abweichungen. Übergeordnetes Ergebnis war jedoch, dass eine Reduktion der PAK immer mit einer Reduktion der Raucherzeugungstemperatur einherging.

Es gibt Versuche mehrere Holzarten in Friktionsrauchanlagen zu kombinieren, indem die Holzbestandteile mit Holzdübeln verbunden werden. Diese Form der Verbindung birgt Probleme, da sich durch die Reibung des Friktionsrades der Dübel und die Holzteile voneinander trennen. Durch die entstehenden Holzteile können das Friktionsrad blockiert und weitere Räucherschritte gestört werden (KOOP 2006).

2.2.6 Technologische Eingriffspunkte Räuchern

Innerhalb dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Modifikation des Friktionsräucherverfahrens. Die Entscheidung basiert auf den gesundheitlichen und ökologischen Vorteilen sowie der hohen industriellen Verbreitung des Verfahrens. Eine Verfahrensänderung kann an verschiedenen Punkten ansetzen. Es kann die Reibradgeometrie überarbeitet werden, wodurch der Energieverbrauch und die Pyrolysetemperatur beeinflusst werden können. Es besteht die Möglichkeit, die Reibradgeschwindigkeit und den Anpressdruck zu variieren bzw. mit kurzer Reaktionszeit zu steuern. Umluftsysteme zur Rauchspeicherung, die die Rauchvernichtung ersetzen, so dass auch während der Trockenzeiten „alter“ Rauch verfügbar ist, sind einsetzbar. Eine Lösung wäre ein Zweikammersystem, bei dem die Trockenzeiten der Räucherammern nie parallel ablaufen. Auf diese Weise kann der nicht genutzte Rauch während der Trocknung in der zweiten Kammer zum Räuchern verwendet werden.

Eine weitere Eingriffsmöglichkeit in den Räucherablauf ist die Modifizierung der Rohstoffe. Geräuchert wird in Deutschland traditionell mit Hartholzarten wie Eiche und Buche, die im Vergleich zu weichen Holzarten teuer sind. Die Verwendung von Weichhölzern, insbesondere

Nadelhölzern, ist aufgrund der starken Dominanz des Aromas bisher nicht Stand der Technik. Eine Mischung von Hart- und Weichholzarten kann eine geeignete Lösung darstellen. Eine dauerhaft stabile Holzkombination mit einem dem Glimmraucharoma entsprechenden Aroma ist hierbei die Zielvorgabe.

2.2.7 Bewertung von Raucharomen

Das Aroma von Lebensmitteln entsteht durch das Zusammenspiel von Geruch, Geschmack und Textur. Es wird mit Nase, Mund und Zunge wahrgenommen. Diese Informationen werden an das Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet (NIEßEN&THÖLKING 2007). Der sensorische Gesamteindruck kann über Aromagramme beschrieben und charakterisiert werden. Eine deskriptive Aromabewertung erfolgt z.B. über Aromaräder, wie sie bei der Weinverkostung Anwendung finden. Zudem gibt es weitere Prüfverfahren, um sensorische Eindrücke analytisch zu beschreiben (NIEßEN&THÖLKING 2007). Instrumentell-analytisch werden Aromen durch die Gaschromatographie (GC) (SHINOHARA, et al. 1991), gekoppelter GC mit „Sniffing-Analyse“ (BERGER, et al. 1989), Capillar-GC, der ein künstlicher Mund und Speichel vorgeschaltet ist, über verschiedene „Mund-Modelle“ (NÄBL, et al. 1995, VAN RUTH&BUHR 2003), Massenspektrometrie (ULRICH, et al. 1997) sowie mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) (WIDDER&GROSCH 1994) ermittelt. Die analytischen Messtechniken werden häufig mit sensorischen Prüfungen kombiniert (PARAT-WILHELMS, et al. 2005). Das Aroma wird von vielen Bestandteilen des Lebensmittels hervorgerufen. Schweinefleisch verändert beispielsweise durch Variation des Futters bei der Mast sein Aroma. Werden die Tiere z.B. mit Rapsöl gefüttert, steigt die Anfälligkeit des Fleischproduktes (Bratling) gegenüber der Lipidoxidation (JENSEN, et al. 1998). Verarbeitungsprozesse wie Kochen, Rösten, Erwärmen, Verpacken, Lagern und Destillieren sowie Reifeprozesse z.B. in der Rohwurst tragen ebenfalls zur Aromaveränderung bei (HUISMAN, et al. 1994, LUCAS 2000, MIELCHE 1995, PÉREZ-JUAN, et al. 2006, PREININGER, et al. 1996, SABLÉ, et al. 1997, STAPELFELDT, et al. 1993). Die Bestimmung und Beschreibung von Aromen ist eine komplexe Aufgabe bei der Lebensmittelbewertung. Insbesondere die Erfassung gewünschter Aromaqualitäten erfordert einen enormen Aufwand. Wenn bei Qualitätsprüfungen wie üblich auf Abweichungen von der Qualitätsnorm geprüft wird, muss dem Prüfer das geforderte Aromaprofil zu jeder Zeit bewusst sein. Soll eine Aromaprofilbeschreibung eines Lebensmittels erfolgen, eignet sich eine reine Fehleranalyse nicht – nur eine komplette Beschreibung der Einzelaromen kann den gesamten Aromaeindruck ausreichend wiedergeben. Es müssen Begriffe gefunden werden, deren Bedeutungen vor der Prüfung eindeutig definiert werden und die sich als geeignet zur Beschreibung des Lebensmittels erweisen. Mit Hilfe dieses Vokabulars, welches sich an anderen Aromen orientiert, wird das Aromaprofil eines Prüfgutes erfasst (DERNDORFER 2010). Die Erfassung wird in vielen Fällen mit einem Aromarad durchgeführt (RIMBACH, MÖHRING 2010). Aromaräder bestehen üblicherweise aus mehreren Segmenten, die auf Oberbegriffe Bezug nehmen. Diese Segmente werden weiter unterteilt, um die Begriffe zu präzisieren. Ein entsprechendes Aromarad für geräucherte Wurstwaren wurde im Zusammenhang mit dieser Arbeit entwickelt, um die Aromaveränderungen bei der Rauchbeaufschlagung zu erfassen (HILDEBRAND, et al. 2013).

2.2.8 Präzisierte Aufgabenstellung – Modifikation des Friktionsräucherverfahrens

Die Verwendung von Nadelholz ist im Glimmrauchverfahren nicht üblich, da es zu unvorteilhaften sensorischen Abweichungen und einer starken Rußbildung kommt, wodurch die Produkte zusätzlich mit PAK angereichert werden. Nadelhölzer werden folglich in Mischungen mit Harthölzern zur Spezialisierung der Aromatisierung verwendet. Eine Verwendung im Glimmrauchverfahren ergibt sehr spezielle Aromen, die die Mehrheit der Konsumenten nicht ansprechen. Es werden harzige, beißende Noten hervorgerufen, die zum Teil Lösungsmitteltendenzen aufweisen. Eine Verwendung im Friktionsrauchverfahren ist bisher ebenfalls aufgrund der sensorischen Einschränkungen unüblich. Die sensorischen Abweichungen sind jedoch durch die geringeren Raucherzeugungstemperaturen des Friktionsräucherverfahrens nicht so stark ausgeprägt, wie beim Glimmrauchverfahren, weshalb insbesondere die Verwendung von Holzkombinationen sinnvoll erscheint.

Bearbeitungsansätze

Damit eine Verwendung verschiedener Räucherhölzer insbesondere von Nadelhölzern ermöglicht wird, ist es notwendig, den Friktionsräucherprozess anzupassen. Eine Mischung von Hölzern kann beim Friktionsrauchverfahren nicht ohne Weiteres verwendet werden, da technische Einschränkungen bestehen. Im Speziellen können am Ende eines Räucherholzblockes bei Verwendung mehrerer Holzteile Verklebungen des Reibrades auftreten. Ferner werden bei der Verwendung mehrerer Holzblöcke diese unterschiedlich stark auf das Reibrad gepresst. Die Greifapparatur der Räucheröfen ist darauf ausgelegt, einen massiven Block zu greifen und auf das Reibrad zu pressen. Damit konventionelle Reibrauchanlagen mit kombinierten Holzblöcken betrieben werden können, soll eine Möglichkeit geschaffen werden, die Holzblöcke miteinander zu verbinden, ohne dass ein Lösen selbst unter starker mechanischer Belastung sowie bei hydrothermisch anspruchsvollen Umgebungsbedingungen erfolgt. Wie in Abbildung 10 dargestellt, sollen zwei massive Holzblöcke durch eine Haftschrift permanent miteinander verbunden werden. Ein kombiniertes Kantholz setzt sich immer in der folgenden Reihenfolge zusammen: Kantholz – Pyrolyseträgerstoff (ggf. mit Aromaträger) – Kantholz.

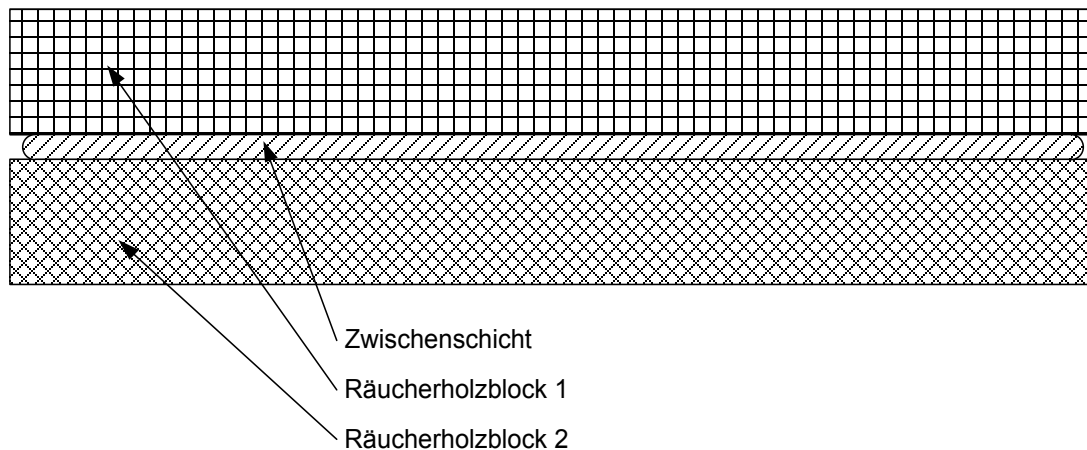


Abbildung 10: Skizze von kombinierten Holzblöcken zum Verreiben in der Friktionsräucheranlage zur Raucherzeugung aus zwei verschiedenen Holzblöcken verbunden durch eine Zwischenschicht

Bei der Entwicklung der Haftschrift ist neben den funktionellen Eigenschaften zu beachten, dass bei den hohen Temperaturen während der Pyrolyse keine schädlichen Stoffe gebildet werden. Aus diesem Grund soll die Zwischenschicht aus einem natürlichen Rohstoff, im Speziellen einem Hydrokolloid, bestehen.

Ziel ist es, das Friktionsrauchverfahren derart zu modifizieren, dass es in der Raucherzeugung und der Aromatisierung die Erwartungshaltung der Verbraucher erfüllt und die positiven technologischen Eigenschaften beibehält.

Am Ende soll ein Verfahren stehen, das es ermöglicht, ein Pyrolysegut herzustellen, das in Friktionsrauchanlagen zum Einsatz gelangt, jedoch hinsichtlich der Raucharomaqualität mit Glimmrauchanlagen konkurrieren kann. Weiterhin ist vorgesehen, die Qualitätserwartungen des Räucheraromas differenziert zu betrachten, um eine genaue Einschätzung des Einflusses des Räucherns auf das Räuchergut zu erhalten.

2.2.8.1 Herstellung kombinierter Holzblöcke

Mit dem Friktionsrauchverfahren wird grundsätzlich ein Räucherrauch mit einem geringeren Gehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen erzeugt. Es entsteht ein attraktives und schadstoffarmes, hochwertiges Raucharoma. Dazu werden Kantholzkombinationen entwickelt, die eine dem Glimmraucharoma ähnliche Rauchnote aufzeigen. Diese Rauchnote soll bei der Verwendung mit dem Friktionsräucherofen entstehen. Beim Kombinationsverfahren werden unterschiedliche Holzarten miteinander verbunden. Der Verbund wird über eine Haftsubstanz (Pyrolyseträgerstoff) erfolgen. Dabei muss das Kantholz die Form der Friktionskartusche einhalten.

Die Bindung zwischen den Kanthölzern erfolgt auf unbedenklicher biologischer Basis, da beim Räucherprozess (Holzabrieb) keine zusätzlichen produktfremden Substanzen freigesetzt werden dürfen. Der Pyrolyseträgerstoff muss zusätzlich stabil gegenüber Wasser sein, da während des Räucherprozesses eine Wasserspülung der Friktionskartusche stattfinden kann. Als Pyrolyseträgerstoff wurde Kollagen bzw. Gelatine identifiziert. Diese wurde in Form von

Schwartenmasse eingesetzt, wie sie unter anderem beim Bogenbau und bei der Buchherstellung seit dem Mittelalter eingesetzt wird. Hautleime auch als Glutinleime bezeichnet, sind elastischer als ähnliche Leime aus Knochen und weisen eine hohe Haftkraft auf (SAUER, et al. 2013). Sie können durch die Zugabe von Formaldehyd stabilisiert werden, welches unter anderem in Flüssigrauchpräparaten vorkommt. Die Herleitung des stabilisierenden Effekts wurde durch die Vernetzung und Härtung von Naturdärmen bei der Räucherung vollzogen. Bei der Raucherzeugung entsteht unter anderem Formaldehyd, das maßgeblich für den stabilisierenden Effekt bei Kollagen verantwortlich ist.

Es sollte ermittelt werden, ob die Zugabe von Rauchkondensat „Red Arrow SmokeZ Select Enviro 24P“ mit dem natürlichen Bestandteil Formaldehyd zu der Schwartenmasse Einfluss auf die Aufschmelzbarkeit hat. Theoretisch findet eine Vernetzung der Gelatinemoleküle statt, die zu einer Wasser- und Temperaturunempfindlichkeit führt. Die Reaktion ist in Abbildung 11 dargestellt.

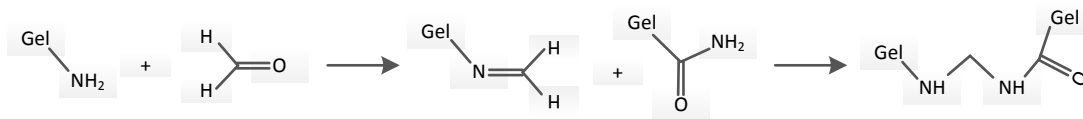


Abbildung 11: Reaktion von Formaldehyd mit Gelatine (RENNER 2004)

Es findet eine Reaktion zwischen dem Formaldehyd und den freien Aminen der Gelatine statt, wobei Kollagen-Imin entsteht. Dieses reagiert weiter mit einem Amid oder einem weiteren Amin, so dass eine C1-Brücke im Polypeptid verbleibt. Zu welchen Stoffeigenschaften diese Vernetzung führt, soll untersucht werden. Das ist relevant, da in der Räucherammer Feuchtigkeit und erhöhte Temperaturen herrschen, wodurch es zum Lösen der Holzstücke kommen kann. Die losen Holzstücke würden nicht mehr gleichmäßig der Pyrolyse zugeführt bzw. könnten das Reibrad verklemmen. Es wird vermutet, dass die Proben nicht wieder aufschmelzbar sind, da sich das Kollagen mit dem Formaldehyd kovalent vernetzt. Zum Nachweis wird die Schwartenmasse im Wasserbad bei Temperaturen um 40 °C verflüssigt. Anschließend werden jeweils

- 1,0 %,
- 2,5 %,
- 5,0 % und
- 10,0 %

Flüssigrauch hinzugegeben.

Herstellung des Pyrolyseträgerstoffes

Der gewünschte Zustand, in dem das kollagene Bindegewebe verarbeitet werden soll, ist eine Schwartenmasse, die größtenteils aus Wasser und ungereinigter Gelatine besteht. Dazu muss ein Aufschluss des Proteins Kollagen erfolgen. Das Denaturieren von Proteinen ist sowohl mit Temperaturbeaufschlagung als auch mit saurer oder basischer Behandlung möglich. Dabei treten strukturelle Veränderungen des Proteinmoleküls auf, die die funktionellen Eigenschaften wie Wasserbindung, Grenzflächenaktivität und Gelbildungsvermögen beeinflussen. Die Übergangsreaktionen von Kollagen zu Gelatine laufen wie folgt ab:

- Das Protein liegt zunächst in nativem Zustand vor.
- Bei Erhöhung der Temperatur findet ein Auffalten der Tertiärstruktur statt. Wassermoleküle können in die Struktur eindringen. Diese Dehnung der Struktur findet bis zum Zustand höchster konformativer Beweglichkeit statt (Molten-Globule-State).
- Das Erwärmen über die Denaturierungstemperatur von 80 °C löst einen Teil des Kollagens und es geht in Gelatine über. Dabei findet erst eine Auffaltung des Moleküls und dann ein Lösen kovalenter Disulfidbindungen statt sowie eine partielle Hydrolyse. Die helikale Struktur der Kollagenfasern geht verloren, die Tripelhelix wird durch die thermische Beeinflussung zerstört. Es bilden sich neue Bindungen, die eine ungerichtete Koagulation zur Folge haben.
- Die Struktur der Gelatine, die aus der gestörten Molekülstruktur des denaturierten Kollagens entsteht, wird durch das Abkühlen und die Konzentration bestimmt. Die Gelbildung beruht auf Wasserstoffbrückenbindungen, überlappenden prolin-hydroxiprolinreichen Strukturen und hydrophilen Bereichen sowie van-der-Waals Kräften (HOLLMACH 2000, TERNES 1994).

Für die Versuche werden Mischschwarten verwendet. Der Rohstoff muss nach einer Grobzerkleinerung thermisch behandelt werden. Dazu werden die Schwartenabschnitte in Gegenwart von Wasser mit einer Temperatur von ca. 100 °C für zwei Stunden behandelt.

Nach dem zweistündigen Garprozess werden die Schwarten vom Wasser getrennt. Anschließend werden sie mit einem Pürierstab bei 9500 U / min in eine homogene Masse überführt, die für die weiteren Versuche verwendet wird.

2.2.8.2 Erfassung des Aromas

Der Einfluss verschiedener Räucherhölzer sowie Räucherholzkombinationen auf das Aroma von Wurstwaren werden untersucht. Dabei wird der Fokus auf Rohwurstwaren gelegt. Als Methodik für diese sensorische Prüfung wird die Aromaprofilzahl (APZ) entwickelt. Durch umfangreiche sensorische Prüfungen und fachlichen Austausch kann ein Aromarad speziell für geräucherte Fleisch- und Wurstwaren erstellt werden. Das Aromarad setzt sich aus Hauptsegmenten zusammen, die wiederum einzelne beschreibende Attribute enthalten. Die Attribute besitzen eine Skala, bei der eine Bewertung von 0 – 5 Einheiten erfolgen kann. Je nach Ausprägung des

Aromas werden von 0 (keine Beeinflussung des Aromas) bis 5 (starke Beeinflussung des Aromas) Punkte vergeben. Durch den Einsatz des Aromarades sollen Nuancierungen des Aromas verdeutlicht werden. Dadurch wird es möglich, verschiedene Kombinationen des Aromas zu finden, die für positive oder negative Geschmackseindrücke verantwortlich sind.

Da die Aromabestimmung solcher Produkte durch die Vielzahl der beeinflussenden Komponenten eine komplexe Aufgabe darstellt, wird dies durch die Entwicklung einer Aromaprofilzahl zusammen mit einem Aromarad vereinfacht. Am Ende soll eine Beschreibung entstehen, die es möglich macht, sich das Aroma des Produktes vorzustellen, ohne das Produkt selber geprüft zu haben und einfach vergleichen zu können (HILDEBRAND, REIMOLD 2013, THIEMIG, et al. 2010).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsaufbau Rohwurstfermentation

3.1.1 Technische Ausrüstung zur Herstellung der Fleischerzeugnisse

In Tabelle 9 sind die verwendeten Geräte und Maschinen, die für die Durchführung der Wurstwarenherstellung benötigt wurden, aufgeführt.

Tabelle 9: Technische Ausrüstung für die Herstellung der Wurstwaren

Geräte	Hersteller	Firmensitz
Waagen		
HC1	Sartorius AG	Göttingen
Analytic AP 210 P	Sartorius AG	Göttingen
BP 201 S	Sartorius AG	Göttingen
PT 120	Sartorius AG	Göttingen
I-20W	O-Haus	Berlin
Zerkleinerungsgeräte		
Vakuumschneidmischer Typ Vacu 30	KILIA	Neumünster
Fleischwolf Typ WE L82, Nr. 7155	Alexanderwek	Remscheid
Fleischwolf FW735	Beeketal	Rastdorf
Multizerkleinerer Moulinette DP 700G	KRUPS GmbH	Solingen
Wurstverarbeitung		
Schneidmischer Kilia RS 3000	Kilia	Neumünster
Ascobloc mit Kutter	VEB Kombinat ASCOBLOC	Gössnitz
Kolbenfüllmaschine C2	Rohwer KG	Schierensee
Füllmaschine BT05P	Beeketal	Rastdorf
Klipp-Apparat	Technoclipper	Deerlijk
Räucherofen Maurer mc 5, Allround-System-Rondette	H.Maurer + Söhne und Wärmetechnik GmbH und Co.KG	
Klimaschrank KLS MC 7.1	H.Maurer + Söhne und Wärmetechnik GmbH und Co.KG	Reichenau
Sonstiges		
Eisbereiter AF-10	SCOTSMAN Ice Systemts	USA
Kombigargerät UNOX ChefTop	DUEX Handels GmbH	Büren
Vakuuiergerät PT-V-700	Allpax GmbH & Co. KG	Papenburg
Klimaschrank HS 100	MLW	
Wasserbad	GFL mbH	Burgwedel

3.1.2 Rohstoffe

Die verwendeten Rohstoffe und Materialien für die Rohwurstherstellung zur Entwicklung des Fermentationsverfahrens sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Fleischrohstoffe und Zutaten zur Herstellung der Rohwurstproben für die Modifikation des Fermentationsverfahrens

Fleischmaterial	GEHA - Sortierung
Magerfleisch	S I (Lebensmittelhandel, Berlin)
Magerfleisch	S II (Lebensmittelhandel, Berlin)
Fett	S VIII (Lebensmittelhandel, Berlin)
Zutaten	Hersteller
NPS (0,4 % NaNO ₂)	esco - european salt company GmbH & Co. KG
Pfeffer (schwarz)	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Knoblauch	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Koriander	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Ascorbinsäure	Carl Roth GmbH + CO. KG
Glucose	Carl Roth GmbH + CO. KG
Starterkulturen: Biobak K (<i>im Fett</i>)	WIBERG GmbH
Phosphat Brätfibriso E450	fibrisol-MUSCALLA GmbH
Gewürzmischung Mediterraneo	VAN HEES GmbH

Die Gewürzmischung Mediterraneo enthielt ca. 18 ±0,6 % Gesamtzucker (nach Luff-Schoorl). Die Zutaten der Gewürzmischung waren soweit bekannt:

Gewürze (mit Senf), Geschmacksverstärker E621 (Mononatriumglutamat), Dextrose, Aroma, Speisesalz, Stabilisator E331 (Natriumcitrat), Glucosesirup, Antioxidationsmittel E301 (Natriumascorbat) u.a.

Die verwendeten Rohstoffe, die Rezeptur und die Materialien zur Herstellung der Wurstproben für die Räucherversuche sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Fleischrohstoffe und Zutaten für die Herstellung der Rohwurstproben (Thüringer Runde) zur Prüfung der Modifikation des Räucherverfahrens

Fleischmaterial		GEHA - Sortierung
Magerfleisch	30 %	R II (Lebensmittelhandel, Berlin)
Magerfleisch	25 %	S I (Lebensmittelhandel, Berlin)
Magerfleisch	20 %	S II (Lebensmittelhandel, Berlin)
Fett	25 %	S VIII (Lebensmittelhandel, Berlin)
Zutaten		Hersteller
NPS (0,4 % NaNO ₂)	30 g/kg	esco - european salt company GmbH & Co. KG
Pfeffer (weiß, gemahlen)	2,0 g/kg	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Pfeffer (weiß, geschrotet)	1,0 g/kg	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Knoblauch	0,5 g/kg	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Piment	0,25 g/kg	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Glutamat	1,0 g/kg	Fleischereibedarf und Gastrotechnik Schneider e. Kfm.
Ascorbinsäure	1,0 g/kg	Carl Roth GmbH + CO. KG
Glucose		Carl Roth GmbH + CO. KG
Starterkulturen: Biobak SAL	0,5 g/kg	WIBERG GmbH

Tabelle 12: Starterkulturen der Firma Wiberg mit Angabe der enthaltenen Mikroorganismen (WIBERG GMBH 2012)

Bezeichnung	Biobak L	Biobak K	Biobak Fit	Biobak SAL
Materialnummer	156662	108689	108673	197117
Produktbeschreibung	zur Reduktion von Listerien während des Fermentationsprozesses von Rohwurst	für geräucherte und gepresste Rohwurst bei Verarbeitung von Salpeter und Kochsalz oder Nitritpökelsalz	für schnell gereifte Rohwurst bei Verwendung von Glucono-delta-Lacton	für klassische Salami und streichfähige Rohwürste
Zutaten	<i>Lactobacillus sakei</i> , <i>Staphylococcus xylosus</i> , <i>Staphylococcus carnosus</i> Gesamtkeimzahl: > 6,5·10 ¹⁰ KBE/g Trägerstoff: Dextrose Deklarationsvorschlag (LMVK): deklarationsfrei keine allergenen Zutaten enthalten	<i>Lactobacillus sakei</i> , <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Staphylococcus carnosus</i> , <i>Staphylococcus xylosus</i> Gesamtkeimzahl: > 1,8·10 ¹⁰ KBE/g Trägerstoff: Dextrose Deklarationsvorschlag (LMVK): deklarationsfrei keine allergenen Zutaten enthalten	<i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Staphylococcus xylosus</i> Gesamtkeimzahl: > 6,0·10 ⁹ KBE/g Trägerstoff: Dextrose Deklarationsvorschlag (LMVK): deklarationsfrei keine allergenen Zutaten enthalten	<i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Staphylococcus carnosus</i> , <i>Staphylococcus xylosus</i> Gesamtkeimzahl: > 1,8·10 ¹⁰ KBE/g Trägerstoff: Dextrose Deklarationsvorschlag (LMVK): deklarationsfrei keine allergenen Zutaten enthalten
Dosierung	20 g / 200 kg Masse	50 g / 100 kg Masse	25 g / 25 kg Masse	50 g / 100 kg Masse
Geschmack / Geruch	süßlich	neutral	neutral	süß, neutral
Farbe / Konsistenz	cremefarbenes Pulver	weißes Pulver	weißes Pulver	cremefarbenes Pulver
Lagerbedingungen	tiefgekühlte Lagerung bei -18 °C	tiefgekühlte Lagerung bei -18 °C	tiefgekühlte Lagerung bei -18 °C	tiefgekühlte Lagerung bei -18 °C
Haltbarkeit	10 Monate in ungeöffneter Originalverpackung	10 Monate in ungeöffneter Originalverpackung	10 Monate in ungeöffneter Originalverpackung	mind. 6 Monate in ungeöffneter Originalverpackung

Die eingesetzten Starterkulturen sind in Tabelle 12 aufgelistet. Es handelte sich um Starterkulturmischungen, die explizit für die Produktion von Rohwurst entwickelt wurden. Es wurden verschiedene Arten Mikroorganismen wie Laktobazillen, Staphylokokken oder Pediokokken eingesetzt. Aus der Tabelle werden die unterschiedlichen Einsatz- und Lagerbedingungen sowie die Produkteigenschaften ersichtlich.

In Tabelle 13 ist die verwendete Rezeptur mit den Rohstoffen Fleisch und den zugegebenen Zutaten wie Gewürzen und Zusatzstoffen inklusive der Starterkulturen angegeben.

Tabelle 13: Verwendete Rohwurstrezeptur zur Entwicklung des modifizierten Herstellungsverfahrens von schnittfester Rohwurst

Material		
37,5 %	Magerfleisch	S I
37,5 %	Magerfleisch	S II
25 % (V1-V3)	Nackenspeck	S VIII
Zutaten		
25 g/kg	NPS	
1,25 g/kg	Pfeffer	
1,25 g/kg	Knoblauch	
0,5 g/kg	Koriander	
1 g/kg	Ascorbinsäure	
20 g/kg	Glucose (<i>im Fett</i>)	
1 g/kg	Starterkulturen: Biobak K (<i>im Fett</i>)	

Für die Forschungsarbeiten war es notwendig den Glucose- bzw. Kohlenhydratgehalt genau einstellen zu können. Bei der Verwendung von Gewürzmischungen, wie sie industriell üblich sind, sind oft nicht näher deklarierte Kohlenhydrate als Trägerstoffe enthalten. Diese können den Fermentationsverlauf beeinflussen und wurden deshalb erst zur Validierung des Verfahrens eingesetzt.

3.2 Analytik

3.2.1 pH-Wert

Die pH-Wert-Messungen erfolgten mit einem pH-Meter 671 Calimatic sowie 766 Calimatic der Firma Knick (Berlin) und einer Einstabsmesskette SE 104 N ebenfalls von der Firma Knick. Es wurden jeweils mindestens drei Messungen pro Probe vorgenommen und der Mittelwert gebildet. Es erfolgten Messungen an drei unterschiedlichen Positionen in der Probe. Die Messpunkte waren möglichst gleichmäßig verteilt, um nicht direkt an Häufungen von Magerfleisch, Fett oder Einlagematerial zu liegen. Die Messungen wurden an den unterschiedlichen Versuchstagen immer mit einem Abstand von 24 Stunden oder einem Vielfachen von 24 Stunden durchgeführt.

3.2.2 Wassergehalt

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte mit einem Feuchtebestimmer IR35 der Firma Denver Instruments (Göttingen). Die Proben wurden mit einer Infrarot-Heizschlange thermisch getrocknet bis Massenkonstanz vorlag. Das Gerät arbeitete dabei mit einer Temperatur von 160 °C.

Weiter wurden Messungen mit einem Feuchtebestimmer der Firma ULTRA-X (Lage) durchgeführt. Dabei wurde die Temperatur zur Wasserverdampfung statt mit einer Heizschlange von einer Siccatherm Heizlampe (Osram) induziert. Die Trocknungstemperatur wurde ebenfalls auf ca. 160 °C eingestellt.

Vor der Messung wurde das Probenmaterial zerkleinert und homogenisiert. Anschließend wurden 3-6 g auf einen tarierten Träger gebracht, der im Trocknungsgerät platziert wurde. Es wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt.

3.2.3 Farbe

Zur objektiven Ermittlung der Produktfarbe wurden Farbmessungen mit einem Remissionsfarbmessgerät der Firma Konica-Minolta (Langenhagen) (Typ: Chroma-Meter CR-400) durchgeführt. Die Ergebnisse werden im $L^*a^*b^*$ -Farbraum dargestellt, der 1976 von der Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) veröffentlicht wurde. Hierbei gibt der L^* -Wert die Helligkeit (Lumineszenz) der Körperfarben an. Die Skala reicht von 0 (schwarz) bis 100 (weiß). Der a^* -Wert ist ein Maß für den Grün- oder Rotanteil einer Farbe. Der Wertebereich liegt bei -150 bis 100, wobei grüne Farbwerte einen negativen und rote einen positiven Zahlenwert besitzen. Die jeweilige Farbsättigung steigt mit größerem Abstand von 0. Der Blau- oder Gelbanteil wird durch den b^* -Wert wiedergegeben. Die Werte liegen im Bereich von -100 bis 150. Negative Zahlen kennzeichnen eine blaue und positive eine gelbe Farbausprägung. Analog zum a^* -Wert nimmt die Farbausprägung mit größerem Abstand von 0 zu. Allgemein kennzeichnet im $L^*a^*b^*$ -Farbraum eine Änderung um 1,0 Einheiten, eine mit dem menschlichen Auge gerade noch wahrnehmbare Farbänderung. Bei den Messergebnissen handelt es sich um vom Gerät berechnete Durchschnittswerte über eine Messfläche von 1 cm². Es wurden zwischen fünf bis zehn Messungen pro Probe durchgeführt, wobei die Messpunkte gleichmäßig über die Proben verteilt wurden.

3.2.4 Wasseraktivität (a_w -Wert)

Der a_w -Wert gibt das Verhältnis des Wasserdampfdrucks über dem Lebensmittel (p) zum Wasserdampfdruck über reinem Wasser (p_o) an.

$$a_w = \frac{p}{p_o}$$

Die Wasseraktivität wurde indirekt durch die Bestimmung der relativen Gleichgewichtsfeuchte gemessen. Die Messungen wurden mit dem a_w -Wertmessgerät HC2-AW-USB der Firma Rotronic (Ettlingen) durchgeführt. Die Proben wurden in ca. 2-3 mm große Partikel zerkleinert und in die Messkammer gegeben und laut Messprinzip zwei Stunde in der Kammer belassen. Die Aufzeichnung der Ergebnisse erfolgte anschließend in tabellarischer und grafischer Form durch die zugehörige Software HW4. Zur statistischen Absicherung wurden die Proben doppelt bestimmt.

3.2.5 Temperatur

Die Temperaturmessungen innerhalb der unterschiedlichen Medien wurden mit einem Testo 1100 Sekundenthermometer der Firma Testo (Lenzkirch) und dem Datenlogger AHLBORN ALMEMO 2590 und mit der Temperatursonde Thermo E4 durchgeführt. Es wurde auf eine homogene Durchmischung bzw. einen Temperatúrausgleich vor den Messungen geachtet, um mögliche Temperaturzonen zu vermeiden. Die Messungen erfolgten nach Möglichkeit im Zentrum der Proben.

Die Temperaturmessungen an den wärmeübertragenden Geräten und den sterilen Gefäßen für die mikrobiologischen Arbeiten erfolgten mit einem IR340 Infrarot-Thermometer der Firma Voltcraft (Amberg). Auf diese Weise konnten Temperaturmessungen ohne Beeinflussung der Proben durchgeführt werden, was insbesondere bei den mikrobiologischen Untersuchungen wichtig war.

3.2.6 Festigkeit

Bei der Festigkeitsbestimmung wurde die Eindringtiefe eines Prüfkörpers während einer bestimmten Prüfzeit gemessen. Die Messungen wurden mit einem automatisierten Penetrometer AP 4/2 von der Firma VEB Feinmess (Dresden) durchgeführt.

Der Messkörper wurde genau bis zum Berühren der Probe eingestellt, sodass nur die Eindringtiefe gemessen wurde. Die Probe wurde zur Messung 15 s mit einem kugelförmigen Prüfkörper mit 10 mm Durchmesser belastet, wobei ausschließlich das Gewicht von 84,5 g des Prüfkörpers auf die Probe wirkte. Der Prüfkörper wurde nach 15 s fixiert. Die Maßeinheit für die Eindringtiefe ist die Penetrationseinheit PE, die 0,1 mm entspricht. Es wurden pro Versuch jeweils 5 Messungen an drei Proben an verschiedenen Messpunkten vorgenommen. Die Probenhöhe war auf 2 cm festgelegt und die Proben zur Messung von der Wursthülle befreit.

3.2.7 Textur

Die Texturmessung mit der Materialprüfmaschine INSTRON 4301 H2539 und Zwicki Texturprüfmaschine sollte den Zusammenhalt der Rohwurstmatrix mit Broteinlagen nach 14 Tagen Reifung erfassen. Die Probenzylinder wurden zwischen zwei parallelen Platten mit einem linearen Belastungsweg und mit gleichbleibender Geschwindigkeit von 20 mm / min gestaucht.

Die gemessenen Wurstzylinder hatten eine Höhe von 30 mm und einen Durchmesser von 25,4 mm (1"). Sie wurden über einen Stauchungsweg von 26 mm oder bis zu einer Maximalkraft von 195 N belastet. Die nötige Maximalkraft am Bruchpunkt wurde dem erzeugten Kraft-Weg-Diagramm entnommen und zum Vergleich der Proben herangezogen. Je größer diese Kraft war, desto besser war der Zusammenhalt innerhalb der Wurstmatrix.

3.2.8 Mikrobiologische Analysen

Die Bewertung der Keimzahlen erfolgte mit vorgefertigten Trockennährböden zur Analyse spezifischer Keimarten. Diese wurden entsprechend der Anleitung hergestellt und der erzeugte Nährboden in sterile Petrischalen mit Nocken aus Polystyrol der Firma Carl Roth GmbH (Karlsruhe) gegossen. Die Unterscheidung der Keimarten war notwendig, um die gewünschte Keimflora von den unerwünschten Verderbniskeimen zu unterscheiden. Auf diese Weise konnte die Lebensmittelsicherheit des Produktes hinsichtlich der Mikrobiologie eingeschätzt werden. In Tabelle 14 sind die verwendeten Nährböden und die analysierten Keimarten angegeben.

Tabelle 14: Nährböden und analysierte Keimarten bei der Bestimmung der mikrobiologischen Eigenschaften von Rohwurst

Nährboden	Abkürzung	Keimart
Plate-Count-Agar (Carl Roth GmbH)	PC	mesophile aerobe Gesamtkeimzahl
Glutaminat-Stärke-Phenolrot (Merck KGaA)	GSP	proteolytische Keime
Kristallviolett-Neutralrot-Galle-Glucose-Agar (Merck KGaA)	VRBD	anaerobe coliforme Keime
Hefeextrakt-Glucose- Chloramphenicol-Agar (Merck KGaA)	YGC	Hefen und Schimmelpilze
Lactobacillus-Agar nach de. Man, Regosa und Sharpe (Merck KGaA)	MRS	Laktobacillen

Die Sterilisation der Nährböden für die mikrobiellen Kontrolluntersuchungen erfolgte im VARIOKLAV-Dampfsterilisator der Firma H+P Labortechnik AG (Oberschleissheim), Typ 300 / 400 / 500 EP-Z.

Es wurden jeweils 10 g der Proben mit 90 g sterilem Peptonwasser bestehend aus 1,0 g Pepton aus Casein (Carl-Roth GmbH Karlsruhe), 8,5 g NaCl (VWR GmbH, Darmstadt) und 1 l dest. Wasser in einem sterilen Filterbeutel versetzt. Anschließend wurde die Probe für 2 min im Stomacher 400 (A.J. Seward, London) gemengt. Der Filtereinsatz wurde entfernt und aus der Probe eine Verdünnungsreihe angelegt. Dazu wurde jeweils 1 ml der aktuellen Verdünnungsstufe in 9 ml Peptonwasser überführt und gemischt. Es wurden Verdünnungsstufen bis zu einer Verdünnung von 10^{-6} angesetzt.

Von den Verdünnungen wurden jeweils 50 µl auf einem Viertel einer Nährbodenplatte im Tropfverfahren aufgetragen. Die Platten wurden unter den in Tabelle 15 angegebenen Bedingungen bebrütet.

Tabelle 15: Bebrütungsbedingungen der mikrobiologischen Nährmedien zur Untersuchung von Wurstwaren

Nährmedium	Bebrütungstemperatur	Bebrütungszeit	O ₂ -Verfügbarkeit
PC	30 °C	3 Tage	aerob
GSP	25 °C	3 Tage	aerob
VRBD	30 °C	2 Tage	anaerob
YGC	25 °C	5 Tage	aerob
MRS	30 °C	5 Tage	mikroaerophil

Nach der Bebrütung wurden die Koloniebildenden Einheiten (KBE) auf den Nährmedien ausgezählt. In die direkte Auswertung sind nur KBE-Zahlen zwischen 5 und 300 geflossen. Für jeden Zielorganismus wurde aus den verwertbaren Koloniezahlen einer Reihe der zugehörige Keimgehalt der Probe in KBE/g durch Bildung des gewichteten arithmetischen Mittels zu Gunsten der niedrigeren Verdünnung bestimmt. Durch folgende Formel unter genannter Bedingung lässt sich diese Bestimmung verallgemeinert ausdrücken:

$$\frac{KBE}{g} = \frac{\overline{n_{gew}}}{V} = \frac{\sum_k \sum_l n_{kl}}{\sum_k q_k \cdot 10^{-k}} \cdot V^{-1}$$

wobei gelten muss: $5 \leq n_{kl} \leq 300$

n_{kl} ausgezählte Kolonien je Verdünnungsstufe k und Probennr. l

k Index für Verdünnungsstufe ($k = 1, 2, \dots, 7$) der Verdünnung ($10^{-k} = 10^{-1}, \dots, 10^{-7}$)

l Index für Probennr. (Doppelbestimmung, $l = 1, 2$)

q_k Anzahl der ausgewerten Quadranten der Verdünnungsstufe k

V inkubiertes Probenvolumen in ml (hier 0,05 ml)

3.2.9 Begleitende analytische Messungen

3.2.9.1 Bestimmung des Fettgehaltes der Wurstwaren

Die Fettbestimmungen wurden von Wurstproben in Doppelbestimmung mit einer Methode nach Bligh und Dyer (siehe Anhang) durchgeführt.

3.2.9.2 Chemisch-analytische Bestimmung des Restnitritgehaltes

Die Bestimmung des Restnitritgehaltes wurde nach der ASU L 07.00-12 durchgeführt.

3.2.9.3 Bestimmung des Umrötungsgrades nach MÖHLER

Die Bestimmung des Umrötungsgrades wurde entsprechend der Versuchsanstellung nach Möhler (siehe Anhang) durchgeführt.

3.2.9.4 Bestimmung des Zuckergehaltes nach Luff –Schoorl

Der Zuckergehalt der eingesetzten Gewürzmischung wurde nach Luff-Schoorl (ASU L 31.00-11) bestimmt. Dabei wurde der Gesamtkohlenhydratgehalt durch vorherige saure Hydrolyse der Gewürzmischung ermittelt.

3.2.10 Qualitätsbewertung der Produkte nach DLG-Schema

Die Bewertung der Rohwürste, die nach der finalen Verfahrensgestaltung unter Einsatz von fermentiertem Fett sowie mit Broteinlage hergestellt wurden, erfolgte mit dem DLG-Bewertungsschema für die Produktgruppe Rohwurst (siehe Anhang). Zur Bewertung wurden 4 Kategorien herangezogen. Es erfolgte eine Fehlerbewertung, bei der von der besten Bewertung (5 Punkte) je nach Art und Ausprägung des Fehlers Punkte abgezogen wurden. Bei einer gleichen Abwertung innerhalb eines Bereiches (z.B. Äußeres) wurde ein weiterer Punkt abgezogen. War

dies nicht der Fall, wurde die schlechteste Bewertung innerhalb eines Bereiches als Punktzahl für den Bereich herangezogen.

- Äußeres:
 - Es erfolgte eine Bewertung der Wurstprodukte ohne den Anschnitt zu betrachten. Es wurde die Eignung der Hülle, die Außenfarbe sowie der Einfluss einer möglichen Räucherung betrachtet.
- Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung:
 - Es wurde das Aussehen im Anschnitt nach Kriterien wie Zerkleinerungsgrad, Verteilung, Porigkeit, Farbe und Zusammensetzung sowie die Farbhaltung bewertet. Dabei wurde auch auf typische Rohwurstfehler wie Trockenrandbildung, Lufteinschlüsse oder Verfärbungen eingegangen.
- Konsistenz:
 - Es wurden die Textur im Sinne von zu fest, zu weich, schmalzig oder ähnlichem sowie die Festigkeit der Hülle oder des Randes bewertet.
- Geruch und Geschmack:
 - Es wurden grundlegende Charakteristika wie der Salzgehalt, Bitterkeit, Säure und die Würzung sowie die produkttypischen Eigenschaften wie Fleischgeschmack und Fermentationsaroma bewertet. Ferner wurden Punkte wie das Raucharoma, die Speckfrische und Fehleraromen bewertet.

Als Ergebnis der Bewertungen entsteht eine Qualitätszahl, die dem Produkt einen industriell verwendeten „Preis“ z.B. Gold, Silber, Bronze oder keinen Preis zuordnet.

3.2.11 Schmelz- und Siedetemperaturen

Zur Bestimmung der Verarbeitungseigenschaften der Haftmasse, dem Pyrolyseträgerstoff und für die Erstellung der kombinierten Holzblöcke war es notwendig, die Temperaturbeeinflussung zu ermitteln. Gelatine beginnt ab 21-34°C zu schmelzen. Die großen Schwankungen stehen mit dem Wassergehalt und dem Hydrolysegrad der Gelatine in engem Zusammenhang.

- Es wurde überprüft, wie sich die Gelatinemasse bei unterschiedlichen Temperaturen verhält, ob es zu sichtbaren Strukturveränderungen kommt und in welcher Zeit sich die Proben in den flüssigen Zustand überführen ließen.
- Handelsübliche Gelatine ist durch gemäßigtes Erhitzen reversibel in den flüssigen Zustand überführbar. Eine starke Temperaturbeaufschlagung, von dauerhaft über 80 °C, führt zur Hydrolyse und damit zu einem Verlust der Gelbildungseigenschaften. Diese reversible Gelbildung musste bei der gelatinehaltigen Schwartenmasse überprüft werden. Ziel war es, die Verflüssigung der Gelatine zu unterbinden und einen hydrothermisch stabilen Pyrolyseträgerstoff zu gewinnen.

Zur Bestimmung des Temperaturverhaltens wurden ca. 1 cm³ der Proben auf eine regelbare Heizplatte gegeben und die Temperatur schrittweise um 1 °C erhöht. War ein Aufschmelzen der Partikel zu beobachten, wurde die entsprechende Temperatur erfasst. Die Versuche wurden mit einer Heizplatte Thermoplate S der Firma Desaga (Jahnsdorf) durchgeführt.

3.2.12 Zugstabilität

Um die Zugstabilität zu bestimmen, wurde die Materialprüfmaschine INSTRON 4301 H2539 (Pfungstadt) verwendet.

Die Zugversuche wurden so konzipiert, dass einer der zusammengefügt Holzblöcke an der INSTRON Materialprüfmaschine befestigt wurde. Der eingespannte Holzblock wurde am unteren und am oberen Teil mit jeweils einer Klemme befestigt. Die untere Klemme wurde an einer Bodenplatte fixiert. Die obere Klemme wurde mit dem Prüfkopf der Materialprüfmaschine verbunden. Bei der Messung bewegte sich der Prüfkopf nach oben. Auf diese Weise erfolgte die Zugbelastung des Blockes. Bei ausreichender Kraft löste sich die verbindende Mittelschicht.

Es wurde die aufgebrachte Kraft über den Weg gemessen. Die aufgewandte Maximalkraft gibt Auskunft über die Stärke des Zusammenhaltes. Mit Hilfe der Messung kann der Zusammenhalt bei der Anwendung im Friktionsräucherofen eingeschätzt werden. Es wurden Dreifachbestimmungen durchgeführt.

3.2.13 Thermostabilität / Hydrostabilität

Die Thermostabilität wurde in zwei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen getestet.

- Es musste die Stabilität gegenüber erhöhter Temperatur bei Trockenheit überprüft werden (Thermostabilität).
- Zusätzlich erfolgten Messungen bei feuchter Hitze, um den Einfluss von Wasser bzw. Wasserdampf zu erfassen (Hydrostabilität).

Die durchgeführten Messungen waren Zugmessungen, wie unter 3.2.12 beschrieben. Der Zusammenhalt wurde als relevantes Maß für die Friktionsstabilität herangezogen. Die Proben wurden vor der Durchführung der Zugmessungen in einem Kombidampfgargerät UNOX (Büren) ChefTop mit feuchter Hitze ($\varphi = 100\%$) und trockener Hitze beaufschlagt, um die hohen Temperaturen und die Feuchtigkeit innerhalb eines Räucherofens zu simulieren. Sie wurden bei 80 °C für 5 min thermisch behandelt und anschließend im warmen Zustand geprüft. Da es industriell teilweise üblich ist, das Holz vor dem Räuchern nass zu lagern, um eine Wasseranreicherung im Holz und so eine verstärkte Raucherzeugung zu erreichen, wurden die fertigen, kombinierten Holzblöcke zusätzlich bis zur Prüfung des Zusammenhaltes 24 Stunden in Wasser gelagert und anschließend die Friktionsstabilität geprüft.

3.2.14 Friktionsstabilität

Die Ermittlung der Friktionsstabilität erfolgte durch den Einsatz der kombinierten Holzblöcke in der Friktionsräucheranlage der Firma Maurer. Die ca. 50 cm langen Holzblöcke wurden analog zu den Proben für die Zugmessungen zusammengefügt und in die Friktionskartusche der Anlage gegeben und auf ca. 15 cm Restlänge verbraucht. Es folgte eine Begutachtung der Proben und eine Bewertung des Zusammenhaltes. Unterschieden wurde in:

- guter Zusammenhalt
- leichtes Lösen mit fortbestehendem Zusammenhalt
- komplettes Lösen

Die Friktionsstabilität wurde äquivalent zur Thermostabilität geprüft. Es wurde der Einfluss von Wasser während des Prozesses getestet. Dazu wurden ein Räucherprogramm mit trockenen (trockener Rauchentfernung) und ein Räucherprogramm mit feuchten Konditionen (Rauchkondensation mit Wasser) durchgeführt. Die Friktionsversuche verbanden beide, in den anderen Versuchsteilen untersuchten Parameter Zugstabilität und Thermostabilität. Am Reibrad wurden mechanische Belastungen durch das Anpressen und Reiben sowie thermische Energie durch die Reibung erzeugt.

3.2.15 Verarbeitungszeit

Für die Herstellung und Verarbeitung des friktionsstabilen Pyrolyseträgerstoffes musste ermittelt werden, welche Zeit die Masse im flüssigen Aggregatzustand verblieb, welche Zeit benötigt wurde, bis die verklebten Hölzer vollständig miteinander verbunden waren und ob zur Optimierung des Trägerstoffes eine Verzögerung der Verfestigung möglich war.

Die Verarbeitungsfähigkeit wurde haptisch und durch ein gegenseitiges Verschieben der Holzblöcke geprüft und die Zeit gemessen. Dazu wurden die Proben auf einer glatten Fläche dünn verstrichen und manuell getestet bis ein Erstarren der Probe eintrat. Anschließend wurde untersucht, ob die Bearbeitungszeit mit einer Zugabe von unterschiedlichen Konzentrationen an 98,8 %igem Ethanol verlängerbar war.

Beim Auftrag des gelatinehaltigen Trägerstoffes auf die verwendeten Räucherholzblöcke mit Industriemaßen mussten die Herstellungszeit und die Zeit bis zum Verwenden im Friktionsräucherofen ermittelt werden.

3.2.16 Optisch analytische Methoden

Es wurden Aufnahmen mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) angefertigt. Das REM gehört zu den Elektronenmikroskopen, bei denen ein fein gebündelter Elektronenstrahl im Vakuumbetrieb über die zu beobachtende Fläche mittels eines Rasters geführt wird. Durch die Wechselwirkungen mit dem zu untersuchenden Material entsteht ein Bild, das bis zu einer maximalen Vergrößerung von 1:100.000 betrachtet werden kann. Das Hochvakuum muss angelegt werden, um Zusammenstöße mit anderen Molekülen und Atomen strikt zu vermeiden, da sonst ein verfälschtes Bild entsteht.

Die Proben wurden durch eine Behandlung mit Aceton in ansteigender Konzentration vor der Aufnahme entwässert und anschließend mit kritischem CO₂ getrocknet. Die Kritische-Punkt-Trocknung erfolgte mit der Critical-Point-Anlage cpc 030 der Firma BAL TEC bei einem Druck von 73,8 bar und einer Temperatur von 31 °C. Vor dem Mikroskopieren wurden die Proben mit einem Goldfilm überzogen, wodurch eine elektrische Aufladung unterbunden wurde, die eine Bildwiedergabe verhindert hätte.

3.2.17 Räucherprogramm

Zur Durchführung der Räucherungen wurde ein Räucherprogramm entwickelt, mit dem die hergestellten Wurstproben mit den kombinierten Räucherhölzern geräuchert werden. Das verwendete Räucherprogramm ist in Tabelle 16 dargestellt. Nach einem Trockenschritt, der zur Temperaturangleichung und zum Entfernen des Oberflächenwassers nötig war, folgte der erste Räucherschritt.

Die Notwendigkeit der Trocknung beruht auf der Tatsache, dass auf einer feuchten Oberfläche der Rauch schlecht aufgetragen werden kann bzw. wasserlösliche Rauchbestandteile bevorzugt kondensieren. Diese sorgen für ein schlechtes, unausgeglichenes Aroma. Bei einem kalten Produkt kondensiert vermehrt Wasser aus dem Rauch auf der Produktoberfläche, was einen analogen Effekt hat.

Insgesamt waren vier halbstündige Räucherschritte, bei denen die Kombinationshölzer durch Friktion pyrolysiert wurden, notwendig. Anschließend an die Räucherschritte wurde der Rauch durch feuchte Kondensation oder durch Evakuieren aus dem System entfernt. Nachfolgend wurden Trockenschritte ausgeführt, um eventuelles Kondenswasser von der Produktoberfläche zu entfernen. Teilweise wurden auch Trockenschritte vor der Rauchvernichtung durchgeführt, um die Rauchbehandlungszeit ohne weiteren Materialeinsatz zu erhöhen.

Tabelle 16: Kalträucherprogramm für Rohwurst, Kochwurst und Schinken

Schritt-Nr.	Prozess	Prozesscode	Schrittzeit [hh:min]	Betriebstemp. [°C]	Rauchintensität [%]
1	Trocknen	2	01:00	24	89
2	Räuchern	5	00:30	24	0
3	Rauch kondensieren	12	00:05	24	0
4	Trocknen	2	00:05	24	0
5	Räuchern	5	00:30	24	89
6	Rauch kondensieren	12	00:05	24	0
7	Trocknen	2	00:05	24	0
8	Räuchern	5	00:30	24	89
9	Trocknen	2	00:05	24	0
10	Evakuieren	26	00:05	24	0
11	Trocknen	2	00:05	24	0
12	Räuchern	5	00:30	24	89
13	Trocknen	2	00:05	24	0
14	Evakuieren	26	00:05	24	0
15	Trocknen	2	00:30	20	0
	Gesamtzeit		04:15		

Die verschiedenen Arten der Räucherung bzw. Rauchentfernung sollten unterschiedliche Belastungen auf die Räucherhölzer ausüben. Es sollte sowohl die feuchte als auch die trockene Belastung eingesetzt werden.

3.2.18 Aromaprofilermittlung von geräucherten Rohwürsten

Die Aromaprofilermittlung wurde im Zuge dieser Arbeit zur Untersuchungen mit Rauch behandelter Fleischwaren entwickelt und mit einem Prüferpanel von mind. 8 Personen durchgeführt. Die Prüfpersonen haben eine Einführung in die Thematik und eine Schulung bzw. Kalibrierung anhand ausgewählter Bezugsaromen erhalten (THIEMIG, et al. 2011, THIEMIG, REIMOLD 2010). Zur Kalibrierung wurden den Prüfern isolierte Bezugsaromen gegeben, die sie olfaktorisch wahrnehmen und unabhängig beschreiben sollten. Die Begriffe wurden gesammelt und bei Gleichverständnis ausgewählt, um als beschreibendes Attribut im Aromarad zu fungieren. Nachfolgend wurden geräucherte Fleischwaren geprüft. Die Verkostungen sollten helfen, die Sachbegriffe zur Beschreibung des Aromas zu sortieren und die Prüfer auf die Aufgabe hin zu schulen. Dies ermöglichte eine präzise und gleichmäßige Erfassung der Aromen. Jedes Aroma konnte einzeln bewertet werden. Ergänzend wurden einzelne Segmente gebildet, die resultierend den gesamten Aromaeindruck des Produktes wiedergeben.

Die Segmente wurden als Aromasegmentzahlen (Prägungen) betitelt und in 6 Kategorien aufgegliedert:

- orale Prägung
- Gewürzprägung
- sonstige Prägung
- Typisierung
- Räucherholzprägung
- subjektive Prägung

Die Aromasegmentzahlen (ASZ) geben die durchschnittlichen Wertungen im jeweiligen Segment an. An ihnen lässt sich ableiten, ob ein Produkt eine starke Prägung bestimmter Nuancierungen/Aromen besitzt. Die 6 Prägungen der Segmente ergeben die Aromaprofilzahl, die das Aroma des geräucherten Fleisch- bzw. Wursterzeugnisses beschreibt. Die Wertung der einzelnen Nuancierungen erfolgt mit einem Punktesystem von 0 - 5, wobei 0 „keine Beeinflussung des Aromas“ und 5 eine „sehr starke Beeinflussung des Aromas“ bedeutet. Weiterhin wird die Güte des Produktes angegeben. Der Wert der Güte gibt Auskunft, ob die Probe sensorisch den Ansprüchen der Tester entspricht. Sie dient dem Vergleich der Qualität der Erzeugnisse. Auch die Güte wird mit der Benotung 0 - 5 angegeben.

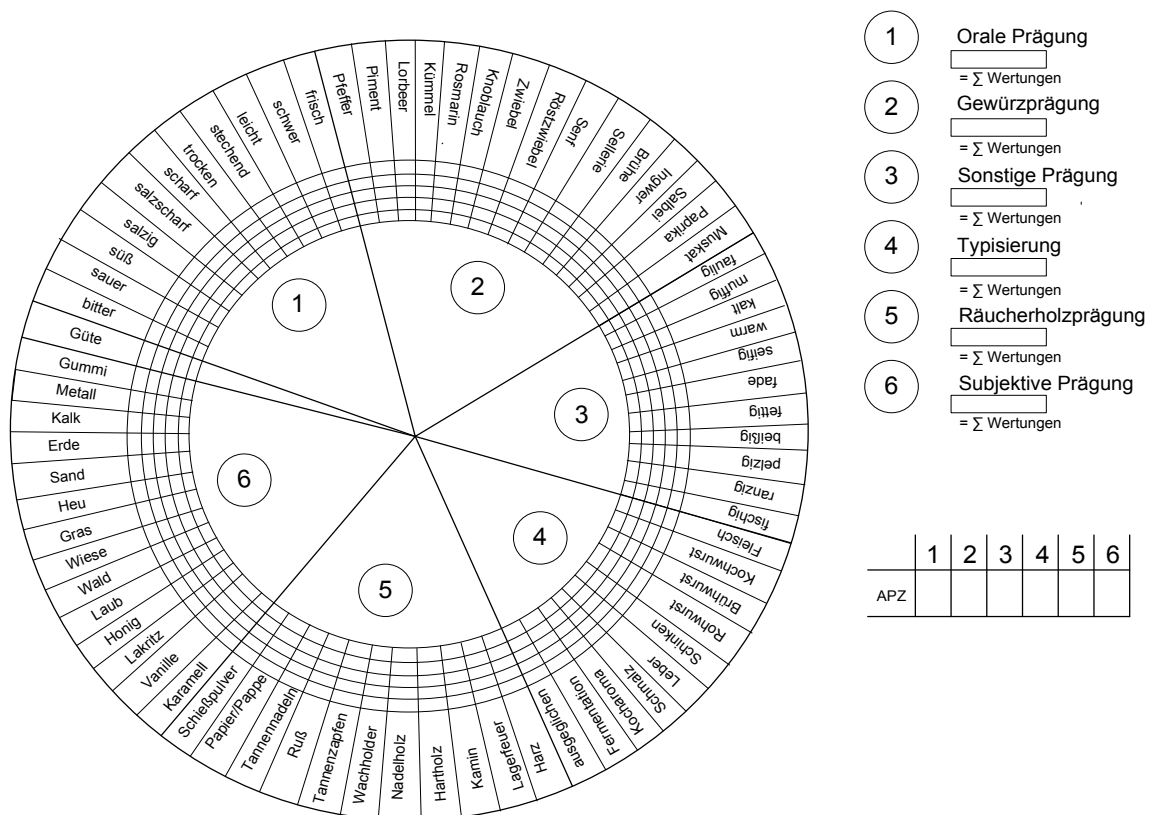


Abbildung 12: Entwickeltes Aromarad für die Aromaanalyse der mit unterschiedlichen Holzkombinationen geräucherten Wurstwaren (HILDEBRAND, REIMOLD 2013)

Ausgewertet wird wie folgt: Eine Aromasegmentzahl (z.B. orale Prägung Segment 1) zeigt die aromabeeinflussenden Attribute ihres Bereiches. Es werden die Mittelwerte der Wertungen aller Prüfpersonen aufgetragen.

Es wurden Mettwürste nach Thüringer Art (nach Rezept 1616 (Koch 1988)) für die Bewertung und Erfassung der Raucharomen hergestellt. Die Mettwürste wurden im Friktionsrauchverfahren mit den Holzarten Buche, Kiefer, Fichte oder Lärche und Kombinationen aus diesen behandelt und für 3 Tage gelagert. Anschließend wurden die Aromabewertungen durchgeführt.

Aus den Ergebnissen wurden Spinnennetzgrafiken der Segmentzahlen zur Verdeutlichung erstellt. Durch diese Form der Darstellung ist es möglich, die bestimmenden Aromen zu identifizieren und deren Ausprägungen gut miteinander zu vergleichen. Auch das Festlegen eines Produktstandards und eine Einbindung in die laufende Qualitätskontrolle werden möglich.

3.3 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurden die Programme MS Excel von Microsoft und Mynstat 12 von SYSTAT Software, inc. verwendet. Es wurden Standardabweichungen, Korrelationen und Tests auf statistische Signifikanz in Form eines Zweistichproben-t-Tests durchgeführt. Der t-Test wurde mit

- der Nullhypothese H_0 „gleich“, die Mittelwerte entstammen der selben Grundgesamtheit und
- der Alternativhypothese H_A „ungleich“, die Mittelwerte entstammen nicht der selben Grundgesamtheit

sowie einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ durchgeführt. Als Ergebnis des t-Tests wird der p-Wert ausgegeben. Ist der p-Wert größer als 0,05 gilt die Nullhypothese. Ist er unterhalb des Signifikanzniveaus wird die Alternativhypothese angenommen und es bestehen signifikante Unterschiede beim Mittelwert der Stichprobe. Die gemessenen Einzelwerte entstammen nicht derselben Grundgesamtheit.

4 Diskussion der Ergebnisse – Modifikation Fermentationsverfahren

4.1 Entwicklung des Fermentationsverfahrens unter Verwendung von vorfermentiertem Fett

Zur Entwicklung des Fermentationsverfahrens, war es von Bedeutung, die fermentationsbestimmenden Parameter des Rohstoffes Fett zu kennen. Insbesondere der Wassergehalt und damit verbunden der a_w -Wert waren in diesem Zusammenhang maßgeblich, da sie direkten Einfluss auf die Entwicklung der Mikroflora haben. Fett besitzt zudem eine höhere Fremdkontamination als Magerfleisch, was auf den höheren pH-Wert zurückzuführen ist (ERDÖS 2010).

Die durchschnittlichen Analysewerte von Fett und Magerfleisch wie Wassergehalt, a_w -Wert und pH-Wert sind in Tabelle 17 dargestellt. Das Magerfleisch besaß einen wesentlich höheren Wassergehalt und einen niedrigeren pH-Wert als das Fett. Die a_w -Werte lagen jedoch bei beiden in einem ähnlichen Bereich um 0,97, wie er auch von RÖDEL beschrieben wurde (RÖDEL, et al. 1980). Das vorhandene Wasser lag folglich im Magerfleisch besser gebunden vor. Für die Fermentation boten beide eine gute Nährstoffsituation, wobei der höhere pH-Wert des Fettes ein anderes Mikroorganismenspektrum begünstigt. Auf dem Fett können sich demnach auch säureintolerante Mikroorganismen vermehren. Dem musste durch den Einsatz von säurebildenden Starterkulturen und entsprechenden Kohlehydratzusätzen entgegengewirkt werden. Die milchsäureproduzierenden Mikroben sollten begünstigt werden, sodass sie andere, unerwünschte Organismen überwachsen. Es sollten sich schnell Bedingungen wie in einer gereiften Rohwurst mit einem pH-Wert unter 5,3 einstellen.

Tabelle 17: Gemessene durchschnittliche Analysewerte bei Magerfleisch und Fett vom Schwein

	Magerfleisch (S I)	Fett (S VIII)
Wassergehalt	71,6±2,60 %	21,8±1,73 %
a_w -Wert	0,97±0,018	0,97±0,012
pH-Wert	5,68±0,15	6,81±0,34

4.1.1 Fermentationsversuche mit Fett

Der Durchführung der Fermentationsversuche lag die Annahme zugrunde, dass mit einer vorgezogenen Fermentation die Mikroorganismenzahl der eingesetzten Starterkulturen bei geeigneteren Bedingungen stärker vermehrt werden können als in der Rohwurst. Die Anreicherung hat zwei Vorteile:

- Durch die größere Anzahl wird eine wesentlich verbesserte Verteilung der Fermentationskeime gewährleistet.
- Die Lag-Phase (Anlaufphase) des Mikroorganismenwachstums kann wesentlich verkürzt werden.

Das Anzüchten von Starterkulturen ist in der Lebensmitteltechnologie gängige Praxis (SAHM, ANTRANIKIAN 2013). Gewöhnlich wird dies in einer wässrigen Lösung durchgeführt, da Wasser als wichtiger Transportstoff für Stoffwechseledukte und -produkte dient. Bei der Herstellung von Rohwurst ist die Zugabe von Wasser jedoch unüblich, da der anschließende langwierige Trocknungsprozess verlängert werden müsste.

Bei der Fermentation von Rohwurst mit geeigneten Starterkulturen kommt es in den ersten drei Tagen nach der Herstellung zu einem zügigen pH-Wert-Abfall. Diese Zeit soll verkürzt werden. Die Verwendung von Magerfleisch als Anzuchtmaterial schließt sich aus, da es zu einer pH-Wert-Senkung und einer Unterschreitung des Isoelektrischen-Punktes (IEP) von Fleisch (5,3) (PRÄNDL, FISCHER 1988, SIELAFF 1996) und zu einer irreversiblen Bildung von Bindungen im Magerfleisch kommt, die später bei der Ausbildung der Schnittfestigkeit im Produkt fehlen. Bei zu schnellem pH-Wert-Abfall oder erhöhter Temperatur treten Denaturierungen der Muskelproteine auf, was ein Produktfehler ist und zu sensorischen Abweichungen führt (PRÄNDL, FISCHER 1988).

Bei der Fermentation des Fettgewebes spielen diese Mechanismen eine untergeordnete Rolle, da es sich zum überwiegenden Teil aus Fett und Bindegewebe zusammensetzt und nur geringfügig Protein denaturiert wird. Die Fermentationsbedingungen wurden abweichend von der üblichen Rohwurstproduktion gewählt, um die Lag-Phase kurz zu halten und einen starken pH-Wert-Abfall und ein hohes Keimwachstum innerhalb von 24 Stunden zu erreichen. Dadurch liegt bei der Produktion der Rohwurst unmittelbar ein niedriger pH-Wert vor und diese Hürde ist sofort ausgeprägt. Zusätzlich ist die Konkurrenzsituation der Mikroorganismen durch die erhöhte Keimzahl der Starterkulturen früher ausgeprägt. So kann eine verbesserte Produktionssicherheit erreicht werden.

Zur Auswahl der eingesetzten Starterkultur wurden Fermentationsversuche mit Fettgewebe vom Schwein (S VIII, Nackenspeck) angesetzt. Der Speck wurde manuell in ca. 0,5 cm Kantenlänge messende Partikel zerkleinert, um eine gute Verteilung der Mikroorganismen zu gewährleisten. Es wurden 20 g/kg Glucose sowie die doppelte vorgegebene Einsatzmenge (Tabelle 12) an Mikroorganismen dem Speck beigefügt und geeignete Fermentationsbedingungen gewählt, um eine möglichst schnelle Milchsäurebildung zu erreichen. Die Vermehrung der Mikroorganismen sollte sofort einsetzen und ein maximaler Zuwachs erreicht werden. Fermentiert wurde in PE-Tüten bei 30 °C unter Luftabschluss für 24 Stunden. Die pH-Wert-Entwicklung während der Fermentation sowie die Einsatzmengen sind

in Tabelle 18 dargestellt. Alle Proben zeigen nach 24 Stunden eine Absenkung des pH-Wertes und hatten nach der Fermentation ein angenehmes Fermentationsaroma. Die Produktion von Milchsäure wurde als Indiz für die Aktivität der Kulturen herangezogen.

Die Probe mit Biobak K zeigte den deutlichsten pH-Wert-Abfall und hatte zusätzlich die angenehmste Aromausprägung. Grundsätzlich wurde ein pH-Wert-Abfall von 1,2 - 1,4 Einheiten beobachtet. Nach den Ergebnissen wurde Biobak K für die weiteren Versuche zur Rohwurstproduktion ausgewählt. Biobak K hatte die größte Diversität an enthaltenen Mikroorganismen (Tabelle 12), was die Fermentation weniger anfällig für Bedingungsschwankungen macht. Sind für eine Mikroorganismenspezies die Bedingungen hemmend, kann eine andere Keimart „einspringen“ und die notwendigen Stoffwechselprodukte, maßgeblich Milchsäure, bilden.

Der niedrige pH-Wert des Fettes zu Beginn der Wurstreifung hatte einen sofortigen Aufbau der pH-Hürde im Brät und somit eine Verbesserung der Lebensmittelsicherheit zur Folge.

Tabelle 18: Einsatzmengen sowie durchschnittliche pH-Werte vor und nach der Fermentation von Fett mit ausgewählten Starterkulturen

Probe	Verwendete Einsatzmenge	Durchschnittlicher Ausgangs-pH-Wert	Durchschnittlicher pH-Wert nach 24 h
Biobak K	1,0 g/kg	6,2±0,064	4,8±0,041
Biobak L	0,2 g/kg	6,2±0,034	5,0±0,055
Biobak Fit	2,0 g/kg	6,2±0,052	4,9±0,010
Biobak SAL	1,0 g/kg	6,2±0,005	5,0±0,029

Die Fettfermentation war grundsätzlich realisierbar. Es waren keine negativen Auswirkungen auf das Aroma des Fettes wie z.B. ein oxidativer Verderb zu beobachten. Das Fett wurde insgesamt weicher und es kam zu einem Fettaustritt an der Oberfläche. Dieser Effekt beruhte auf der relativ hohen Temperatur von 30 °C und der Fermentation. Die bei der Fermentation entstandene Säure griff das Bindegewebe an und verschlechterte die Fetthaltung. Zusätzlich trat bei einer Temperatur von 30 °C ein „Schwitzen“ der Fettpartikel ein, die durch das Zerkleinern mechanisch vorbelastet waren.

Gleichermaßen war die Fermentation mit gewolfem Fett durchführbar. Durch die hohen Scherbelastungen im Wolf wurde die Struktur jedoch so stark geschädigt, dass der Fettaustritt nach der Fermentation verstärkt auftrat. Insbesondere die hohe Temperatur führte durch die vergrößerte Oberfläche zu einer Zunahme des Fettaustritts. Es wurde ein flüssiger Überstand im Behältnis registriert.

Die Fermentation wurde für die Produktion der Rohwürste mit den Starterkulturen Biobak K bei 30 °C für 24 Stunden wiederholt geprüft. Ein t-Test ergab bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ einen p-Wert von $2,13 \cdot 10^{-7}$ und belegte damit, dass die Mittelwerte des Fettes vor und nach der Fermentation keine gemeinsame Grundgesamtheit haben. Sie sind signifikant voneinander verschieden. Die Standardabweichung der Werte war nach der Fermentation mit 0,11 geringer als vor der Fermentation mit 0,56 und der pH-Wert war durchschnittlich um 1,5 Punkte gesunken.

Der pH-Wert lag nach der Fermentation des Fettes in einem für Rohwurst typischen Bereich. Es konnte davon ausgegangen werden, dass bei einem pH-Wert von ca. 5,0 keine als schädlich zu bewertende Keime vermehrungsfähig waren und sich die Mikroorganismen der Starterkulturen durchgesetzt hatten.

Optisch hatte sich das Fett durch die Fermentation nicht verändert. Bei einem Einsatz in Rohwurst könnte somit das typische rot-weiße Schnittbild erzeugt werden. Bei Farbmessungen konnten keine Abweichungen zur Ausgangsprobe festgestellt werden.

Abbildung 13 zeigt die Keimzahlentwicklung des Fettes durch die Fermentation. Es ist zu sehen, dass die durchschnittliche Gesamtkeimzahl (PC) leicht anstieg, was auf die Anreicherung der Milchsäurebakterien zurückzuführen ist. Der durchschnittliche Anteil an Milchsäurebakterien stieg stark von $2,82 \times 10^3$ auf $5,8 \times 10^7$ KBE / g an. Alle anderen Mikroorganismen-Gruppen, insbesondere die coliformen Keime, nahmen durch die Fermentation ab. Die Inaktivierung war auf die hemmende Wirkung des niedrigen pH-Wertes zurückzuführen. Der Rohstoff Speck war nach der Fermentation, mikrobiologisch gesehen, besser für die Herstellung von Rohwurst geeignet, als vorher. Die Anreicherung mit den gewünschten Milchsäurebakterien hat während der Fermentation bei 30 °C dazu geführt, dass nicht nur der pH-Wert gesenkt wurde, sondern zudem die für die Rohwurstproduktion bedenklichen Keime zurückgedrängt wurden.

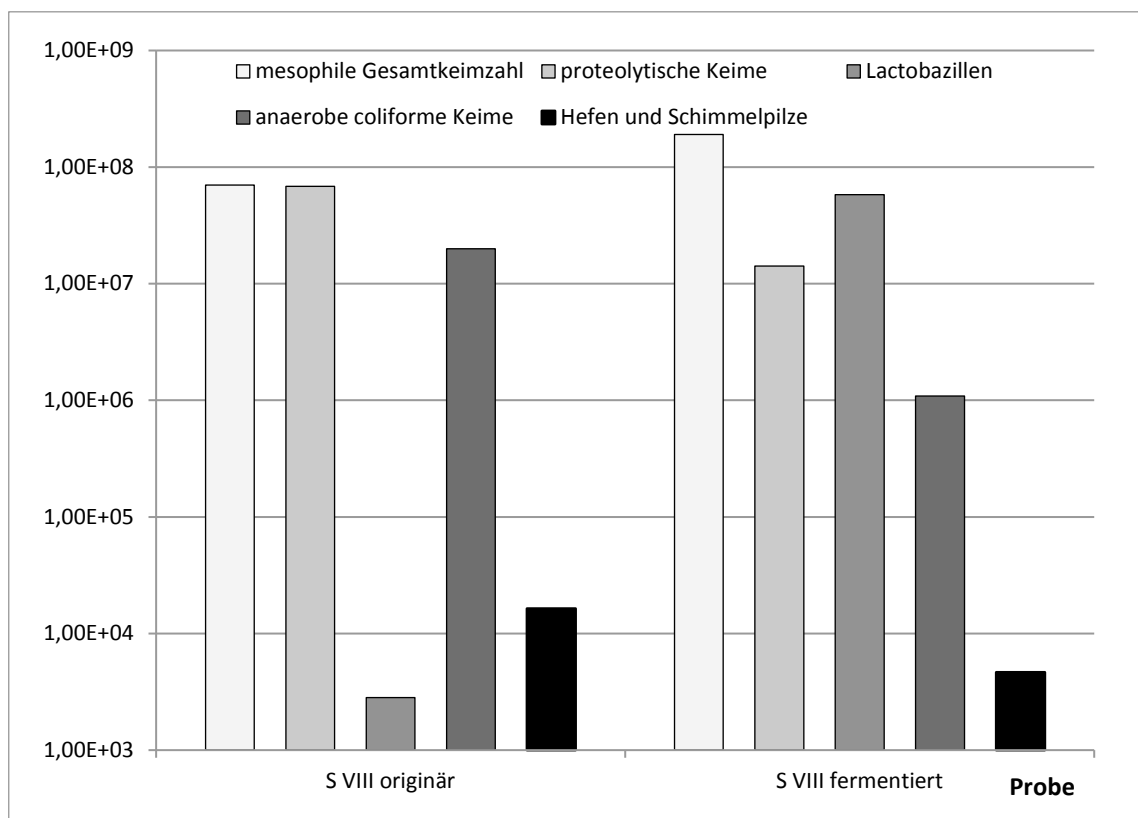


Abbildung 13: Durchschnittliche Keimzahlentwicklung von S VIII durch die 24-stündige Fermentation mit Biobak K bei 30 °C

Beim späteren Vermengen mit getrocknetem Magerfleisch sollte durch die Wirkung des Nitrits eine weitere Inaktivierung der unerwünschten Keimgruppen erfolgen. Zusätzlich zur positiven Wirkung auf die Lebensmittelsicherheit konnte eine Zunahme von rohwursttypischen Aromen

konstatiert werden. Die während der Fermentation einsetzende Lipolyse wurde durch die Temperaturerhöhung gefördert. Die mikrobiologischen Enzyme waren in der Lage, in kürzerer Zeit vermehrt Reaktionsprodukte zu bilden.

Aufgrund der weicheren Struktur nach der Fermentation durch die Temperaturerhöhung war trotz der vorangegangenen Zerkleinerung ein Anfrosten des Speckes für den Produktionsablauf von Vorteil. Um die Partikulierung einheitlicher zu gestalten, könnte eine weitere Bearbeitung des Brätes mit Fett im Schneidgang notwendig sein.

4.1.2 Einbinden des fermentierten Fettes in das Rohwurstbrät

Zum Einbinden des fermentierten Fettes in die Rohwurstmatrix wurde eine Modellrezeptur für die Entwicklung des neuartigen Herstellungsverfahrens erstellt. Die Rezeptur war auf die Ausbildung eines Aromas von lang gereifter Rohwurst ausgelegt. Es wurde eine einfache Rezeptur mit wenigen Komponenten gewählt, die die Mechanismen der Reifung nicht durch ein zu hohes Maß an Zutaten und Gewürzen beeinflussen sollte. Während der Versuche erfolgte eine Anpassung einzelner Komponenten zur Optimierung des Herstellungsverfahrens.

Um einen ersten Einblick in die Beeinflussung der Fermentation durch das vorfermentierte Fett zu erhalten, wurden Screeningversuche angestellt, in denen das Fett in die Magerfleischmatrix eingebracht und die Strukturbildung sowie die pH-Wert-Entwicklung beobachtet wurden.

1. Versuchsreihe

Das Fett wurde analog zu den Versuchen der Fettfermentation manuell zerkleinert und mit 20 g / kg Glucose sowie 1 g / kg Biobak K angesetzt. Die Fermentationsbedingungen wurden aus den Versuchen zur Fettfermentation mit 30 °C und 24 Stunden Fermentationszeit unter Sauerstoffausschluss übernommen.

Der pH-Wert des Fettes war nach 24 Stunden von 6,1 auf 5,0 gefallen. Es zeigten sich die gleichen Eigenschaften wie in den vorherigen Versuchen. Das Fett war weicher und es gab einen leichten Fettaustritt durch die erhöhte Temperatur. Zudem gab es eine rohwesttypische Aromaentwicklung des fermentierten Fettes. Das Fett wurde anschließend dem Magerbrät manuell untergemengt.

Die Brätbereitung wurde mit dem Fleischwolf durchgeführt. Es wurde ein Schneidsatz aus Vorschneider, Kreuzmesser, 8 mm Lochscheibe, Kreuzmesser und 3 mm Lochscheibe eingesetzt. Das Magerfleisch (S I und S II) wurde gewolft, dem Brät wurden die restlichen Zutaten zugegeben und alles mit dem Fett manuell vermengt. Das Füllen erfolgte mit einer Handfüllmaschine. Als Hüllmaterial wurden Zellulosefaserdärme Walsroder FR mit einem Kaliber 45 verwendet.

Anschließend reifte die Wurst bei 20 °C und 85 % rel. Luftfeuchtigkeit. Die niedrige Anfangsluftfeuchtigkeit wurde gewählt, um eine schnelle Wasserabgabe zu erreichen.

In

Tabelle 19 sind die pH-Werte während der Reifung angegeben.

Tabelle 19: Durchschnittliche pH-Werte von Salami (Vorversuch 1) mit vorfermentiertem Fett während der Reifung

	Zeit = 0 h	Zeit = 24 h	Zeit = 48 h
pH-Wert	5,56±0,012	5,36±0,055	5,05±0,000

Nach 2 Tagen Reifung konnte ein aus Sicht der Lebensmittelsicherheit ausreichend niedriger pH-Wert erreicht werden. Der pH-Wert-Abfall trat sehr schnell ein, wodurch die Muskelproteine Denaturierungserscheinungen aufwiesen. Es zeigte sich, dass die Puffereigenschaften der Proteine bei hoher Milchsäureproduktion nicht ausreichten, das Denaturieren zu verhindern.

Die erzeugten Rohwürste zeigten deutliche Farbabweichungen von Rot in einen rosafarbenen Bereich, sodass der Eindruck von gegartem Fleisch entstand. Der Geruch und Geschmack waren beißend sauer. Die weitere Reifung des Produktes wurde nicht verfolgt, da das Produkt als fehlerhaft gewertet wurde.

Der sehr schnelle pH-Wert-Abfall machte deutlich, dass die Milchsäurebildung eingeschränkt verlaufen muss, damit die Magerfleischproteine nicht denaturieren. Um eine starke Beschleunigung der Reifung zu realisieren, muss eine veränderte Wasserabgabe erfolgen, da sonst trotz niedrigem pH-Wert zu viel Wasser im Produkt verbleibt.

2. Versuchsreihe

Um die Geschwindigkeit der Wasserabgabe der beschleunigten Fermentation anzupassen und die a_w -Wert-Hürde entsprechend schnell aufzubauen, sollte dem Fleisch vor der Herstellung der Würste ein Teil des Wassers entzogen werden. Zudem wurde vermutet, dass der Wasserentzug die pH-Wert-Entwicklung verlangsamt, indem er die Stoffwechselaktivität der Starterkulturen beeinflusst. Bei niedrigem a_w -Wert sind von den zugesetzten Mikroorganismen weniger die Milchsäureproduzenten, sondern mehr die proteolytischen Keime aktiv. Durch die höhere Aktivität der proteolytischen Keime findet eine stärkere Anreicherung mit aromaaktiven Stoffen statt. Dadurch kommt es zu einer stärkeren Aromatisierung in das gewünschte Segment der mediterranen Rohwurstprodukte.

Vor der Trocknung wurde das Magerfleisch mit einem Schneidsatz bestehend aus Vorschneider, Kreuzmesser und Vorschneider gewolft, mit der Gesamtmenge Nitritpökelsalz (NPS) für Magerfleisch und Fettanteil gemischt und auf Lochgittern mit einer 1 mm Lochung verteilt. Das Nitritpökelsalz wurde zur Konservierung zugegeben, um ein unerwünschtes Keimwachstum zu unterdrücken. Die Lochgitter wurden für 24 Stunden bei 2 °C ohne Abdeckung in die Kühlung bei 7 °C gegeben, wodurch freies Wasser aus dem Fleisch abgeführt wurde. Dadurch sank der Wassergehalt von 71,4 % auf 57,7 %. Das Magerfleisch hatte bei der Herstellung einen a_w -Wert von $0,92 \pm 0,02$ und zeigte eine angetrocknete Oberfläche. Die Farbe war durch die Zugabe des Pökelsalzes nach 24 h rot.

Das Fett wurde bei -18 °C für ca. 30 min angefrosten und im Schneidmischer zerkleinert, um eine weniger arbeitsintensive Partikulierung zu erreichen und durch die Schneidwirkung den Fettaustritt gegenüber dem Wolfen zu verringern. Anschließend wurden 20 g / kg Glucose und die Starterkulturen hinzugegeben und die Mischung in PE-Tüten gefüllt. Es wurde ein 90 %iges

Vakuum gezogen und unter Luftabschluss bei 30 °C fermentiert. Der pH-Wert des Fettes fiel in 24 Stunden von 6,3 auf 4,9. Nach der Fermentation des Fettes war ein flüssiger Fettaustritt zu beobachten. Die Zerkleinerung mit dem Schneidmischer hatte eine inhomogene Partikulierung zur Folge. Es wurden insbesondere viele kleine Partikel erzeugt. Durch die vergrößerte Oberfläche trat vermehrt Fett aus.

Das Magerfleisch wurde nach dem Trocknen mit einem Schneidmischer auf die gewünschte Partikelgröße zerkleinert und mit dem Fett und den Gewürzen vermengt. Anschließend wurde das Brät in Därme gefüllt, portioniert und bei 20 °C und 85 % rel. Luftfeuchte gereift.

Nach 2 Tagen Reifung zeigte sich keine Strukturierung der Wurst. Die Trocknung bei Kühlagerung hatte eine Verschlechterung der Bindungsbereitschaft zur Folge. Ferner hatte sich durch den erhöhten Fettaustritt flüssiges Fett um die Magerfleischpartikel gelegt und eine Bindung verhindert. Das Lösen der Fleischpartikel aus der Brätmatrix war stark ausgeprägt, was als nicht korrigierbarer Produktfehler angesehen wurde. Das Absinken des pH-Wertes war weiterhin zu schnell und hatte analog zu Versuchsreihe 1 negative Auswirkungen auf das Produkt. Die Denaturierungserscheinungen waren zwar weniger stark ausgeprägt, insbesondere die Farbe war weniger beeinflusst, Geruch und Geschmack waren jedoch in gleichem Maße zu sauer wie bei der vorherigen Versuchsreihe. Der pH-Wert lag nach 48 Stunden bei 5,0. Nach 48 Stunden wurde der Versuch abgebrochen, da das Fett als Barriere für die Wasserabgabe wirkte.

Die Zerkleinerung des Fettes mit dem Schneidmischer erwies sich nicht als zielführend, da die Schwankungen in der Partikulierung die austretende Fettmenge zu stark erhöhten. Dadurch konnte keine Strukturbildung erreicht werden, was durch das vorangegangene Trocknen des Magerfleisches verstärkt wurde. Die pH-Wert-Senkung wurde durch den Wasserentzug nicht beeinflusst.

3. Versuchsreihe

Zur Behebung der Probleme, insbesondere des Fettaustritts bei der Fettfermentation, wurde wieder manuell zerkleinert, wodurch sich die mechanische Belastung auf das Fett reduzierte. Die Partikel variierten in ihrer Kantenlänge zwischen 3 - 5 mm, was einheitlicher war als bei der Zerkleinerung mit dem Schneidmischer. Das Schnittbild der späteren Wurst wurde entsprechend dem einer Salami nach mediterraner Art erzeugt. Mediterrane Produkte weisen grundsätzlich ein gröberes Schnittbild auf, als das bei nordeuropäischen Produkten der Fall ist. Auf diese Weise wurde die Optik der gewünschten Aromatisierung angepasst. Das zerkleinerte Fett wurde mit Glucose und Starterkulturen angesetzt und fermentiert. Der pH-Wert sank durch die Fermentation von 6,8 auf 4,9 in 24 Stunden. Nach der Fermentation lag ein deutlich geringerer Fettaustritt als bei einer maschinellen Zerkleinerung vor. Es lag kein flüssiger Überstand im Fermentationsbehälter des Fettes vor.

Das Magerfleisch wurde mit einem Schneidsatz bestehend aus Vorschneider, Kreuzmesser und Vorschneider gewolft und mit der Gesamtmenge NPS vermengt. Dadurch erfolgte die Konservierung während des Trockenschrittes. Anschließend wurde das Magerfleisch auf

Lochplatten verteilt und in der Räucheranlage (Maurer mc 5, Allround-System-Rondette) mit Luftumwälzung ohne Temperaturregelung einer Trocknung unterzogen.

Die Wasserabgabe orientierte sich an einer ausgereiften Salami und sollte zwischen 20 - 30 % liegen. Es wurden 25,5 % des enthaltenen Wassers entfernt, was in einer Trocknungszeit von 150 min erreicht wurde. Nach der Trocknung wurde das Magerfleisch wie zuvor auf die gewünschte Brätartikelgröße mit einer 3 mm Ausgangslochscheibe gewolft. Das fermentierte Fettgewebe und die Zutaten wurden zugegeben und manuell vermengt.

Anschließend wurde das Brät in die Därme gefüllt, portioniert und bei 20 °C und 85 % rel. Luftfeuchte gereift.

Tabelle 20: Durchschnittliche pH-Werte von Salami (Vorversuch 3) mit vorfermentiertem Fett und vorgetrocknetem Magerfleisch während der Reifung

	Zeit = 0 h	Zeit = 24 h	Zeit = 48 h
pH-Wert	5,69±0,031	5,59±0,029	5,32±0,046

In Tabelle 20 sind die pH-Werte am Produktionstag sowie nach 24 h und 48 h angegeben. Es zeigte sich ein verlangsamter und geringerer pH-Wert-Abfall gegenüber Versuchsreihe 1 und Versuchsreihe 2. Die Magerfleischproteine zeigten nach 48 h keine optisch erkennbaren Denaturierungserscheinungen. Es fand eine Aromaentwicklung in Richtung langgereifter Salami statt. Das Aroma war jedoch weiterhin säuerlich mit unangenehmem, essigartigem Beigeschmack.

Die Problematiken des starken Fettaustritts und der Störstellenbildung wurden durch die manuelle Fettzerkleinerung verringert. Das Fett schirmte die Magerfleischpartikel weniger voneinander ab. Die Strukturbildung wurde jedoch durch die Trocknung negativ beeinflusst. Die Oberflächen der Magerfleischpartikel waren stark angetrocknet. Es konnte während der Reifung keine ausreichende Hydratation der Muskelproteine stattfinden und das Bindungsvermögen nicht wieder hergestellt werden. Die produzierte Salami besaß eine bröselige Struktur und zeigte unter geringen mechanischen Belastungen wenig Zusammenhalt.

Aus den ersten drei Versuchsreihen wurde ein Grundverfahren für die Herstellung der Rohwurst abgeleitet. Es hatte sich gezeigt, dass die Fettfermentation in der gestalteten Form praktikabel war, jedoch bestimmte Bedingungen beim Zerkleinerungsprozess eingehalten werden mussten. Das Fett durfte während der Zerkleinerung keinen zu starken mechanisch destrukturierenden Einflüssen (Fleischwolf) ausgesetzt werden. Es durfte bei der Zerkleinerung kein zu breites Partikelspektrum entstehen, insbesondere zu viele kleine (<2 mm) Partikel sollten nicht vorhanden sein, sonst folgte ein zu hoher Fettaustritt. Der Fettaustritt war für die Bildung der Schnittfestigkeit schädlich. Durch das Belegen der Bindungsstellen (Protein/Protein-Kontaktstellen) mit einem Fettfilm wurden diese voneinander abgeschirmt und es konnte keine schnittfeste Struktur erreicht werden. Um dem schädlichen Einfluss des Fettes entgegen zu wirken, wurde der Fettgehalt in den folgenden Versuchen reduziert.

Die Fettmenge wurde von 25 % um 1/3 reduziert, was einem Fettgehalt von 17 % entsprach. Daraus resultierte die in Tabelle 21 aufgeführte Fleischzusammensetzung.

Tabelle 21: Fleischzusammensetzung der Rohwürste für die Verfahrensentwicklung mit vorfermentiertem Fett

Rohstoff	Anteil
S I	41,5 %
S II	41,5 %
S VIII	17,0 %

Die Trocknung des Magerfleischanteils zur besseren Anpassung des Wassergehaltes an die schnelle Milchsäurebildung bedurfte einiger genereller Verfahrensweisen wie Zerkleinerung und Konservierung während der Trocknung. Besonders herauszustellen ist der erforderliche Einsatz von Nitritpökelsalz, um eine grundlegende Konservierung des rohen Fleisches während der Trocknung zu gewährleisten. Der Einsatz von Salpeter war nicht zulässig, da das Magerfleisch während der eingesetzten Trocknungsschritte nicht anderweitig konserviert wurde und die Wirkung von Salpeter nicht unmittelbar ist, sondern erst durch eine mikrobiologische Reduktion zu Nitrit vorliegt.

Das Magerfleisch wurde mit einem Fleischwolf zerkleinert, auf Lochblechen ausgebreitet und mit umgewälzter Luft getrocknet. Die Trocknung wurde in einem Kombigargerät ChefTop oder Klimaschrank MLW HS100 durchgeführt. Die Temperatur von 30 °C wurde während der Trocknung nicht überschritten, da das eine Beeinflussung der Proteinmoleküle zur Folge hätte. Der während der Trocknung erzielte Feuchtigkeitsverlust hatte ein Absinken des a_w -Wertes zur Folge, sodass das Magerfleisch zwar anfänglich nur durch Nitrit geschützt war, jedoch mit Fortschreiten der Trocknung die a_w -Hürde ausgeprägt wurde. Abbildung 14 zeigt die Entwicklung des Wassergehaltes von Magerfleisch bei verschiedenen Trocknungszeiten. Der Wassergehalt von originärem Fleisch (S I, S II) lag durchschnittlich bei 70,6 %. In der ersten Stunde passte sich die Temperatur des Fleisches von Kühltemperatur (2 °C) auf die Umgebungstemperatur (ca. 20 °C) an. Der Wassergehalt fiel vom Ausgangswert auf 68,9 %. Die Wasserabgabe war relativ gleichmäßig, wie der Vergleich mit der linearen Trendlinie zeigt. Der Wassergehalt nahm entsprechend der Formel $y = 1,7437x + 74,239$ und mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9305$ ab.

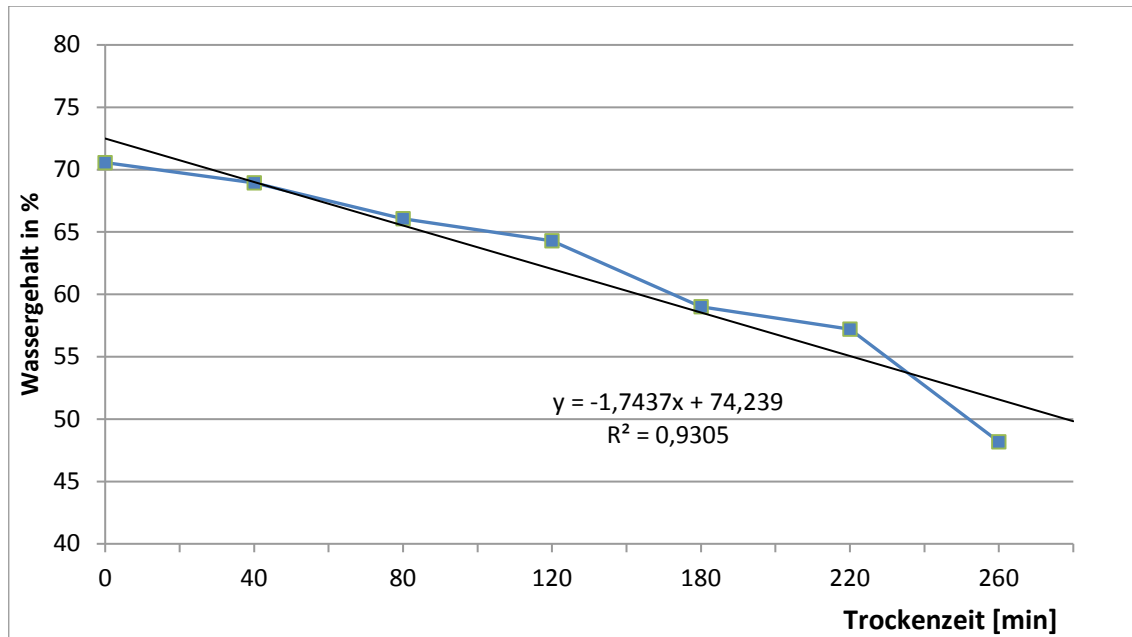


Abbildung 14: Entwicklung des Wassergehaltes von gewolfem Magerfleisch auf Lochblechen bei der Trocknung mit konstanter Luftumwälzung und ohne Temperaturerhöhung

Während der Trocknung kam es zu Farbveränderungen des Magerfleisches je nach Trocknungsdauer. Das zugesetzte NPS kam zum Tragen und das Fleisch wurde umgerötet, wodurch es eine starke rote Farbe annahm. In Abbildung 15 ist die Farbentwicklung während der Trocknung dargestellt. Es zeigte sich eine leichte Abnahme des L*-Wertes von 45,6 auf 42,6. Die Schwankungen des L*-Wertes entstanden durch den Anteil aufgelagerten Fettes in der Magerfleischmischung. Die Änderung des L*-Wertes war insgesamt als gering zu beurteilen. Ferner nahm der a*-Wert zunächst von 10,4 auf 4,6 bei 20 min ab. Anschließend kam es bis zum Zeitpunkt 240 min zu einer gleichmäßigen Zunahme auf annähernd den Ausgangswert von 9,8. Der b*-Wert fiel von 8,4 auf 5,8 und bewegte sich bis zum Ende der Trocknung zwischen 5,5 und 6,8 mit geringen Schwankungen. Die Farbbildung insbesondere im roten Bereich war erwünscht und führte dazu, dass das Brät schon zum Zeitpunkt des Abfüllens die gewünschte Färbung der Wurst aufwies. Durch die Trocknung verstärkte sich dieser Effekt, da das farbgebende Nitrosomyoglobin stärker konzentriert wurde. Die für vier Stunden getrockneten Magerfleischpartikel wiesen die äußere Erscheinung von Schinkenstücken auf. Neben einer Änderung der Farbe kam es zu einer Abtrocknung der Partikeloberflächen, sodass die Haftung unter den Partikeln mit steigender Trocknungsdauer geringer wurde.

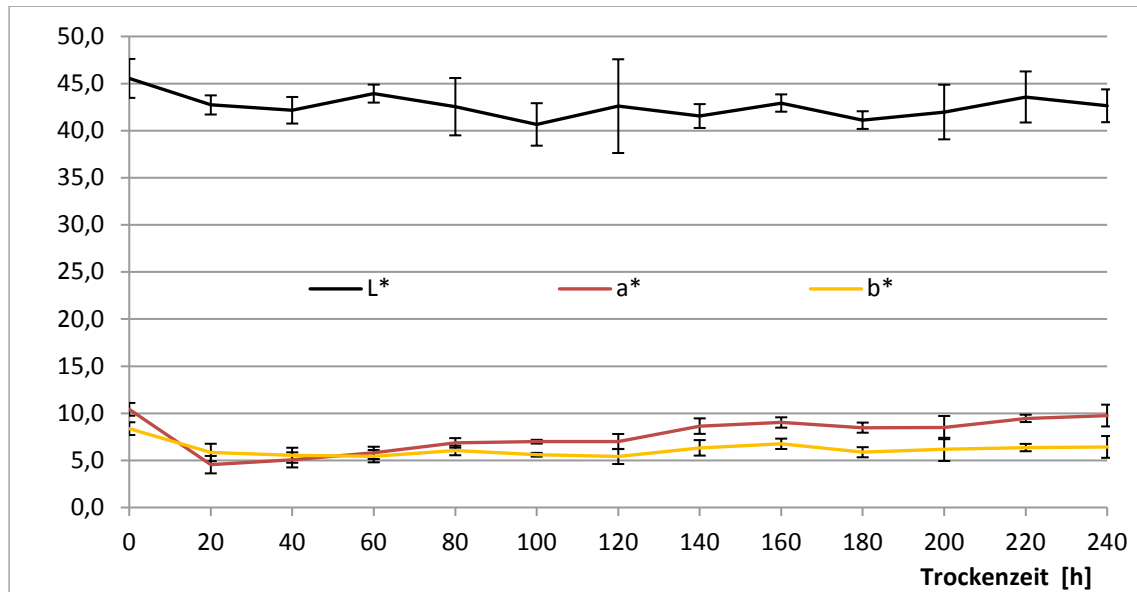


Abbildung 15: Gemessene Farbveränderung während der Trocknung des Magerfleisches für die Herstellung von Rohwurst mit separat fermentiertem Fett

4.1.3 Versuchsreihen im kleintechnischen Maßstab

4.1.3.1 Versuche zum Einfluss der Trocknung auf die pH-Wert-Entwicklung

Da der Wassergehalt eine Verbindung zur Entwicklung des pH-Wertes zeigte, sollte ermittelt werden, inwieweit die Trocknung des Fleisches den pH-Wert-Verlauf beeinflusst. Dazu wurden drei Chargen Salami nach der in 2.1.7.2 beschriebenen Methode hergestellt und ebenfalls bei 20 °C und 85 % rel. Luftfeuchte für 14 Tage gereift. Die rel. Luftfeuchtigkeit wurde aufgrund der verschiedenen Ausgangswassergehalte während der Reifung nicht angepasst, sondern konstant bei 85 % belassen.

Der Ausgangs-pH-Wert des Magerfleisches sollte durch die Trocknung nicht beeinflusst werden. Getrocknet wurde für zwei und drei Stunden durchgeführt und zusammengefasst. Abbildung 16 zeigt einen Box-Whisker-Plot der durchschnittlichen pH-Werte von Magerfleisch vor der Trocknung und nach der Trocknung. Nach der Durchführung eines t-Tests konnte gezeigt werden, dass bei einem p-Wert von 0,11 Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ die Nullhypothese, dass kein signifikanter Unterschied besteht, angenommen wurde. Beide Mittelwerte entstammten der gleichen Grundgesamtheit. In Abbildung 16 ist zu erkennen, dass es große Bereiche von Überschneidungen der pH-Werte gab und die Mittelwerte nur gering ($\pm 0,1$) voneinander abwichen. Die Folgerung ist, dass die Trocknung keinen Einfluss auf den pH-Wert des Magerfleisches hatte und die weitere Verfahrensführung nicht angepasst werden musste.

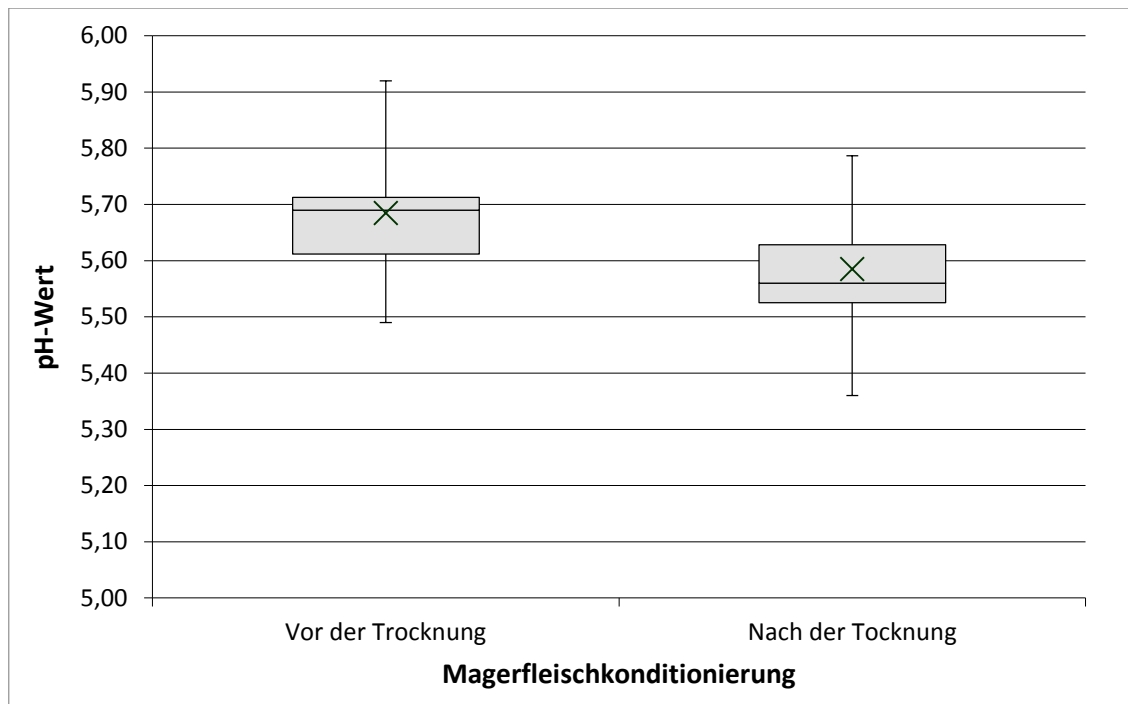


Abbildung 16: Box-Whisker-Plot der durchschnittlichen pH-Werte von Magerfleisch vor und nach einer mindestens 2 stündigen Trocknung

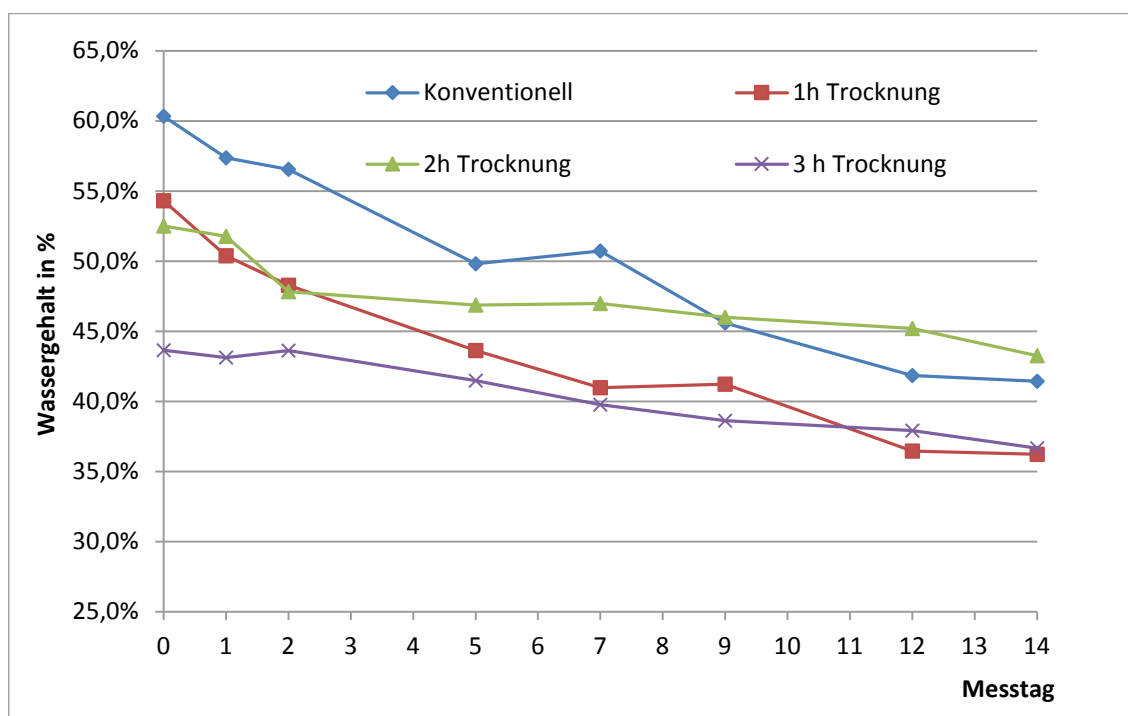


Abbildung 17: Wassergehalte während der Reifung von Rohwurst nach Rezept aus Tabelle 13 mit unterschiedlicher Ausgangstrocknung des Magerfleisches

In Abbildung 17 sind die Wassergehaltsverläufe der Rohwürste mit unterschiedlich getrockneten Ausgangsmaterialien dargestellt. Es wurden Magerfleischfraktionen mit verschiedenen Trocknungsintensitäten (konventionell, 1 Stunde, 2 Stunden und 3 Stunden) eingesetzt und der Wassergehalt während der Reifung bestimmt.

Die Ausgangswassergehalte aller Magerfleischproben lagen im Schnitt bei $71,4 \pm 1,6$ %. Aus der Trocknung ergaben sich abweichende Wassergehalte in den Würsten. Bei der konventionellen Probe $60,4 \pm 2,2$ %, mit 1 Stunde Trocknung $54,3 \pm 1,8$ %, mit 2 Stunden Trocknung $52,5 \pm 0,4$ % und mit 3 Stunden Trocknung $43,7 \pm 2,0$ % im Brät der vorbehandelten Würste. Die Wasserabgabe vor der Reifung hatte zur Folge, dass die Trocknung während der Reifung verlangsamt ablief, da mit geringerem Wassergehalt die Wasserabgabe erschwert wurde. Das erklärt zum Teil auch die langen Reifezeiten bei konventionell gereifter schnittfester Rohwurst. Es war zudem eine breite Schwankung der Endwassergehalte zu beobachten, die sich durch Unterschiede bei der Luftgeschwindigkeit innerhalb der Klimakammer und die Beeinflussung der Reifung durch die vorangegangene Trocknung erklärt. Um diesen Effekt auszugleichen, wurden die Würste in den folgenden Versuchen regelmäßig in der Klimakammer umgehängt. Die einzuhaltende Trocknungsgeschwindigkeit und damit die Feuchtedifferenz in der Reifekammer werden durch die Klimareifung ermöglicht. Aus diesem Grund ist die Produktion von schnittfester Rohwurst kostenintensiv, langwierig und aufwändig. Diesem Problem wirkt die Vortrocknung des Magerfleischanteils entgegen, da der Wasserentzug mit geringem Diffusionsweg vor dem Füllen in die Wursthüllen erfolgt.

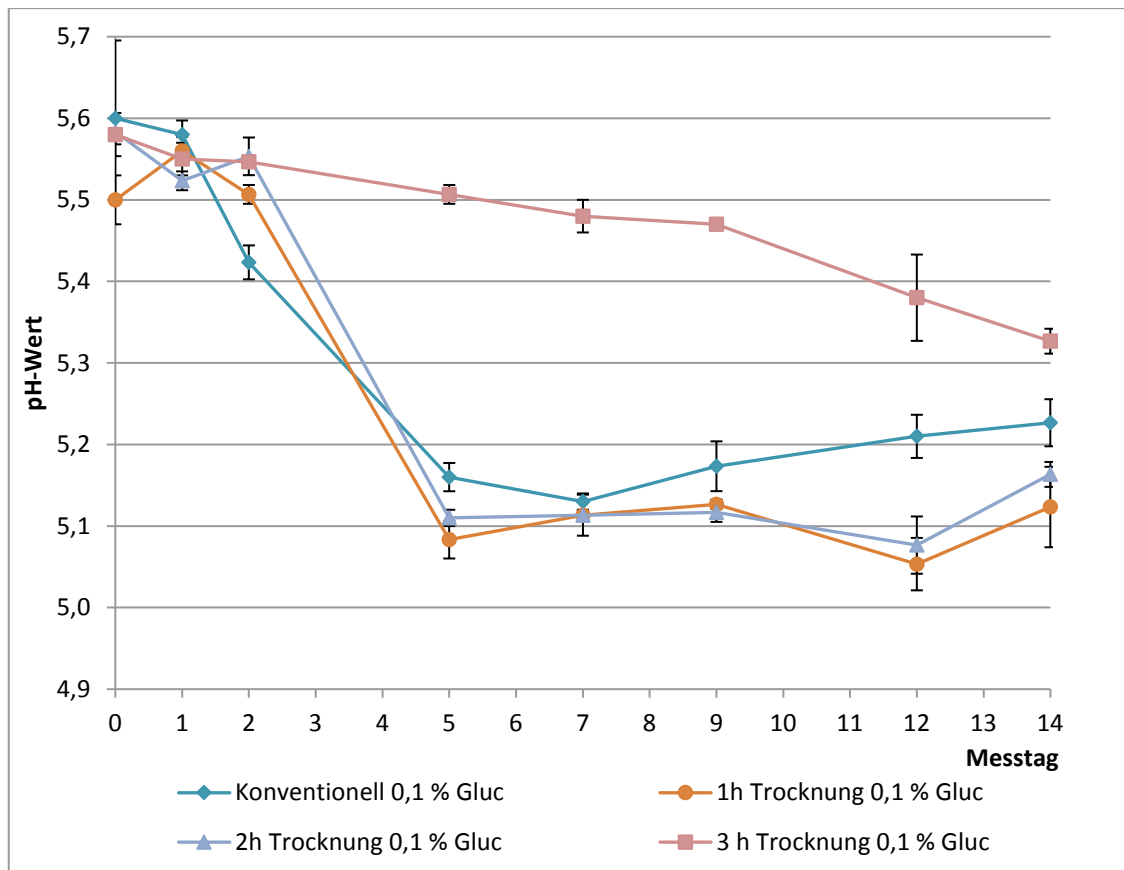


Abbildung 18: pH-Wert-Entwicklung der nach konventionellem Verfahren (ohne Fermentation des Fettes) produzierter Rohwurst, die unter Verwendung von getrockneten Magerfleischbestandteilen mit verschiedenen Trocknungszeiten hergestellt wurde

Die Vortrocknung beeinflusst nicht nur die Wasserabgabe der Rohwurst, sondern zusätzlich den Reifeverlauf, insbesondere die Entwicklung des pH-Wertes. Abbildung 18 zeigt die pH-Wert-Entwicklung der unter Verwendung von vorgetrocknetem Magerfleisch erzeugten Produkte. Alle Rohwürste wurden nach der gleichen Rezeptur (Tabelle 13 mod.) hergestellt. Zur Produktion wurde kein zuvor fermentiertes Fettgewebe verwendet, dementsprechend wurde eine Glucosemenge von 1 g / kg eingesetzt. Es wurde nach konventioneller Herstellungsmethode produziert.

Der Reifeverlauf der konventionell hergestellten Rohwurst, ohne Trocknung des Fleisches, war arttypisch. Der pH-Wert fiel nach einer Anpassungsphase von 24 Stunden innerhalb der nächsten 2-3 Tage ab und stabilisierte sich auf einem niedrigeren Niveau. Er sank von ca. 5,6 auf einen Wert unter 5,2 und blieb in diesem Bereich. Bei den Proben mit einer und zwei Stunden vorgetrocknetem Magerfleisch vollzog sich ein ähnlicher Verlauf. Die Anpassungsphase war um 24 Stunden verlängert. Anschließend setzte der pH-Wert-Abfall ein, dieser war am vierten Tag auf dem annähernd gleichen Niveau wie bei der konventionell erzeugten Wurst und stabilisierte sich dort. Die Rohwurstprobe, die aus Fleisch mit einer Trocknungszeit von 3 Stunden hergestellt wurde, lieferte ein verändertes Resultat. Der pH-Wert fiel annähernd linear, jedoch nur gering ab. Er sank von 5,6 auf 5,3 nach 14 Tagen. Die Abhängigkeit des pH-Wert-Verlaufs von der

Verfügbarkeit des Wassers wird durch die Versuchsergebnisse verdeutlicht. Bei einem zu großen Wasserverlust war eine ordnungsgemäße Reifung nicht mehr gewährleistet, da den Mikroorganismen das Wasser als Nährstoff fehlte.

Eine weitere Beobachtung war, dass die Texturierung der Produkte nicht den Qualitätsanforderungen einer schnittfesten Rohwurst genügte. Durch die vorgelagerte Trocknung wurde die Texturierung negativ beeinflusst, was mit zunehmender Trocknung stärker auftrat.

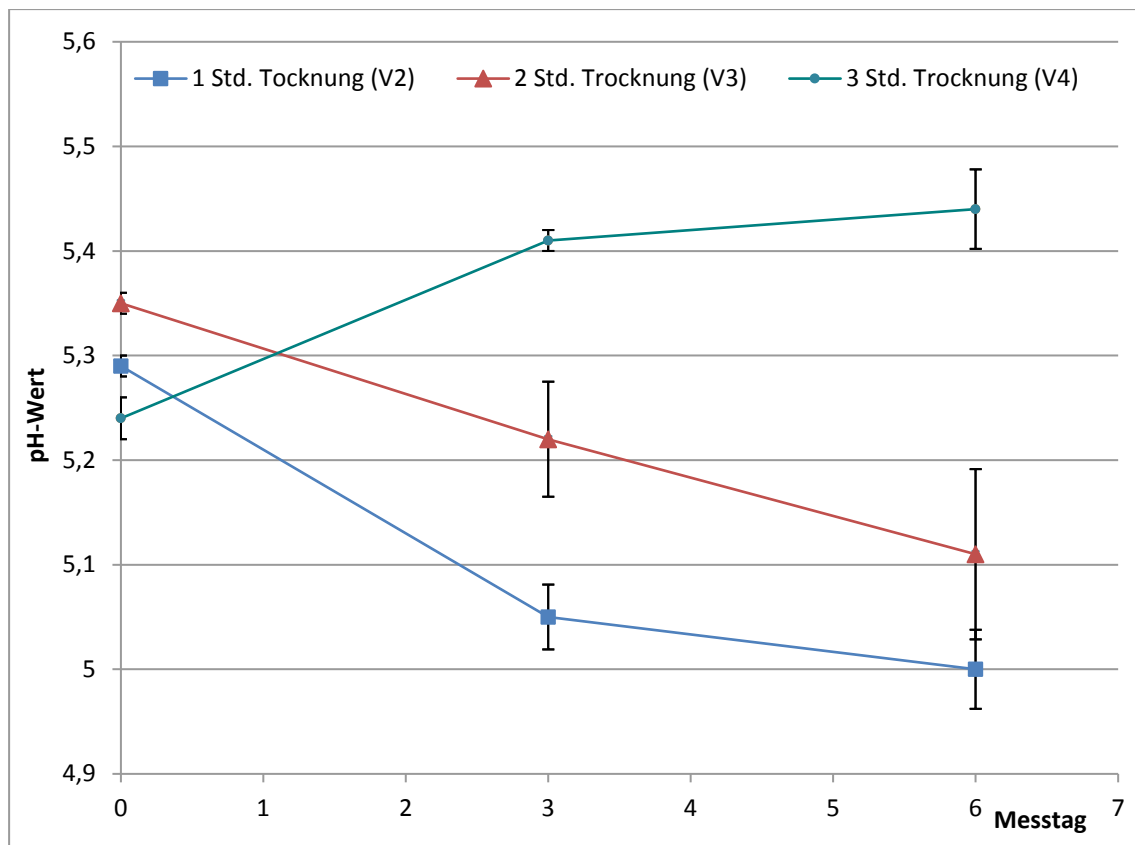


Abbildung 19: pH-Wert-Entwicklung während der Reifung von Rohwurst, die mit fermentiertem Fett und mit unterschiedlicher Ausgangstrocknung (V2 – 1 h Trocknung, V3 – 2 h Trocknung, V4 – 3 h Trocknung) des Magerfleisches hergestellt wurde

Abbildung 19 zeigt die pH-Werte von Rohwürsten, die mit vorgetrocknetem Fleisch und vorfermentiertem Fett produziert wurden. Der pH-Wert fiel bei den Proben V2 und V3 ab dem Produktionstag, da die Mikroorganismen in dem vorfermentierten Fett aktiviert vorlagen und sofort Stoffwechselaktivität zeigten. Aufgrund der Nähstoffsituation und des geeigneten Milieus sanken die pH-Werte der Proben in sechs Tagen von Werten um 5,3 auf ein Niveau um 5,1 – 5,0. Die 3 Stunden (V4) vorgetrocknete Probe zeigte einen Anstieg des pH-Wertes. Aufgrund der fehlenden Wasserverfügbarkeit wurde die Milchsäurebildung eingeschränkt und proteolytische Prozesse konnten ablaufen, die den pH-Wert anhoben.

Aus Abbildung 18 und Abbildung 19 kann gefolgert werden, dass die Fermentation bis zu einem bestimmten Wassergehalt nur geringfügig beeinflusst wurde und etwas verlangsamt stattfand,

da sich die pH-Wert-Entwicklung analog zur konventionellen Herstellung vollzog. Ab einem Wassergehalt von unter 50 % war die Milchsäurebildung eingeschränkt und der proteolytische Anteil der Mikroflora wurde begünstigt bzw. besser konkurrenzfähig gegenüber den Milchsäurebakterien. Zusätzlich war durch die Trocknung eine Verhärtung der Magerfleischpartikel zu beobachten, wodurch Kapillaren in der Wurstmatrix vorlagen, die eine Sauerstoffdiffusion ins Innere ermöglichten.

Die Versuche zur Beeinflussung der Fermentation durch die Veränderung des Wassergehaltes zeigten, dass eine Einschränkung der Milchsäurebildung durch eine Trocknung möglich ist. Diese fand zwischen 2 und 3 Stunden Trocknungsdauer des Magerfleisches mit resultierenden Wassergehalten von 52 % und 48 % im Brät statt. Die Trocknung hatte neben dem Einfluss auf die pH-Wert-Entwicklung zusätzlich negative Auswirkungen auf die Strukturbildung, die auch bei ausreichender pH-Wert-Senkung unter 5,3 nicht befriedigend war.

Die Resultate der Versuche zur Trocknungsintensität sollten genutzt werden, um eine geeignete Mischung an Magerfleischfraktionen mit verschiedenen Trocknungsintensitäten zu ermitteln, die die Fermentation steuerbar machen und die gewünschte schnittfeste Struktur erzeugen.

4.1.3.2 Entwicklung des kleintechnischen Produktionsverfahrens unter Verwendung von vorfermentiertem Fett und vorkonditioniertem Magerfleisch

Es kann konstatiert werden, dass der Wassergehalt die Fermentation beeinflusst. Insbesondere führt eine Einschränkung des Wassers zu einer verringerten pH-Wert-Senkung. Nach der Erkenntnis über den Einfluss der Wassergehaltssenkung auf die Fermentation sollte die richtige Trocknungsintensität und die geeigneten inneren Fermentationsparameter für die Reifung mit vorfermentiertem Fett ermittelt werden. Der Wassergehalt sollte so eingestellt werden, dass die Fermentation trotz der vermehrt vorliegenden Milchsäurebakterien verlangsamt erfolgt und der Denaturierung entgegen gewirkt wird. Durch die vorgezogene Wasserabgabe kann die konventionell notwendige Reifezeit verkürzt und der gewünschte Endwassergehalt schon nach kürzerer Zeit erreicht werden. Findet der Wasserentzug nicht statt, muss die Reifezeit bzw. Nachlagerung entsprechend länger gestaltet werden, damit die gewünschte Rohwursttextur entsteht. Problematisch ist es, die richtige Strukturierung in der verkürzten Zeitspanne zu erzeugen. Dazu soll unter anderem mit Teilfraktionen aus originärem Magerfleisch gearbeitet werden, da sich die unbeeinflussten Proteine voraussichtlich besser zur Bildung von Bindung und Struktur eignen. Ferner besteht die Möglichkeit, dass Kapillaren geschlossen werden, die einen Weg für Sauerstoff ins Wurstinere darstellen.

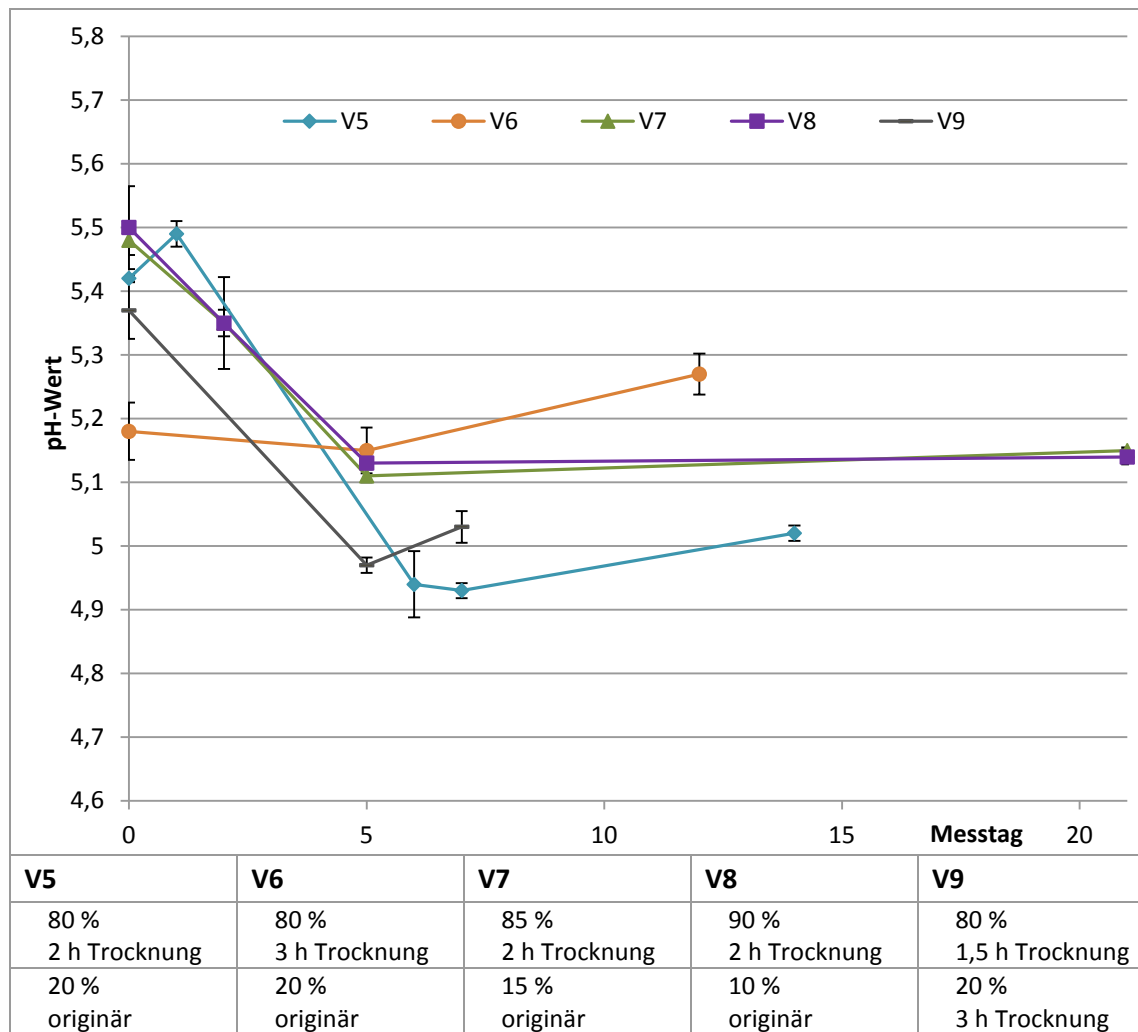


Abbildung 20: pH-Wert-Verlauf von Rohwürsten - hergestellt mit originären und vorkonditionierten Magerfleischfraktionen mit unterschiedlichen Trocknungszeiten sowie unter Einsatz von fermentiertem Fett

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die pH-Werte und den Wassergehaltsverlauf der Proben V5 - V9 während der Reifung. Es wird deutlich, dass die pH-Werte bei Würsten mit einem höheren Ausgangswassergehalt (V5 und V9) stärker sinken. Grundsätzlich spielen Faktoren wie Temperatur und Kohlenhydratanteil weiterhin eine wesentliche Rolle. Bei gleichen Reifebedingungen und Rezeptur lässt sich der pH-Wert-Abfall durch gezielten Wasserentzug jedoch einschränken.

Bei reduziertem Wassergehalt (V6-V8) stellte sich mit einem pH-Wert von 5,2 – 5,1 am 5. Tag das pH-Wert-Minimum während der Reifung ein. Bei den Proben mit höherem Wassergehalt (V5 und V9) sank der pH-Wert in der gleichen Zeit auf ein Niveau unter 5,0 ab. Die Probe V6 hatte zu Beginn der Reifung schon einen niedrigen pH-Wert um 5,2. Dieser war durch eine schlechte Fleischqualität begründet. Es stellte sich trotzdem keine verstärkte Säuerung der Wurst ein. Grund dafür kann der sehr schnelle Wasserverlust auf unter 40 % Feuchte sein.

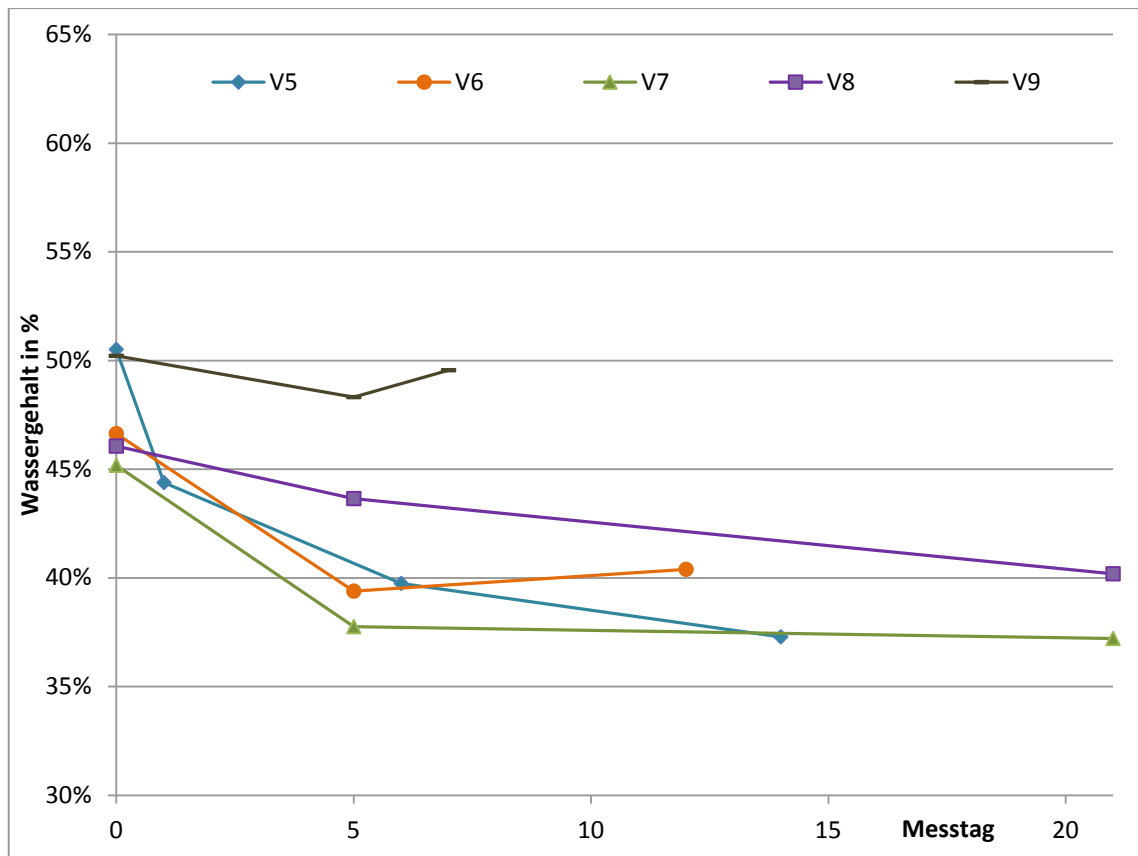


Abbildung 21: Wassergehaltsverlauf von mit vorfermentiertem Fett und vorgetrocknetem Fleisch hergestellten Rohwürsten (Versuchsreihen V5 – V6)

Der Verlauf der Trocknung während der Reifung war von Faktoren wie Temperatur, rel. Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Befüllungsgrad der Reifekammer abhängig. Ersichtlich wird aus Abbildung 21 (Verlauf von Probe V5), dass ein hoher Ausgangswassergehalt durch eine gesteigerte Wasserabgabe kompensiert werden konnte. Durch diese beschleunigte Trocknung wurde jedoch ein Trockenrand erzeugt. Dieser entstand, da das Wasser zu schnell aus der Oberfläche abgeführt wurde und es zu einer strukturellen Änderung der Proteine kam. Das Proteinsol an der Oberfläche geht hierbei in einen amorphen Zustand über und wird wasserundurchlässig, wodurch das Wasser aus dem Inneren nicht abgeführt werden kann. Der Trockenrand ist ein Produktfehler und mindert das Produkt stark in der Qualität. Zudem kann durch die Blockade der Diffusion des Wassers aus dem Inneren zu einem Verderb der Produkte führen.

Schon bei vor der Reifung reduziertem Wassergehalt lief die Trocknung während der Reifung wesentlich gemäßiger ab. Es konnte eine gleichmäßigere Trocknung innerhalb des Produktes realisiert werden. Der niedrigere Wassergehalt verringerte die Schwankungen durch Wasseraufnahme und -abgabe. Zusätzlich machte der reduzierte Ausgangswassergehalt die Wurst weniger anfällig gegenüber Änderungen der Umgebungsbedingungen, annähernd wie es bei verkaufsfertigen konventionellen Produkten der Fall ist. Dieser Zustand entsteht durch den reduzierten a_w -Wert sowie die vorteilhafte mikrobiologische Situation.

Problematisch bei einer derartigen Produktion war weiterhin die Produkttextur. Durch das Fehlen hydratisierter Proteine an der Fleischoberfläche kam es bei der Unterschreitung des IEP nicht zur gewünschten Schnittfestigkeit. Es kam zwar zum Sol-Gel-Übergang, jedoch wurden die Fleischpartikel nicht ausreichend miteinander vernetzt. Die Magerfleischpartikel waren durch die Konditionierung gleichmäßig getrocknet. Es wurden durch die trockene Oberfläche und das ungenügend emulgierte Fett Störstellen für die Strukturbildung erzeugt. Die Folge war ein schlechter Zusammenhalt der Brätartikel und eine bröselige Struktur.

Der beigefügte Anteil an originärem Magerfleisch konnte diesem Problem in einem gewissen Grad entgegenwirken. Die für Salami geforderte Schnittfähigkeit wurde jedoch nicht erreicht. Die Aromatisierung, die pH-Wert-Entwicklung sowie das frühere Einstellen des niedrigen Wassergehaltes einer ausgereiften Salami konnten nach 7 Tagen Reifung erreicht werden.

Insbesondere die Entwicklungen von pH-Wert und Wassergehalt ließen die Vermutung zu, dass sich ein Produkt in guter Qualität mit der geforderten Aromausprägung in einer Reifezeit von 7 Tagen erzeugen lässt. Nachfolgend war die Strukturbildung hinsichtlich der beschleunigten Wasserabgabe zu optimieren.

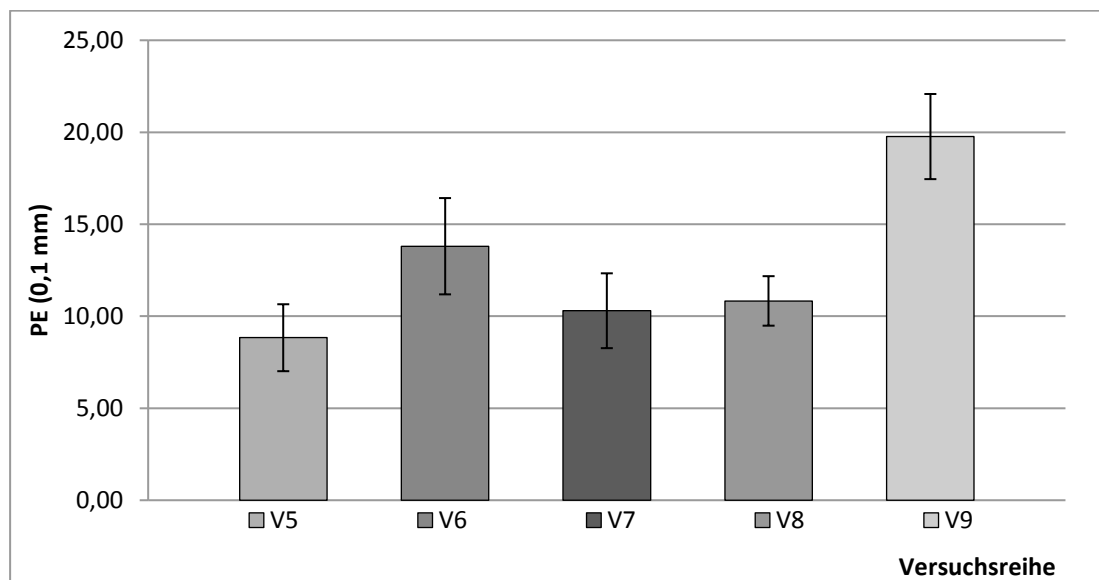


Abbildung 22: Darstellung der PE-Werte der Rohwürste mit fermentiertem Fett und verschiedener Magerfleischzusammensetzung der Versuchsreihen V5 – V9 in Penetrationseinheiten nach 6 Tagen Reifung und 7 Tagen Kühlagerung bei 7 °C in Vakuumverpackung

Die Ergebnisse der Festigkeitsprüfung in Abbildung 22 zeigen die Auswirkungen der Vorbehandlung des Magerfleisches durch Trocknung. Es hat sich gezeigt, dass die Proben, die unter Verwendung von 3 Stunden getrocknetem Magerfleisch (V6, V9) hergestellt wurden, weicher waren als die Proben, die 2 Stunden getrocknetes Magerfleisch (V5, V7, V8) beinhalten. Die Werte bewegen sich bei V5, V7 und V8 zwischen $8,8 \pm 1,8$ PE und $10,8 \pm 1,3$ PE. V6 lag bei $13,8 \pm 2,6$ PE und V9 bei $19,8 \pm 2,3$ PE. Die Proben mit der höheren Festigkeit zeigen nicht den gewünschten Zusammenhang. Die hohe Festigkeit resultierte aus der Textur des getrockneten Magerfleisches. Diese führte jedoch zu einer schlechten Bindung der

Magerfleischpartikel untereinander. Das originäre Magerfleischprotein lag nicht ausreichend gut verteilt im Produkt vor, um die Oberflächen der restlichen Fleischpartikel zu benetzen und so die Bindung zu gewährleisten.

Die höchste Strukturierung zeigte der Ansatz mit 80 % 1,5 Stunden und 20 % 3 Stunden getrocknetem Fleisch. Hier war die Bindungsfähigkeit der Proteine durch die Trocknung weniger stark beeinträchtigt. Zur weiteren Texturverbesserung wurde der Trocknungsgrad des Großteils des Magerfleisches auf 1,5 Stunden festgelegt. Zum Ausgleich des dadurch zusätzlichen enthaltenen Wassers sollte eine Fraktion mit 4 stündiger Trocknung eingesetzt werden.

4.1.3.3 Texturverbesserung und Optimierung des Herstellungsverfahrens

Bei den vorangegangenen Versuchsreihen wurde ermittelt, dass die vorgezogene Fermentation sowie die Trocknung des Magerfleisches nach 7 Tagen Reifung zu einem aromatisch sehr ansprechenden, rohwursttypischen Produkt führten. Es mussten jedoch zunächst eine Verbesserung der Produkttextur und der Schnittfähigkeit erreicht werden. Dazu wurden zwei wesentliche Veränderungen am Produktionsverfahren eingeführt:

1. Es wurden zwei Fraktionen Magerfleisch mit verschiedenen Trocknungszeiten von 1,5 Stunden und 4 Stunden verwendet.

Dadurch sollte ein angestrebter Wassergehalt von ca. 50 % im Brät erreicht werden. Zusätzlich wurde erwartet, dass das 90 Minuten getrocknete Magerfleisch eine bessere Proteinverfügbarkeit für die Bildung der Produkttextur liefert und die stärker getrockneten Magerfleischpartikel (4 h) analog zur Einbindung des Fettes umschließt und in der Rohwurstmatrix fixiert.

2. Zusätzlich wurden 20 % des 1,5 Stunden getrockneten Magerfleisches feinst zerkleinert, wodurch eine Farce entstand, die den anderen Fleischfraktionen beigemischt wurde.

Diese Farce sollte als Bindeglied die Magerfleisch- und Fettpartikel umhüllen und so die Strukturbildung verbessern. Durch den hohen Zerkleinerungsgrad lag eine wesentlich verbesserte Proteinlöslichkeit vor. Eine analoge Nutzung der Magerfleischproteine erfolgt bei der Brühwurstherstellung. Dort werden die Muskelzellen durch die starke Zerkleinerung aufgeschlossen und die Proteine in der vorhandenen, unter Umständen zugegebenen Flüssigkeit gelöst. Zur weiteren Verbesserung der Proteinlöslichkeit wird bei der Brühwurst Diphosphat zugesetzt.

In einer zweiten Versuchsreihe V11 wurde der Farce Natriumdiphosphat zugegeben, was die Proteinlöslichkeit und das Emulgiervermögen der Magerfleischproteine analog zum Einsatz bei der Brühwurstproduktion weiter verbesserte. Das Natriumdiphosphat erhöht die Ionenstärke, so wird die Dissoziation der Muskelproteine Actin und Myosin begünstigt. Die besser gelösten Proteine sollten bei der pH-Wert-Senkung der Gelbildung zur Verfügung stehen und die

vorliegenden Störstellen schließen. Zusätzlich wurde durch die verbesserte Emulgierfähigkeit der Proteine freies Fett gebunden, so dass die Magerfleischpartikel nicht voneinander abgeschirmt wurden.

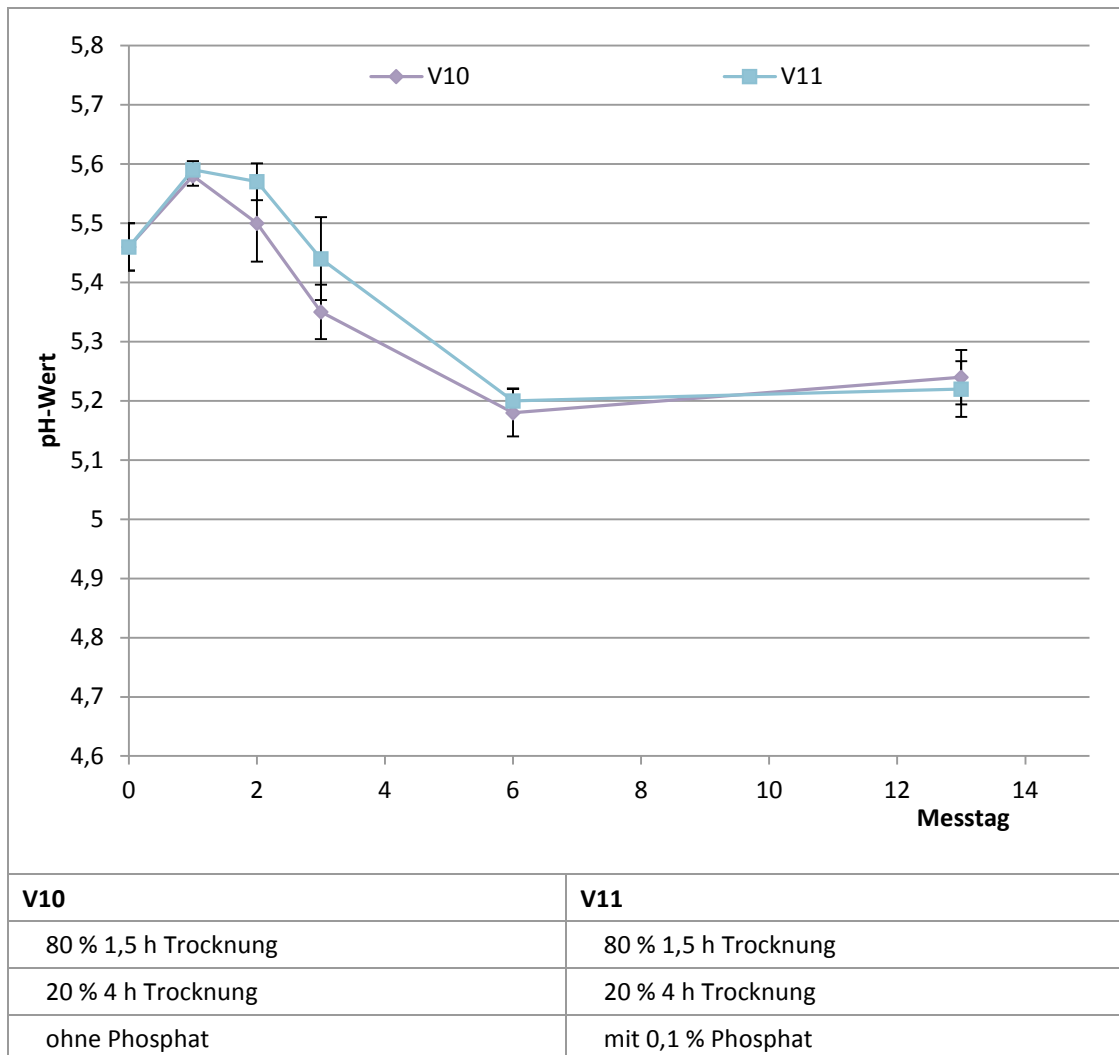


Abbildung 23: pH-Wert-Verlauf von Rohwürsten mit und ohne Phosphatzugabe, die mit fermentiertem Fett und verschiedenen getrockneten Fleischfraktionen mit 1,5 h und 4 h Trocknungszeit hergestellt wurden

Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen den pH-Wert- und den Wassergehaltsverlauf der Proben. Der Verlauf des pH-Wertes zeigt nach einem Tag einen leichten Anstieg von 5,5 auf 5,6 und anschließend einen Abfall auf einen Wert von ca. 5,4 nach 3 Tagen und 5,2 nach 6 Tagen. Die Zugabe von Phosphat hatte eine geringe Auswirkung auf den pH-Wert-Verlauf. Der pH-Wert blieb anfangs auf dem höheren Niveau bei 5,6, fiel etwas später ab und glich sich jedoch nach 6 Tagen der Probe ohne Phosphat an. Die Phosphatzugabe hatte eine Verbesserung der Produktstruktur und damit der Schnittfähigkeit sowie dem Scheibenzusammenhalt zur Folge. Es kam nicht zu einem Herauslösen einzelner Magerfleisch- oder Fettpartikel aus der Wurstmatrix.

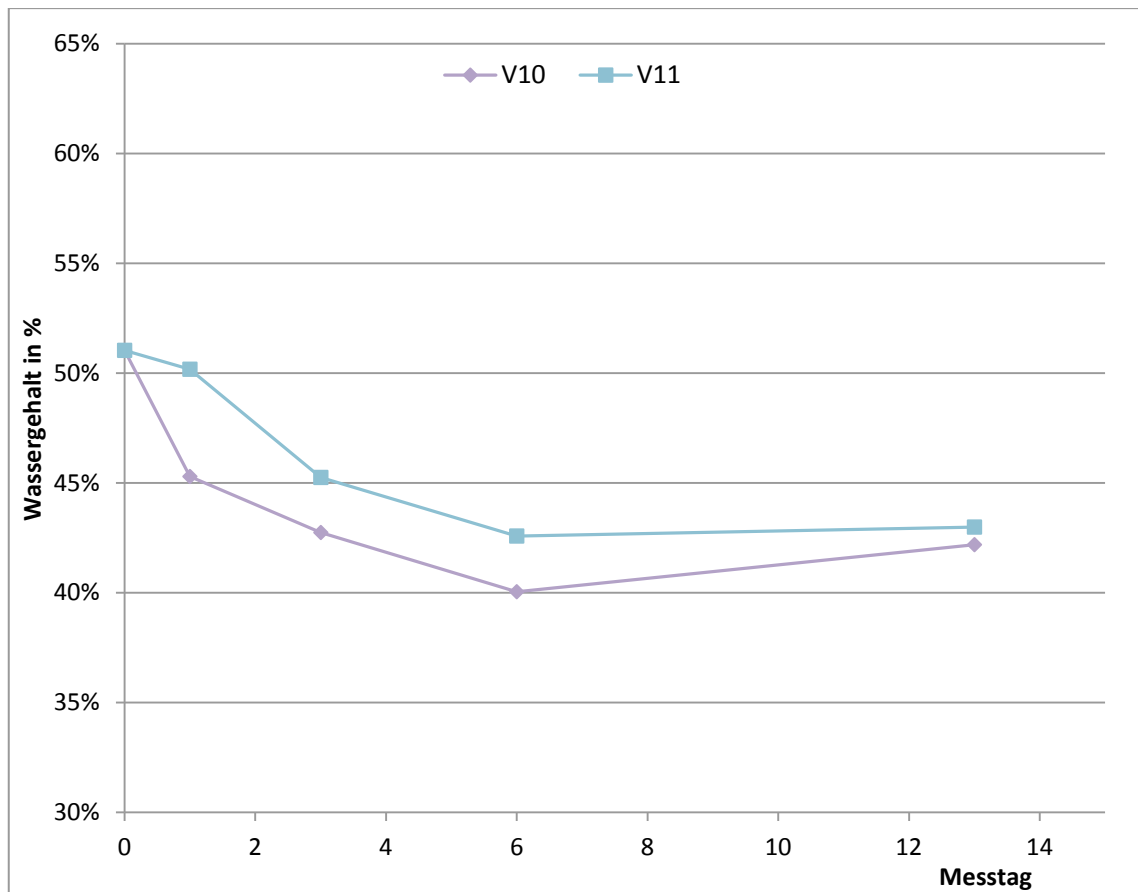


Abbildung 24: Wassergehaltsverlauf von Rohwurstproben, hergestellt mit vorfermentiertem Fett mit und ohne Phosphat

Der Wassergehalt lag am Produktionstag bei beiden Proben bei ca. 51 %. Die Probe mit Phosphat (V11) zeigte nach 24 Stunden den höheren Wassergehalt von 50 %. Die Probe ohne Phosphat (V10) lag zu diesem Zeitpunkt bei 45 %. Der Abstand zwischen den Wassergehalten nahm im Laufe der Reifung ab, was auf die gleiche Konditionierung der rel. Luftfeuchte in der Reifekammer zurückzuführen war. Am 3. Tag lag V10 bei 43 % und V11 bei 45 %, am 6. lag V10 bei 40 % und V11 bei 43 %. Nach der Kühlagerung über 7 Tage bei 7 °C lagen die Wassergehalte beider Proben bei 42 % (V10) und 43 % (V11).

Trotz des höheren Anteils an Wasser verzögerte das Phosphat die Senkung des pH-Wertes. Die verbesserte Wasserbindung verhinderte, dass das vermehrt vorliegende Wasser bei der Probe V11 für Stoffwechselvorgänge der Mikroorganismen genutzt werden konnte. Durch die Pufferwirkung des Phosphats wurde die produzierte Säure zusätzlich gebunden.

Ohne die vorangegangene Trocknung des Magerfleisches wäre die Verbesserung der Wasserbindung des Magerfleisches durch das Phosphat negativ zu bewerten. Die Verringerung des Wassergehaltes vor der Fermentation stellte sicher, dass die Milchsäureproduktion begrenzt ausfällt sowie dass es zu keiner negativen Veränderung der Textur kommt.

In Abbildung 25 sind die Ergebnisse der Festigkeitsmessungen dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Probe, die unter Verwendung von Phosphat hergestellt wurde, geringfügig fester war als die Probe ohne Phosphatzugabe. Durch die Verwendung von 4 Stunden getrocknetem Magerfleisch waren die Würste V10 mit $16,2 \pm 3,4$ PE und V11 mit $14,7 \pm 2,7$ PE fester als die Würste aus V9

mit $19,8 \pm 2,3$, zeigten dabei durch die erhöhte Zerkleinerung eine wesentlich verbesserte Produktstruktur. Der Zusatz von Natriumdiphosphat verbesserte den Produktzusammenhalt weiter. Die Eignung von Phosphat zur Optimierung des Verfahrens konnte damit belegt werden. Da die Wasserabgabe aus dem Magerfleisch vorgelagert realisiert wurde, waren die verbesserte Wasserbindung und die erhöhte Proteinlöslichkeit im Magerfleisch, die den Einsatz bei konventioneller Herstellung unüblich machen, von Vorteil.

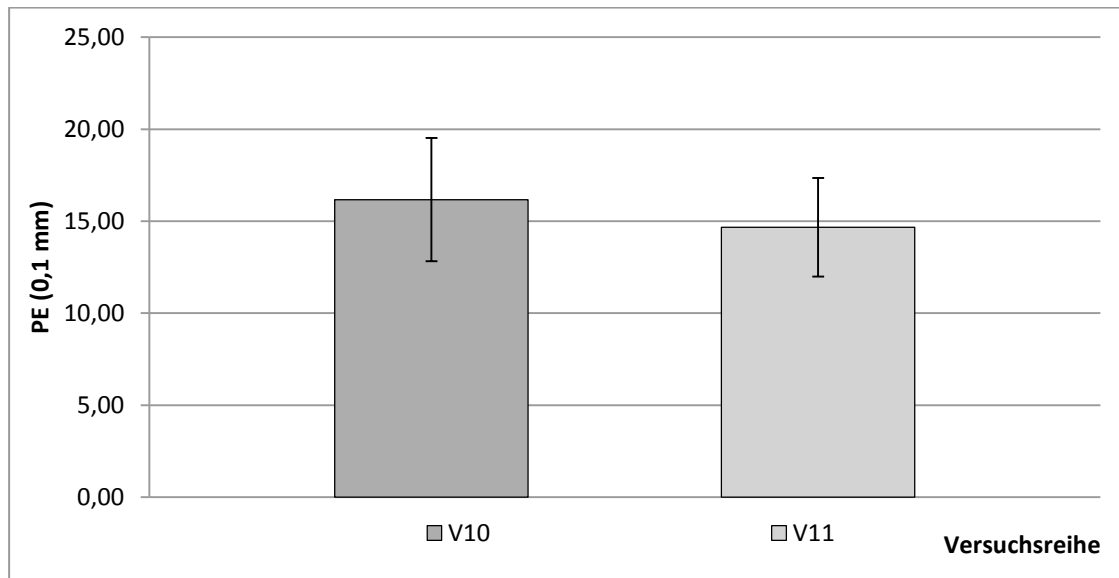


Abbildung 25: Ergebnisse der Festigkeitsmessungen der Versuchsreihen V10 und V11 nach 6 Tagen Reifung und 7 Tagen Kühllagerung (7 °C)

Die Versuchsansätze V10 und V11 mit den Magerfleischfraktionen (1,5 h und 4 h Trocknungszeit) zeigten eine Verbesserung der Produkttextur bei gewünschtem Fermentationsverlauf und Wasserabgabe. Die Bindung und Schnittfestigkeit konnten durch den Zusatz von Natriumdiphosphat zusätzlich verbessert werden, ohne dass sich negative Auswirkungen auf pH-Wert- oder den Trocknungsverlauf einstellten. Der Phosphateinsatz wurde unter den geschaffenen Voraussetzungen als zielführend angesehen. Eine Beeinflussung der Aromaentwicklung wurde nicht wahrgenommen. Das Auftreten von Strukturfehlern, die die Schnittfestigkeit beeinflussten, war geringer.

Als Schlussfolgerung sollte bei weiteren Versuchen eine Fraktion originäres Magerfleisch eingesetzt werden. Dadurch lagen vermehrt native Proteine für die Strukturbildung vor, die durch die Phosphatzugabe zusätzlich verbesserte funktionelle Eigenschaften besitzen. Das Phosphat sollte im originären Fleisch den Anteil gelösten Proteins steigern und der höhere Wassergehalt die Solvation der Proteine erhöhen und dadurch zur weiteren Verbesserung der Strukturbildung führen. Nachfolgend wurde die notwendige Einsatzmenge an Diphosphat ermittelt.

Bestimmung der optimalen Phosphatkonzentration

Aus dem avisierten Ansatz ergaben sich neue Relationen der Magerfleischfraktionen für die Versuche. Die ursprünglichen 80 % des 1,5 Stunden getrockneten Magerfleisches wurden auf 65 % reduziert. Der Anteil der Farce wurde zudem von 20 % auf 15 % gesenkt, um einer zu starken Erhöhung des Wassergehaltes entgegen zu wirken. 20 % des Magerfleisches wurden 4 h getrocknet. Die Aufteilung ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Magerfleischzusammenstellung für die Versuche zur Strukturverbesserung unter Einsatz unterschiedlicher Phosphatkonzentrationen

Magerfleischzusammenstellung		
originär	1,5 h Trocknung	4 h Trocknung
15 %	65 %	20 %

Das Phosphat wurde mit dem originären Magerfleisch vermengt und dieses feinst zerkleinert. In den Versuchsreihen wurden die Natriumdiphosphatkonzentrationen variiert. Es sollte ermittelt werden, welche Zugabemenge die Strukturbildung verstärkte und wie der pH-Wert-Verlauf beeinflusst wird.

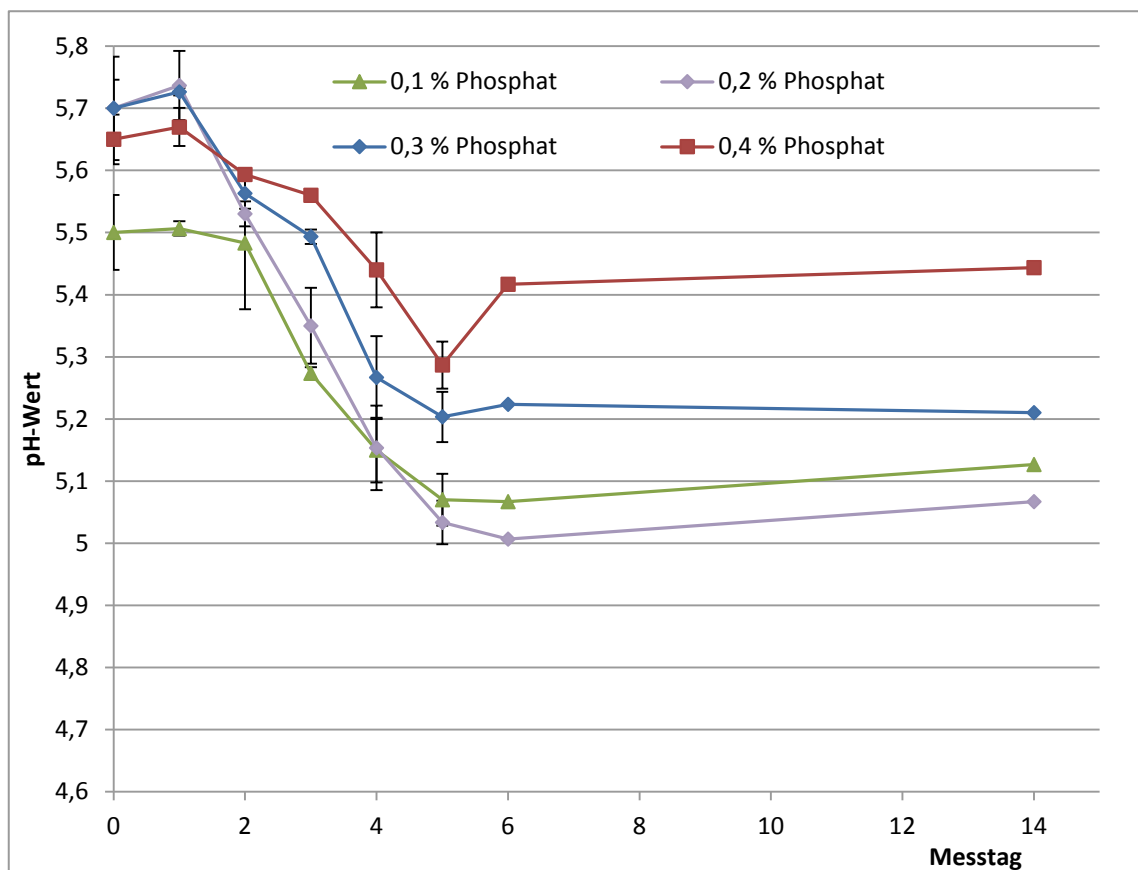


Abbildung 26: pH-Wert-Entwicklung von Rohwürsten - hergestellt nach Rezeptur aus Tabelle 13, mit den verschiedenen getrockneten Magerfleischfraktionen nach Tabelle 22 und unterschiedlich hohen Natriumdiphosphat-Beimengungen

Die Abbildung 26 zeigt die pH-Wert-Entwicklung von Rohwürsten, die mit 0,1 %, 0,2 %, 0,3 % und 0,4 % Natriumdiphosphat hergestellt wurden, was zu einer Änderung des Ausgangs-pH-Wertes auf ca. 5,7 bei den Proben mit einem Phosphateinsatz über 0,1 % führte. Die Verläufe der pH-Werte waren alle rohwesttypisch. Die Proben mit 0,1 - 0,3 % Phosphat erreichten einen pH-Wert von unter 5,3 am 4. Tag. Die Probe mit 0,4 % Phosphat erreichte diesen Wert am Tag 5 und zeigte anschließend wieder einen leichten Anstieg auf 5,4. In diesem Bereich stabilisierte sich der pH-Wert während der nachfolgenden Kühlunglagerung. Die Proben mit geringeren Phosphatkonzentrationen hatten stärker gesenkte pH-Werte von 5,1 bei 0,1 % Phosphat, 5,0 bei 0,2 % und 5,2 bei 0,3 % Phosphat. Nach 6 Tagen wurden die Würste bei 7 °C gekühlt gelagert. Der pH-Wert war währenddessen gleichbleibend oder entwickelte sich nur marginal steigend. Gezeigt werden konnte, dass die Phosphatkonzentrationen 0,1 % und 0,2 % nur geringe Unterschiede in der pH-Wert-Entwicklung untereinander zeigten. Eine weitere Erhöhung der Konzentration führte zu einer Verschiebung des pH-Wert-Minimums in basischer Richtung. Alle Proben erreichten den für die Strukturbildung wichtigen Wert von 5,3. Eine höhere Konzentration als 0,4 % ist nicht anzuwenden, da unter gleichen Bedingungen ein pH-Wert von 5,3 dann nicht zu erwarten ist.

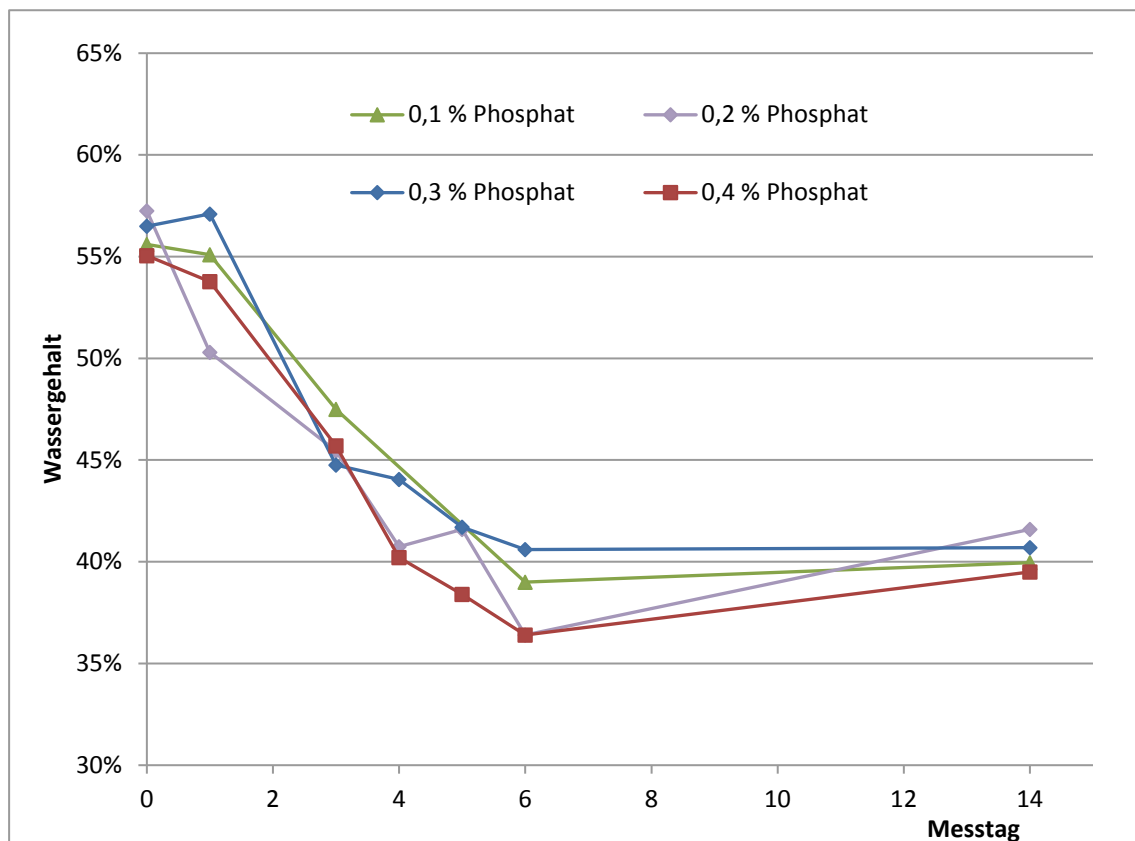


Abbildung 27: Wassergehaltsentwicklung von Rohwürsten - hergestellt nach Rezeptur aus Tabelle 13, mit den verschiedenen getrockneten Magerfleischfraktionen nach Tabelle 22 und unterschiedlich hohen Natriumdiphosphat-Beimengungen

In Abbildung 27 ist die Entwicklung der Wassergehalte der Proben zur Phosphateinstellung aufgezeigt. Die Ausgangswassergehalte aller Bräte der Versuchsreihe waren mit 55,1 % - 56,5 % durch die Verwendung von originärem Magerfleisch höher, als bei den vorangegangenen Versuchen V10 und V11 (51,0 %). Die Wassergehalte der Proben während der Reifung und anschließender Lagerung unterschieden sich nur gering. In den ersten 6 Tagen der Reifung kam es zu einer Wasserreduktion auf 36 - 41 %. Während der angeschlossenen Kühlagerung stiegen die Wassergehalte leicht an und die Proben zeigten nach 14 Tagen alle einen Wert von ca. 40 %, was durch einen Wasserausgleich unter den Proben sowie durch eine Wasseraufnahme aus der Umgebungsluft zu erklären ist.

In Abbildung 28 sind die Ergebnisse der Festigkeitsmessungen der Versuchsreihen mit 0,1 %, 0,2 %, 0,3 % und 0,4 % Phosphat dargestellt. Gemessen wurde nach drei, sechs und 14 Tagen. Im Verlauf zeigten alle Proben eine gute Strukturierung, die mit den Reifetagen und der Nachlagerung zunahm. In Folge dessen konnte die Erhöhung der Festigkeit mit einer verbesserten Produktbindung korreliert werden. Nach 3 Tagen Reifung zeigten die Proben mit 0,2 % und 0,3 % Phosphatzusatz die höchste Festigkeit, die sich ebenfalls für die Reifetage 6 und 14 feststellen ließ.

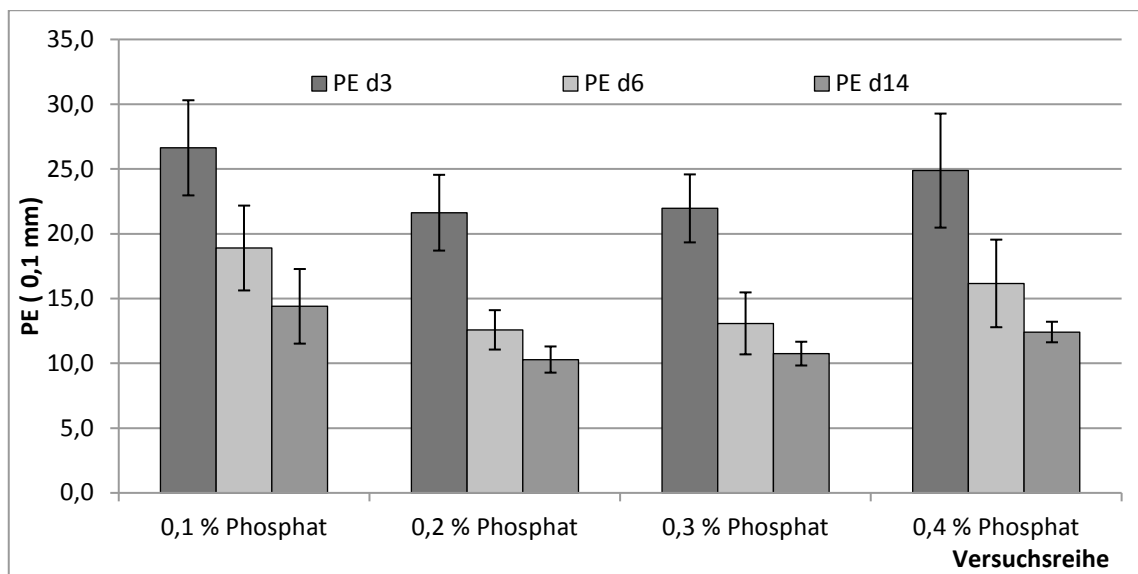


Abbildung 28: Ergebnisse der Penetrationsmessung (in Penetrationseinheiten) von Rohwürsten hergestellt nach Rezeptur aus Tabelle 13, mit den verschiedenen getrockneten Magerfleischfraktionen nach Tabelle 22 und unterschiedlich hohen Natriumdiphosphat-Beimengungen (nach 3 Tagen: PE d3; 6 Tagen: PE d6; 14 Tagen: PE d14)

Bei Betrachtung der PE-Werte der Wurstproben mit verschiedenen Phosphatkonzentrationen nach 14 Tagen ist zu erkennen, dass eine Zugabe von 0,1 % Phosphat eine geringere Erhöhung der Festigkeit hervorrief als 0,2 %. Bei den Proben mit 0,3 %iger und 0,4 %iger Zugabe waren die Proben wieder unwesentlich weicher. Nach 14 Tagen besaßen die Würste mit 0,2 % Phosphatzugabe die niedrigsten PE-Werte mit durchschnittlich 10,3 PE. Geringfügig höher lag

der Wert mit 0,3 % Phosphat bei 10,8 PE. Die Proben mit 0,1 % zeigten 14,4 PE und mit 0,4 % 12,4 PE.

Nach den Ergebnissen der Versuchsreihen wurde die zu verwendende Konzentration an Natriumdiphosphat auf 0,2 % festgelegt. Hier wurden eine geringe pH-Wert-Beeinflussung und die höchste Festigkeit in Kombination mit einer sehr guten Strukturierung erreicht. Eine negative Beeinflussung des Aromas war nicht zu verzeichnen.

4.1.3.4 Qualitätsoptimierung der Rohwürste

Mit der favorisierten Konzentration an Natriumdiphosphat von 0,2 % wurden mehrere Chargen hergestellt, um die Reproduzierbarkeit und Stabilität des Verfahrens nachzuweisen. Den Versuchsreihen lag die Zusammenstellung aus Tabelle 23 zu Grunde.

Tabelle 23: Zusammenstellung für Rohwurst, die mit fermentiertem Fett hergestellt wurde

Rohstoff	
S I	41,5 %
S II	41,5 %
S VIII	17 %
Zutaten	
NPS	25 g/kg Gesamtmasse zum Magerfleisch vor der Trocknung
Ascorbinsäure	1,0 g/kg Gesamtmasse zum Magerfleisch vor der Trocknung
Phosphat	2,0 g/kg Gesamtmasse zum originären Fleischanteil
Pfeffer (geschrotet)	2,0 g/kg Gesamtmasse während der Brätbereitung
Gewürzmischung	20 g/kg Fleischmasse während der Brätbereitung
Gewürzmischung	20 g/kg zum Fett vor der Fermentation
Glucose	20 g/kg zum Fett vor der Fermentation
Starterkultur (Biobak K)	1,0 g/kg zum Fett vor der Fermentation

Angegeben sind neben den Zugabemengen der Zutaten auch die Zugabezeitpunkte während der Herstellung.

Um eine Übertragbarkeit des Verfahrens auf großtechnische Gegebenheiten nachzuweisen, wurden die weiteren Versuche mit einer industriell üblichen Gewürzmischung durchgeführt. Auf diese Weise sollte die Flexibilität des Verfahrens hinsichtlich der Rezepturgestaltung auch im industriellen Maßstab geprüft werden. Die Versuche sollten insbesondere die Stabilität bei veränderten Kohlenhydratkonzentrationen belegen.

Der Zutatenliste ist zu entnehmen, dass die Gewürzmischung Zutaten enthielt, die die Fermentation beeinflussen können. Insbesondere Kohlenhydrate könnten zu einem verstärkten pH-Wert-Abfall führen, was durch die Verfahrensführung verhindert werden sollte. Die Gewürzmischung enthielt ca. 18 % Zucker, dieser erhöht bei einer Einsatzmenge von 20 g / kg Brät den Kohlenhydratgehalt um 0,36 %. Die Auswirkungen wurden in den folgenden Versuchen erforscht.

Die Würste wurden, abgesehen vom Austausch der Gewürze durch die Gewürzmischung, mit der favorisierten Zusammenstellung aus Tabelle 23 mit der Magerfleischkonditionierung aus Tabelle 22 produziert. Das Magerfleisch wurde unter Zugabe von Nitritpökelsalz und Ascorbinsäure gewolft (Vorschneider) und anschließend in die Fraktionen originär, 1,5 Stunden Trocknung und 4 Stunden Trocknung aufgeteilt. Die zu trocknenden Fleischchargen wurden auf Lochblechen verteilt und im Konvektomaten mit Luftumwälzung bei konstanter Temperatur von 25 °C getrocknet. Das Fett wurde 24 Stunden vor der Produktion der Fermentation unterzogen. Die Fleischfraktionen wurden zwischen der Vorbehandlung und der Verarbeitung gekühlt, um eine zu starke Temperaturerhöhung beim Zerkleinern auszuschließen. Anschließend wurde das originäre Magerfleisch im Schneidmischer unter Phosphatzugabe feinst zerkleinert und die getrockneten Magerfleischfraktionen zugegeben. Hinzu kamen weitere Zutaten inklusive Gewürze sowie Fett. Die Masse wurde vermengt und ggf. noch einmal zerkleinert bis die gewünschte Partikelgröße des Fettes vorlag. Nachfolgend wurde das Brät in Zellulosefaserdärme (Walsroder Fr) mit Kaliber 45 gefüllt und gereift.

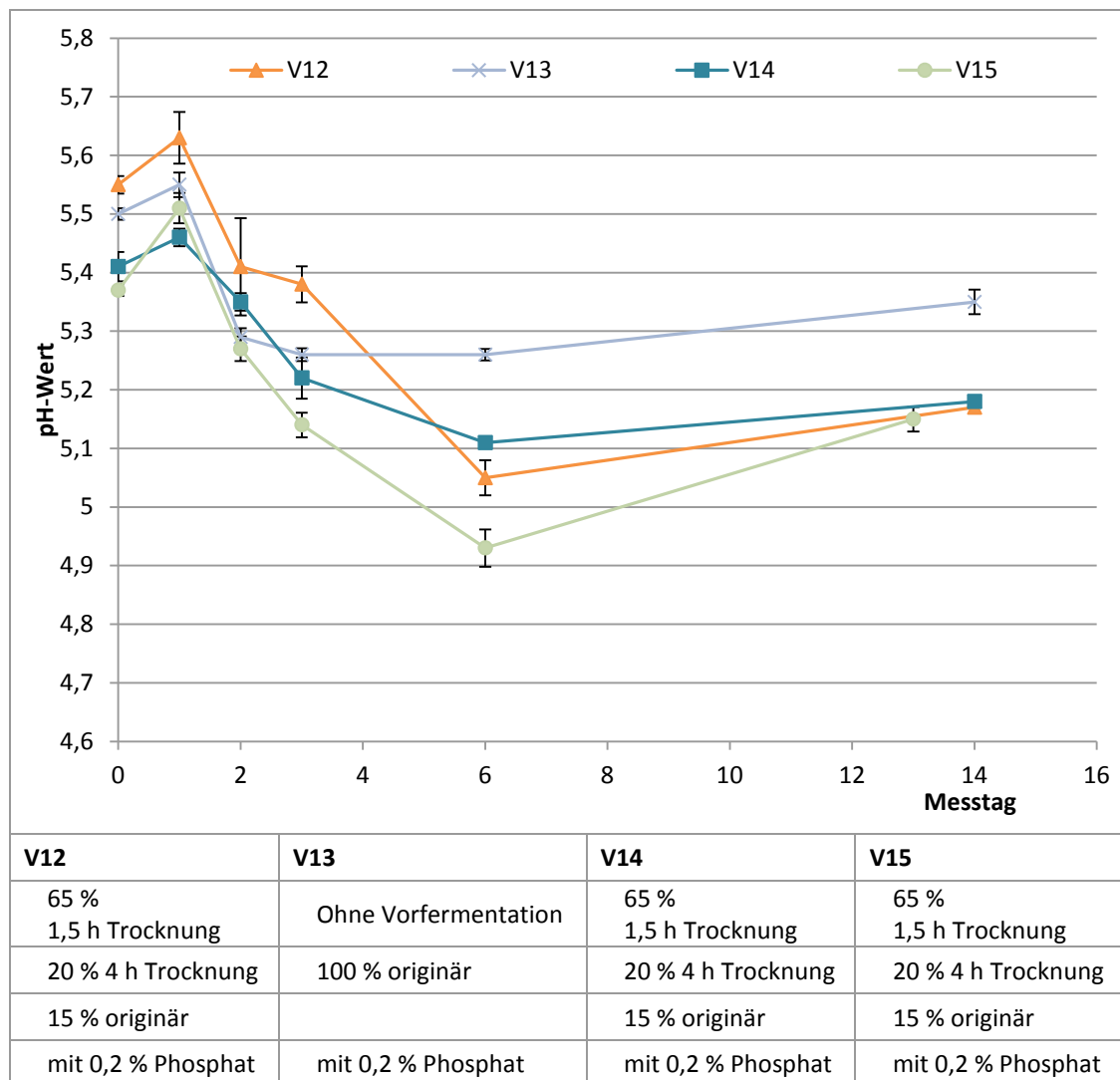


Abbildung 29: Verläufe des pH-Wertes von Rohwürsten mit verschiedenen Herstellungsverfahren (V12, V14 und V15: Wiederholungsversuche; V13: konventionell hergestelltes Produkt, unter gleichen Bedingungen gereift)

Bei den Versuchsreihen V12, V14 und V15 handelte es sich um Wiederholungen mit identischer Rezeptur. Die Versuchsreihe V13 war eine konventionell hergestellte Salami ohne Fermentation des Fettes und ohne Konditionierung des Magerfleisches, die unter den gleichen Bedingungen gereift wurde. Der fehlende Zusatz von Kohlenhydraten hatte eine geringe Milchsäurebildung zur Folge, sodass der pH-Wert zwar auf einen Wert von 5,3 abfiel, was über den pH-Werten der anderen Proben lag. Trotz der gleichen Prozessgestaltung und identischer Rezeptur zeigten sich Unterschiede im pH-Wert-Verlauf der Proben V12, V14 und V15. Insbesondere die Probe V15 zeigte einen stärkeren pH-Wert-Abfall verglichen mit den beiden anderen Proben. Das Aroma, das Mundgefühl, die Texturstabilität und damit die Schnittfähigkeit der erzeugten Würste hingegen waren einheitlich. Das stärkere Absinken des pH-Wertes von V15 war durch die Variabilität des Rohstoffes zu erklären, da die Möglichkeit besteht, dass bei schwankender Fleischqualität trotz vorgezogener Trocknung ein höherer Anteil freien Wassers vorlag. Diese Vermutung wurde durch den Verlauf der Wasserabgabe in Abbildung 30 bestätigt. Die Probe V15 gab während der Reifung mehr Wasser bei gleichen Umgebungsbedingungen ab. Vor der Abgabe des Wassers an der Wurstopberfläche konnte es von den Mikroorganismen genutzt werden, wodurch sich die vermehrte Säurebildung erklärt. Die Versuchsreihen V12 und V14 hatten trotz geringfügig abweichender Ausgangs-pH-Werte die gewünschte pH-Wert-Entwicklung mit einem pH-Minimum von 5,1. Der pH-Wert nach der Kühlagerung lag bei allen nach dem entwickelten Verfahren hergestellten Würsten bei 5,2.

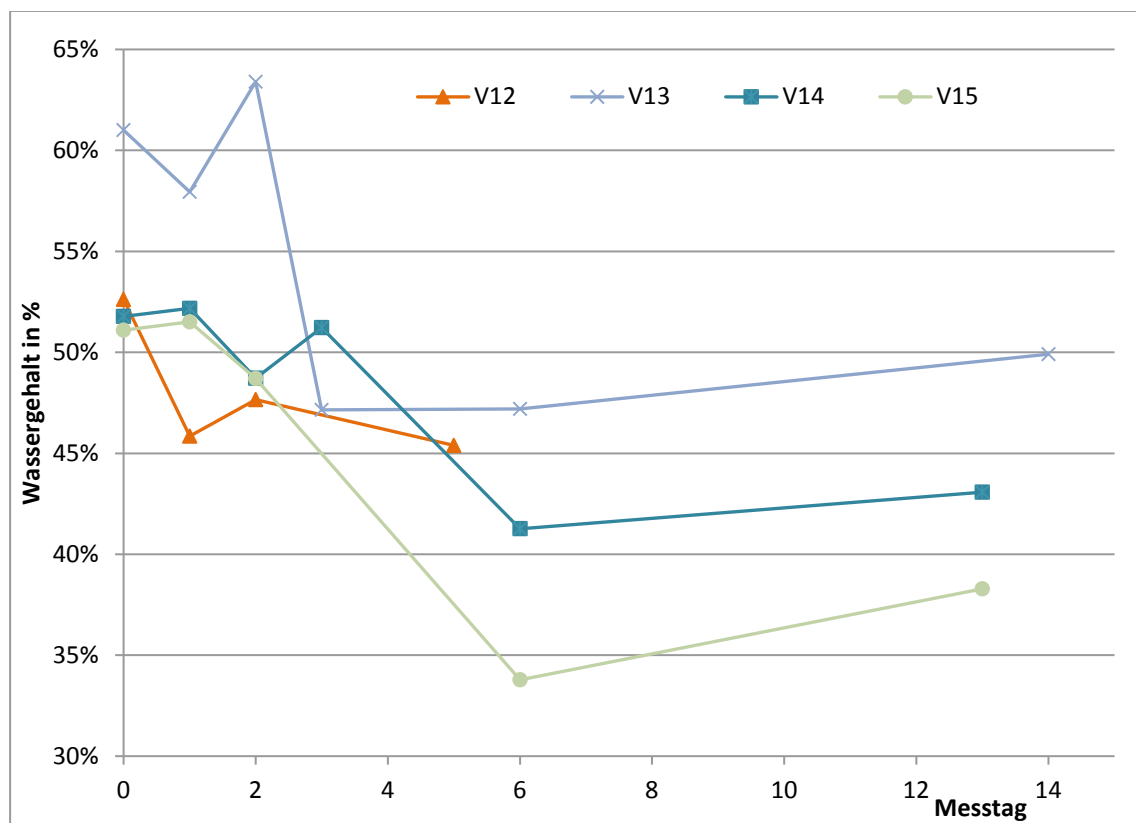


Abbildung 30: Wassergehalts-Verläufe von Rohwürsten mit verschiedenen Herstellungsverfahren (V12, V14 und V15 Wiederholungsversuche; V13 konventionell hergestelltes Produkt, unter gleichen Bedingungen gereift)

Die Wassergehalte der Versuchsreihen V12, V13, V14 und V15 sind in Abbildung 30 dargestellt. Es zeigte sich, dass die konventionell hergestellte Vergleichsprobe V13 bei einsetzender Säuerung schnell viel Wasser verlor, was zu einer Trockenrandbildung führte. Die Proben V12, V14 und V15 besaßen einen geringeren Ausgangswassergehalt und lagen nach 6 Tagen Reifung und auch nach zusätzlichen 7 Tagen Lagerung bei einem niedrigeren Wassergehalt. Bei der Probe V15 resultierte aus der starken Wasserabgabe eine geringfügig schlechtere Struktur, die sich in einem Lösen einzelner Magerfleischpartikel aus der Brätmatrix zeigte. Zusätzlich hatten die Proben einen schwach ausgeprägten Trockenrand.

In Abbildung 31 sind die Ergebnisse der Festigkeitsmessungen der Wurstproben aus den Versuchsreihen V12 bis V15 dargestellt. V12 und V14, die ähnliche Fermentationsverläufe und ein analoges Qualitätsbild zeigten, hatten nach 13 Tagen eine nahe beieinander liegende Festigkeit von 14,2 PE und 15,1 PE. Die Versuchsreihe V13, ohne vorfermentiertes Fett und ohne Trocknung des Magerfleisches, hatte nach 13 Tagen einen Festigkeitswert von 27,3 PE. Der weniger ausgeprägte Wasserentzug sowie der höhere pH-Wert gegenüber den Wurstproben mit vorfermentiertem Fett und Vortrocknung des Magerfleisches hatte eine weniger ausgeprägte Strukturierung zur Folge. Der geringere Wasserentzug führte zu einem weicherem elastischeren Produkt. Die Probe V15 hatte durch die Bildung des Trockenrandes und den starken Wasserverlust eine höhere Festigkeit als V12 und V14. Die Strukturierung und damit der Scheibenzusammenhang waren jedoch als nicht optimal zu bewerten. Der Biss der Würste aus den Versuchsreihen V12, V14 und V15 war trotz der Abweichungen in der Festigkeit analog und produkttypisch. Bei einer guten Strukturierung und damit einem guten Scheibenzusammenhalt wurde eine Festigkeit von 10 – 15 PE als Indikator für ein gutes Mundgefühl ermittelt.

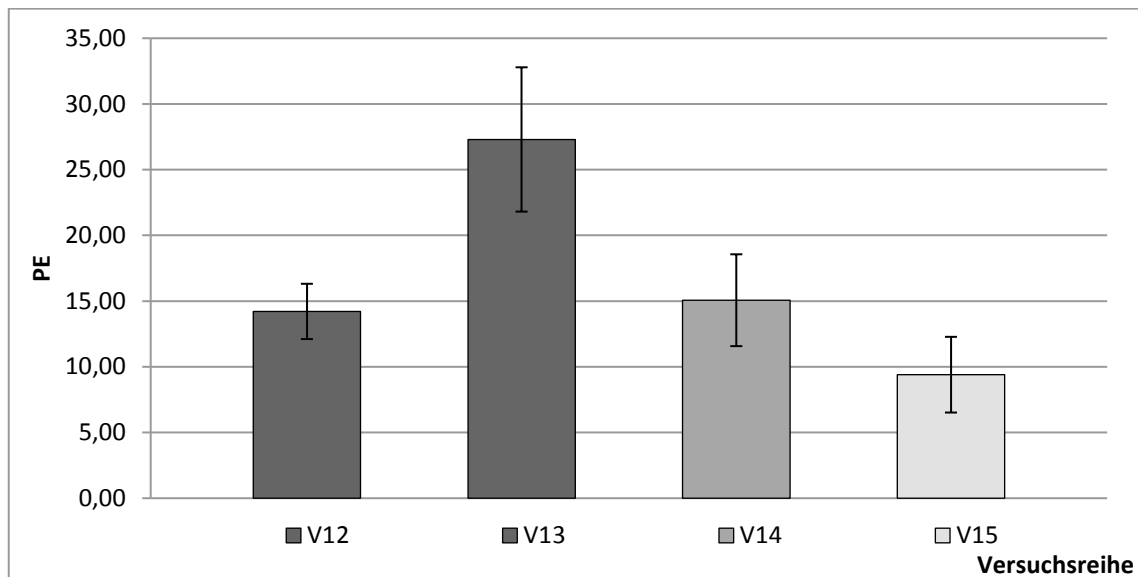


Abbildung 31: Ergebnisse der Festigkeitsmessungen der Versuchsreihen V12 – V15 nach 6 Tagen Reifung und 7 Tagen Nachreifung bei 6 °C

Die Ergebnisse der Versuchsreihen V12, V14 und V15 bestätigten, dass das entwickelte Verfahren eine Produktion von Rohwurst mit ausgeprägtem Reifearoma in 7 Tagen Reifezeit ermöglicht. Die Verfahrensentwicklung war erfolgreich und es konnte ein Produkt mit guter Strukturierung gepaart mit einem angenehmen Mundgefühl und einem ansprechenden rohwursttypischen Aroma erreicht werden. Durch das Verfahren konnte die Produktionszeit von mehreren Wochen reduziert werden. Insbesondere die Probe V15 zeigte, dass auch bei Abweichungen im Produktionsverlauf keine starken negativen Auswirkungen zu beobachten waren, die das Produkt in der Qualität minderten.

4.1.4 Mikrobiologische Bewertung des Produktionsverfahrens

Bei der Entwicklung des Herstellungsverfahrens kam es durch die Anreicherung mit gewünschten Mikroorganismen zu einer beschleunigten Fermentation und einer verbesserten Lebensmittelsicherheit. Der während des Verfahrens erfolgte Trocknungsschritt des rohen Materials war ein kritischer Punkt bei dem sich lebensmittelverderbende Mikroorganismen entwickeln könnten, da er weder bei Kühltemperaturen, noch bei Inaktivierungstemperaturen stattfand. Aus diesem Grund wurde Nitritpökelsalz (NPS) zur Verbesserung der Lebensmittelsicherheit vor der Trocknung zugesetzt. In Abbildung 32 ist die Keimzahlentwicklung während der Trocknung des Magerfleisches und des späteren gemischten Fleisches dargestellt. Die Gesamtkeimzahl nahm durch die Trocknung nur leicht zu, ebenso die Anzahl der proteolytischen Keime. Potentielle coliforme Keime und Hefen hingegen nahmen stark ab, was auf den Einsatz des Pökelsalzes und die Trocknung zurückzuführen war. Insbesondere der Konservierungsstoff Natrium-Nitrit sorgte für eine Verbesserung des mikrobiologischen Status.

Ein mikrobiologisch bedingter Lebensmittelverderb wurde durch die Zugabe von NPS während der Trocknung eingeschränkt. Das getrocknete, zur Produktion eingesetzte Magerfleisch wurde schon vor der Brätbereitung durch die zwei Hürden Nitrit und den gesenkten Wassergehalt bzw. a_w -Wert, stabilisiert. Der a_w -Wert des Brätes lag beim Füllen durchschnittlich bei $0,92 \pm 0,03$ und damit unter der wichtigen Wachstumsgrenze für viele Lebensmittelverderber.

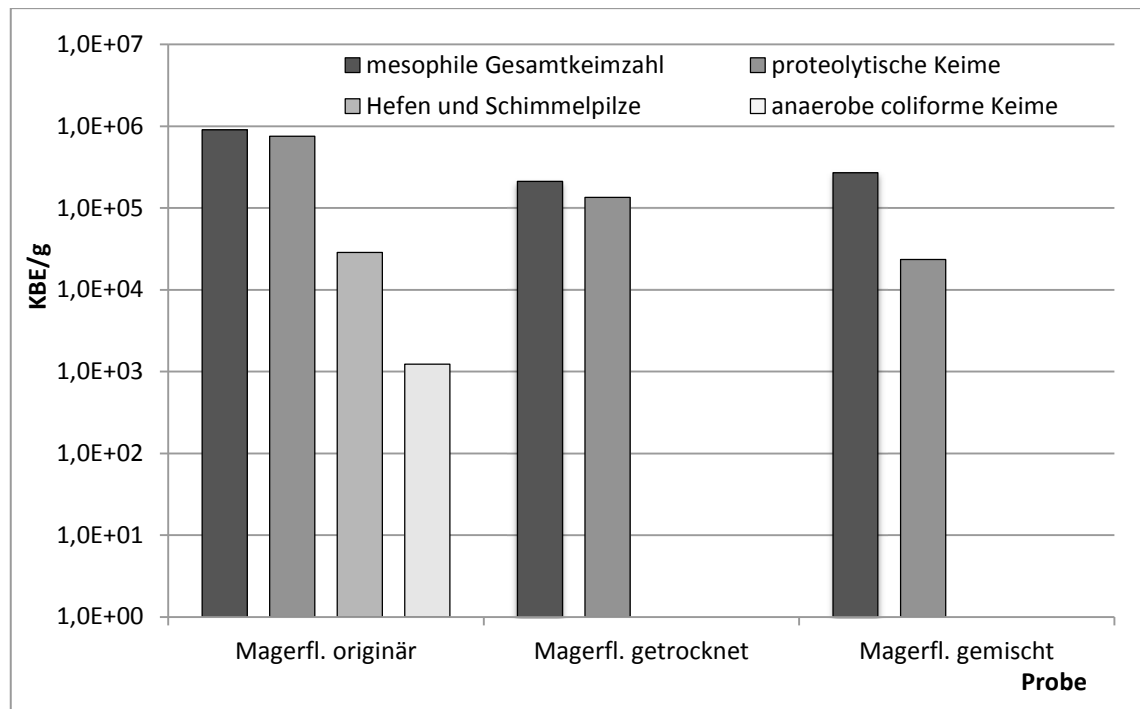


Abbildung 32: Keimzahlentwicklung von originärem Magerfleisch, nach der Trocknung unter Luftumwälzung bei ca. 30 °C für 4 Stunden und unter Zusatz von Ascorbinsäure und NPS sowie der Mischung aus originärem und getrocknetem Magerfleisch vor der Zugabe des fermentierten Fettes

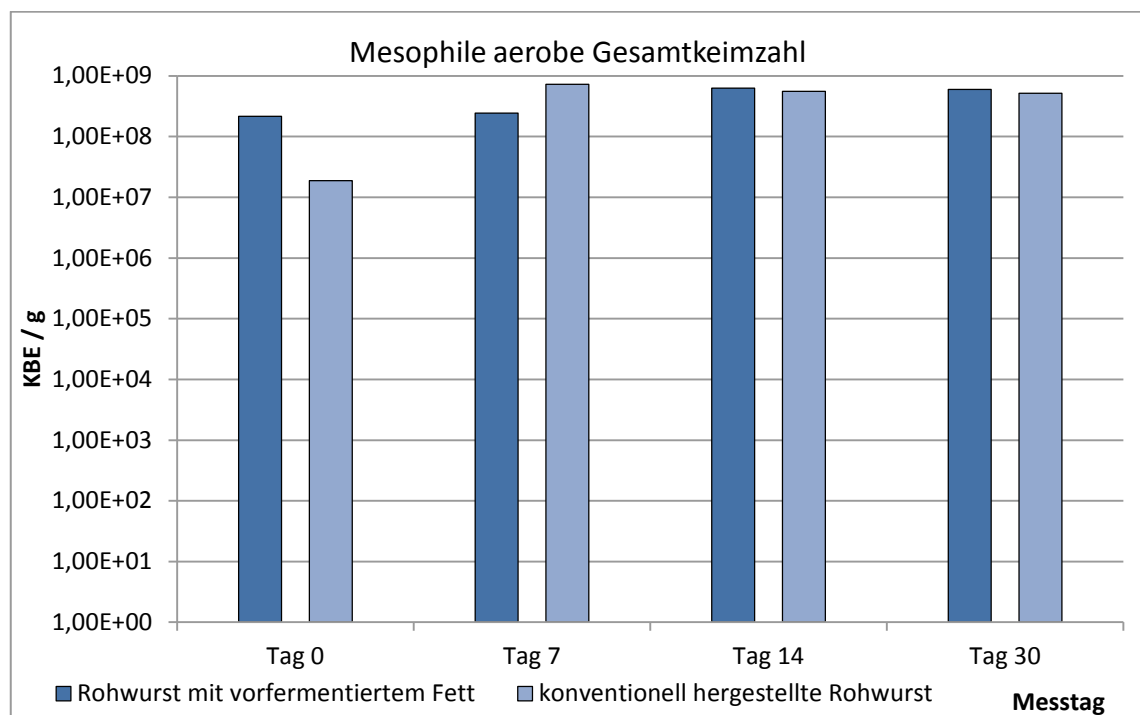


Abbildung 33: Mesophile aerobe Keimentwicklung von nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst; am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühlagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst

Die Entwicklung der mesophilen aeroben Keime im Reifeverlauf ist in Abbildung 33 dargestellt. Es wird ein Vergleich zwischen der favorisierten Reifeführung und der konventionellen Reifung gegeben. Zwischen der nach dem entwickelten Verfahren hergestellten Wurst und einem konventionell produzierten Produkt waren am Herstellungstag Abweichungen in der Anzahl der mesophilen aeroben Gesamtkeimzahl zu beobachten, was durch die Anreicherung der Starterkulturen im Fett vor der Brätbereitung begründet ist. Das nach dem neuen Verfahren hergestellte Brät hatte einen Keimgehalt von $2,2 \cdot 10^8$ KBE / g, während das Brät der konventionell hergestellten Wurst einen Keimgehalt von $1,9 \cdot 10^7$ KBE / g aufwies, was zeigt, dass durch das entwickelte Verfahren erstmal eine generelle Keimerhöhung entstand.

Nach 7 Tagen Reifung blieben die Keimzahlen der Rohwurst mit fermentiertem Fett annähernd konstant bei $2,4 \cdot 10^8$ KBE / g, während die der konventionell erzeugten Wurst auf $7,3 \cdot 10^8$ KBE / g zunahm. Die Beschränkung des Wassergehaltes zeigte hier eine erste Hemmung der Keimflora, die bei der konventionellen Reifung nicht gegeben war.

14 Tage nach der Herstellung hatten sich die Keimgehalte beider Würste bei ca. $6,0 \cdot 10^8$ KBE / g eingestellt und auch nach 30 Tagen war kein Unterschied gegeben. Es ist somit nicht von einer veränderten mikrobiologischen Situation im Bereich der mesophilen aeroben Keime auszugehen und von dieser Seite kein negativer oder positiver Einfluss auf die Haltbarkeit zu sehen.

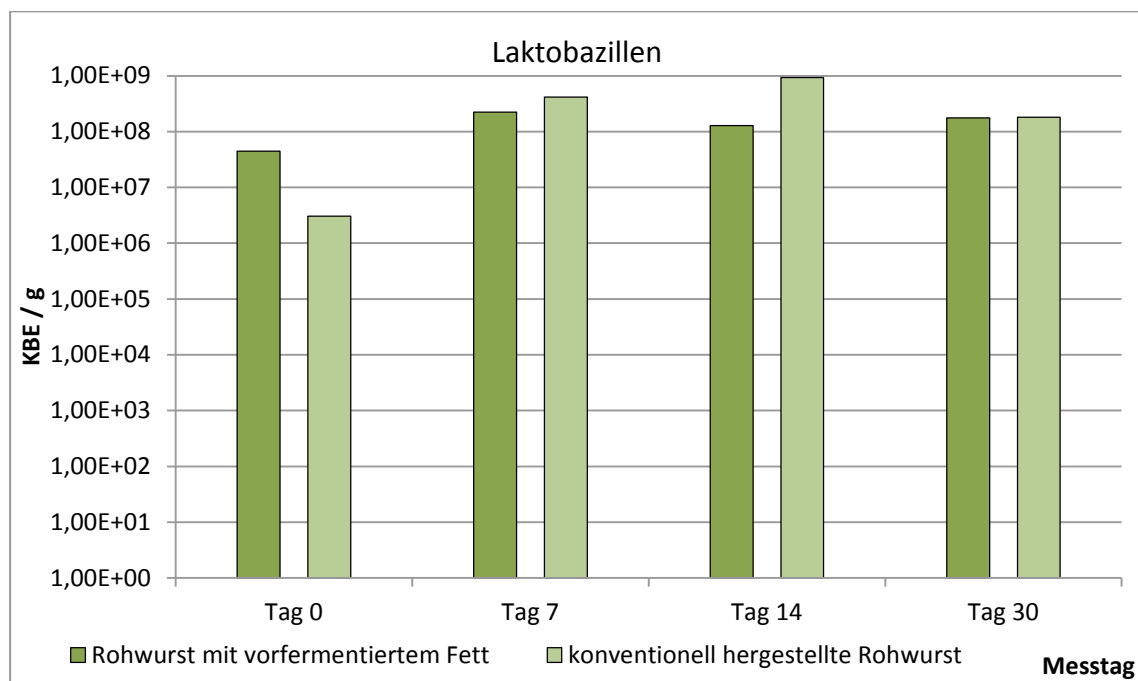


Abbildung 34: Keimentwicklung der Laktobazillen von nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst; am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühlagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst

Die Entwicklung der Laktobazillen-Keimzahlen sind in Abbildung 34 dargestellt. Analog zur aeroben Gesamtkeimzahl lag auch bei den Laktobazillen der Gehalt bei dem entwickelten Verfahren mit $4,5 \cdot 10^7$ KBE / g über dem des konventionellen Bräts mit $3,1 \cdot 10^6$ KBE / g. Die Wirksamkeit der Anreicherung der Starterkulturen durch die Fermentation des Fettes wird dadurch gezeigt. Zudem waren die Milchsäurebakterien bereits an die in Rohwurst herrschenden Bedingungen angepasst. 7 Tage nach der Herstellung wurde durch die Reifung in beiden Würsten eine Zunahme der Milchsäurebakterien beobachtet. Die Keimzahlen lagen in der Rohwurst mit fermentiertem Fett bei $2,2 \cdot 10^8$ KBE / g und in der konventionell hergestellten bei $4,2 \cdot 10^8$ KBE / g. Während der angeschlossenen Kühllagerung sank die Zahl der Laktobazillen innerhalb der Wurst mit fermentiertem Fett geringfügig auf $1,3 \cdot 10^8$ KBE / g, während sie bei der konventionell hergestellten Vergleichsprobe auf $9,3 \cdot 10^8$ KBE / g stieg. Nach 30 Tagen wiesen die Rohwürste aus beiden Verfahren eine Laktobazillenanzahl von $1,8 \cdot 10^8$ KBE / g auf.

Die geringe Veränderung der Laktobazillenzahl kann auf deren Anreicherung bei der Fermentation des Fettes zurückgeführt werden. Konsequenz der Trocknung des Magerfleisches ist zudem eine Einschränkung der Vermehrung der Laktobazillen, was sich auf die Milchsäurebildung auswirkt. Das Auftreten von Unterschieden nach der Kühllagerung ist eine Auswirkung des höheren Wassergehaltes der konventionell hergestellten Rohwürste. Wichtig ist, dass die Zahl der Milchsäurebakterien in den ersten Tagen der Reifung der Rohwürste mit fermentiertem Fett und getrocknetem Magerfleisch zunimmt und im Laufe der Lagerung / Nachreifung nicht merklich rückläufig ist, wodurch eine intakte Konkurrenzflora gegeben ist

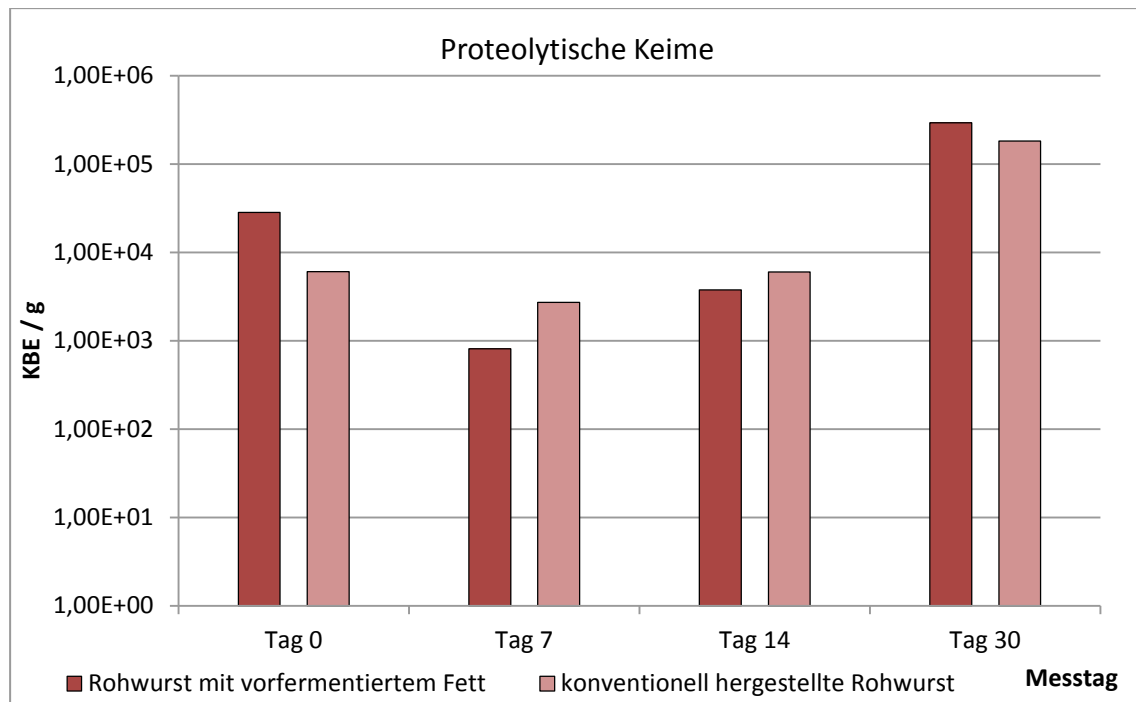


Abbildung 35: Entwicklung proteolytischer Keime der nach dem entwickelten Verfahren produzierter Rohwurst: am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühllagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst

Die Entwicklung der proteolytischen Keimgehalte ist in der Abbildung 35 dargestellt. Die Keimgehalte bei der Herstellung mit fermentiertem Fett und Trocknung des Magerfleisches waren mit $2,8 \cdot 10^4$ KBE / g höher als bei konventioneller Herstellung mit $6,1 \cdot 10^3$ KBE / g. Nach 7 Tagen Reifung hatten sich beide Keimzahlen reduziert, wobei die nach dem entwickelten Verfahren hergestellte Rohwurst $8,1 \cdot 10^2$ KBE / g zeigte und die konventionell produzierte Wurst mit $2,2 \cdot 10^3$ KBE etwas höher lag. Nach anschließenden 7 Tagen Kühllagerung bei 7 °C lagen beide Keimgehalte der Würste, mit Werten von $3,8 \cdot 10^3$ KBE / g für die Rohwurst mit fermentiertem Fett und $6,0 \cdot 10^3$ KBE / g für das konventionell hergestellte Produkt, dicht beieinander. 30 Tage nach der Herstellung waren bei beiden Proben die Keimgehalte an proteolytischen Keimen auf Werte von $2,9 \cdot 10^5$ KBE / g und $1,8 \cdot 10^5$ KBE / g gestiegen.

Die proteolytisch aktiven Keime werden während der Reifung inaktiviert, was mit den sinkenden pH- und a_w -Werten in Verbindung steht. Der pH-Wert lag nach 7 Tagen Reifung bei durchschnittlich $5,09 \pm 0,09$ und damit unterhalb des Wertes von 5,3, der als Wachstumsbeschränkung für die Proteolyten gilt. Der a_w -Wert lag nach 7 Tagen bei durchschnittlich $0,908 \pm 0,013$ und somit ebenfalls unterhalb des angestrebten Wertes von 0,93, der das Wachstum einschränkt. Die Anreicherung während der Kühllagerung ist demnach auf oberflächliche Effekte zurückzuführen, da das nachweisbare Keimwachstum nur in Verbindung mit Sauerstoff möglich ist. Es ist während der Lagerung zu einer Kondensation von Wasser an der Oberfläche der Würste gekommen, was partiell den a_w -Wert erhöht und dort das Wachstum ermöglicht hat.

Zur Vermeidung dieses Effektes sollte die Lagerung/ Nachreifung in einer Vakuumverpackung erfolgen oder das Oberflächenwachstum durch eine Räucherung eingeschränkt werden.

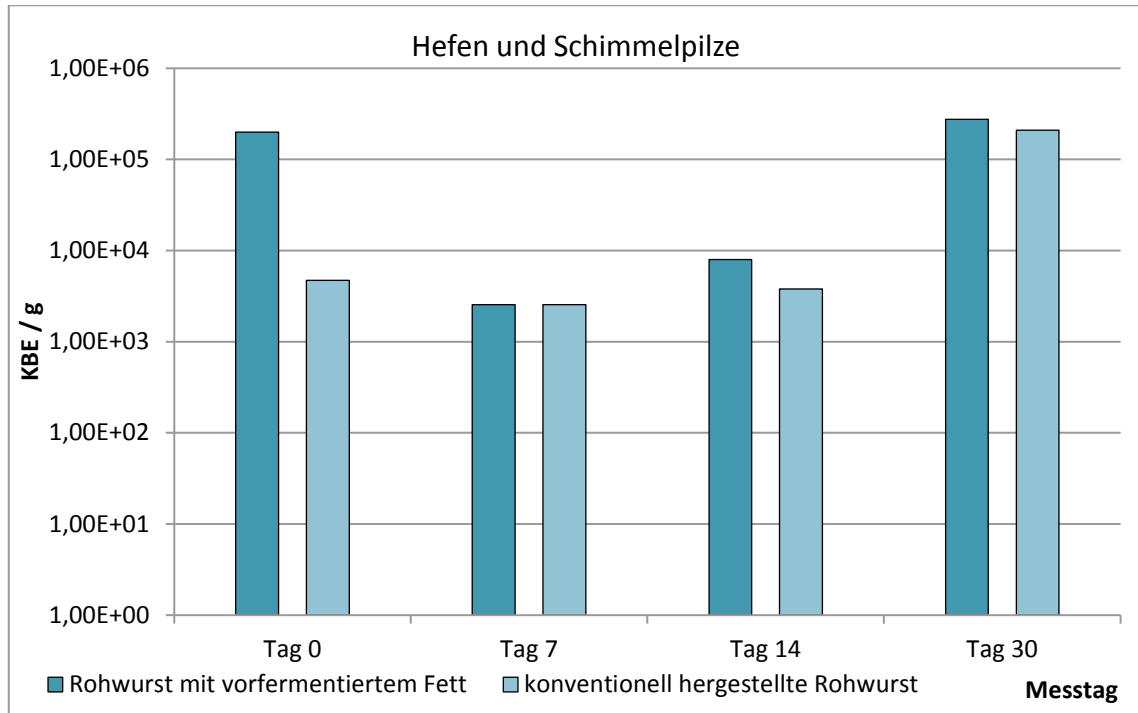


Abbildung 36: Keimentwicklung der Hefen und Schimmelpilze der nach dem entwickelten Verfahren produzierten Rohwurst: am Herstellungstag (Tag 0), nach 7 Tagen Reifung (Tag 7), nach weiteren 7 Tagen Kühllagerung bei 7 °C (Tag 14), mit abgeschlossener Lagerung bei 7 °C 30 Tage nach der Herstellung (Tag 30) im Vergleich zu einer konventionell hergestellten Rohwurst

Abbildung 36 zeigt die Entwicklung der Keimzahlen von Hefen und Schimmelpilzen der Rohwürste. Am Tag der Herstellung lag die Anzahl der Keime bei den Proben mit fermentiertem Fett mit $2,0 \cdot 10^5$ KBE / g höher als bei der Konventionell produzierten mit $4,7 \cdot 10^3$ KBE / g. Diese Abweichung glich sich bis zum Tag 7 der Reifung an, an dem beide Rohwürste einen Keimgehalt von $2,6 \cdot 10^3$ KBE / g aufwiesen. Am 14. Tag (nach 7 tägiger Kühllagerung) lagen die Keimzahlen bei der Wurst nach dem entwickelten Verfahren bei $8,0 \cdot 10^3$ KBE / g und bei der Rohwurst nach konventionellem Verfahren bei $3,8 \cdot 10^3$ KBE / g. 30 Tage nach der Herstellung lagen die Keimgehalte bei $2,8 \cdot 10^5$ KBE / g bei der Rohwurst mit fermentiertem Fett und bei $2,1 \cdot 10^5$ KBE / g bei konventionell hergestellter Rohwurst.

Die Keimentwicklung von anaeroben coliformen Keimen während der Reifung der Rohwürste wurde ebenfalls ermittelt. Es waren ausschließlich im Brät (Tag 0) der konventionell erzeugten Rohwurst coliforme Keime mit $2,0 \cdot 10^2$ KBE / g nachweisbar. In den restlichen Proben wurden die Keime durch die Konservierungsmechanismen inaktiviert, sodass kein Nachweis erfolgte. Zusätzlich wurden unterschiedliche Chargen von Brät und Würsten zu verschiedenen Reifezeitpunkten (Tag 0, Tag 7, Tag 14, Tag 30) auf Staphylokokken untersucht, wobei eine Kontrolle auf mögliche *Staphylococcus aureus* Keime erfolgte. Da unter anderem

Staphylokokken in den Starterkulturen enthalten waren, war auf den Braid-Parker Platten ein starkes Wachstum vorhanden. Bei keiner der untersuchten Proben war *Staphylococcus aureus* nachweisbar. Die Erscheinungsformen der auf BP-Agar ermittelten Kolonien waren grau bis schwarz in unterschiedlichen Größen. Keine der gewachsenen Kolonien zeigte einen hellen Rand und das für *S. aureus* typische Erscheinungsbild. Eine derartige Kontamination konnte damit ausgeschlossen werden. Einige wenige der größeren matt schwarzen Kolonien wiesen auf *S. epidermidis* hin.

Bei den nach dem entwickelten Verfahren hergestellten Proben zeigten die proteolytischen Keime und die Hefen und Schimmelpilze eine Verringerung der Keimzahlen, da die Wachstumsbedingungen durch die Ausprägung weiterer Hürden verschlechtert wurden. Im Speziellen sorgten die pH-Wert-Senkung sowie die fortschreitende Wasserabgabe für die Inaktivierung. Mit der Stabilisierung des pH-Wertes fand eine Oberflächenbesiedlung durch Proteolyten, Hefen und Schimmelpilze statt, was auf eine partielle Erhöhung des Wassergehaltes in den Randschichten zurückzuführen war und durch die Einbindung eines Räucherschrittes oder eine Nachlagerung in einer Vakuumverpackung verhindert werden kann. Die Zahl der Laktobazillen war aufgrund der vorgelagerten Fermentation des Fettgewebes schon am Herstellungstag auf einem hohen Niveau von über 10^7 KBE / g, steigerte sich jedoch in Folge der Trocknung des Magerfleisches während der Reifung nur wenig. Die Keimzahl lag jedoch auf einem dem konventionellen Produkt entsprechenden Niveau von $> 10^8$ KBE / g. Anaerobe coliforme Keime wurden beim entwickelten Verfahren nicht nachgewiesen.

Es kann gefolgert werden, dass sich nach dem entwickelten Verfahren ebenso stabil lagerfähige Rohwürste erzeugen lassen, wie es bei konventioneller Herstellung der Fall ist. Besonders die hohe Anzahl an Milchsäurebakterien belegt gepaart mit dem niedrigen pH-Wert $< 5,3$ und einem a_w -Wert $< 0,93$ die Lagerfähigkeit.

4.1.5 Qualitätsbewertung der neuartig hergestellten Produkte

Die Qualität d.h. insbesondere das Aroma und die Textur waren während der Versuche sehr divergent. Die Proben V2, V3 und V4 zeigten keine zusammenhängende Struktur sowie ein schlechtes und wenig ansprechendes Aroma, das sehr säurelastig war. Besonders V4 war durch den hohen Anteil an Proteolyseprodukten als nicht verzehrsfähig bewertet worden. V5 zeigte einen Trockenrand und ein zu saures Aroma, was in den folgenden Versuchen durch die Gestaltung des Trocknungsverfahrens und die Einschränkung des verfügbaren Wassers behoben wurde. Die Proben V6 – V7 zeigten durch die Modifikation des Trocknungsgrades unterschiedlich ausgeprägte Produktfehler, insbesondere die Texturbildung stellte sich als problematisch heraus. Die Aromatisierung war bei den Proben rohwrsttypisch und ansprechend. Die Probe V9 wies ein gut ausgeprägtes Rohwurstaroma entsprechend lang gereifter Salami auf und war schnittfest, wobei sich aus der Wurstmatrix bei mechanischer Belastung vereinzelt Brätpartikel lösten. Durch die Vorfermentation des Fettes und die Trocknung des Magerfleisches ließen sich innerhalb einer Reifezeit von 7 Tagen Produkte erzeugen, die die Charakteristik lang gereifter Rohwürste zeigten. Die Trocknung sorgte für eine weniger säurebetonte Geschmacksnote, die

im mediterranen Raum üblich ist und konventionell nur nach mehreren Wochen Reifung entsteht.

Ab den Versuchsreihen V10 und V11 zeigte sich durch die Festlegung der Magerfleischzusammensetzung (80 % 1,5 Stunden und 20 % 4 Stunden getrocknetem Magerfleisch), dem Einsatz der Farce und der Verwendung von Phosphat eine deutlich verbesserte Schnittfähigkeit. Zudem hatten die Würste ein sehr gutes Aroma, das dem Ziel eines ausgeprägten Fermentationsaromas entsprach. Mit der ermittelten Phosphatkonzentration von 0,2 % konnten die Proben V12, V14 und V15 mit guter Schnittfähigkeit hergestellt werden, die ein arttypisches Aroma hatten. Die finale Zusammensetzung, die für die Versuchsreihen zum Einsatz kam, bestand aus 15 % originärem Magerfleisch, das zu einer Farce verarbeitet wurde. Hinzu kamen 65 % 1,5 Stunden getrocknetes und 20 % 4 Stunden getrocknetes Fleisch, das zerkleinert mit dieser Farce vermengt wurde. Die Probe V13, die ohne Fermentation und Vortrocknung des Magerfleisches hergestellt wurde, zeigte Strukturprobleme und eine Trockenrandbildung, ebenso wie ein schlecht ausgeprägtes Aroma, da die Reifung nicht rohwurstcharakteristisch ablief und die pH-Werte zu hoch lagen.

Mit der entwickelten Rohstoffzusammenstellung für V12, V14 und V15, den verschieden stark getrockneten Magerfleischfraktionen sowie dem fermentierten Fett konnte ein Verfahren zur Herstellung von schnittfester Rohwurst vom Typ Salami mit lang gereiftem Charakter in einer Reifezeit von 7 Tagen entwickelt werden.

4.1.6 Bewertung der Farbe der Produkte

Bei der Entwicklung des neuen Herstellungsverfahrens war es wichtig, die ansprechende und produkttypische Farbe von Salami zu erzeugen.

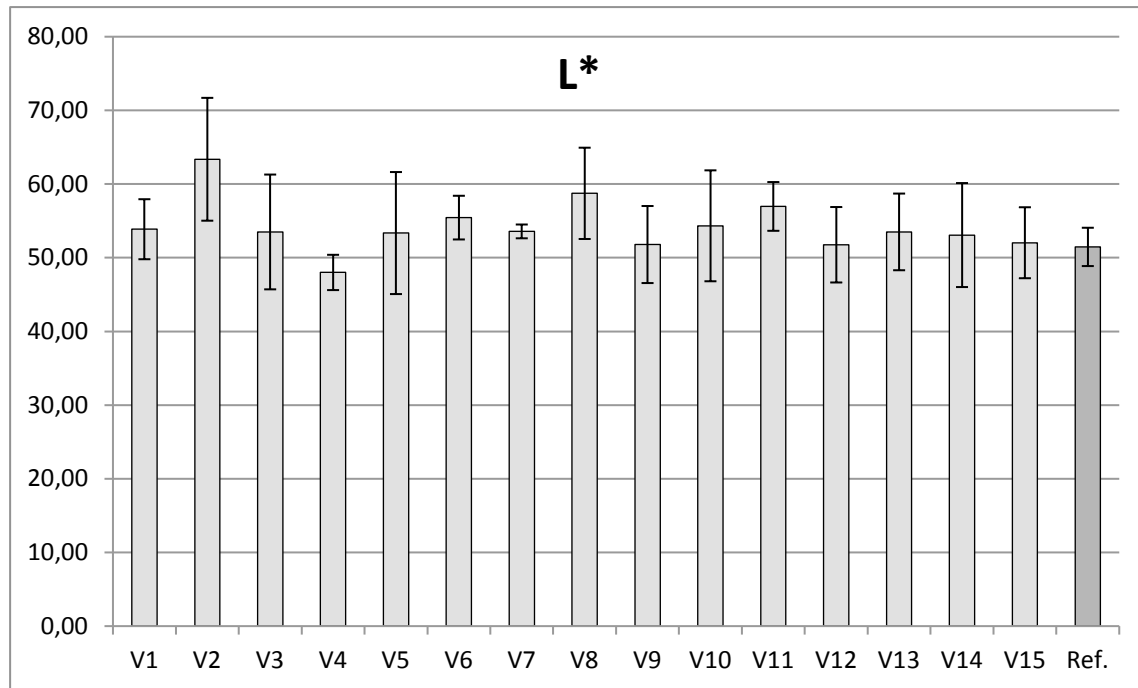


Abbildung 37: Gemittelte L-Werte der Versuchsproben V1 bis V17 nach 6 Tagen Reifung

In Abbildung 37 sind die L*-Werte der produzierten Rohwürste nach 6 Tagen Reifung und ein Vergleich mit einem kommerziellen Produkt dargestellt. Die L*-Werte liegen alle im Bereich zwischen 40 und 65 und sind für Rohwürste typisch. Der geforderte L*-Wert ist für mediterrane Produkte jedoch im unteren Bereich der gemessenen Werte (40-50), da hier eine kräftige dunkelrote Fleischfarbe produkttypisch ist. Der gemessene und avisierte Referenzwert (Ref.) handelsüblicher Produkte lag bei 51,5. Die Versuchsreihe V2 hatte einen hohen L*-Wert von 63,4 da das Produkt blass und hell war. Die bessere Abtrocknung der Produkte sorgte nachfolgend für eine Konzentration der Farbpigmente und so für einen kräftigeren Farbeindruck. Insgesamt wurden die erreichten L*-Werte als positiv und gewünscht bewertet. Die nach dem favorisierten Verfahren hergestellten Produkte der Versuchsreihen V12, V14 und V15 lagen mit 51,8, 53,1 und 52,0 sehr nah am Referenzwert. Die Helligkeit der Produkte war gering, weshalb nicht der Eindruck von denaturiertem Muskelfleisch entstand.

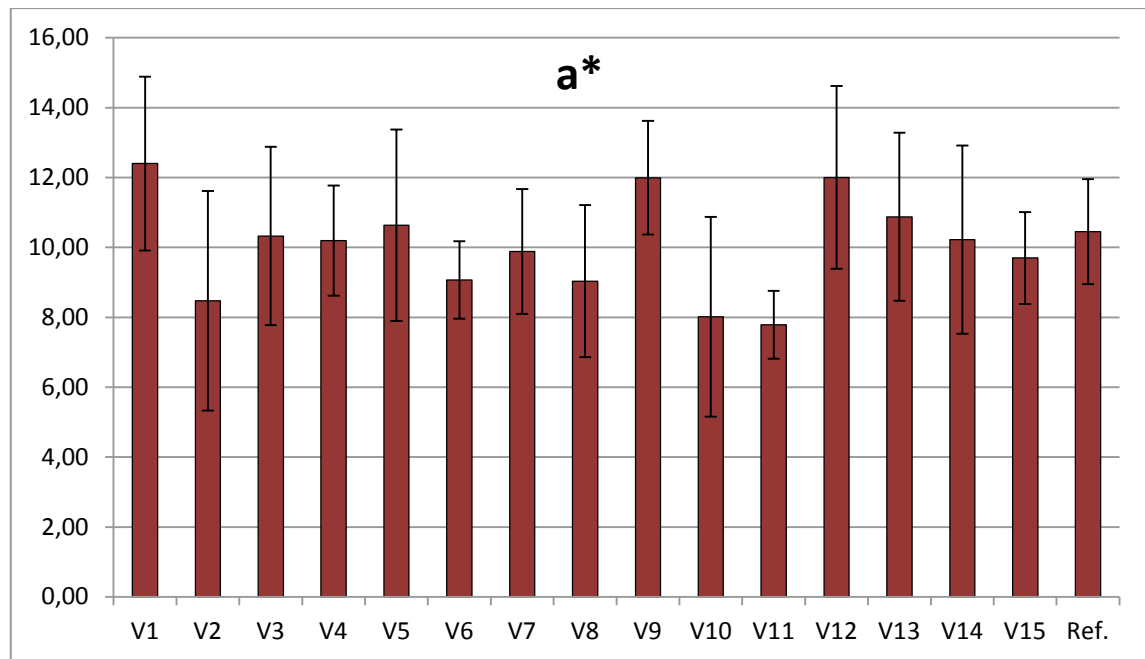


Abbildung 38: Gemittelte a^* -Werte der Versuchsproben V1 bis V17 nach 6 Tagen Reifung

Der Farbwert, der die Ausprägung der produkttypischen Rotfärbung beschreibt, ist der a^* -Wert (Abbildung 38). Der Kunde fordert ein möglichst rotes Produkt, das Frische und gutes Aroma suggeriert. Hier liegen alle Versuchsreihen in einem guten, der Referenzprobe entsprechenden Bereich. V10 und V11 hatten aufgrund des Rohstoffes eine weniger stark ausgeprägte Farbe. Die nach dem finalen Verfahren hergestellten Produkte zeigten mit 12,0 (V12), 10,2 (V14) und 9,7 (V15) eine typische rote Farbausprägung, die vergleichbar mit den Ergebnissen der Messungen der Referenzprodukte mit 10,5 (Ref.) war. Die rote Farbe der Produkte war ansprechend und lag im produkttypischen Bereich lang gereifter Rohwurst (Referenzprobe).

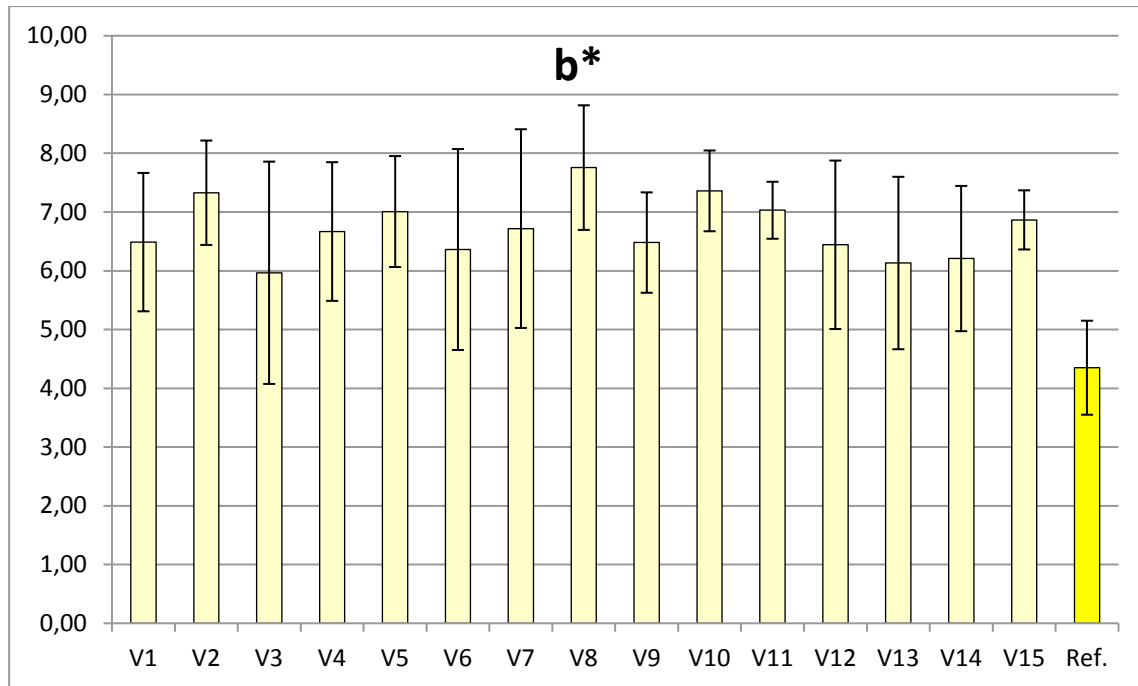


Abbildung 39: Gemittelte b^* -Werte der Versuchsproben V1 bis V17 nach 6 Tagen Reifung

Der b^* -Wert gibt bei Rohwürsten Auskunft über den Gelbanteil der Farbe. Er wird durch die Farbe des Fleisches und durch die Fettfarbe beeinflusst. Die Messwerte aller Versuchsreihen waren ähnlich ausgeprägt. Die Werte lagen zwischen 6,0 und 7,8. Die Referenzprodukte zeigten einen geringeren Anteil an Gelb als die Rohwürste aus den Versuchsreihen (V1 – V15). Der Wert der Referenzprodukte lag durchschnittlich nur bei 4,4. Das kann unter anderem an der Verwendung von unterschiedlichen Fett- bzw. Fleischqualitäten bei der Herstellung der kommerziellen Referenzprodukte liegen.

Die Farbwerte aller Proben lagen im für Salami typischen Bereich, was die geringen Abweichungen zur Referenzprobe belegten. Die vorhandenen Abweichungen sind durch die unterschiedlichen Rezepturen zu erklären. Es kann gefolgert werden, dass durch das entwickelte Verfahren eine gute Farbausbildung gewährleistet werden kann, was unabdinglich für ein hochqualitatives Rohwurstprodukt ist.

4.1.7 Industrielle Eignung des Verfahrens

Die labortechnischen Ergebnisse wurden in den großtechnischen Maßstab mit den notwendigen Anpassungen übertragen. Die sich ergebenden Änderungen waren im vorliegenden Fall der Einsatz von Geräten der industriellen Produktion, industriell eingesetzte Zutaten bzw. Gewürzmischungen sowie der betriebliche Ablauf, der durch die Erstellung eines Ablaufplanes für die betriebliche Anwendung des Verfahrens geregelt wurde. Zu diesem Zweck wurde das Ablaufschema in Abbildung 40 erstellt.

Die Reifung der Würste erfolgte unter den gegebenen Umgebungsbedingungen. Das Verfahren wurde als robust gegenüber Klimaschwankungen bewertet, was bei der Herstellung in der Praxis ohne Klimatechnik geprüft wurde. Dazu wurden die Würste für 24 Stunden bei einer rel. Luftfeuchte von ca. 80 % gelagert. Anschließend wurde die Reifung bei ca. 50 % rel. Luftfeuchtigkeit realisiert, wodurch eine weitere Wasserabgabe erfolgte.

Während der großtechnischen Umsetzung des Verfahrens wurde ermittelt, dass Raumtemperaturen zwischen 10 - 30 °C geeignet waren, eine sichere Produktion zu gewährleisten, da die Wasserabgabe nur geringfügig beeinflusst wurde. Bei einer Raumtemperatur unter 10 °C war die Fermentation verlangsamt und der Wassergehalt war vor Erreichen des gewünschten pH-Wertes von < 5,3 zu gering, um eine weitere Milchsäurebildung zu ermöglichen. Bei einer Raumtemperatur über 30 °C war die Milchsäureproduktion sehr stark ausgeprägt, was zu säurebetonten Produkten führte. Durch die Produktion zu unterschiedlichen Jahreszeiten konnte gezeigt werden, dass die Temperaturschwankungen der Reiferäume die Reifung zwar beeinflusste, jedoch nicht zu einer starken Qualitätsbeeinflussung der Produkte führte. Nur in Extremfällen, bei denen die Temperaturen der Reifeumgebung die ermittelten Grenzwerte von 10 °C und 30 °C unter- bzw. überschritten, kam es zu Qualitätsabweichungen.

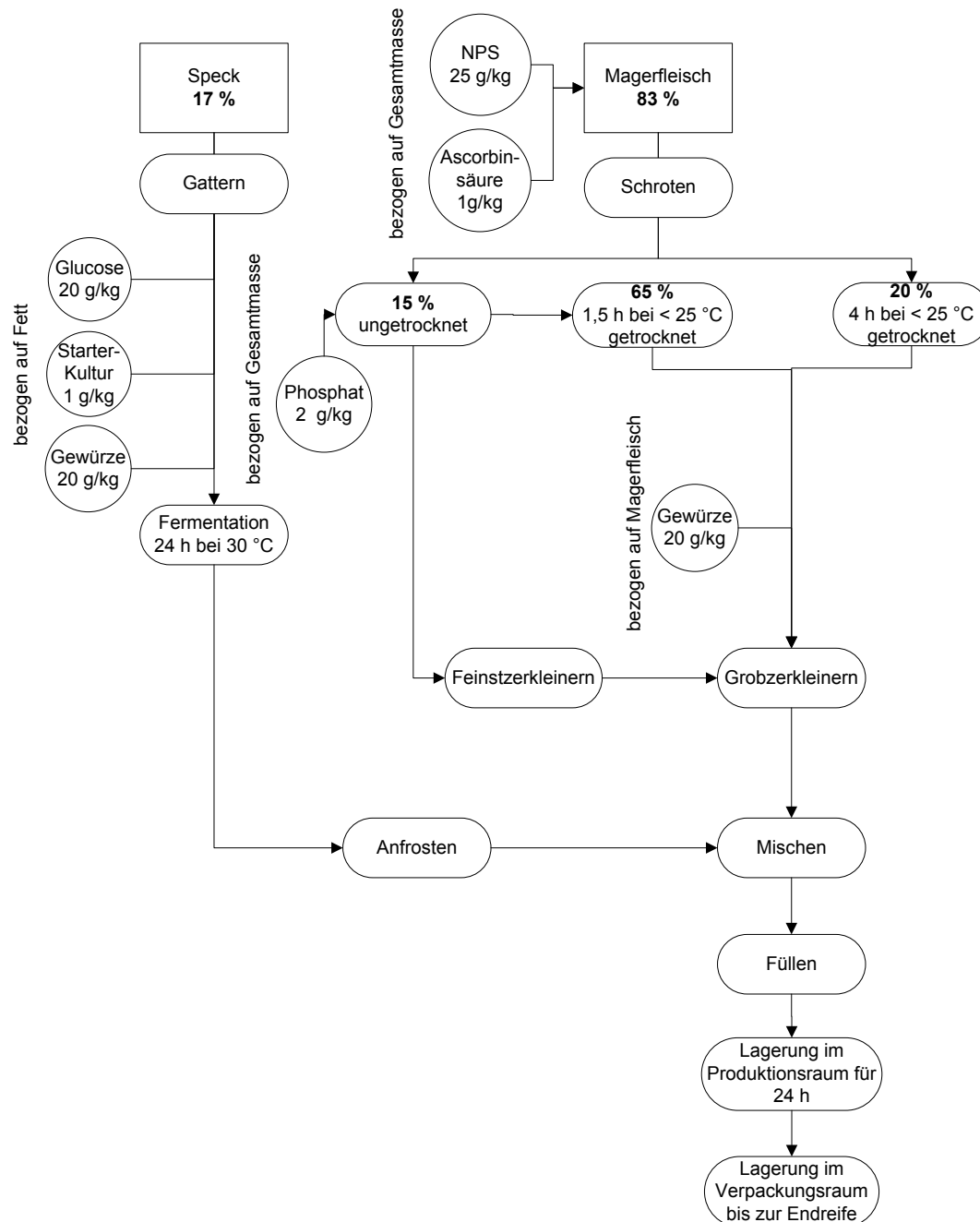


Abbildung 40: Herstellungsschema für Rohwurst, hergestellt mit vorfermentiertem Fett und vorgetrocknetem Fleisch nach Rezeptur aus Tabelle 23

Die Abfolge der Produktion ist in Abbildung 40 schematisch dargestellt und begann 24 Stunden vor der Bräthbereitung mit der Bearbeitung des Fettgewebes. Das SVIII wurde bei -18 °C für 20 min angefrosten und anschließend zerkleinert. Es wurde mit einem Kreuzgittermesser (Gatter) zerkleinert und mit einer rotierenden Klinge in Würfeln abgetrennt. Die ca. 5 mm Kantenlänge messenden Speckwürfel wurden für 24 Stunden der Fermentation bei 30 °C unter Luftausschluss zugeführt und danach erneut bei -18 °C angefroren, um ein gutes Schnittbild zu realisieren.

24 Stunden nach der Fermentation des Fettes erfolgte die Brätbereitung. Es wurden die Fleischsorten S I und S II durchgewolft (Schrotscheibe), mit Nitritpökelsalz versetzt und in die drei Prozessstufen originär, 1,5 Stunden Trocknung und 4 Stunden Trocknung unterteilt. Das originäre Fleisch wurde in der Kühlkammer angefrosten. Die beiden zu trocknenden Chargen wurden auf Lochblechen verteilt und in einer Räucherammer bei Luftzirkulation und ca. 25 °C 1,5 Stunden und 4 Stunden getrocknet. Anschließend wurde das Phosphat zum angefrosten originären Fleisch gegeben, das im Schneidmischer feinst zerkleinert wurde. Die getrockneten Fleischchargen sowie die Gewürze und Zutaten wurden zugegeben, vermengt und weiter zerkleinert. Dann wurde das Fett untergegeben und soweit zerkleinert, bis die gewünschte Fettpartikulierung erreicht war. Das Brät wurde mit einer Vakuumfüllmaschine, die gegenüber der Kolbenfüllmaschine den Vorteil hat, mehr Sauerstoff bzw. Luft aus dem Brät zu entfernen, in die Wursthüllen gefüllt. Als Därme wurden zusätzlich zu den erprobten Zellulosefaserdärmen zur Anpassung an die Optik mediterraner Produkte enge Schweinedünndärme mit einem Kaliber von 28 mm gewählt.

Der Wassergehalt des Brätes lag nach der Herstellung bei durchschnittlich ca. 55 % und damit höher als in den kleintechnischen Versuchen, was durch die Chargengröße und die veränderte Gerätetechnik hervorgerufen wurde. Das zusätzliche Wasser wurde durch die veränderten Klimabedingungen der industriellen Reifung abgegeben.

Nach 5 Tagen Reifung waren die Fettpartikel deutlich durch die Darmhülle zu erkennen und es hat sich eine ausgeprägte rote Pökelfarbe entwickelt.

Die pH-Werte in Abbildung 41 stammen aus den großtechnischen Versuchen und zeigen den angestrebten Verlauf. Nach 48 Stunden war ein pH-Wert-Abfall zu beobachten. Nach vier Tagen war der wichtige Bereich von < 5,3 unterschritten. Der IEP wurde erreicht und es kam zur Ausbildung der Schnittfestigkeit. Nach 5 Tagen lag das pH-Wert-Minimum vor und der pH-Wert stabilisierte sich. Die quantitativ differenzierte Säurebildung ist auf die unterschiedlichen Raumklimata während der Reifung zurückzuführen. Daraus folgende Abweichungen in den sensorischen Eigenschaften waren nicht wahrnehmbar.

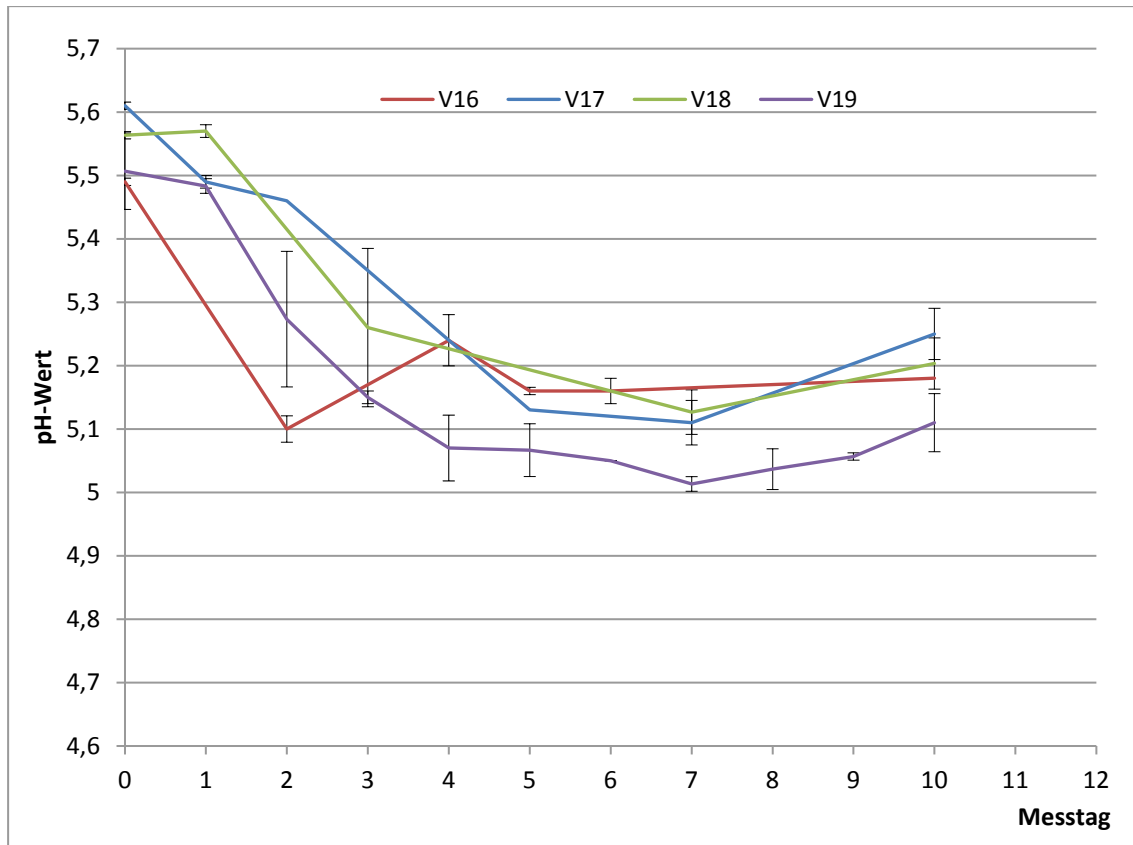


Abbildung 41: pH-Wert-Verlauf der Versuchsreihen V16 bis V19, die unter industriellen Bedingungen nach dem entwickelten Verfahren hergestellt wurden

Abbildung 41 zeigt die pH-Werte der Versuchsreihen V16, V17, V18 und V19. Diese Proben sind alle nach dem entwickelten Herstellungsverfahren ohne Klimatechnik produziert und für Verkostungen und sensorische Tests erstellt worden. Es zeigten sich Verläufe, die nur geringe Schwankungen der Mindest-pH-Werte aufwiesen und durchgängig zu guten Ergebnissen führten. Nach spätestens vier Tagen wurde der für die Lebensmittelsicherheit relevante Bereich unter pH 5,3 erreicht. Die gesunkenen pH-Werte in Kombination mit a_w -Werten, die durchgängig unter 0,91 lagen, belegten, dass es sich um ein sicheres Rohwurstserzeugnis handelte. Das Erreichen des pH-Minimums erfolgte zu unterschiedlichen Zeitpunkten, wobei die Abweichungen nach dem Tag 4 unter 0,1 Einheiten lagen.

Die Wurst war nach 6 Tagen Reifung verkaufsfähig. Der Anschnitt zeigte separat abgegrenzte Fettpartikel, die eine mediterrane Optik vermittelten. Es lag kein Trockenrand vor und die Wurst hatte im Anschnitt eine ansprechende dunkelrote Farbe. Es ließen sich dünne Scheiben schneiden. Das Schneiden war dabei ohne negative optische Veränderungen durchführbar und der Zusammenhalt der Scheiben sehr gut.

4.1.8 Texturmessungen der Würste unter Einsatz von fermentiertem Fett

Neben der Festigkeitsentwicklung bei der Optimierung der Produkte war es wichtig, einen Vergleich mit konventionell hergestellter Rohwurst zu haben und die Ergebnisse der Texturierung einzuordnen. Dazu wurden Messungen der Rohwürste mit vorfermentiertem Fett und Handelsprodukten durchgeführt. Als Vergleich wurde die „Kordelsalami“ der Firma Aoste herangezogen, die das angestrebte Marktsegment repräsentierte. Die Messergebnisse sind in Abbildung 42 dargestellt. Die dazugehörigen Standardabweichungen sind in Abbildung 43 aufgetragen.

Die durchschnittlich erreichte Maximalkraft beim Bruch in der Struktur lag bei den kommerziellen Proben bei $140,8 \pm 15,3$ N mit einem Belastungsweg von $20,2 \pm 2,1$ mm und bei den Würsten, die mit vorfermentiertem Fett nach dem entwickelten Verfahren hergestellt wurden, bei $173,2 \pm 18,0$ N mit einem Belastungsweg von $21,3 \pm 1,2$ mm. Es konnte gezeigt werden, dass die Proben nach dem neuen Verfahren fester waren und einen deutlich besseren strukturellen Zusammenhalt zeigten. Die geringfügig höhere Standardabweichung resultierte aus den groben Fettstücken und der ungleichmäßigeren Verteilung dieser gegenüber der kommerziell produzierten Rohwurst.

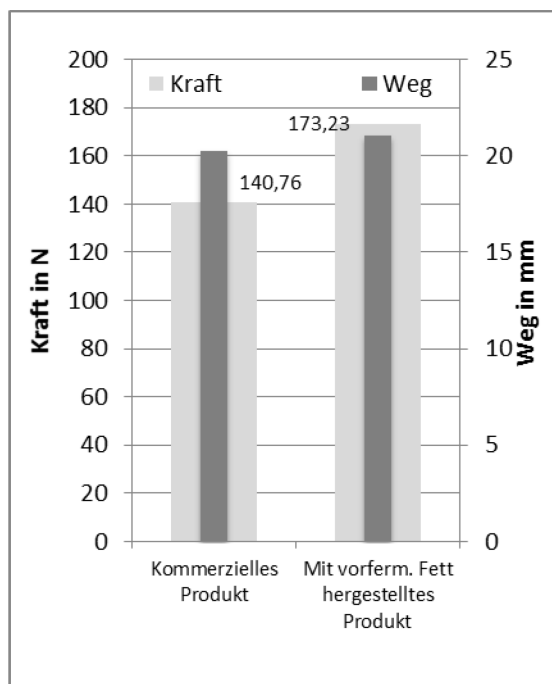


Abbildung 42: Darstellung der Messergebnisse der Kraft- und Wegmessung der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen

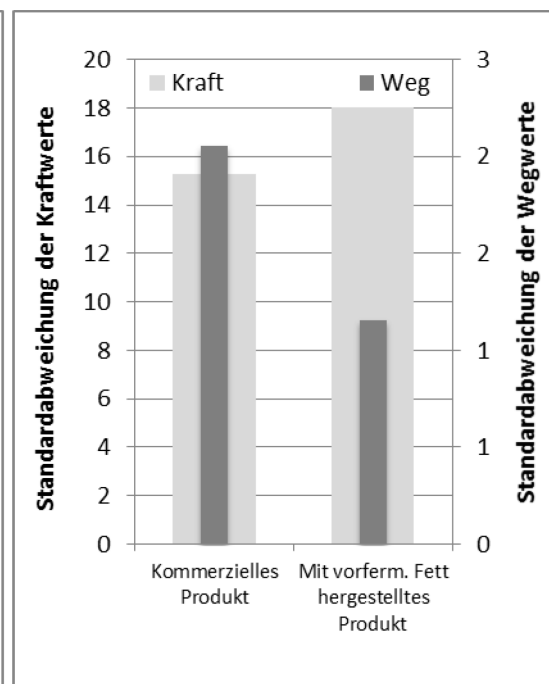


Abbildung 43: Darstellung der Standardabweichungen der Kraft- und Wegmesswerte der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen

Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen exemplarische Messkurven der unterschiedlichen Proben. Zu erkennen ist, dass bei der kommerziellen Probe nach Erreichen der Bruchkraft ein deutlicher Abfall des Kraftwertes eintrat. Die Proben nach dem neu entwickelten Verfahren waren elastischer und es kam nach dem Herausbrechen einzelner Brätbestandteile, vor allem der Fettpartikel, zu einer weiteren Zunahme der Kraft. Die Brätmatrix zeigte einen besseren Zusammenhalt und es wurde kein so deutlicher Bruch der Magerfleischverbindungen wie bei kommerziellen Proben beobachtet. Der Anstieg gegen Ende der Messung der Referenzprodukte resultierte aus einer Kompression der destrukturierten Wurstprobe.

Die Messungen haben gezeigt, dass die mit vorfermentiertem Fett hergestellten Würste die Qualität hinsichtlich der Textur von im Handel erhältlichen Produkten erreichten. Die hohe Kohäsion ist insbesondere bei der Erzeugung von Aufschnittware von Vorteil, da sich die Scheiben aufgrund ihres hohen inneren Zusammenhaltes dünn gestalten lassen.

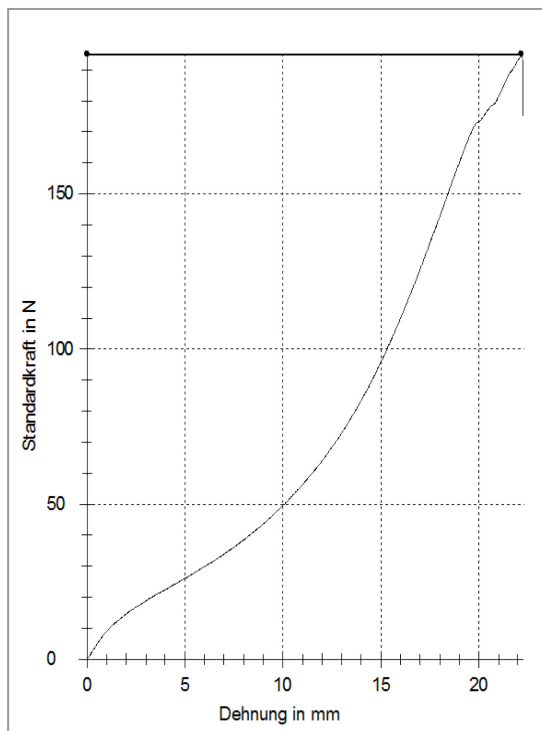


Abbildung 44: Exemplarische Messkurve der Texturprüfung der mit vorfermentiertem Fett hergestellten Rohwurstproben

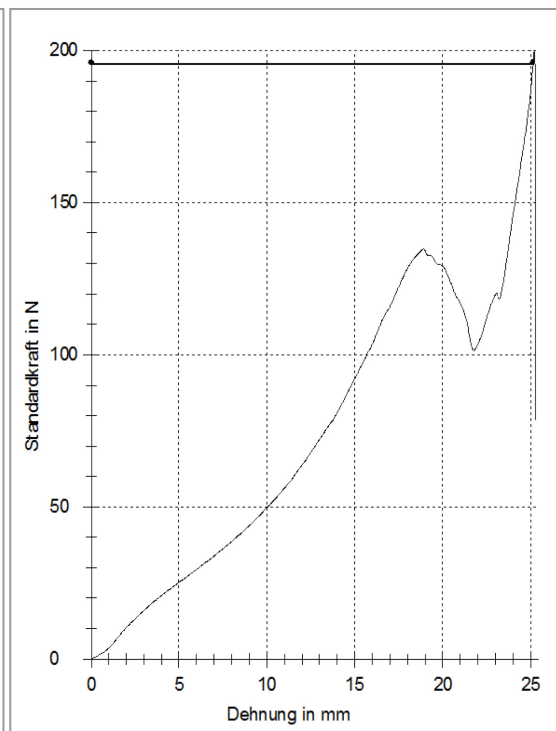


Abbildung 45: Exemplarische Messkurve der Texturprüfung der kommerziellen Rohwurstproben (Referenzprobe)

4.1.9 Begleitende analytische Messungen der Wurst mit vorfermentiertem Fett

Es wurden zur analytischen Bewertung des Herstellungsverfahrens und der daraus resultierenden Produkte der Fettgehalt nach 14 Tagen Reifung, der Restnitritgehalt und der Umrötungsgrad nach 30 Tagen bestimmt.

Der Fettgehalt der Produkte lag durchschnittlich bei $30,2 \pm 4,5$ %. Die Schwankungen bei den Messungen sind durch das grobe Schnittbild und die damit einhergehende inhomogene Verteilung der Fettbestandteile begründet. Der rechnerische Wert lag bei 28,15 % und somit unterhalb des gemessenen Wertes.

Der Umrötungsgrad der Proben lag bei 33,6 % und ließ eine stabile Pökelfarbe erkennen. Diese liegt bei einem Umrötungsgrad von über 30 % vor. Eine weitere Steigerung ist durch einen höheren Einsatz von Ascorbinsäure bzw. Ascorbat denkbar.

Der Restnitritgehalt der Würste lag nach 14 Tagen durchschnittlich bei $18,56 \pm 0,16$ ppm. Der gesetzlich vorgeschriebene maximale Restnitritgehalt von 50 ppm wurde damit unterschritten. Durchschnittlich wurde von KÜHNE bei 49 Rohwürsten von 1997 – 2003 ein durchschnittlicher Restnitritgehalt von 13,2 ppm ermittelt wobei der maximal ermittelte Wert bei 84,3 ppm lag (KÜHNE 2003). Die Variationsbreite der untersuchten Rohwürste sowie der dadurch sehr differenzierte Ausreifegrad sind Gründe für die Spannweite der Restnitritgehalte. Die nach dem entwickelten Verfahren hergestellten Rohwürste entsprechen den gesetzlichen Bestimmungen.

4.1.10 Bewertung der Rohwürste mit vorfermentiertem Fett nach DLG-Schema

Zur Erfassung der Produktqualität wurden Prüfungen anhand des DLG-Schemas für Rohwurst vorgenommen. Bei der Auswertung des DLG-Bewertungsschemas für Rohwurst ergibt sich zum Ende eine Qualitätszahl, welche in Verbindung mit einer Auszeichnung gebracht wird. Bei den untersuchten Proben wurde eine Qualitätszahl von 4,1 von 5,0 erreicht, was einer Bronzemedaille entspricht. Die Produkte wurden damit qualitativ gut bewertet. Zur Verbesserung kann bei einer Verfahrensimplementierung auf die Hinweise der Testpersonen eingegangen werden. Zur Verdeutlichung sind die unterschiedlichen Kategorien der Bewertungen in Abbildung 46 dargestellt.

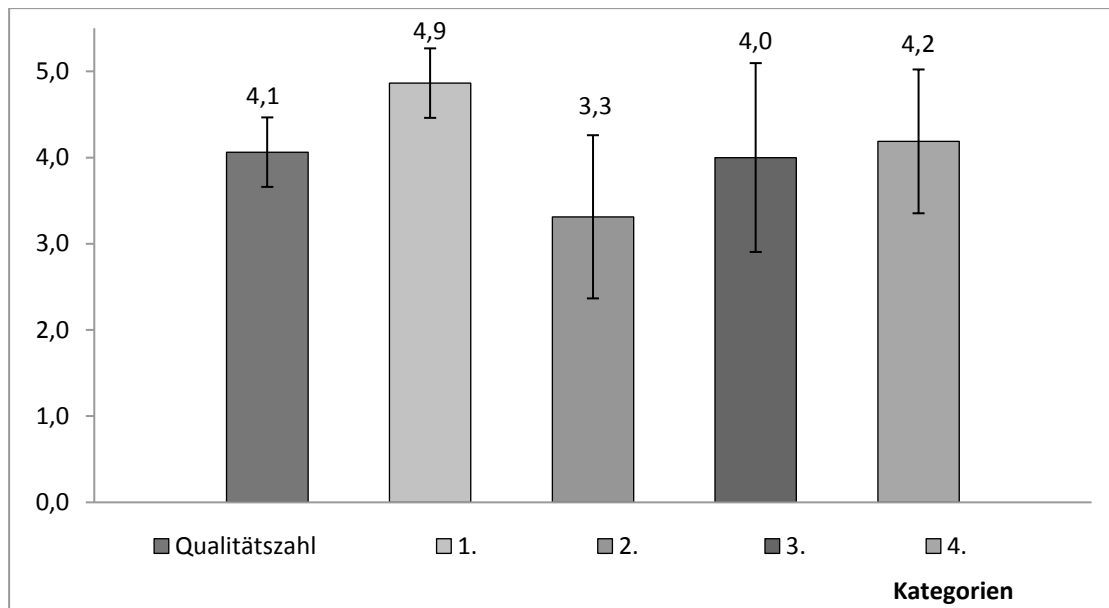


Abbildung 46: Auswertung der DLG Prüfbögen von Rohwürsten mit vorfermentiertem Fett nach Qualitätszahl und einzelnen Kategorien: 1. Äußeres; 2. Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung; 3. Konsistenz; 4. Geruch und Geschmack

Jede Kategorie konnte mit maximal 5 Punkten bewertet werden. Die geringste Abwertung erfolgte im Bereich Äußeres. In den Bereichen Konsistenz sowie Geruch und Geschmack wurden die Abwertungen entsprechend der individuellen Wahrnehmung der Prüfer getroffen. Die Bewertungen waren teilweise widersprüchlich. Es wurde von unterschiedlichen Prüfern sowohl für Würzung zu stark als auch für Würzung zu schwach abgewertet. Bei der Konsistenz zeigt sich ein ähnliches Bild zwischen zu weich und zu hart. Die größte Abwertung lag im Bereich Aussehen, Farbe, Farbhaltung und Zusammensetzung und bezog sich größtenteils auf die Größe der Fettpartikel sowie deren ungleichmäßige Verteilung. Der Produktionsprozess kann entsprechend den Hinweisen der Prüfpersonen angepasst werden. Konkret bedeutet das, die Fettstücke kleiner zu gestalten und eine gleichmäßige Verteilung zu realisieren. Es ist darauf zu achten, die Endpartikelgröße des Fettes erst nach der Vorfermentation einzustellen, ansonsten kann es zu einem zu starken Fettaustritt vor der Brätbereitung kommen, wodurch sich die Strukturbildung und das Schnittbild verschlechtern.

Während der Verkostungen wurden die Prüfpersonen gebeten, die Produkte preislich einzuordnen. Anhand dessen kann die erfolgreiche Entwicklung des Verfahrens auch aus wirtschaftlicher Sicht bestätigt werden. Es wurde ein Durchschnittspreis von 2,10 € / 100 g angegeben. Das nach dem neuartigen Verfahren hergestellte Wurstprodukt lag damit im mittleren Preisbereich für Rohwurstzeugnisse. Bei einem berechneten Produktionspreis von 6,74 € / kg ergibt sich ein Faktor von 3,12 und eine Marge von 14,26 € / kg.

4.1.11 Zusammenfassung der Verfahrensentwicklung – „vorfermentiertes Fett“

Die Entwicklung des neuartigen Herstellungsverfahrens von Rohwurst mit dem Aroma lang gereifter Rohwurst war erfolgreich, da eine Produktion von schnittfester Rohwurst nach 7 Tagen Reifung erzielt und ein entsprechendes Aroma erreicht wurde. Während der Entwicklung

stellten sich einige technologische Probleme als zentral heraus. Die Beschleunigung der Fermentation sowie die Anreicherung der Mikroorganismen im Fett waren gut zu realisieren. Es konnte eine Keimzahlerhöhung der Laktobazillen auf $>10^8$ KBE / g am Herstellungstag erreicht werden. Die Einbindung des fermentierten Fettes in die Rohwurstmatrix war aufgrund der guten mikrobiologischen Anfangsbedingungen schwieriger in der Umsetzung, da aus der guten Nährstoffversorgung, insbesondere dem Kohlenhydratzusatz, eine starke Milchsäureproduktion folgte. Daraus resultierten Produktfehler in Form von Farbabweichungen und einer schlechten säurelastigen Aromabildung. Die Farbe wurde zu blass und verschob sich in den Rosabereich, was optisch gegartem Fleisch glich. Die Herausforderung bestand darin, die Wasserabgabe schneller zu verwirklichen und gleichzeitig die Milchsäurebildung einzuschränken, da sonst eine beschleunigte Produktion von angestrebt 7 Tagen nicht zu realisieren war.

Die Wasserabgabe erfolgte vor der Brätbereitung, da die Beeinflussung des Wassergehaltes nachfolgend wesentlich erschwert wäre. Aus der Reduktion des Wasseranteils folgte eine Einschränkung der Milchsäureproduktion, die die Fermentation mit dem gewünschten Erfolg der Produktionszeitverkürzung steuerbar machte.

Die Reduktion des Wassergehaltes hatte einen negativen Einfluss auf die Textur der Produkte. Es konnte keine Schnittfestigkeit aufgebaut werden, da die aktiven Proteine an der Magerfleischoberfläche durch die Trocknung geschädigt wurden. Durch Anpassung der Trocknung, den Einsatz verschieden stark getrockneter Fleischfraktionen und originärem Magerfleisch sowie Natriumdiphosphat zur Verbesserung der Proteinlöslichkeit der Magerfleischproteine konnte dem entgegengewirkt werden. Das originäre Magerfleisch wurde dazu mit Natriumdiphosphat zu einer Farce verarbeitet, die die restlichen Brätpartikel (Magerfleisch und Fett) umhüllte und aktivierte Proteine für die Oberflächenbenetzung und die Gelbildung verfügbar machte. Bei Unterschreitung des Isoelektrischen-Punktes von pH 5,3 kam es zum Sol-Gel-Übergang und die Schnittfestigkeit wurde ausgebildet.

Anschließend wurde das Verfahren auf seine Verarbeitungseignung mit einer handelsüblichen Gewürzmischung geprüft sowie eine Produktion ohne den Einsatz von Klima-Reifetechnik realisiert. Da ein Teil des Wasserentzugs vor der Brätbereitung durchgeführt wurde, wurden die Produkte während der Reifung unempfindlicher gegenüber Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen. Die Unempfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen resultierte aus dem Aufbau der Trocknungshürde zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Reifung. Es musste beachtet werden, dass ein geeigneter Anteil von 50 - 55 % Wasser im Brät verbleibt, sodass die Milchsäurebakterien ihren Stoffwechsel bis zum Erreichen des gewünschten pH-Wertes aufrechterhalten. Bei der produzierten Wurst lag der erreichte minimale pH-Wert bei ca. 5,1.

Wirtschaftlich birgt das Verfahren großes Potential, da die Rohwurstproduktion für Betriebe ermöglicht wird, die nicht über Klimatechnik verfügen. Bei konventioneller Rohwurstproduktion ist ohne Klimaregelung das wirtschaftliche und gesundheitliche Risiko sonst unzureichend überschaubar.

4.2 Ergebnisse Einsatz kohlenhydratreicher Einlagen

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Vorfermentationsverfahrens für schnittfeste Rohwurst wurde eine Unempfindlichkeit des Fermentationssystems gegen äußere Einflüsse wie Luftfeuchteschwankungen oder Temperaturschwankungen beobachtet. Weiterhin wurde die Einschränkung der pH-Wert-Entwicklung durch den Wasserentzug ermittelt. Daraus resultierte die Überlegung, dass diese Einschränkung das Fermentationssystem gegen die Auswirkungen eines Kohlenhydratüberschusses schützt. Zusätzlich zu einer Verringerung der Fehler wie Trockenrandbildung oder Kernfäule kann gefolgert werden, dass sich ein neues Feld von Rohwurstzutaten eröffnet. Es wird bei einer Unempfindlichkeit gegen Kohlenhydratüberschuss möglich, kohlenhydratreiche Lebensmittel ohne Fehlfermentation in Form einer zu starken Milchsäurebildung dem Brät zuzusetzen. Zum Nachweis wurden innerhalb dieser Arbeit exemplarisch verschiedene Brotsorten eingesetzt.

4.2.1 Bestimmung des Kohlenhydrateinflusses

Zunächst sollte der Einfluss der Trocknung auf den Fermentationsverlauf bei erhöhtem Glucosegehalt geprüft werden und so ein Rückschluss auf die geeignete Trocknungsintensität gezogen werden. Der durchschnittliche Ausgangswassergehalt vom Brät der finalen Rezeptur bei der Entwicklung des Herstellungsverfahrens mit fermentiertem Fett und getrocknetem Magerfleisch lag bei $51,3 \pm 3,73$ %. Dieses bietet einen Anhaltspunkt bei welchem Wert sich eine gute Texturierung verbunden mit einer geeigneten Fermentation ohne starke pH-Wert-Senkung ergibt. Damit der Einsatz von kohlenhydratreichen Einlagen ermöglicht werden kann, wurden Rohwurstproben nach der Rezeptur aus Tabelle 13 und ohne vorgelagerte Fermentation des Fettes hergestellt, bei denen die Magerfleischfraktionen wie zuvor schonend ohne Temperatureinwirkung getrocknet wurden. Die Reifung der Würste erfolgte bei einer Temperatur von 20 °C und einer rel. Luftfeuchte von 85 %.

Die Abbildung 47 zeigt den pH-Wert-Verlauf von Rohwürsten, die mit 1,0 % Glucosezugabe und unter Verwendung unterschiedlich getrockneter Magerfleischfraktionen produziert wurden. Es haben sich zwei wesentlich verschiedene Verläufe des pH-Wertes, abhängig vom Wassergehalt, ausgebildet. Die Proben ohne Trocknung und mit 1 Stunde Trocknung besaßen mit 59,3 % und 55,2 % ausreichend Wasser für mikrobiologische Prozesse, sodass die Fermentation mit einer ausgeprägten Milchsäurebildung ablaufen konnte. Die pH-Werte der Proben blieben bis zum zweiten Tag nach der Herstellung bei ca. 5,5 konstant und fielen dann am dritten Tag auf 5,34 (ohne Trocknung) und 5,44 (1 Stunde Trocknung). Bis zum siebten Tag fielen die pH-Werte beider Proben gleichmäßig auf 4,77 (ohne Trocknung) und 4,90 (1 Stunde Trocknung). Anschließend glichen sich die Proben bei einem Wert um 4,9 an und zeigten am Tag 14 nach der Produktion einen leichten Anstieg auf einen Wert vor 5,0. Die Entwicklung der pH-Werte war typisch für die zugegebene Glucosemenge und die Aromaausbildung war rohwrursttypisch. Es zeigten sich keine Probleme bei der Texturierung der Proben.

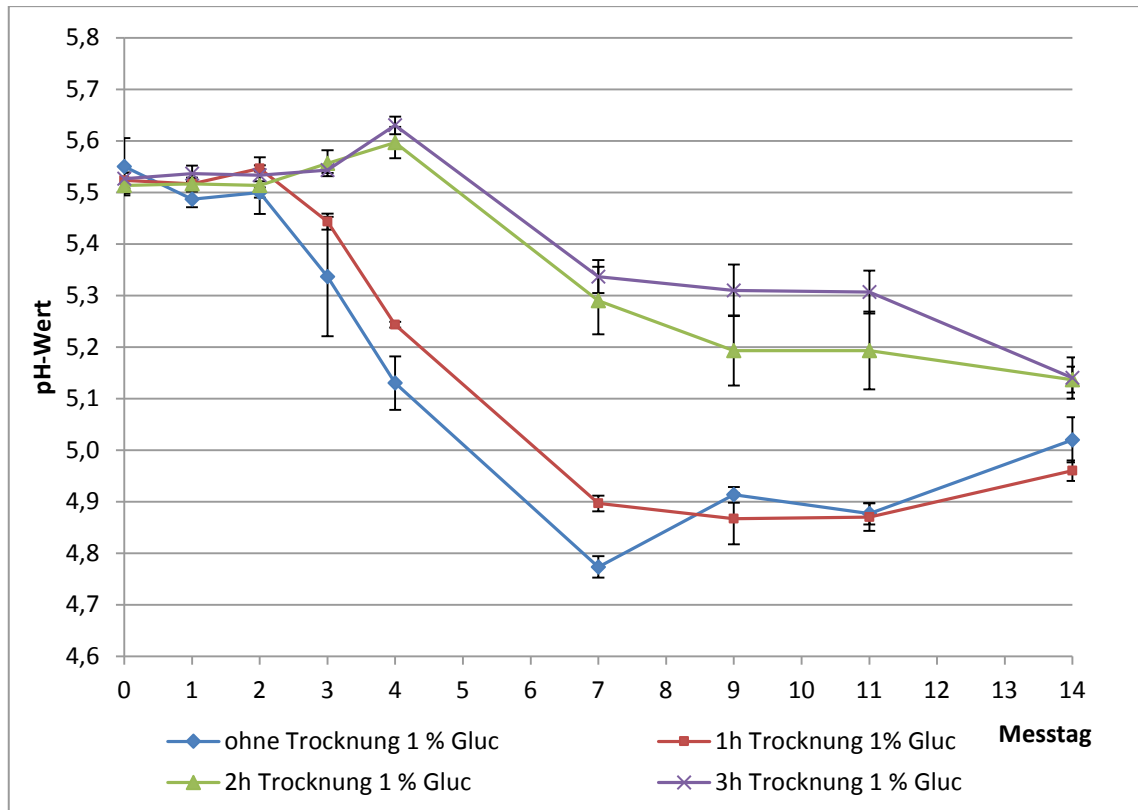


Abbildung 47: pH-Wert-Verläufe von Rohwürsten mit verschiedenen Vortrocknungsgraden unter Verwendung von 1 % Glucosezusatz

Die beiden Proben mit längeren Trocknungszeiten (3 h, 4 h) zeigten einen veränderten pH-Wert-Verlauf, analog zu den Vorversuchen zur Trocknung beim Einsatz von fermentiertem Fett (Abbildung 18). Die pH-Werte beider Proben verliefen bis auf geringe Abweichungen gleich. Es kam nach einer konstanten Phase (bis zum 2. Tag) zunächst zu einem Anstieg des pH-Wertes um ca. 0,1 Punkte und auf 5,6 bis zum 4. Tag. Anschließend folgte ein Abfall auf einen Wert von ca. 5,3 am 7. Tag. Die Probe mit 3 h getrocknetem Magerfleisch blieb bis Tag 11 bei 5,3, die Probe mit 2 Stunden Trocknung fiel auf 5,2. Bis zum Tag 14 pendelten sich die Werte zwischen 5,1 und 5,2 ein.

Es wurde deutlich, dass es ab einem Grenzwert, der unter einem Wassergehalt des Brätes von 50 % lag, zu einer Veränderung der Fermentationsverläufe kam. Die Veränderung war durch die stärkere Trocknung nicht wesentlich deutlicher, sondern die Verläufe von zwei und drei Stunden Trocknung waren sehr ähnlich und wiesen nicht die gewöhnliche pH-Wert-Senkung nach der Anpassungsphase (Lag-Phase) der ersten Tage auf. Die Verläufe des Wassergehaltes zeigten, dass sich der Wassergehalt der beiden Proben angeglichen hatte, was die ähnliche pH-Wert-Entwicklung erklärt. Der niedrigere Ausgangswassergehalt wurde durch eine geringere Wasserabgabe kompensiert.

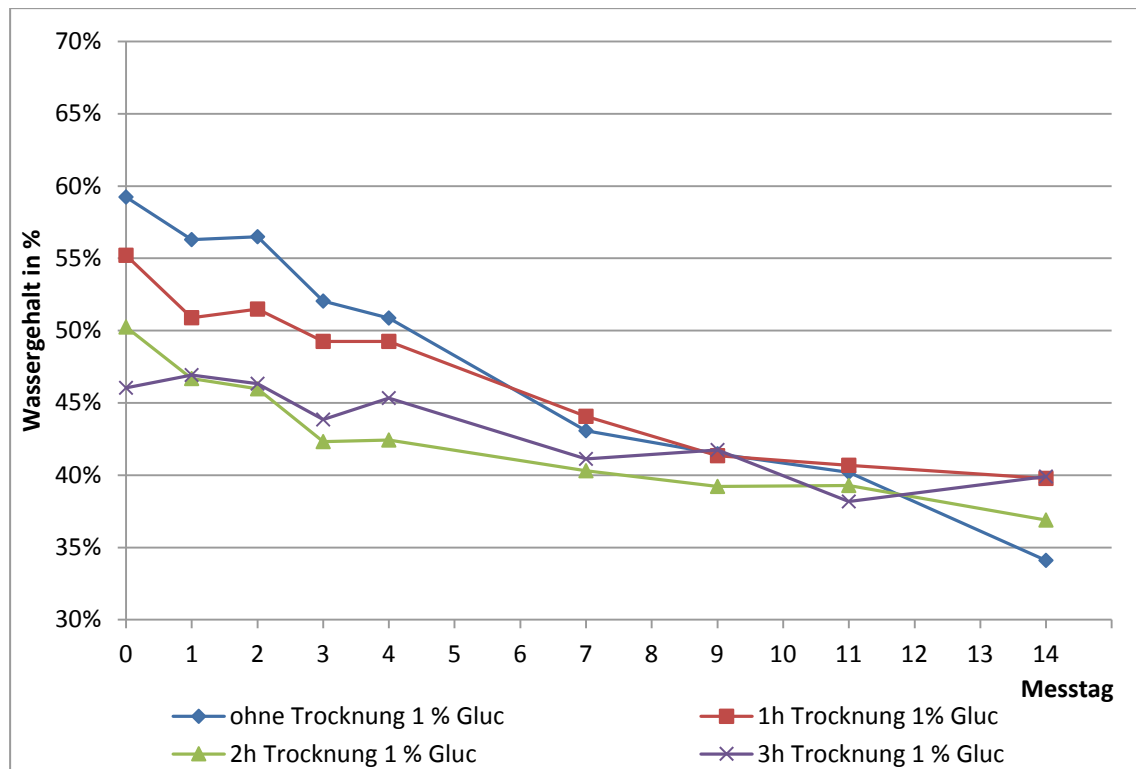


Abbildung 48: Wassergehaltsentwicklung von Rohwurstproben mit 1 % Glucoseinsatz und unterschiedlichen Trocknungszeiten von Magerfleisch

Die Ausgangswassergehalte lagen nach 2 Stunden Trocknung bei 50,3 % und bei 3 Stunden bei 46,1 %. Die Entwicklung des Wassergehaltes war durch die gesteuerte Umgebungsfeuchte bedingt und glich sich nach 7 Tagen Reifezeit an. Durch die verschiedenen Ausgangswassergehalte wurde Wasser verschieden stark an die Umgebung abgegeben. Je weniger Wasser die Wurst bei Beginn der Reifung besaß, desto weniger gab sie im Verlauf ab. Der Wassergehalt der Proben ohne Trocknung entwickelte sich von 59,3 % auf 34,1 % am 14. Tag und war damit der geringste Wassergehalt aller Proben der Versuchsreihe. Der Wassergehalt der Würste mit 1 Stunde Trocknung fiel von 55,2 % ebenfalls gleichmäßig auf 39,9 %. Die Probe mit zwei Stunden Trocknung zeigte nach 24 Stunden einen Abfall des Wassergehaltes auf 46,9 %, während die Probe mit drei Stunden Trocknung einen Anstieg auf den gleichen Wert zeigte. Die Entwicklung der Probe mit 3 Stunden Trocknung ist auf die Umgebungsfeuchte zurückzuführen. Durch die Wasserabgabe der feuchteren Proben, war die rel. Luftfeuchte in der Umgebung der trockeneren Würste erhöht und es wurde kein Wasser abgegeben. Da im Reifeverlauf alle Proben gleichmäßig Wasser abgaben und die Umgebungsfeuchte reduziert wurde, wurde die Wasserabgabe zum späteren Reifezeitpunkt möglich. Der Wasseraustausch unter den Proben spielte anfänglich eine Rolle, war aber als unbedeutend einzuschätzen, da sich die Feuchtegehalte der Proben angleichen. Der Fokus lag auf der absoluten Gleichheit der Ausgangsrohstoffe und der Reifebedingungen. Der Umstand, dass die Proben einer unterschiedlich feuchten Luft zur Trocknung ausgesetzt wurden, wurde hier toleriert. Es sollten in speziellen Effekte durch eine Abweichung der Fleischqualität eliminiert werden, da deren Einfluss größere Abweichungen hervorgerufen hätte. Für eine Umsetzung in eine Produktion

wäre der Wasseraustausch auf Grund der Feuchteregelung in einer Klimakammer auch bei hoher Beladungsdichte unproblematisch, da eine Regelung der Feuchte und Luftgeschwindigkeit erfolgt.

Im Folgenden war es notwendig, den Ausgangswassergehalt so einzustellen, dass es zu einer pH-Wert-Senkung am Anfang der Reifung kommt, die unabhängig von der Kohlenhydratkonzentration durch den geringen Wassergehalt eingeschränkt wird. Als Zielwert wurde ein Wassergehalt zwischen 50 und 55 % gesehen.

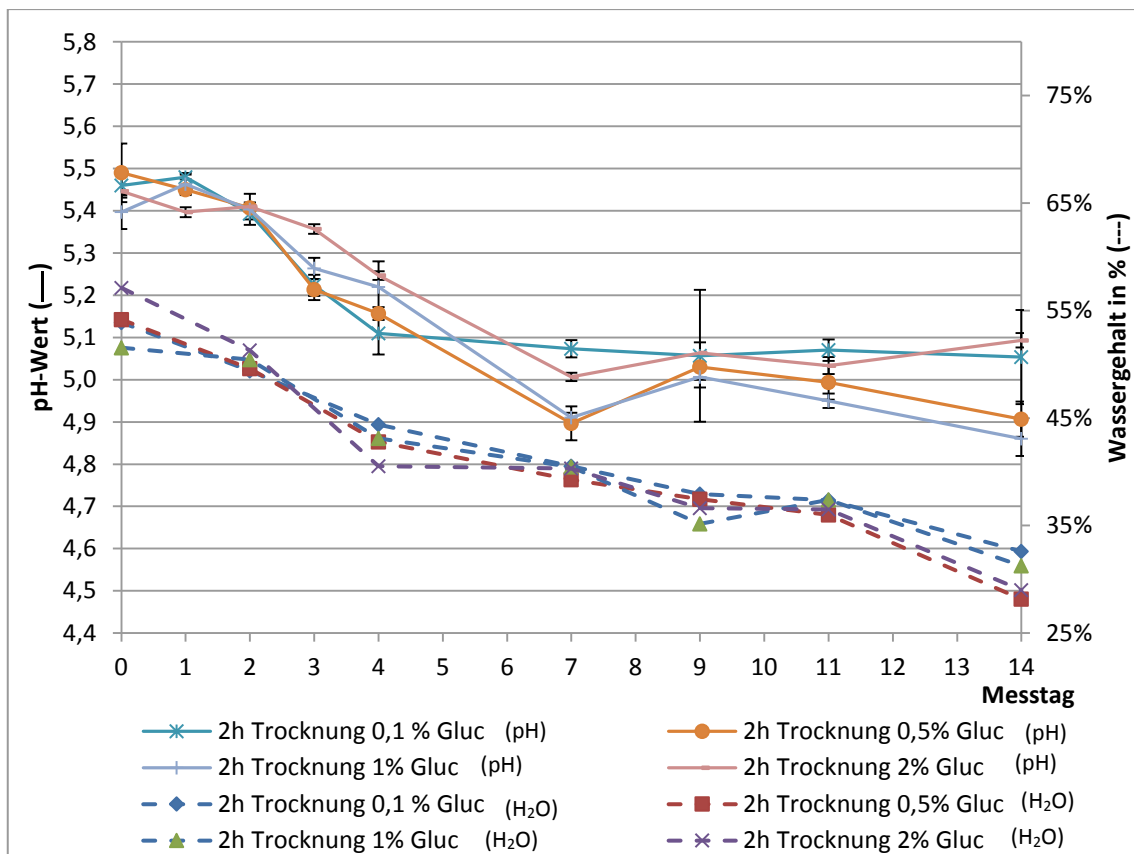


Abbildung 49: Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalt-Verläufe von Rohwürsten mit zweistündiger Magerfleischvortrocknung bei unterschiedlichen Glucosekonzentrationen

Eine Trocknungszeit des Magerfleisches von zwei Stunden hatte einen Wassergehalt in dem gewünschten Bereich zwischen 55 % und 50 % zur Folge. Beim Einstellen des Wassergehaltes des Bräts traten teilweise Schwankungen von bis zu 5 % auf. Diese waren auf die Inhomogenität der Rohstoffe zurückzuführen, da die Magerfleischpartikel je nach Größe, Oberfläche und Lage während der Trocknung unterschiedliche Trocknungsergebnisse zeigten. Alle Proben in Abbildung 49 wurden aus einer Gesamt-Brätmasse unter Zumischung der jeweiligen Glucosekonzentration hergestellt. Bei Betrachtung der pH-Wert-Verläufe zeigte sich, dass es in allen Fällen zu einer Abnahme des pH-Wertes kam. Der Gradient war dabei geringer als bei einer konventionellen Herstellung. Die Senkung fand verzögert statt. Die Minima der pH-Werte lagen dabei zwischen 5,0 und 4,9. Einzige Ausnahme bildete die Probenreihe mit 0,1 % Glucose, bei der das Minimum bei 5,1 lag. Die geringe Glucosekonzentration war der limitierende Faktor für die pH-Wert-

Senkung und nicht die Einschränkung des Wassergehaltes, was sich mit den Ergebnissen aus Abbildung 18 deckt. Bei den anderen Proben wurde die pH-Wert-Absenkung durch die Einschränkung des Wassers begrenzt.

Feste Bedingung	Variable Bedingung	Ausgangswassergehalt Brät	pH-Minimum	Tag des Erreichens
0,1 % Glc.	ohne Trocknung	60,35	5,1	7
	1h Trocknung	52,33	5,1	5
	2h Trocknung	53,53	5,1	5
	3h Trocknung	43,65	5,3	14
1,0 % Glc.	ohne Trocknung	59,25	4,8	7
	1h Trocknung	55,2	4,9	7
	2h Trocknung	50,25	5,1	14
	3h Trocknung	46,05	5,1	14
2h Trocknung	0,1 % Glc.	53,9	5,1	4
	0,5 % Glc.	54,18	4,9	7
	1,0 % Glc.	51,55	4,9	7
	2,0 % Glc.	57,13	5	7

Tabelle 24: Ausgangswassergehalte, pH-Wert-Minima und Tag der pH-Wert-Minima während der Reifung in Abhängigkeit der Trocknungsdauer bei verschiedenen Glucosekonzentrationen

In Tabelle 24 sind der Ausgangswassergehalt, das pH-Minimum und der Tag des Erreichens des pH-Minimums in Abhängigkeit der Parameter Glucosekonzentration und Trocknungsgrad zusammengefasst. Dargestellt sind die minimalen pH-Werte, der Ausgangswassergehalt des Brätes sowie der Tag des Erreichens des minimalen pH-Wertes. Die Tabelle unterteilt sich in 3 Teilbereiche mit jeweils festen Parametern. Unterteilt wurde in 0,1 % Glucose, 1,0 % Glucose und 2 h Trocknung. Innerhalb der Unterteilungen wurden jeweils variable Parameter gewählt, die verglichen wurden. Bei den Würsten mit fester Glucosekonzentration wurde der Trocknungsgrad variiert, bei den Proben mit 2 Stunden Trocknungszeit wurde die Glucosekonzentration verändert.

Tendenziell ist zu erkennen, dass bei geringerem Ausgangswassergehalt, also fortschreitender Magerfleisch-Trocknungszeit, das pH-Wert Minimum später erreicht wurde. Auch die Ausprägung der pH-Wert-Senkung wurde durch Glucosekonzentration und Wassergehalt beeinflusst. Die Konzentration an zugesetzten Kohlenhydraten hat die in der Literatur beschriebene Wirkung (LÜCKE 1985), dass bei Erhöhung mehr Milchsäure gebildet wird und der pH-Wert stärker fällt. Die Einschränkung des verfügbaren Wassers hatte eine Begrenzung des pH-Wert-Minimums zur Folge. Zusätzlich trat die Einschränkung des minimalen pH-Wertes durch eine Beschränkung der zugegebenen Kohlenhydratmenge weiterhin auf. Dadurch wurde beispielsweise bei einer Konzentration von 0,1 % Glucose der pH-Wert von 5,1 nicht unterschritten.

Bei einer Reduzierung des Wassergehaltes auf einen Wert von 50 % und darunter trat eine deutliche Veränderung der Reifekinetik ein. Das Absinken des pH-Wertes war verlangsamt und das Minimum wurde wesentlich später, nach 14 Tagen, erreicht. Mit dieser Reifung konnte keine

sichere Produktion gewährleistet werden, da der länger bestehende hohe pH-Wert ein ungünstiges Keimwachstum bewirkte. Aus Sicht der Verfahrensentwicklung kann gefolgert werden, dass der vermutete Wassergehalt zwischen 50 und 55 % bestätigt wurde, um die gewünschte Milchsäurebildung und die Einschränkung des pH-Minimums zu erreichen.

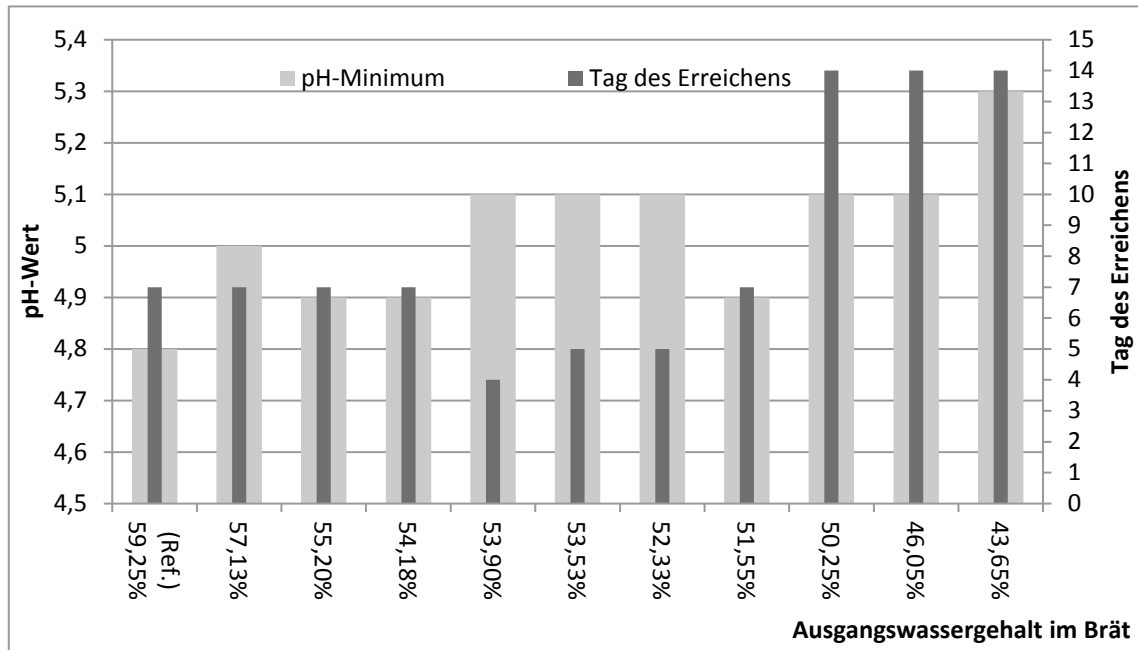


Abbildung 50: pH-Wert-Minimum während der Reifung von Rohwürsten bei unterschiedlichem Ausgangswassergehalt sowie der Tag des Erreichens des minimalen pH-Wertes

Koppelt man die Ergebnisse vom Glucosegehalt ab und betrachtet die pH-Wert-Minima und die Zeit bis zu deren Erreichen geordnet nach dem Anfangswassergehalt, wird deutlich, dass es zu einer Gleichschaltung der pH-Wert-Entwicklung kommt. Die Zeit bis zum Erreichen des minimalen pH-Werts ändert sich bei einer Abnahme des Anfangswassergehalts zu Beginn kaum. Dass der minimale pH-Wert bei einem Ausgangswassergehalt von über 50 % teilweise früher erreicht wurde, liegt zum Teil daran, dass der minimale pH-Wert geringer ist als bei Proben mit höherer Kohlenhydratkonzentration. Der pH-Wert von 5,1, den auch die Proben mit geringer Kohlenhydratzugabe erreichten, stellte sich bei einem Ausgangswassergehalt von über 50 % nach 4-5 Tagen ein. Die Verschiebung dieses Zeitpunktes nach hinten (14 Tage) erfolgte erst ab einem Anfangswassergehalt unter 50 %. Aus den Ergebnissen kann die Möglichkeit einer Steuerung der pH-Wert-Entwicklung während der Fermentation durch den Wasserentzug abgeleitet werden. Dabei wird der minimale pH-Wert eingeschränkt, sodass es auch bei einer Erhöhung der Kohlenhydratkonzentration nicht zu einer zu starken Absäuerung kommt. Die milchsäurebezogene Reifezeit wird dadurch wenig beeinflusst, da die Zeit zum Erreichen des Minimums gleich bleibt. Eine Verkürzung der Reifung ist dennoch denkbar, da die Zeit des Wasserentzugs analog zum Verfahren der Vorfermentation des Fettes reduziert ist und die Texturbildung durch die Trocknung wesentlich beschleunigt abläuft.

4.2.2 Integration von Brot

Nachfolgend zu den Versuchen zur Beeinflussung der Fermentation durch den Wasserentzug sowie in diesem Zusammenhang durch die Kohlenhydratkonzentration sollten Einlagen aus Brot in die Brätmatrix integriert werden. Brot wurde repräsentativ als kohlenhydratreiches Material gewählt. Bei erfolgreicher Integration und positivem Reifeverlauf ist eine weitere Anwendung anderer kohlenhydratreicher Einlagen angedacht. Dabei kommen z.B. getrocknete oder kandierte Früchte in Betracht. Eine Verwendung von solchen Produkten in Rohwurst war bisher generell nicht möglich.

Während der Verarbeitung traten bei verschiedenen Prozessschritten starke mechanische Belastungen auf. Das betraf den Mischprozess, der zum Einbringen der Brotpartikel in das Brät notwendig war, und insbesondere den Füllvorgang, bei dem das Wurstbrät und die Brotpartikel durch Druck in die Wursthülle gefüllt wurden. Es wurde ein für die Verarbeitung des Brotes notwendiger Trocknungsschritt durchgeführt, um einen mechanischen Schutz zu erzeugen. Dafür wurde das Brot auf ca. 4 mm x 4 mm gewürfelt und bei 80 °C für 60 min getrocknet.

Tabelle 25: Ausgangswassergehalte sowie Wassergehalte nach der Trocknung der eingesetzten Brotsorten für die Verwendung in Rohwurst

Brotsorte	Wassergehalt
Weißbrot nativ	39,0 ± 0,30 %
Weißbrot getrocknet	7,9 ± 0,23 %
Graubrot nativ	59,5 ± 1,85 %
Graubrot getrocknet	21,2 ± 6,27 %
Schwarzbrot nativ	59,4 ± 1,49 %
Schwarzbrot getrocknet	25,4 ± 5,97 %

Die in Tabelle 25 angegebenen Brotsorten wurden als Einlagenmaterial in das Salamibrät eingearbeitet und entsprechend durch Trocknung vorbehandelt. Dadurch konnte verhindert werden, dass weiteres Wasser ins Brät eingebracht wurde und das Brot als „Feuchtigkeits- und Kohlenhydratnest“ eine Fehlreifung hervorruft. Der Wassergehalt von Weißbrot sank durch die Trocknung von 39,0 % auf 7,9 %. Die Brotsorten Graubrot und Schwarzbrot hatten höhere Wassergehalte von 59,5 % und 59,4 %. Diese sanken auf 21,2 % bei Graubrot und 25,4 % bei Schwarzbrot. Zusätzlich wurde die Struktur durch die Trocknung gefestigt, damit das Brot beim Füllen nicht komprimiert wurde. So konnte die native Krumenstruktur des Brotes bewahrt werden. Die Trocknung wurde bei einer höheren Temperatur als bei dem Magerfleischmaterial durchgeführt, da eventuelle Denaturierungserscheinungen nicht berücksichtigt werden mussten.

Brotwurst - Versuchsreihe ohne Vortrocknung

Das Einbringen von kohlenhydrathaltigen Einlagen war bei der konventionellen Herstellung bisher nicht möglich. Der Unterschied sollte durch einen Vergleich ohne einen vorherigen Wasserentzug nachgewiesen werden. Die verwendeten Zutaten, die Trocknungszeit des Magerfleisches und die zugegebene Kohlenhydratkonzentration der Versuchsreihen kBoT, WBoT, GBoT und SBoT sind in Tabelle 26 angegeben. Die zugegebene Masse an Brot lag jeweils bei ca. 8 %. Das große Volumen des getrockneten Brotes beschränkte die Menge der Zugabe, da das Brot selber nicht in der Lage war, eine Bindung aufzubauen. Die Brotpartikel durften sich aus diesem Grund innerhalb des Brätes nicht berühren, sie mussten von Magerfleisch umhüllt sein. Das Brot nahm während der Reifung Wasser auf und wurde weicher.

Tabelle 26: Zusammensetzung und Einlagemenge der unterschiedlichen Würste mit Broteinlage ohne Magerfleischvorbehandlung

Versuch	Gluc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Zusatz	Zusatz bezogen auf 100 % Brät
kBoT (kein Brot / ohne Trocknung)	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	keine	Ohne	
WBoT (Weißbrot / ohne Trocknung)	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	keine	Weißbrot	8 % Weißbrot
GBoT (Graubrot / ohne Trocknung)	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	keine	Graubrot	8 % Graubrot
SBoT (Schwarzbrot / ohne Trocknung)	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	keine	Schwarzbrot	8 % Schwarzbrot

Die graphische Darstellung der Wassergehalte und pH-Werte ist in Abbildung 51 zu sehen. Entsprechend der Verfahrensführung sind die Ausgangswassergehalte der Proben höher als bei den Versuchen zur Rohwurstherstellung mit fermentiertem Fett und Trocknung des Magerfleisches. Sie lagen zwischen ca. 59 % mit Broteinlagen und ca. 64 % ohne Brotzugabe. Die Wasserabgabe erfolgte im Zeitraum von 14 Tagen auf ca. 36 % bei allen Proben relativ gleichmäßig. Der Endwassergehalt entsprach damit dem der Proben mit Trocknung des Magerfleisches. Die schnelle Wasserabgabe hatte die Bildung eines Trockenrandes zur Folge.

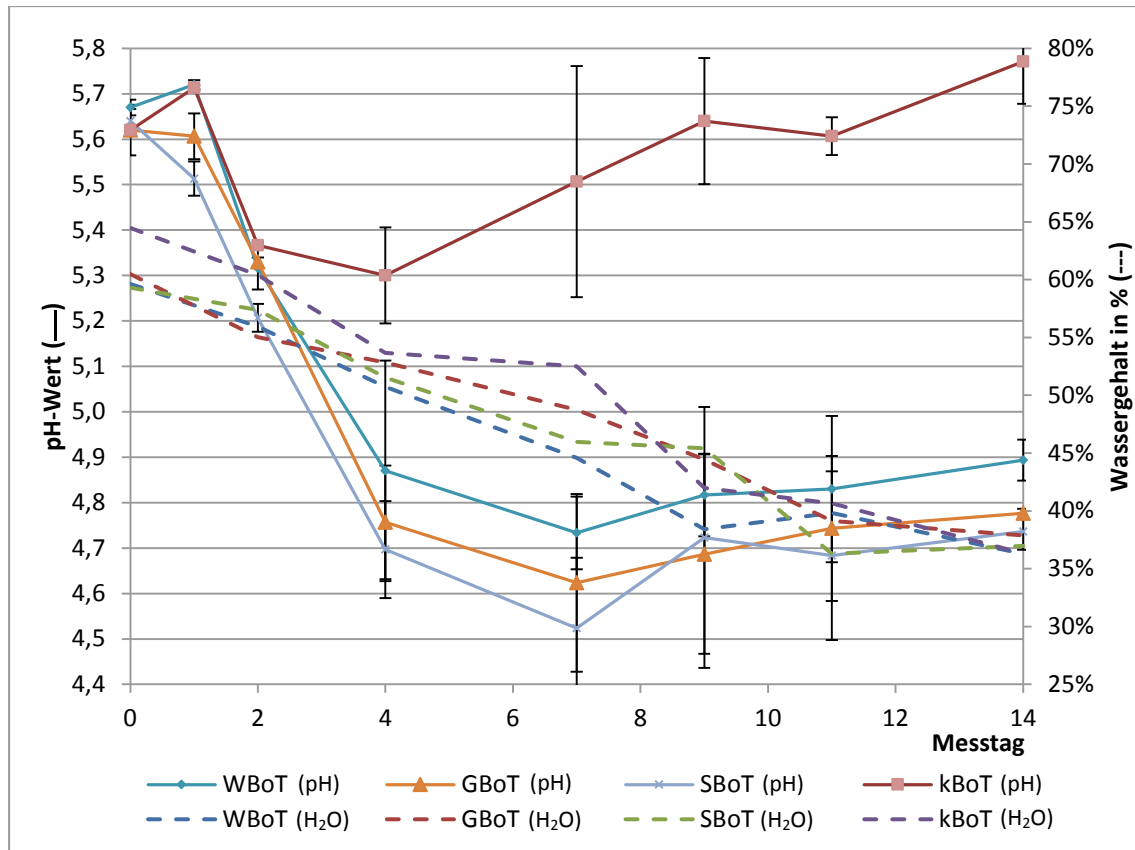


Abbildung 51: Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalt-Verläufe von Rohwürsten ohne Vortrocknung des Magerfleisches unter Zusatz verschiedener Brotsorten (WBOT: Weißbroteinlage ohne Trocknung; GBoT: Graubroteinlage ohne Trocknung; SBoT: Schwarzbroteinlage ohne Trocknung; kBoT: kein Brot ohne Trocknung)

Bei allen Proben kam es nach 24 Stunden zu geringen Veränderungen der pH-Werte. Die Proben ohne Brot und mit Weißbrot zeigten einen Anstieg auf ca. 5,7. Die Probe mit Graubroteinlagen war gleichbleibend bei ca. 5,6. Die pH-Werte der unter Verwendung von Schwarzbrot hergestellten Würste fielen auf ca. 5,5. Die Würste mit Broteinlage zeigten vom 1. bis zum 4. Tag eine starke pH-Wert-Senkung auf 4,9 - 4,7. Anschließend wurde ein weiterer Abfall auf ca. 4,75 bei Weißbrot, 4,65 bei Graubrot und 4,5 bei Schwarzbrot am 7. Tag verzeichnet.

In den Tagen 9 - 14 kam es zu einer Stabilisierung der pH-Werte bei Werten von ca. 4,8 bei allen Proben mit Broteinlage. Die Proben ohne Brot zeigten eine abweichende pH-Wert-Entwicklung. Nach einem Abfall am 2. Tag auf 5,5 und 5,3 am 3. Tag folgte ein Anstieg auf 5,5 am 7. Tag, 5,6 am 9. sowie 12. Tag und schließlich 5,8 am 14. Tag.

Die fortschreitende Proteolyse hatte Auswirkungen auf den Geruch, das Aussehen und die Textur. Die Proben ohne Broteinlage hatten einen ammoniakalischen Geruch und wurden als verdorben eingestuft. Zudem wiesen sie eine schleimige, nicht feste Struktur auf, in der die Fleischpartikel lose vorlagen.

Die Proben mit Broteinlage waren schnittfest. Durch die anfänglich starke Wasserabgabe hatte sich ein Trockenrand gebildet. Die stark ausgeprägte Säuerung hatte im Inneren der Würste

Denaturierungserscheinungen hervorgerufen. Das Aroma war dominant von Säure beeinflusst, dadurch wiesen die Würste einen beißenden milchsauren Geruch auf.

Eine Produktion von Rohwürsten mit Broteinlage ohne Qualitätsmängel war ohne Einschränkung der Milchsäurebildung nicht möglich. Die Einschränkung war notwendig, um ein genußfähiges Produkt zu erzeugen, andernfalls war die erzeugte Säuremenge so hoch, dass es zu erheblichen Denaturierungserscheinungen und zu schwerwiegenden aromatischen Abweichungen kam. Da eine Konzentrationsverringering der Kohlenhydrate nicht zielführend war, musste eine Steuerung über den Parameter Wassergehalt angestrebt werden.

Brotwurst - Versuchsreihe 1

Durch den Einsatz des erprobten Trocknungsverfahrens, das für die Verwendung des fermentierten Fettes entwickelt wurde, sollten sowohl die Strukturprobleme gelöst werden, als auch die pH-Wert-Entwicklung in der gewünschten Form ablaufen. Es war wichtig, dass der pH-Wert nicht zu stark und zu schnell sank. Das hätte negative Auswirkungen auf die Struktur, das Aroma und die Farbe der Produkte.

Tabelle 27: Zusammensetzung und Trocknungszeiten der Versuchsreihen WB1, GB1 und SB1

Versuch	Glc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Zusatz	Zusatz bezogen auf 100 g Fleischbrät
WB 1	0,1 %	S I 37,5 %; S II 37,5 %; S VIII 25 %	15 % originär; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Weißbrot	8 %
GB 1	0,1 %	S I 37,5 %; S II 37,5 %; S VIII 25 %	15 % originär; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Graubrot	8 %
SB 1	0,1 %	S I 37,5 %; S II 37,5 %; S VIII 25 %	15 % originär; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Schwarzbrot	8 %

Nach 14 Tagen war das Mundgefühl des getrockneten Brotes analog zu dem von nicht getrocknetem Brot. Durch die Trocknung wurde die Krumenstruktur erhalten und das Brot war weiterhin porig. Der Einschluss in das Fleischbrät zeigte keine Beeinflussung der Brotfarbe. Der Wassergehalt des Brotes hatte einen geringen Einfluss auf den Wassergehalt des Gesamtbrätes, was sich in den wenig diversen Ausgangswassergehalten zeigte.

Die Abbildung 52 zeigt die pH-Wert-Entwicklung und den Wassergehaltsverlauf der Proben nach der Zusammenstellung aus Tabelle 27. Die Tabelle beinhaltet die Rohstoffe und das eingesetzte Trocknungsregime zur Magerfleischvortrocknung.

Die Ausgangswassergehalte lagen bei 47 % bis 50 %. Die pH-Werte der Proben mit Broteinlage und Trocknung des Magerfleisches sanken insgesamt nicht so stark und langsamer als bei den Proben mit Broteinlagen ohne Vortrocknung des Magerfleisches. Der Wassergehalt fiel fast linear auf ca. 32 % bei Weiß- und Graubrot. Die Proben mit Schwarzbrot gaben langsamer und damit weniger Wasser, bis zu einem Gehalt von ca. 37 %, ab.

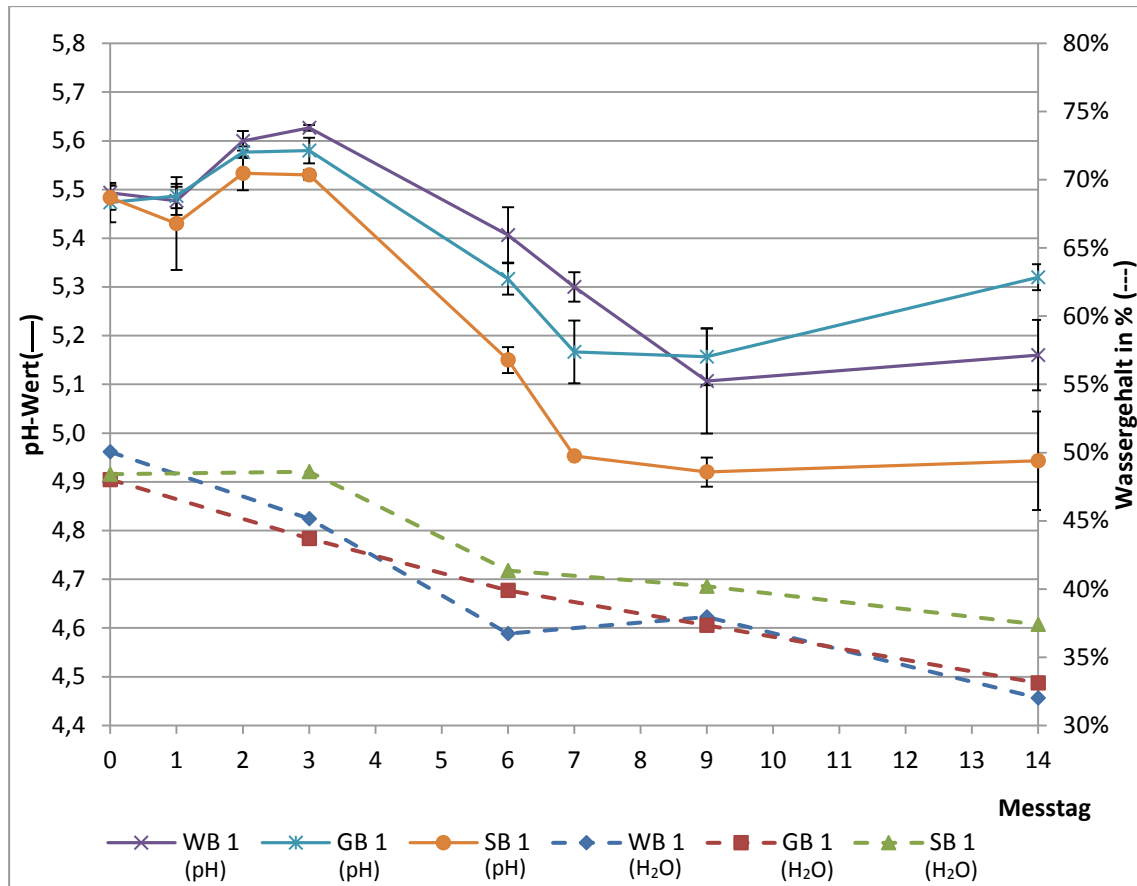


Abbildung 52: Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalts-Verläufe von Rohwürsten unter Verwendung von vorgetrocknetem Magerfleisch und unter Verwendung verschiedener Brotsorten (WB 1: Weißbrotteinlage Versuchsreihe 1; GB 1: Graubrotteinlage Versuchsreihe 1; SB 1: Schwarzbrotteinlage Versuchsreihe 1)

Die erzeugten Würste zeigten trotz der pH-Wert- und Wassergehaltsentwicklung keine ausgeprägte Strukturbildung. Das Fehlen der notwendigen schnittfesten Struktur war auf drei Ursachen zurückzuführen:

1. Die Fettpartikel waren zu zahlreich und zu gering partikuliert, zusätzlich wirkten die Broteinlagen als Störstellen in der Brätmatrix.
2. Die Partikel konnten nicht genügend mit Magerfleischproteinen umhüllt werden, sodass es nicht zur notwendigen Einbindung kam.
3. Der Wassergehalt war mit 50 % bis 47 % niedriger als die avisierten 50 % bis 55 %. Dadurch war die Milchsäurebildung verzögert, was zu einer Verschlechterung der Strukturbildung und nicht zuletzt der Lebensmittelsicherheit führte.

Die Einbindung des Brotes erfolgte aufgrund der mangelnden Strukturbildung unzureichend. Die Brot- und Fettpartikel wurden bei mechanischer Belastung aus der Wurstmatrix gelöst.

Zur Verbesserung der Milchsäurebildung musste der Wassergehalt im avisierten Bereich liegen. Da die schlechte Strukturbildung unter anderem auf den Fettanteil und die Verteilung der Einlagen zurückzuführen war, wurde entsprechend dem Verfahren mit fermentiertem Fett und Trocknung des Magerfleisches der Fettanteil auf 17 % reduziert. Zusätzlich wurde die angestrebte Partikelgröße des Fettes erhöht. Eine Reduktion des Brotanteils war nicht als zielführend anzusehen, da die Einflussnahme der überdosierten Kohlenhydrate auf das Fermentationsverfahren nachgewiesen werden sollte. Gleichzeitig galt es das Brot eindeutig sichtbar und haptisch wahrnehmbar in die Wurstmatrix zu integrieren. Die Verringerung des Fettanteils hatte durch den größeren Anteil Magerfleisch eine gewünschte Erhöhung des Wassergehaltes zur Folge.

Brotwurst - Versuchsreihe 2

Dem Problem der schlechten Strukturbildung wurde durch eine Reduktion des Fettanteils entgegengewirkt. Dadurch waren weniger Störstellen vorhanden, die die Vernetzung der Magerfleischproteine negativ beeinflussten, sodass die Einlagen komplett umhüllt eingebunden wurden. Eine Reduzierung des Fettanteils brachte einen verringerten Energiegehalt aber auch eine Erhöhung des Wassergehaltes mit sich. Durch den erhöhten Magerfleischanteil waren die Ausgangswassergehalte der Proben im Vergleich zur Versuchsreihe 1 mit 52 - 54 % höher als in den vorangegangenen Versuchen. Die Wasserabgabe erfolgte analog zu den vorangegangenen Versuchen bei Weiß- und Graubrot schneller als bei Schwarzbrot. Der Endwassergehalt war bei allen Proben gleich und lag mit ca. 37 % höher als bei der Charge 1. Der geringere Wasserverlust kann durch den höheren Ausgangswassergehalt sowie die höhere Auslastung des Klimaschranks und der daraus folgenden geringeren Luftgeschwindigkeit erklärt werden. Der höhere Ausgangswassergehalt beeinflusste den Verlauf der pH-Werte positiv.

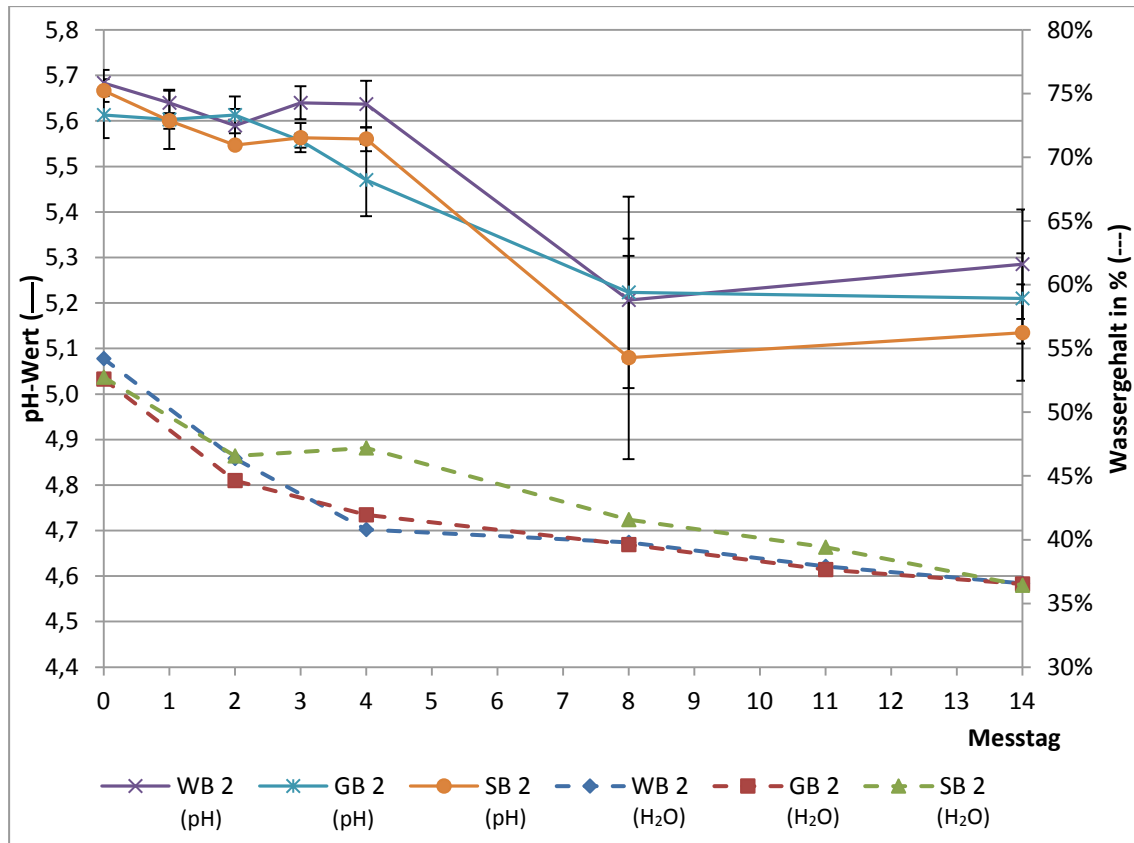


Abbildung 53: Darstellung des pH-Wert- und Wassergehalt-Verlaufes von Rohwürsten mit vorgetrocknetem Magerfleisch unter Zusatz verschiedener Brotsorten (WB 2: Weißbrotzusatz Versuchsserie 2; GB 2: Graubrotzusatz Versuchsserie 2; SB 2: Schwarzbrotzusatz Versuchsserie 2)

Tabelle 28: Eingesetzte Rohstoffe für die Produktion von Rohwürsten mit Brotzusatz (Versuchsserie 2)

Versuch	Glc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Zusatz	Zusatz bezogen auf 100 % Fleisch
WB 2	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Weißbrot	8 %
GB 2	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Graubrot	8 %
SB 2	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Schwarzbrot	8 %

Die Wassergehalte und die pH-Wert-Entwicklung der Proben aus Versuchsreihe 2 sind in Abbildung 53 dargestellt. Die Zusammensetzung und die Zeiten der Magerfleischtrocknung sind Tabelle 28 zu entnehmen.

Die pH-Werte entwickelten sich weiterhin verzögert. Erst an Tag 5 kam es zu einem Abfall der pH-Werte. Die End-pH-Werte lagen bei allen Proben bei 5,3 oder darunter, wodurch die Produkte bei einem durchschnittlichen a_w -Wert von 0,87 als fermentativ konserviert anzusehen waren. Die Würste mit Weißbrot lagen nach 14 Tagen bei 5,3, die Proben mit Graubrot bei 5,2 und mit Schwarzbrot bei 5,1. Der minimale pH-Wert wurde bei allen Proben am 8. Tag erreicht und lag geringfügig unter den End-pH-Werten.

Durch die Trocknung des Magerfleisches war die Anpassungsphase (Lag-Phase) zu lang, sodass der pH-Wert-Abfall bzw. die Milchsäurebildung erst nach dem 5. Tag einsetzte. Die Strukturbildung war besser als bei den vorangegangenen Versuchsreihen. Damit es zu einer schnelleren pH-Wert-Entwicklung kommt, wurde bei den folgenden Versuchsreihen fermentiertes Fett eingesetzt. Analog zu den vorangegangenen Versuchen sollte die Anpassungsphase dadurch verkürzt werden.

Brotwurst - Versuchsreihe 3

Ab Versuchsreihe 3 wurde fermentiertes Fett, analog zur bisherigen Verfahrensentwicklung, verwendet. Auf diese Weise sollte der Einfluss der Anreicherung der Starterkulturen im Fett auf die Fermentationsentwicklung bei Rohwürsten mit kohlenhydratreichen Einlagen ermittelt werden.

Die Wiederholung der Versuchsreihe 2 zeigte fast unveränderte Ausgangswassergehalte, was die Konsistenz der Trocknungsmethode bestätigte. Auch die Endwerte der Wassergehalte waren analog zur Versuchsreihe 2 bei ca. 37 %.

Die Verläufe der Wassergehalte sowie der pH-Werte sind in Abbildung 54 graphisch dargestellt. In Tabelle 29 sind die Rohstoffe und die Trocknungsmodalitäten für das Magerfleisch aufgelistet.

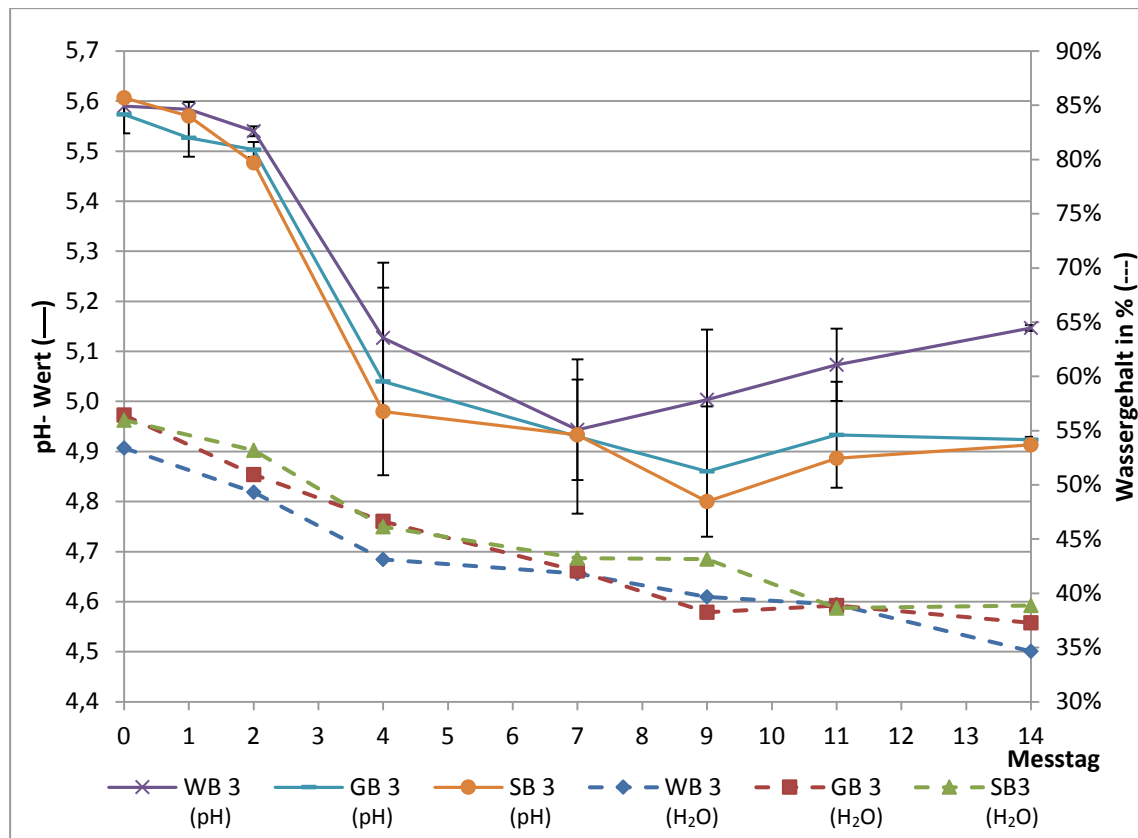


Abbildung 54: Darstellung des pH-Wert- und Wassergehalt-Verlaufes von Rohwürsten mit vorgetrocknetem Magerfleisch unter Verwendung verschiedener Brotsorten (WB 3: Weißbrot einlage Versuchsreihe 3; GB 3: Graubrot einlage Versuchsreihe 3; SB 3: Schwarzbrot einlage Versuchsreihe 3)

Die Entwicklung der pH-Werte war aufgrund der angepassten Starterkulturen deutlich intensiver. Die Senkung der pH-Werte setzte nach dem 2. Tag ein und es war ein zügiger Abfall auf ca. 5,0 – 5,1 am 4. Tag sichtbar. Danach kam es zu einem geringen Abfall auf unter 5,0. Nach dem 7. Tag zeigte die Probe mit Weißbrot einen pH-Wert-Anstieg bis auf 5,2 am 14. Tag. Die Proben mit Grau- und Schwarzbrot stabilisierten sich bei ca. 4,9, wobei die Probe mit Schwarzbrot am 9. Tag einen pH-Wert von 4,8 erreichte.

Tabelle 29: Eingesetzte Rohstoffe für die Produktion von Rohwürsten mit Broteinlage (Versuchsreihe 3)

Versuch	Glc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Zusatz	Zusatz bezogen auf 100 % Fleisch
WB 3	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Weißbrot	8 %
GB 3	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Graubrot	8 %
SB 3	0,1 %	S I 41,5 %; S II 41,5 %; S VIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	Schwarzbrot	8 %

Der Einsatz des fermentierten Fettes verbesserte den Fermentationsverlauf und führte zu einem schnelleren pH-Wert-Abfall, ohne dabei Denaturierungserscheinungen hervorzurufen. Das Aroma der Produkte war trotz der stärkeren Senkung des pH-Wertes gleichbleibend mild.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe 3 zeigten die gewünschten Eigenschaften. Die Produkte hatten eine zusammenhängende Struktur und es wurde eine gute Integration der Brotpartikel in die Wurstmatrix erreicht. Die Schnittfähigkeit war gegeben und es konnten gleichmäßige glatte dünne Scheiben erzeugt werden. Die Aromaausbildung war salamitypisch und das Brot konnte sensorisch deutlich wahrgenommen werden.

Der Einsatz des fermentierten Fettes mit den aktivierten, vermehrt vorliegenden Starterkulturmikroorganismen bestätigte die angenommene Wirkung. Die Zeit bis zum Einsetzen der pH-Wert-Senkung war verkürzt gegenüber den vorangegangenen Versuchen mit Broteinlagen. Die pH-Wert-Senkung war zudem intensiver und es wurden von allen Proben Werte unter 5,0 erreicht, was für eine positive sensorische Entwicklung sorgte. Der Zeitraum zu Beginn der Reifung in dem die Würste durch ihren hohen pH-Wert anfällig sind, wurde durch die beschleunigte Milchsäurebildung schneller abgeschlossen. Die Reifung wurde durch den Einsatz des fermentierten Fettes, auch unter Verwendung von kohlenhydratreichen Einlagen, sicherer gegenüber der direkten Verwendung der Starterkulturen.

Brotwurst Versuchsreihe 4 - 6

Die Versuchsreihen 4 - 6 wurden zum Nachweis der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei der Herstellung von Rohwürsten mit Broteinlagen und damit zum Beleg für die erfolgreiche Verfahrensentwicklung durchgeführt. Zum Vergleich wurden Proben ohne Broteinlagen jedoch unter Verwendung der favorisierten Magerfleischkomposition hergestellt.

Die Voraussetzungen wurden entsprechend der Versuchsreihe 2 geschaffen und die Trocknung des Magerfleisches unter den gleichen Bedingungen durchgeführt. Es wurde kein fermentiertes Fett eingesetzt, damit die Umsetzung der Entwicklung auch separat bestätigt werden konnte.

Zudem wurden bei den Versuchsreihen Proben ohne Brot angesetzt, um die Auswirkungen der zusätzlich zugegebenen Kohlenhydrate der Einlagen zu erfassen.

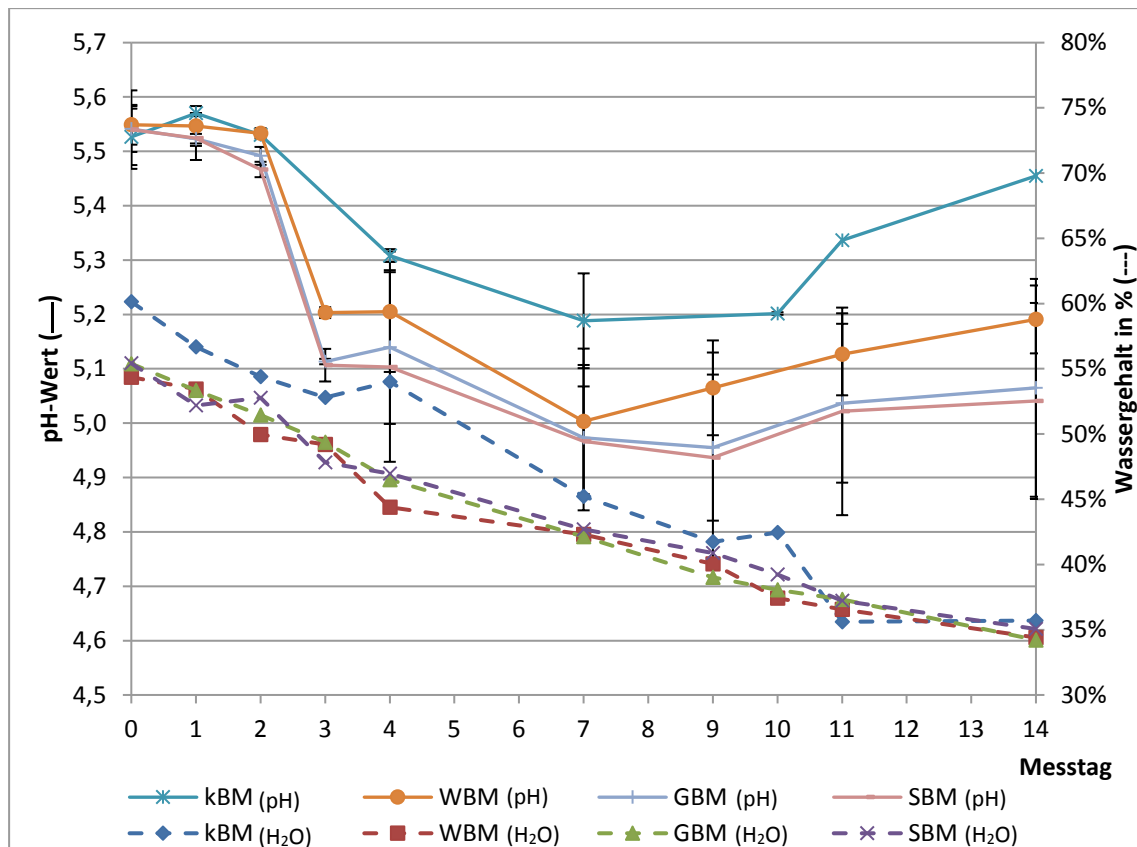


Abbildung 55: Darstellung der pH-Wert- und Wassergehalt-Verläufe von Rohwürsten mit nach Regime vorgetrocknetem Magerfleisch unter Zusatz verschiedener Brotsorten (Mittelwerte Versuchsreihen 4 - 6) (WB M: Weißbrot einlage Versuchsreihen 4 - 6; GB M: Graubrot einlage Versuchsreihen 4 - 6; SB M: Schwarzbrot einlage Versuchsreihen 4 - 6)

Im Ergebnis waren die Wassergehalte durchschnittlich mit ca. 55 % einheitlich. Wurde kein Brot zugegeben, lag der Wassergehalt mit ca. 60 % höher.

Die Anfangsphase der Fermentation bis zum Absinken des pH-Wertes lag einheitlich bei 2 Tagen. Anschließend setzte die pH-Wert-Senkung ein. Am 3. Tag lag der Wert bei Weißbrot bei 5,2, bei Grau- und Schwarzbrot bei 5,1. Danach kam es zu einem weiteren leichten pH-Wert-Abfall auf Werte von ca. 5,0. Ab dem 9. Tag erfolgte ein leichter Anstieg der pH-Werte bei Grau- und Schwarzbrot bis auf 5,1 an Tag 14. Die Weißbrotproben zeigten ab dem 7. Tag einen stärkeren Anstieg bis auf 5,2 an Tag 14, was auf die offenere Struktur und damit die Luftdurchlässigkeit zurückzuführen war.

Ohne die Zugabe von Brot zeigte sich ein versetzter Verlauf der pH-Werte. Der erste pH-Wert-Abfall war nicht so ausgeprägt wie bei den Proben mit Brot und erreichte einen Wert von ca. 5,25. Es folgte eine leichte Senkung auf 5,2, gefolgt von einem Anstieg auf über 5,4 an Tag 14. Ohne die Broteinlagen war die Nährstoffsituation bezüglich der Kohlenhydrate für die Mikroorganismen nicht ausreichend. Sie konnten nicht genug Säure produzieren, um die anhaltende Senkung des pH-Wertes zu gewährleisten. Durch den, bis zu diesem Zeitpunkt stark gesenkten Wassergehalt, konnte jedoch auch hier von einem unbedenklichen, sicheren Produkt ausgegangen werden.



Abbildung 56: Rohwurstprobe mit Graubroteinlage nach 3 Tagen Reifung

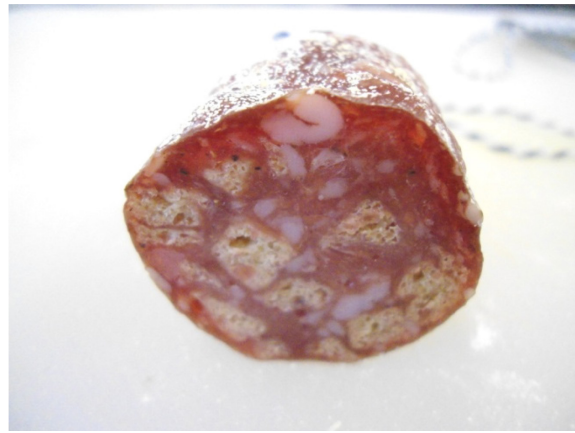


Abbildung 57: Rohwurstprobe mit Graubroteinlage nach 7 Tagen Reifung

Die Abbildung 56 und die Abbildung 57 zeigen Rohwürste mit Graubroteinlage zu verschiedenen Reifezeitpunkten. In der linken Abbildung war die Probe 3 Tage gereift. Es war festzustellen, dass das Brot gut in der Brätmatrix integriert war und keine Farb- oder Strukturveränderungen um das Brot vorlagen. In der rechten Abbildung ist dieselbe Wurstcharge nach 7 Tagen Reifung zu sehen. Das Brät zeigte eine hohe Adhäsion an der Brotoberfläche, es waren keine Hohlstellen vorhanden und es war eine gleichmäßige Trocknung zu konstatieren. Die Broteinlagen hatten keine negativen Auswirkungen auf die Struktur, Optik und das Aroma. Die Schnittfähigkeit war gegeben, was den kohäsiven Zusammenhalt der Fleisch- und Brotpartikel belegte.

Die Verfahrensentwicklung und Prozessmodifikation der Milchsäurefermentation in Abhängigkeit des Wassergehaltes war erfolgreich. Aus den Versuchen wurde deutlich, dass das Verfahren eine große Menge Kohlenhydrate toleriert. Der Wassergehalt wurde dazu auf 50 – 55 % gesenkt, sodass die Milchsäurebildung ermöglicht wurde, aber das pH-Minimum nicht so niedrig lag wie bei Würsten ohne Einstellung des Wassergehaltes. Durch Trocknung des Magerfleisches wurde kein pH-Wert < 4,8 erreicht, ohne Trocknung und unter Einsatz von Brot lagen die pH-Werte zwischen 4,7 und 4,5. Wurden keine zusätzlichen Kohlenhydrate in Form von Brot zugegeben, war die pH-Wert-Senkung nicht so deutlich ausgeprägt, wodurch das Produkt nur bedingt fermentativ stabilisiert war. Die Versuche ohne Brot belegten, dass das Brot die Fermentation maßgeblich beeinflusste und die zur Konservierung notwendige Milchsäurebildung erst ermöglichte, da es die benötigten Kohlenhydrate lieferte. Die Herstellung ohne Brot lässt sich durch den Einsatz von anderen kohlenhydrathaltigen Präparaten wie Glukose, Trockenstärkesirup oder Ähnlichem realisieren.

4.2.3 Mikrobiologische Untersuchung

Tabelle 30 beinhaltet die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen. Es wurden die Gesamtkeimzahl, die Staphylococcenzahl, die Anzahl an Aeromonaden und Pseudomonaden, Hefen und Schimmelpilze und die Anzahl an Laktobazillen erfasst. Es wurden Wurstproben mit Einlagen aus Weiß-, Grau und Schwarzbrot sowie ohne Brot analysiert, die nach der finalen Verfahrensführung hergestellt wurden. Die angesetzten Untersuchungen wurden an den Tagen 7, 14 und 21 durchgeführt. Den Proben ohne Brot wurde keine weitere Kohlenhydratquelle zugesetzt, sodass die pH-Wert-Entwicklung aus Abbildung 55 anzusetzen ist.

Tabelle 30: Durchschnittliche Keimzahlen der Rohwürste mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien an den Tagen 7, 14 und 21 nach der Produktion

Nährmedium →		PC	BP	GSP	YGC	MRS
Art der Broteinlage	Tage nach Herstellung	Gesamtkeimzahl	Staphylococcen	Pseudomonaden und Aeromonaden	Hefen und Schimmelpilze	Laktobazillen
	Tag	KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g
Weißbrot	7	$1,33 \cdot 10^8$	$3,50 \cdot 10^8$	$1,54 \cdot 10^4$	$9,60 \cdot 10^3$	$1,86 \cdot 10^8$
	14	$1,98 \cdot 10^8$	$7,33 \cdot 10^7$	$8,03 \cdot 10^4$	$9,30 \cdot 10^4$	$1,00 \cdot 10^8$
	21	$2,53 \cdot 10^8$	$1,63 \cdot 10^8$	$3,80 \cdot 10^3$	$2,00 \cdot 10^3$	$1,34 \cdot 10^8$
Graubrot	7	$1,64 \cdot 10^8$	$6,87 \cdot 10^7$	$3,70 \cdot 10^3$	$3,50 \cdot 10^3$	$1,00 \cdot 10^8$
	14	$3,04 \cdot 10^8$	$4,20 \cdot 10^7$	$5,40 \cdot 10^3$	$5,10 \cdot 10^3$	$1,77 \cdot 10^8$
	21	$3,68 \cdot 10^8$	$1,34 \cdot 10^8$	$3,80 \cdot 10^3$	$3,20 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^8$
Schwarzbrot	7	$1,28 \cdot 10^8$	$1,85 \cdot 10^8$	$3,40 \cdot 10^3$	$3,00 \cdot 10^3$	$5,52 \cdot 10^7$
	14	$3,30 \cdot 10^8$	$1,61 \cdot 10^8$	$9,00 \cdot 10^3$	$7,20 \cdot 10^3$	$3,80 \cdot 10^7$
	21	$2,26 \cdot 10^8$	$9,25 \cdot 10^7$	$1,80 \cdot 10^3$	$2,40 \cdot 10^3$	$2,46 \cdot 10^8$
kein Brot	7	$7,30 \cdot 10^8$	$1,06 \cdot 10^8$	$2,73 \cdot 10^3$	$2,55 \cdot 10^3$	$4,15 \cdot 10^8$
	14	$3,09 \cdot 10^8$	$1,37 \cdot 10^8$	$5,90 \cdot 10^3$	$2,00 \cdot 10^3$	$4,98 \cdot 10^8$
	21	$1,03 \cdot 10^9$	$3,81 \cdot 10^8$	$2,80 \cdot 10^3$	$3,50 \cdot 10^3$	$3,19 \cdot 10^8$

Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Proben eine hohe Gesamtkeimzahl von über 10^8 * KBE / g vorlag. Diese hohe Gesamtkeimzahl setzte sich aus den vorhandenen Staphylococcen und Laktobazillen, ebenso wie aus den Pseudomonaden und Aeromonaden sowie den Hefen und Schimmelpilzen zusammen. Die durch die Starterkulturen eingebrachten Staphylococcen und Laktobazillen zeigten über die Messtage eine gleichbleibende Konzentration von ca. 10^8 KBE / g. Die weniger erwünschten Aeromonaden und Pseudomonaden sowie die Hefen und Schimmelpilze zeigten einen leichten Anstieg von Tag 7 zu Tag 14, was auf die in dieser Zeit vorliegende günstige Wasserverfügbarkeit und den Luftsauerstoff an der Oberfläche zurückzuführen war. Mit zunehmender Trocknung fielen die Werte ab Tag 21 wieder auf den Wert des 7. Tages.

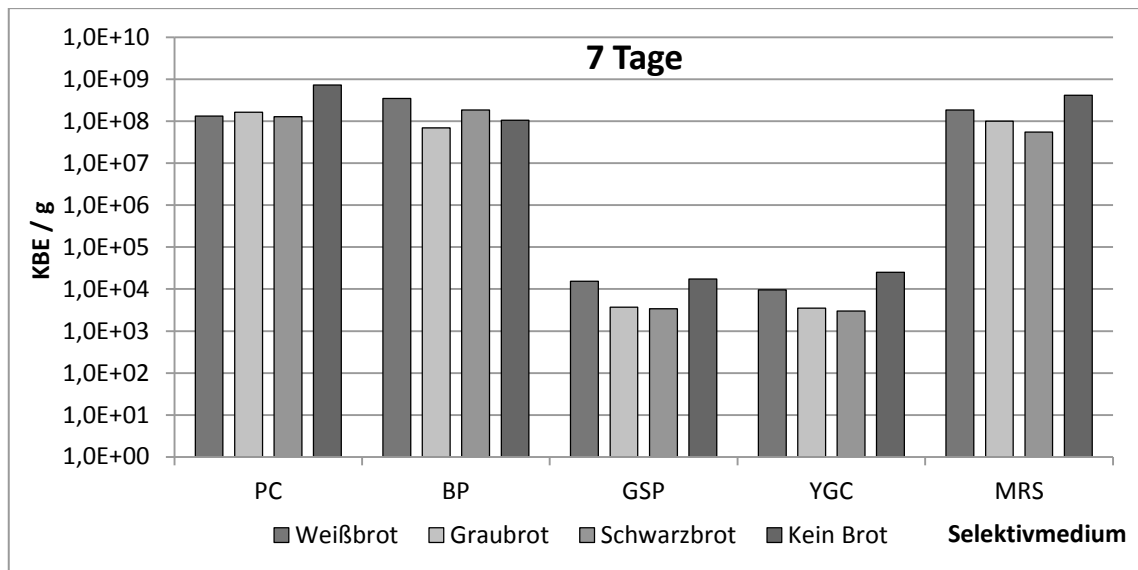


Abbildung 58: Keimzahlen der Wurstproben mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien am 7. Tag nach der Produktion

Die Keimzahlen am Versuchstag 7 sind in Abbildung 58 graphisch dargestellt. Es waren nur geringe Unterschiede zwischen den Gesamtkeimzahlen der Proben mit Brot zu erkennen. Sie lagen bei ca. 10^8 KBE / g. Die Proben ohne Brot zeigten höhere Gesamtkeimzahlen von $7,3 \times 10^8$ KBE / g, was auf den höheren pH-Wert zurückgeführt werden kann, der sich aus dem Fehlen zusätzlicher Kohlenhydrate als Stoffwechselbasis ergab.

Die Staphylococcenzahl war bei den Proben mit Weißbrot am stärksten ausgeprägt, lag jedoch bei allen Proben in einem ähnlichen Bereich um 10^8 KBE / g. Zwischen den Brotsorten Grau- und Schwarzbrot lagen wenig abweichende Ergebnisse vor. Bei Betrachtung der Staphylococcenkolonien konnte festgestellt werden, dass keine *S. aureus* Kolonien gewachsen waren. Die vorhandenen Staphylokokken waren Bestandteil der Starterkulturen.

Die Zahlen der proteolytischen Keime lagen bei 10^3 - 10^4 KBE / g und waren für die Produkte nicht als nachteilig zu werten, da die Proteolyse ein wichtiger Teil der Aromabildung ist. Auch die Hefen waren mit 10^3 - 10^4 KBE / g typisch für luftgetrocknete Waren. Es fand aufgrund der gewünschten Produktcharakteristika keine Beeinflussung der Hüllenoberfläche durch Räuchern statt, die das aerobe Keimwachstum eingeschränkt hätte.

Die Zahl der Milchsäurebakterien lag ebenfalls bei ca. 10^8 KBE / g, wobei die Zahl bei der Rohwurst mit Schwarzbroteinlage mit $5,5 \times 10^7$ KBE / g geringfügig niedriger ausfiel, was aber nicht als nachteilig bewertet wurde. Die Milchsäurebakterienflora war gut ausgeprägt und bestätigte die gewünschte Konkurrenzsituation innerhalb des Hürdensystems.

Nach 14 Tagen Reifung hatten sich bei der Gesamtkeimzahl mit Werten von $2,0 \times 10^8$ bis $3,3 \times 10^8$ KBE / g, den Staphylococcen mit $4,2 \times 10^7$ bis $1,6 \times 10^8$ KBE / g und Laktobazillen mit $3,8 \times 10^7$ bis $5,0 \times 10^8$ KBE / g nur geringfügige Änderungen ergeben. Bei den Weißbrotproben zeigte sich bei den Aeromonaden und Pseudomonaden sowie bei den Hefen und Schimmelpilzen nach 14 Tagen eine Steigerung auf $8,0 \times 10^4$ und $9,3 \times 10^4$ KBE / g, die auf die weniger starke pH-Wert-Senkung zurückzuführen war. Möglicherweise spielte auch die größere Porung des Weißbrotes und damit die bessere Sauerstoffdiffusion eine Rolle.

Die Anzahl der Laktobazillen war bei den Proben ohne und mit Broteinlagen gleich. Das zeigt, dass die pH-Wert-Senkung, die bei den Proben mit Brot höher ausgefallen war, nicht mit der Vermehrung der Laktobazillen in unmittelbarem Zusammenhang steht. Eher ist die Nährstoffversorgung in Form von Kohlenhydraten für die Säurebildung entscheidend.

Die Proben Graubrot und Schwarzbrot zeigten kaum eine Veränderung ihres Keimspektrums gegenüber 7 Tagen.

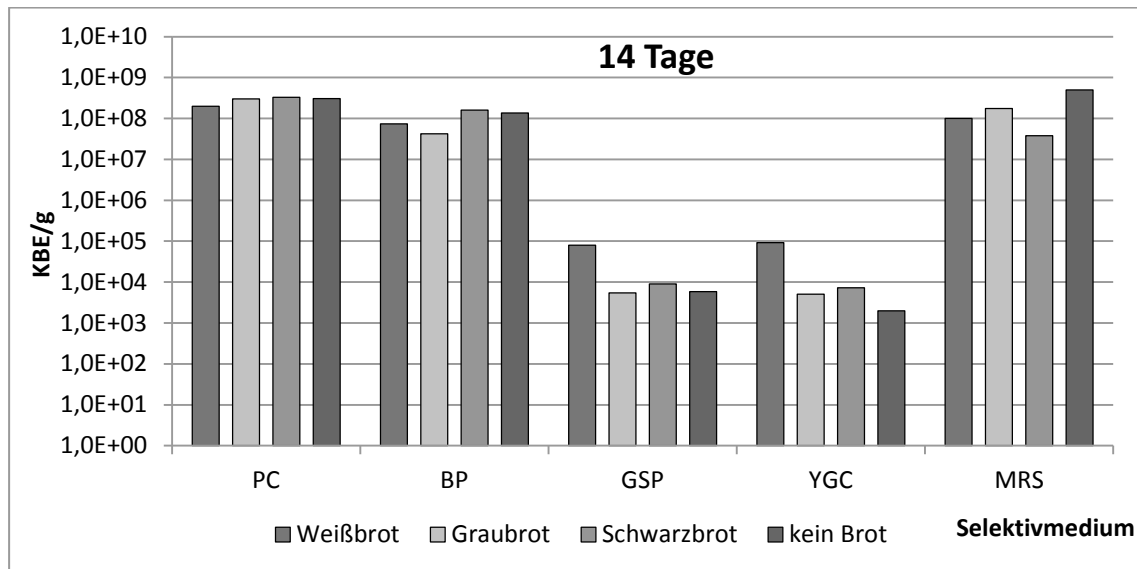


Abbildung 59: Keimzahlen der Wurstproben mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien am 14. Tag nach der Produktion

Nach 14 Tagen Reifung wurden die Würste zur Nachreifung bei 7 °C kühl gelagert. Abbildung 60 zeigt die Keimzahlen der Wurstproben nach 21 Tagen. In dieser Zeit kam es bei der Gesamtkeimzahl nur bei den Proben ohne Brot zu einem leichten Anstieg auf ca. 10^9 KBE / g. Die Anzahl der Staphylococcen lag um 10^8 KBE / g. Der Aeromonaden-/Pseudomonadengehalt reduzierte sich bei den Weißbrotproben wieder auf ca. den gleichen Wert wie nach 7 Tagen.

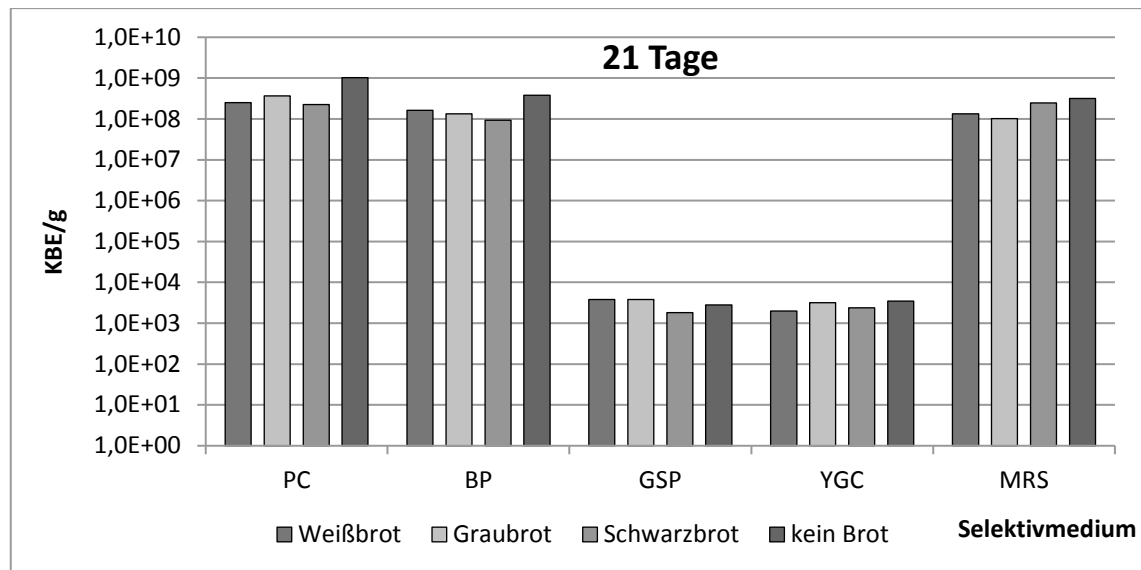


Abbildung 60: Keimzahlen der Wurstproben mit und ohne Broteinlage auf den verschiedenen Nährmedien am 21. Tag nach der Produktion

Die Entwicklung der Keimzahlen der Proben mit Brot unterschieden sich insgesamt nur geringfügig von der ohne Brot. Das Keimspektrum hatte sich den Starterkulturen entsprechend ausgeprägt und aerobe Keime an der Wurstopoberfläche hatten sich vermehrt. Diese sind im Falle der luftgetrockneten Salami erwünscht und tragen maßgeblich zum typischen Aroma bei.

4.2.4 Farbentwicklung

Die Farbentwicklung der Würste mit Broteinlage war durch die Ausprägung der typischen roten Fleischfarbe gekennzeichnet. Die analytischen Messungen ergaben relativ geringe Unterschiede zwischen den Würsten mit Brot und den konventionellen Produkten.

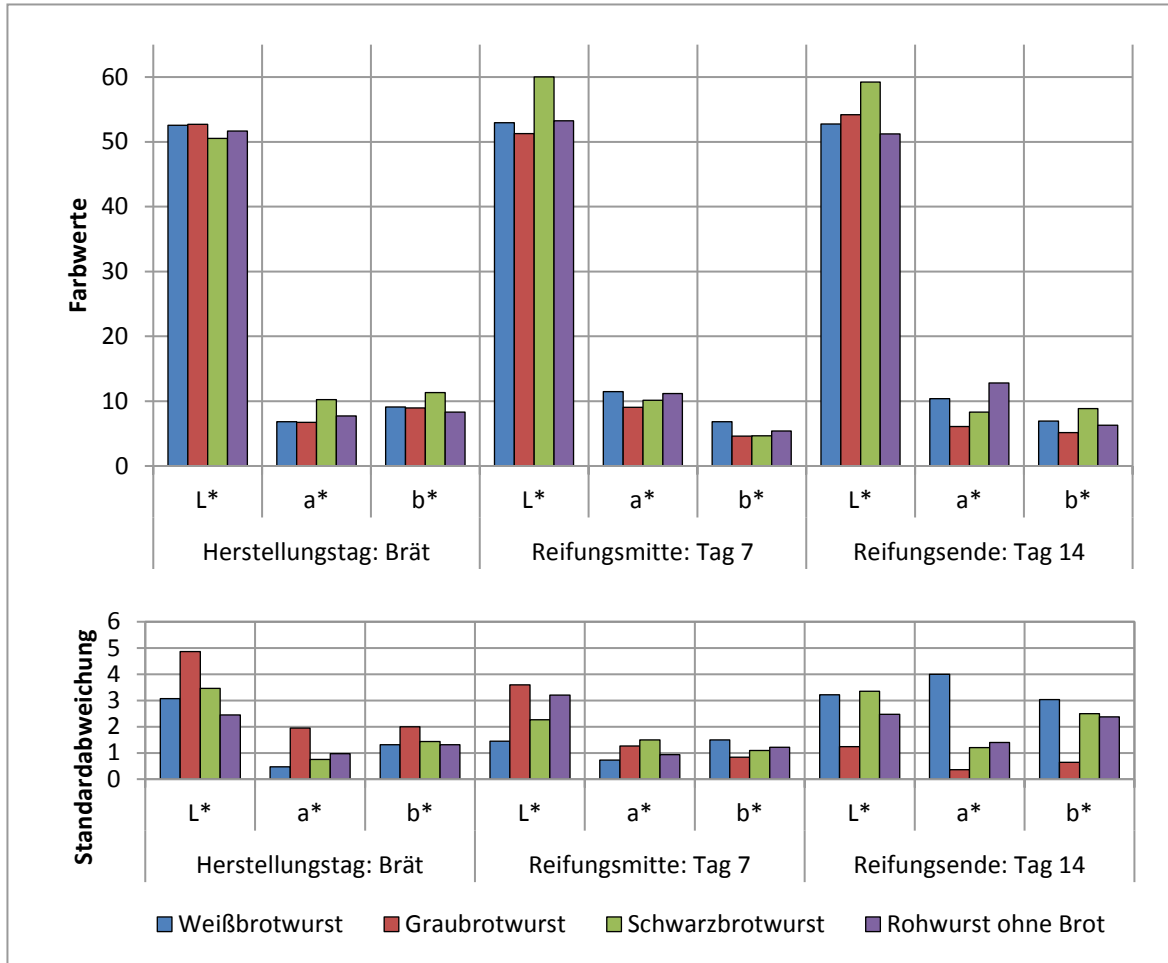


Abbildung 61: Auswertung der Farbmessungen von unterschiedlichen Brotwürsten mit den dazugehörigen Standardabweichungen

Die Ergebnisse der Farbmessungen sowie die zugehörigen Standardabweichungen sind in Abbildung 61 dargestellt. Zu sehen sind die Ergebnisse nach 3, 7 und 14 Tagen Reifung. Deutlich wurde, dass die Unterschiede nur gering waren und sich während der Reifung verstärkten. Die L*- und b*-Werte der konventionell produzierten Würste nahmen stärker ab als bei den Würsten mit Broteinlage. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass sich bei den konventionell hergestellten Würsten das gesamte Schnittbild veränderte, während bei den Würsten mit Broteinlage das Brot seine Farbe beibehielt. Die größeren Standardabweichungen weisen darauf hin, dass die Farbunterschiede innerhalb der Würste mit Broteinlage generell größer waren, da das Brot gänzlich untypisch für das Schnittbild war. Eine Ausnahme war der L*-Wert, da nach 7 Tagen die Wurst ohne Brot die größte Standardabweichung zeigte, was durch das grundsätzlich grobe Schnittbild erklärt werden kann.

4.2.5 Texturmessung

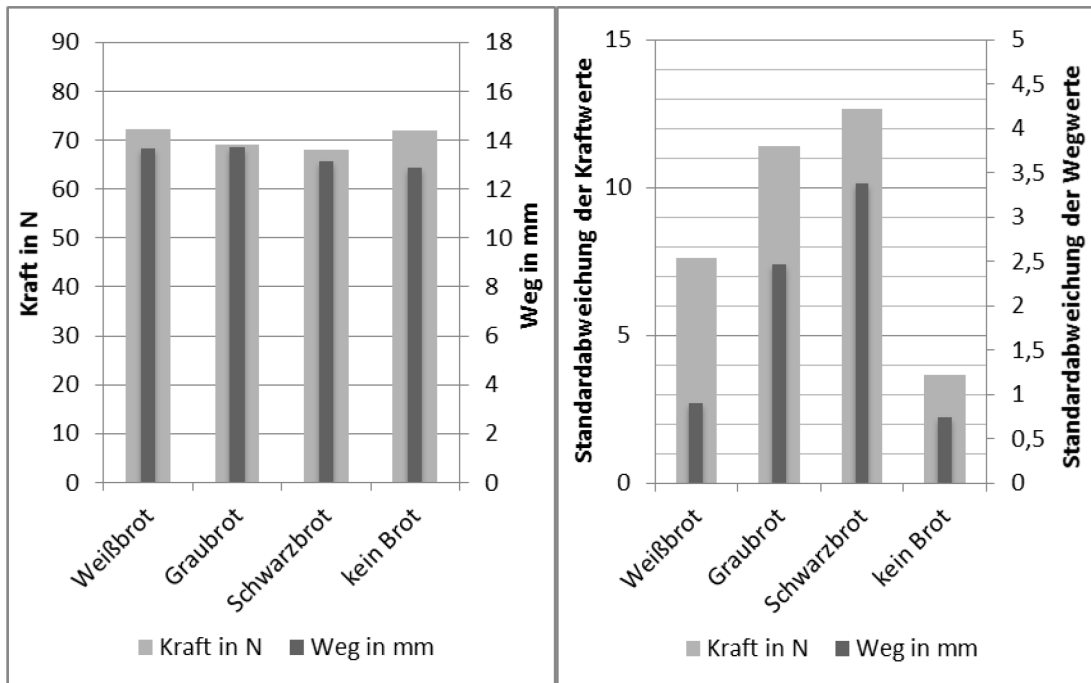


Abbildung 62: Darstellung der Bruchkraft- und Wegmittelwerte der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen

Abbildung 63: Darstellung der Standardabweichungen Kraft- und Wegmesswerte der Texturmessungen von Salami mit Broteinlagen

In Abbildung 62 sind die Mittelwerte der Kraft- und Wegmessungen der finalen Proben mit unterschiedlicher Broteinlage sowie ohne Brot angegeben. Die Kraft-Werte bewegten sich in einem Bereich um einen Wert von 70 N. Der notwendige Weg, um den Bruch der Proben zu verursachen, lag zwischen 13 und 5 mm. Die Proben waren relativ einheitlich. Bei Betrachtung der Standardabweichungen in Abbildung 63 zeigte sich, dass das Einbringen von Brot größere Schwankungen in Bruchkraft und Bruchweg hervorrief. Es wurde ersichtlich, dass das Brot als strukturelle Störstelle zu betrachten war. Besonders Grau- und Schwarzbrot beeinflussten die Wurst durch ihre weniger stabile Struktur. Zudem war die Verteilung der Brotstücke innerhalb des Brätes für die Festigkeit entscheidend, wodurch größere Schwankungen hervorgerufen wurden. Lagen die Brotpartikel zu nah beieinander, konnten sie nicht in die Brätmatrix integriert werden und waren leicht voneinander zu trennen. Eine bessere, maschinelle Durchmischung kann diesen Effekt verhindern. Insgesamt konnte jedoch gefolgert werden, dass die Beeinflussung gering genug war, dass ein schnittfestes nicht zerfallendes Produkt entstand und eine textuelle Abweichung erwünscht war, da es sich um ein andersartiges Produkt als konventionell hergestellte Rohwurst handelte.

4.2.6 Begleitende analytische Messungen von Rohwurst mit Broteinlage

Analog zu den analytischen Messungen der Würste mit fermentiertem Fett wurden zur analytischen Bewertung des Herstellungsverfahrens und der daraus resultierenden Produkte der Fettgehalt nach 14 Tagen Reifung sowie der Restnitritgehalt und der Umrötungsgrad nach 30 Tagen bestimmt.

Der Fettgehalt der Produkte lag durchschnittliche bei $23,3 \pm 1,6$ %. Der rechnerische Wert lag mit 25,52 % über den analytischen Ergebnissen. Die Schwankungen waren ebenfalls, wie bei der Rohwurst mit fermentiertem Fett, auf die Inhomogenität innerhalb der Würste zurückzuführen. Der Umrötungsgrad der Proben lag bei 31,8 %, was die stabile Pökelfarbe belegte. Der Restnitritgehalt der Würste lag durchschnittlich bei $10,97 \pm 0,20$ ppm. Es wurde ein geringer Restnitritgehalt gemessen, was auf den Einsatz des Pökelsalzes in der Magerfleischfraktion zurückgeführt werden kann. Es erfolgte keine Verteilung im Fett, wodurch der Pökelfarbstoff besser in Kontakt mit dem Reaktionspartner Myoglobin kam. Durch den Broteinsatz reduzierte sich der Restnitritgehalt gegenüber den Produkten mit getrocknetem Magerfleisch und fermentiertem Fett weiter.

4.2.7 Bewertung der Rohwürste mit Broteinlage nach DLG-Schema

Analog zur Bewertung der Rohwürste mit vorfermentiertem Fett wurde die Bewertung der Rohwürste mit Broteinlagen nach dem DLG-Bewertungsschema für Rohwürste durchgeführt. Die Qualitätszahl lag bei 4,2 von 5,0 und damit um 0,1 Punkt höher als bei den Würsten mit vorfermentiertem Fett. Das war vor allem einer besseren Bewertung im Bereich Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung zuzuschreiben. Es wurden deutlich weniger die Speckgröße und Verteilung beanstandet. Die zusätzlichen Broteinlagen konnten diesem Mangel entgegenwirken, da die Einlagendichte hoch und die Partikulierung der Brotwürfel größer als die des Fettes war. Die weiteren Abzüge der maximal erreichbaren Punktzahl waren gestreut. Sie bezogen sich auf den ungewohnten Einfluss des Brotes auf Farbe, Bindung und Textur sowie auf ein ungleichmäßiges Äußeres und die Speckgröße bzw.-verteilung.

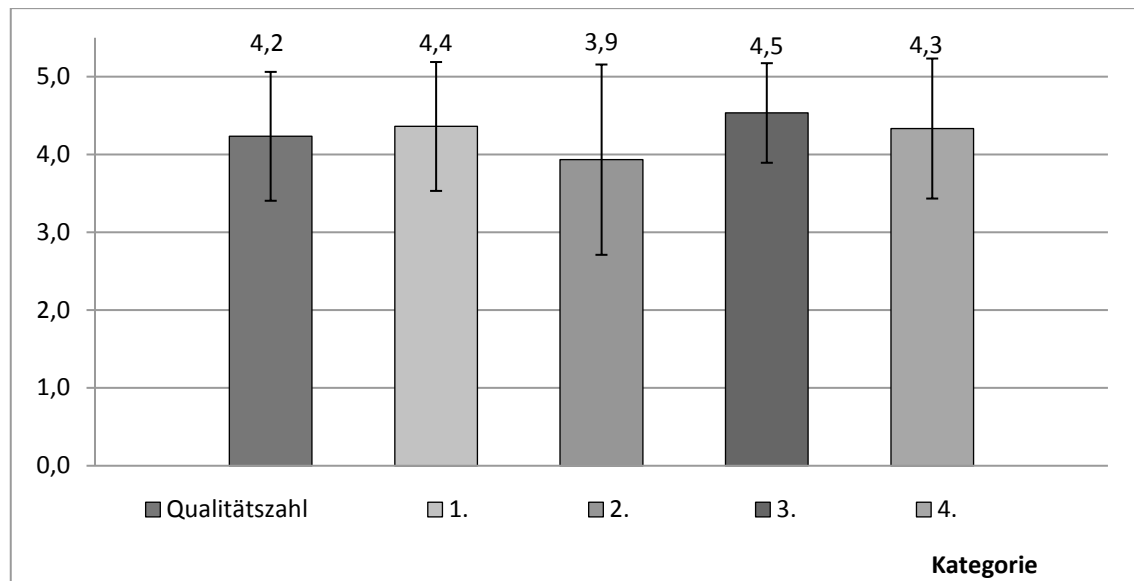


Abbildung 64: Auswertung der DLG-Prüfbögen von Rohwürsten mit vorfermentiertem Fett nach Qualitätszahl und einzelnen Kategorien: 1. Äußeres; 2. Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung; 3. Konsistenz; 4. Geruch und Geschmack

4.2.8 Einsatz von Fruchteinlagen

Nach der Entwicklung des Verfahrens für Rohwurst mit Broteinlagen sollte der Einsatz von unterschiedlichen Fruchteinlagen geprüft werden. Das Ziel war ein prinzipieller Nachweis der Realisierbarkeit von Fruchteinlagen.

Dazu wurden Fruchtstücke mit einer Größe von ca. 3 mm Kantenlänge dem Wurstbrät beigegeben. Das Wurstbrät wurde zuvor mit dem gleichen Verfahren, d.h. Trocknung des Magerfleisches und Fermentation des Fettes, wie für Salami mit Broteinlagen hergestellt. Eingesetzt wurden getrocknete Mango, getrockneter Apfel, kandierte Ananas sowie kandierter Ingwer mit, analog zur Wurst mit Broteinlagen, 8 % Massenanteil. Insbesondere die kandierte Ananas zeichnet sich durch einen sehr hohen Zuckergehalt von 60 % aus.

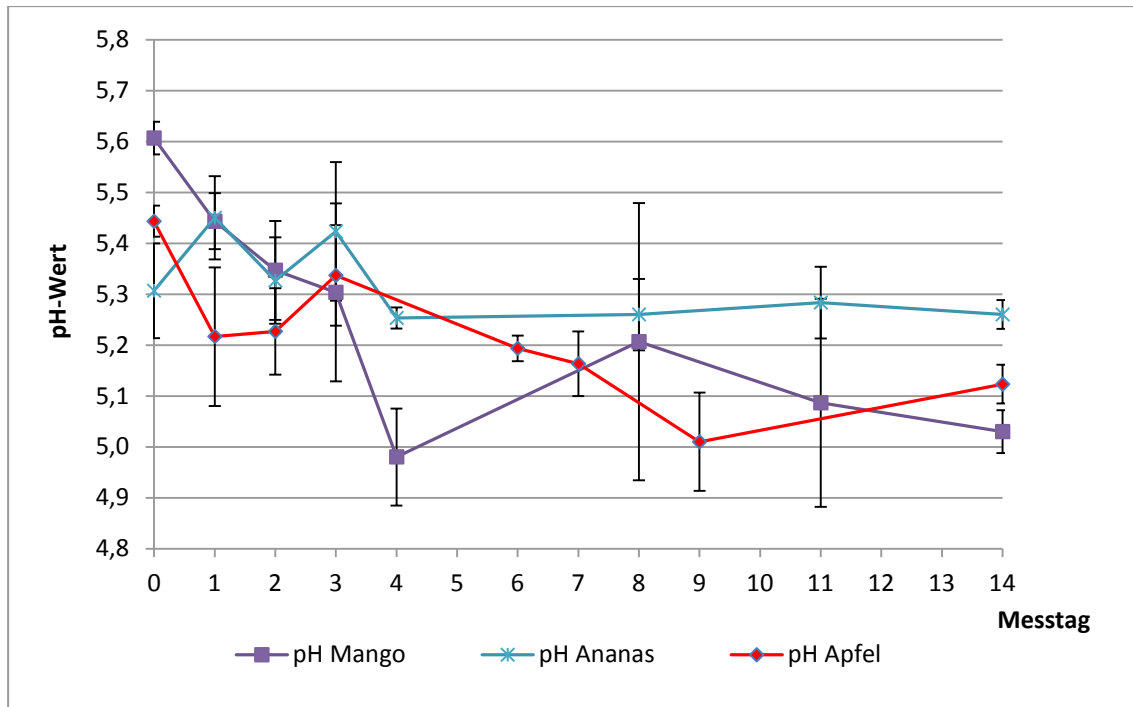


Abbildung 65: pH-Wert-Entwicklung von Rohwürsten mit unterschiedlichen Fruchteinlagen (pH Mango: mit Mangoeinlagen; pH Ananas: mit Ananaseinlagen; pH Apfel: mit Apfeleinlagen)

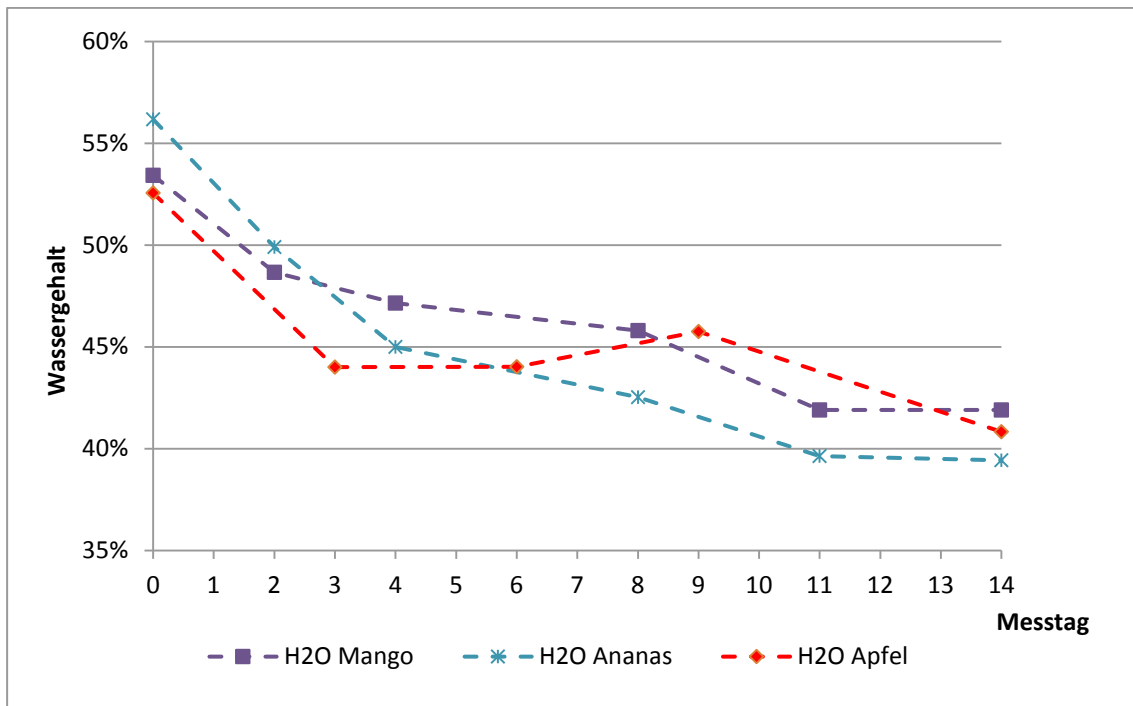


Abbildung 66: Wassergehaltsentwicklung von Rohwürsten mit unterschiedlichen Fruchteinlagen (H2O Mango: mit Manoeinlagen; H2O Ananas: mit Ananaseinlagen; H2O Apfel: mit Apfeleinlagen)

Abbildung 65 und Abbildung 66 zeigen die pH-Wert- und Wassergehaltsentwicklungen von Rohwürsten mit unterschiedlichen Fruchteinlagen. Die Verläufe zeigen insbesondere, dass der Glucosegehalt wenig Einfluss auf die Entwicklung des pH-Wertes hatte. Die pH-Werte waren zu

Beginn der Reifung schon niedrig, was durch die enthaltenen Fruchtsäuren zu begründen war. Die sehr uneinheitlichen pH-Wert-Änderungen zeigten, wie sehr das Fermentationssystem gestört war, wobei es weder zu einem Anstieg der pH-Werte kam, noch zu einer sehr starken Säurebildung. Vielmehr kam es durch die Fruchteinlagen zu sehr unsteten Messwerten mit hoher Standardabweichung. Die Wassergehalte der Proben fielen von 53 % bei Apfel, 54 % bei Mango und 56 % bei Ananas auf Endwerte zwischen 42 % und 40 %. Die Proben mit Mangoeinlage zeigten einen gleichmäßigeren Wasserverlust, während die Proben mit Apfel und Ananas in den ersten 4 bis 5 Tagen ca. 10 % Wasser verloren und in den verbleibenden 10 Tagen der Reifung nur noch 2 - 5 % Wasser abgaben. Durch den geringeren Ausgangs-pH-Wert wurde das Wasserbindevermögen des Fleisches negativ beeinflusst und es wurde schneller Wasser aus dem Fleisch abgegeben. Die Mangostücke hatten das Wasser im Gegensatz zu Apfel und Ananas aufgenommen und gespeichert, woraus die anfänglich geringere Wasserabgabe aus dem Gesamtsystem resultierte.

Bei den Mangoeinlagen zeigte sich, dass die Fruchtstücke zu einer Texturerweichung unter Wasseraufnahme neigten und dadurch die Fermentation an deren Oberfläche verstärkt ablief. Dieses wurde durch die großen Abweichungen des pH-Wertes zwischen 5,0 und 5,2 sowie den hohen Standardabweichungen von bis zu 0,27 in diesen Bereichen bestätigt. Ananas und Apfel zeigten einen gleichmäßigeren Verlauf, es kam erst zu einer unregelmäßigen Entwicklung um einen pH-Wert von 5,3 bei Apfel und 5,4 bei Ananas bis zum 3. Tag. Im Falle der Ananas wurde durch den hohen Zuckergehalt Wasser als Nährstoff für die Milchsäurebildner gebunden, sodass der Anteil an verfügbarem Wasser für die Fermentation so gering war, dass dadurch die Säuerung weiter eingeschränkt wurde und der pH-Wert nicht unter 5,2 fiel. Bei den Proben mit Apfeleinlagen sank der pH-Wert bis auf 5,0 am 9. Tag, wobei sich die pH-Wert-Senkung langsam vollzog.



Abbildung 67: Rohwurst mit Mangoeinlagen nach 5 Tagen Reifung

In Abbildung 67 ist die Probe mit Mangoeinlagen nach 5 Tagen Reifung zu sehen. Die Mangoeinlagen waren weich und beeinflussten das Schnittbild und die Schnittfähigkeit negativ. Die Mangostücke haben sich aufgrund der weichen Konsistenz und durch die mechanische Belastung beim Schneiden verformt, sodass sich Hohlstellen bildeten. Die Apfeleinlagen

entwickelten während der Reifung einen dunklen Rand. Aromatisch waren die Apfelstücke positiv wahrnehmbar, jedoch war die Textur gummiartig und unpassend. Die farbigen Ränder der Apfelstücke sowie die Textur wurden negativ hinsichtlich der Produktqualität gewertet.

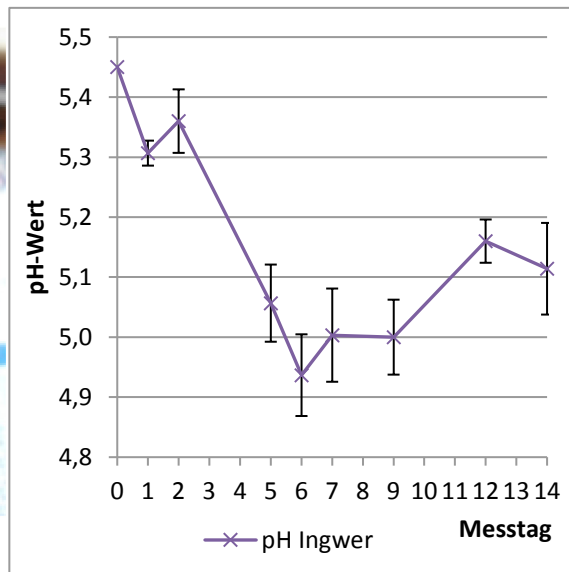
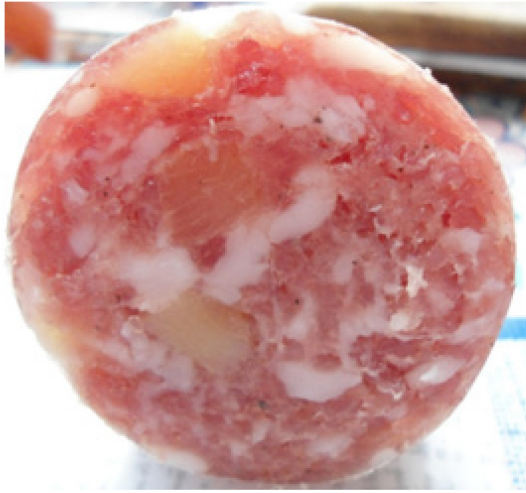


Abbildung 68: Rohwurst mit Ingwereinlage nach 3 Tagen Reifung

Abbildung 69: pH-Wert-Verlauf von Rohwurst mit Ingwereinlage

Abbildung 68 zeigt eine Rohwurst mit Ingwereinlage nach 3 Tagen Reifung im Anschnitt. Es wurde kandierter Ingwer eingesetzt, da er weniger faserig war und eine besser kaubare Textur hatte als nativer Ingwer. Außerdem wurde so eine ausreichende Kohlenhydratversorgung garantiert. Der Ingwer löste sich weniger aus der Rohwurstmatrix und es kam durch die mechanische Belastung beim Schneiden nicht zur Bildung von Hohlstellen in den Scheiben. Die dazugehörige pH-Wert-Entwicklung ist in Abbildung 69 zu sehen. Der hohe Zuckeranteil rief einen starken pH-Wert Abfall von 5,5 als Ausgangswert auf 4,9 an Tag 6 hervor. Der pH-Wert stabilisierte sich in den folgenden Tagen und zeigte anschließend einen leichten Anstieg auf Werte zwischen 5,1 und 5,2 an Tag 14. Trotz des hohen Kohlenhydratgehaltes fiel der pH-Wert nicht zu schnell oder zu stark und es vollzog sich ein geeigneter Reifeverlauf für eine rohwursttypische Fermentation. Die Strukturbildung war nicht gestört und es konnten textuell ansprechende Produkte erzeugt werden. Es war keine weichere Konsistenz der Würste durch die Struktur des Ingwers zu verzeichnen. Der Ingwer zeigte eine interessante, jedoch untypische Aromatisierung der Würste.

Es konnte gezeigt werden, dass bei der Verwendung von textuell geeigneten Einlagegütern eine Fermentation und Integration in Rohwurst durch das Verfahren möglich wurde. Das Rohwurstsystem war in der Lage, die pH-Wert-Entwicklung zu regulieren und einen starken Abfall zu verhindern. Bei Einlagen mit einem sehr hohen Anteil an kurzkettigen Kohlenhydraten wurde viel verfügbares Wasser gebunden, was den Fermentationsverlauf beeinflusste und zu einer verzögerten Milchsäurebildung führte. Aufgrund der Inhaltsstoffe wie Fruchtsäuren oder

Polyphenolen kam es zu einer weiteren Veränderung der Reifekinetik, sodass eine weitere Erprobung und Anpassung der jeweiligen Fruchteinlage angebracht wäre.

4.2.9 Zusammenfassung der Verfahrensentwicklung – „Kohlenhydratreiche Einlagen“

Die technologische Verfahrensentwicklung einer Fermentation und Reifung von Rohwurst mit kohlenhydratreichen Einlagen war erfolgreich. Die Einschränkung der Fermentation, insbesondere der Milchsäurebildung durch die Begrenzung des verfügbaren Wassers war wirksam und regulierbar. Es konnte gezeigt werden, dass die pH-Wert-Entwicklung unabhängig von einem Kohlenhydratüberschuss eingeschränkt ablief und ein zu starkes Absinken des pH-Wertes als Folge der Verstoffwechselung der Kohlenhydrate nicht eintrat. Der Ausgangswassergehalt des Brätes war auf einen Wert zwischen 50 und 55 % einzustellen. Dadurch wurde die Milchsäurebildung während der Reifung eingeschränkt. Zur Einschränkung kam es im Wesentlichen durch die weitere Wasserabgabe und einer folgenden Unterschreitung der wasserbezogenen Stoffwechselgrenze für die eingesetzten Starterkulturen, wodurch diese nicht mehr in der Lage waren, Milchsäure zu bilden.

Damit wurde der Einsatz von kohlenhydratreichen Einlagen ermöglicht, ohne dass es zu einer zu starken Säuerung und damit zu einem sensorisch nicht attraktiven Produkt kam. Es konnte eine bisher nicht erzeugbare Produktkategorie ermöglicht werden. Insbesondere die Verwendung von Brot kann im Snackbereich als Innovation betrachtet werden. Es können kleinkalibrige Würste mit erhöhtem Nährwert zur mobilen Verfügbarkeit und zum Snacking die Scheiben großkalibriger Würste als alternative zu Chips entwickelt werden.

Eines der maßgeblichen Probleme war es, die notwendige Strukturierung zu erreichen. Analog zum Verfahren mit vorfermentiertem Fett waren durch die Trocknung und zusätzlich durch das Brot Strukturprobleme vorhanden. Ferner musste der geeignete Bereich des Wasserentzugs gefunden werden. Vorteilhaft war es, dass im Inneren der Würste gelagertes Wasser durch die Brotstruktur leichter diffundieren konnte und somit eine gleichmäßigere Wasserabgabe möglich wurde, die die Reifung analog zur Produktion der Würste mit vorfermentiertem Fett unabhängig von der Klimareifung machte.

Die Entwicklung der Farbe der Fleischbestandteile war von den Broteinlagen nicht beeinflusst. Die Ergebnisse der Messungen waren jedoch durch die Anwesenheit des Brotes verändert, visuell war jedoch eine klare Trennung zwischen Brotfarbe und Fleischfarbe auszumachen.

Der Einsatz von Frucht- oder Gemüseeinlagen konnte nur bedingt umgesetzt werden. Dabei war nicht das Fermentationsverhalten der Würste die Problematik, sondern die Struktur der eingebrachten Obst- und Gemüseeinlagen. Die eingebrachten getrockneten Produkte zeigten bei Wasseraufnahme aus dem Brät eine starke Texturerweichung. Daraus resultierte eine Einschränkung der Schnittfähigkeit, der optischen Attraktivität sowie der haptischen Wahrnehmung. In besonderen Fällen kann eine Verfärbung des Brätes oder der Früchte erfolgen. So wurde bei Apfelstücken eine dunkle Färbung der Außenbereiche festgestellt. Diese machte die Produkte optisch wenig ansprechend.

5 Diskussion der Ergebnisse - Modifikation des Räucherverfahrens

Das Räuchern von Rohwürsten ist in Nordeuropa ein wesentlicher Bestandteil der Herstellung. Es wird neben dem historisch relevanten Konservierungseffekt maßgeblich zur Aromatisierung der Produkte eingesetzt. Durch die Verwendung von alternativen Hölzern und Holzmischungen soll das Friktionsrauchverfahren hinsichtlich der Aromatisierung der Produkte verbessert werden.

Als wesentlicher Teil der Modifikation des Friktionsräucherverfahrens war es notwendig, eine haltbare Haftung zwischen den zu testenden Holzvarianten zu schaffen. Die Haftung musste auch während des Räucherschrittes erhalten bleiben, um ein Lösen der Holzkomponenten und damit ein Verklemmen des Reibrades zu verhindern. Daraus resultierten notwendige Eigenschaften, die die Haftschrift erfüllen musste:

- Es muss eine ausreichende Haftung als Widerstand gegen die Kraft des Reibrades erreicht werden.
- Es muss eine Thermostabilität gewährleistet sein, da die eingebrachte Energie durch das Reibrad eine Erwärmung des Holzblockes zur Folge hat.
- Die Haftschrift muss eventuelle Feuchtigkeitsschwankungen bis hin zu einem Abspülen der Blöcke ohne Verlust der Haftkraft überdauern.

Auf diese Weise sollte ein kontinuierlicher, störungsfreier Betrieb der Friktionsräucheranlage gewährleistet werden. In Vorversuchen wurden pflanzliche Hydrokolloide wie Pektin, Alginat, Stärke und Carrageen getestet. Die Haftung war bei allen Hydrokolloiden sehr schlecht und verschlechterte sich bei Trocknung weiter, bis es zu einem vollständigen Lösen der Holzkomponenten ohne Krafteinwirkung kam. Gelatine in hoher Konzentration hatte eine wesentlich bessere Haftung. Es wurde eine Lösung mit einer Schwartenmasse angestrebt, die maßgeblich aus ungereinigter Gelatine bestand. Die Haftungseigenschaften wurden analysiert und optimiert. Dazu wurde die Schwartenmasse aus 2 Stunden hydrothermisch behandelten Schwarten hergestellt. Während der Behandlung kam es zu einem Erweichen der originären kollagenen Struktur der Schwarten. Diese wurden unter Wasseraufnahme weich. Das enthaltene Kollagen wurde partiell in Gelatine überführt. Der Masse wurde Flüssigrauch zugesetzt, damit eine irreversible Vernetzung stattfindet, die eine Verfestigung hervorruft.

5.1.1 Untersuchungen zur Thermo-Irreversibilität des Trägerstoffes

Vor der Messung der Zugstabilität wurde grundlegend die Thermobeständigkeit der Proben geprüft. Es wurden verschiedene Konzentrationen an Flüssigrauch zugegeben und damit die geringste Konzentration zu ermitteln, die notwendig war, um einen thermoirreversiblen Zustand zu erhalten. Die Schwartenmasse wurde im flüssigen Zustand mit dem Flüssigrauch vermengt und erkalten gelassen. Die feste Masse wurde anschließend in einem 100 ml Becherglas geprüft.

Tabelle 31: Flüssigrauchkonzentration der Versuche 1a – 4a, die in Schwartenmasse eingesetzt wurde, um die Verfestigung nachzuweisen

Probe	Flüssigrauchkonzentration in %
1a	1,00
2a	0,75
3a	0,50
4a	0,25

Zur Kontrolle der Thermo-Irreversibilität der Bindung wurden die behandelten Proben in ein Wasserbad bei 60 °C gegeben. Die Proben 2a, 3a und 4a waren direkt nach der Herstellung wieder aufschmelzbar. Somit konnte geschlussfolgert werden, dass die geringen Konzentrationen nicht geeignet waren, einen pyrolysestabilen Trägerstoff zu entwickeln. Die Probe 1a zeigte keine Schmelzerscheinungen und war auch bei über 90 °C stabil. Die präparierte Schwartenmasse veränderte ihren Aggregatzustand auch nach mehrminütiger thermischer Einwirkung nicht.

Das bestätigte, dass die Vernetzung der Masse zu einem festen Gel thermo-beständig war. Bei 75 °C konnte ein Aufsteigen von Bläschen am Rand des Becherglases beobachtet werden, die Masse blieb ansonsten unverändert. Ab 90 °C blieb vermehrt Schwartenmasse-Flüssigrauch-Gemisch an der Kontaktfläche haften und die Farbe ging von blass gelblich zu dunkelbraun über. Zum Eintrag höherer Temperaturen wurden die Proben auf eine Heizplatte gegeben und die Temperatur schrittweise um 5 °C erhöht. Auch bei höheren Temperaturen bis 150 °C war ein Aufschmelzen nicht möglich. Lediglich ein Anbrennen der Massen konnte beobachtet werden. An den Kontaktstellen entstanden eine dunkle Braunfärbung und eine festere Konsistenz.

Die zu erwartenden Temperaturen liegen an der Kontaktfläche von Holzblock zum Reibrad zwar wesentlich höher als 150 °C, bedingt durch die schlechte Temperaturleitfähigkeit von Holz ist diese jedoch wenige Zentimeter von der Kontaktfläche entfernt wesentlich geringer. Daraus folgt, dass eine geringere Temperaturbelastung der Haftmasse auftritt, weshalb eine Temperaturstabilität von ca. 80 °C als ausreichend bewertet wird.

5.1.2 Untersuchung der Zugstabilität kombinierter Holzblöcke

Hierfür wurde die gelatinehaltige Schwartenmasse, der Pyrolyseträgerstoff, mit unterschiedlichen Flüssigrauchkonzentrationen versetzt. Es sollte die geringst mögliche Zugabemenge an Härtungsmittel eingesetzt werden, da es ansonsten zu einer zu schnellen Verfestigung kommen könnte und die Bearbeitungszeit zu gering ausfallen würde.

- Die Schwartenmasse wurde in einem Wasserbad allmählich erhitzt und mit Flüssigrauch vermengt.
- Je Schwartenmassen-Flüssigrauch-Konzentration wurden drei Holzblöcke 7 cm x 3 cm x 3 cm aus unbehandeltem Holz miteinander verbunden.
- Nach dem Schmelzen der Ausgangsmasse wurde der Flüssigrauch in einem Becherglas vorgelegt.
- Anschließend wurde dieses Gemisch auf beiden Seiten der zugeschnittenen Holzblöcke verteilt, dass die Auflageflächen komplett mit dem Flüssigrauch-Gelatine-Gemisch benetzt waren. Die Holzflächen wurden sofort aufeinander gepresst und so miteinander „verklebt“.
- Die Proben wurden 24 Stunden bzw. 7 Tage zum Aushärten in trockener Atmosphäre bei einer Temperatur von ca. 22 °C gelagert.

Die präparierte Gelatinelösung, die mit Flüssigrauch versetzt wurde, wurde analytisch auf die Festigkeit der Verbindung untersucht. Die Zugfestigkeit wurde mit einer Materialprüfmaschine und kombinierten Holzblöcken getestet. Dafür wurden zugeschnittene Miniaturholzblöcke mit geschmolzener Schwartenmasse mit unterschiedlichen Flüssigrauchkonzentrationen (Tabelle 32) versetzt. Die Masse wurde auf den zu verklebenden Holzoberflächen gleichmäßig verstrichen, sodass die Kontaktflächen überall benetzt waren. Die Blöcke härteten mindestens 24 Stunden aus, um realistische Produktions- und Lagerbedingungen nachzuahmen. Alle Proben verfestigten sich durch die Zugabe des Flüssigrauches, der die Vernetzungsreaktion durch das enthaltene Formaldehyd auslöste.

Tabelle 32: Angewandte Flüssigrauchkonzentrationen für die Zugversuche des Pyrolyseträgerstoffes

Probe	Flüssigrauchkonzentration in %
1b	0,5
2b	1,0
3b	2,0
4b	5,0
5b	10,0

Nach dem Aushärten wurden die verklebten Holzblöcke in die Materialprüfmaschine gespannt und die Zugkraft gemessen. Die Proben wurden im trockenen/kalten Zustand vermessen. Das Messgerät wurde bei allen Proben bis zur Belastungsgrenze beansprucht. Die Versuchsanstellung zeigte eine aufgewendete Zugkraft von 800 N, bei der die verklebten Holzstücke aneinander verblieben. Bei diesem Wert wurden die Messungen abgebrochen. Es konnte geschlussfolgert werden, dass der pyrolysestabile Trägerstoff unabhängig von der Konzentration an Flüssigrauch und ohne weitere äußere Einwirkungen mindestens 800 N Zugkraft standhalten konnte. Die Zugversuche mit der Materialprüfmaschine gaben Aufschluss über die Haftung bei direkter Belastung vertikal zur Klebefläche. Es konnte gezeigt werden, dass sich eine sehr stabile Haftung ausbildete.

5.1.3 Thermo- und Hydrostabilität der kombinierten Holzblöcke

Ausgehend von der Tatsache, dass in der Friktionsräucherammer Feuchtigkeit und höhere Temperaturen auf das Holz und den Pyrolyseträgerstoff einwirken, wurden vor den Zugversuchen die verklebten Holzblöcke im Dampfgargerät für zehn Minuten bei einer rel. Luftfeuchte von 100 % bei Temperaturen von 80 °C gelagert. Anschließend wurden die vorbereiteten Holzblöcke in die Materialprüfmaschine gespannt und die Zugkraft ermittelt, die zum Trennen der Holzkomponenten notwendig war. In der nachstehenden Tabelle sind die gemessenen Zugkräfte aufgeführt.

Tabelle 33: Zugkraft in N nach dem Erhitzen auf 80 °C und bei 100 % rel. Luftfeuchte für 10 Min., 24 h Aushärtung

Probe	Flüssigrauchkonzentration in %	Max. Zugkraft in N
1b	0,5	220
2b	1,0	260
3b	2,0	250
4b	5,0	150
5b	10,0	130

Die Proben mit der Zugabe von 1 % (2b) und 2 % (3b) Flüssigrauchkondensat hielten der Zugkraft nach dem Erhitzen und der Luftfeuchtezugabe am besten stand (in der Tabelle fett). Es musste eine Kraft von 250 N bzw. 260 N aufgebracht werden, um die Holzblöcke zu trennen. Die Probe mit 10 % Flüssigrauchkonzentration konnte nur mit 130 N belastet werden, bis beide Holzblöcke auseinanderbrachen. Mit steigender Flüssigrauchkonzentration erhöhte sich auch die Formaldehydkonzentration, weshalb sich die Quervernetzungen bei der letzten Probe schneller bildeten und die Verbindung zum Holz nicht ausreichend aufgebaut werden konnte. Die Haftung am Holz entstand durch das Ausfüllen der Mikrostruktur des Holzes und die dadurch sehr große Haftfläche. Härtete der Stoff zu schnell aus, würden weniger Kontaktflächen gefüllt. Der Pyrolyseträgerstoff war nicht mehr in der Lage, den hohen Zugkräften standzuhalten. Bei den Proben mit hoher Haftung konnte beobachtet werden, dass sich innerhalb des Trägerstoffes Holzbestandteile befanden, die sich durch die Belastung aus dem Holzblock gelöst hatten.

Demnach hatte nicht ausschließlich der Trägerstoff der Belastung nachgegeben, sondern auch das Holz selber.

Es wurde ferner vermutet, dass sich die Quervernetzungen erst nach längerer Zeit vollständig ausbilden. Deshalb wurden die verklebten Holzblöcke sieben Tage zum Aushärten getrocknet und erneut Zugversuche durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 34 aufgeführt. Die besten Resultate erzielten ebenfalls die Proben mit 1 % und 2 % Flüssigrauchzugabe. Eine wesentliche Veränderung der Haftfähigkeit hat sich nach der Lagerung jedoch nicht gezeigt. Die Maximalkraft-Werte lagen mit 290 N (1 %) und 230 N (2 %) im gleichen Bereich, wie die nicht gelagerten Proben. Bei 0,5 % Flüssigrauchzugabe war eine geringere Belastbarkeit von 160 N die Folge der Lagerung.

Tabelle 34: Zugkraft in N nach dem Erhitzen auf 80 °C und bei 100 % rel. Luftfeuchte für 10 Min., 7 Tage Aushärten

Probe	Flüssigrauchkonzentration in %	Zugkraft in N
1c	0,5	160
2c	1,0	290
3c	2,0	230
4c	5,0	180
5c	10,0	130

Nach den Versuchsreihen konnte geschlussfolgert werden, dass die Konzentration von 1 % Flüssigrauch eine optimale Konzentration zur Härtung darstellte. Hier zeigten sich die höchsten Festigkeiten und es konnte keine Abnahme der Stabilität durch die Lagerung verzeichnet werden. Aus der Eigenschaft des Holzes, Wasser aufzunehmen und zu quellen, resultierte ein zusätzlicher Stabilitätsverlust des Holzes an sich, wodurch eine Abnahme der Zugfestigkeit entstand.

5.1.4 Optimierung der Bearbeitungszeit

Die Verfestigungszeit der Zwischenschicht war ein wichtiges Kriterium für die Herstellung der neuartigen Kombinationsholzblöcke. Die Bearbeitungszeit musste ausreichend hoch sein, um eine Verfestigung vor dem Zusammenbringen der Holzblöcke auszuschließen.

Die Proben wurden entsprechend der vorhergehenden Versuche vorbereitet. Die unterschiedlichen Flüssigrauchkonzentrationen wurden hinzugegeben und ab diesem Zeitpunkt die Bearbeitungszeit bis zum Eintreten des Erstarrens gemessen.

Bei der manuellen Prüfung wurde die Masse bei Raumtemperatur (20 °C) auf ein Arbeitsbrett aus Teflon gegeben und anschließend manuell getestet, bis die Masse keine Haftung und keine viskosen Eigenschaften zeigte. Die Schichtdicke entsprach dabei der aufgetragenen Masse beim Verkleben der Holzblöcke. Es konnte gefolgert werden, dass sich die Bearbeitungszeit mit zunehmender Flüssigrauchkonzentration verkürzt, was eine Verarbeitung erschwerte. Die grafische Darstellung der gemessenen Zeiten in Abbildung 70 zeigt, dass der maßgebliche Effekt der schnelleren Verfestigung zwischen 0,1 % und 1 % Flüssigrauchzugabe auftritt. Anschließend

wurde die Verfestigung zwar weiterhin schneller, aber die Zeitdifferenz lag zwischen 1 % und 5 % nur bei 37,5 s, während die Differenz zwischen 0,1 % und 1 % bei 124,5 s lag. Demnach war es zielführend, die Zugabemenge mit erhöhter Haftung und Thermoresistenz und höchstmöglicher Verarbeitungszeit zu wählen. Die Konzentration von 1 % Flüssigrauch wurde als Favorit bestätigt.

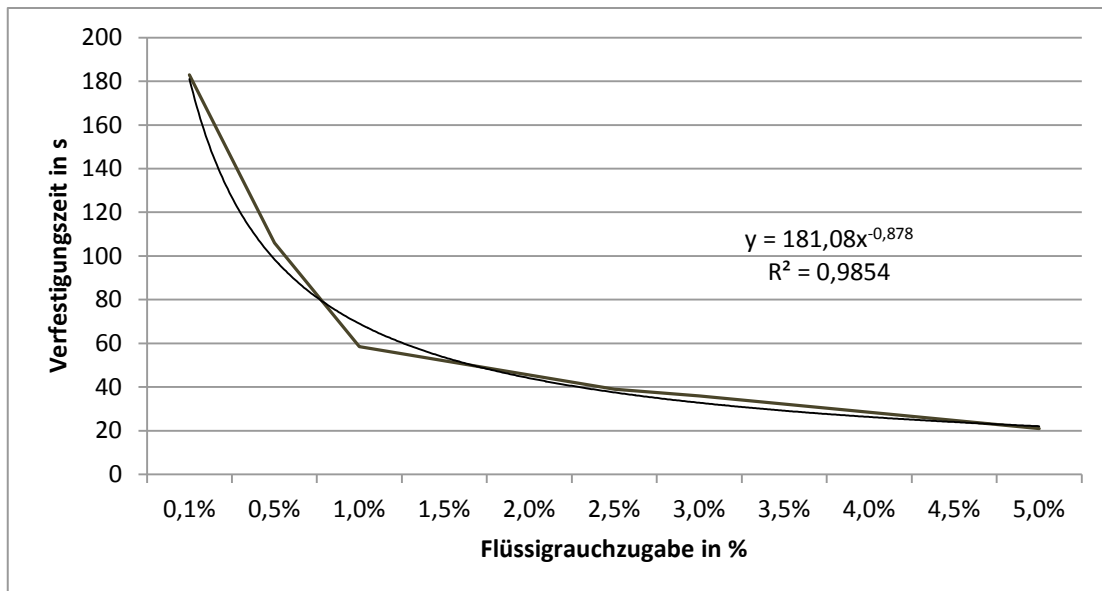


Abbildung 70: Graphische Darstellung der ermittelten Verfestigungszeiten von Schwartenmasse in Abhängigkeit der zugesetzten Flüssigrauchmenge

Eine Versuchsreihe im kleintechnischen Maßstab wurde zur Prüfung der Überführbarkeit durchgeführt. Die Holzteile (Länge 1 m, Breite 7,8 cm und Tiefe 3,7 cm) wurden verbunden und die Zeit bis zum Eintreten des Erstarrens der Haftmasse gemessen. Zusätzlich wurde die Ausgangsmasse der beiden Holzstücke bestimmt. Die Differenz betrug nach dem Auftragen der Haftmasse durchschnittlich 0,015 kg. Die Schicht wurde im Durchschnitt ca. 0,1-0,4 mm aufgetragen, je nachdem wie die Hölzer aufgebaut waren. Größere Zwischenräume wurden durch die Masse aufgefüllt. Bei einer Raumtemperatur von 23,5 °C konnte eine Verfestigungszeit von 88 s ermittelt werden.

Untersuchungen zur Zugbelastbarkeit der mit Ethanol versetzten Proben

Eine weitere Verbesserung der Verarbeitungszeit wurde durch Zusatz von Ethanol als Lösungsmittel gesehen. Es schirmt die hydrophilen Kollagenfilamente voneinander ab, verringert die Viskosität und verdampft bei Raumtemperatur aus dem System, sodass die hydrophilen Elemente nach dem Verdampfen aneinander liegen und eine verzögerte Bindung erreicht wird.

Eine Einarbeitung von Ethanol ließ die Masse weniger viskos werden, was das Auftrageverhalten verbesserte. Es wurden erneute Zugversuche durchgeführt, die sich mit der zuzuführenden Ethanolmenge befassten. Die Flüssigrauchkonzentration von 1 % lieferte die besten Ergebnisse bezüglich der Haftungsstabilität. Sie wurde als Standardkonzentration für die Trägerschicht gewählt. Es wurde erst die jeweilige Ethanolkonzentration und im Anschluss das

Flüssigrauchpräparat zugegeben. Die Reihenfolge der Zugabe wurde festgelegt, da das Gemisch zunächst weniger viskos sein sollte, bevor das Formaldehyd mit den Aminosäuren eine Reaktion eingeht und das Gemisch quervernetzt. Dies vereinfachte die Herstellung und Handhabung. Anschließend wurde das Gemisch auf die dimensionierten Hölzer aufgetragen und es wurden Zugmessungen durchgeführt, bei denen die in Tabelle 35 angegebenen Kräfte ermittelt wurden.

Tabelle 35: Zugkräfte der Holzblöcke mit Haftsubstanz bei 1 %iger Flüssigrauchzugabe und verschiedenen Ethanolkonzentrationen in der Schwartenmasse (bei 80 °C und 100 % rel. Luftfeuchte)

Probe	Ethanolkonzentration in %	Zugkraft in N
1f	0,0	250
2f	0,5	360
3f	1,0	270
4f	2,0	300
5f	5,0	280
6f	10,0	280

Es zeigte sich, dass die Ethanolkonzentration keinen abschwächenden Effekt auf die Haftfähigkeit der Haftschrift hatte. Der Pyrolyseträgerstoff wurde ab 1 % Ethanolzugabe flüssiger, bei 2 % ließ sich die Schicht besser in die Holzkombination einarbeiten. Die Zugfestigkeit war hierbei hoch und die Bearbeitungszeit verlängert. Die Hydrokolloide konnten durch das Ethanol schlechter Bindungsebenen aufbauen. Erst bei Verflüchtigung des Ethanols kam es zum Zusammentreffen abgeschirmter hydrophiler Molekülteile der Gelatine.

Die Versuchsreihen haben gezeigt, dass die Zwischenschicht mit einer Zugabe von 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol einen geeigneten, friktionsstabilen Pyrolyseträgerstoff darstellt. In den weiteren Versuchen wurde diese Mischung verwendet, um die unterschiedlichen Holzarten zu einem kompakten Räucherholzblock zu verbinden. Die Verfestigungszeit war mit 242 s wesentlich verlängert, was eine einfachere Bearbeitung gewährleistete.

5.1.5 Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen

Die Veränderungen der Strukturierung der Haftmasse konnte durch hochauflösende Rasterelektronenmikroskopaufnahmen erfasst werden. Die Schwartenmasseproben mit und ohne Flüssigrauchzugabe wurden der Versuchsvorschrift für die Rasterelektronenmikroskopie entsprechend vorbereitet. Anschließend wurden Bilder mit Vergrößerungen von 20fach bis 6000fach aufgenommen.

Die zwei Stunden thermisch behandelte Schwartenmasse galt als Referenz, um den Einfluss der Flüssigrauchzugabe auf die Mikrostruktur zu belegen.

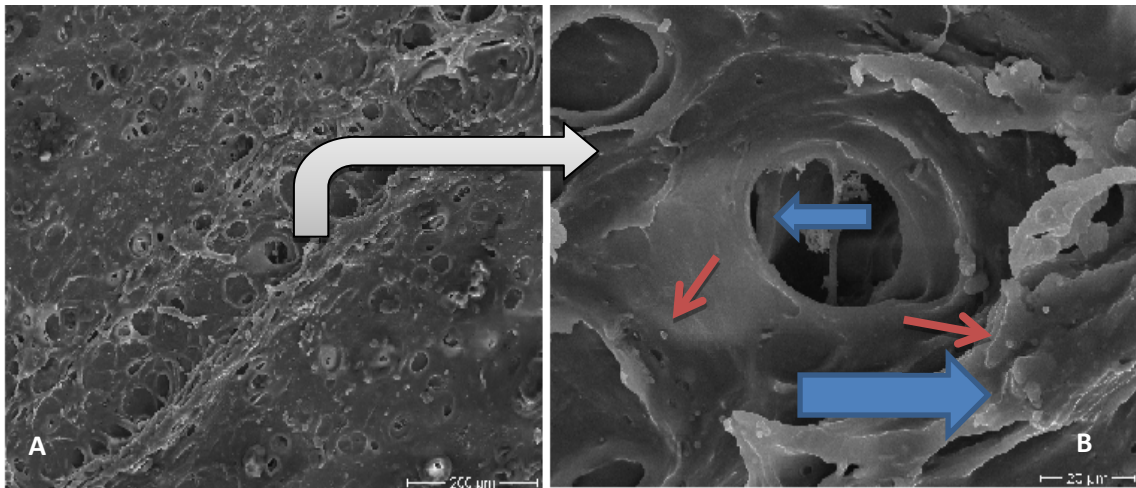


Abbildung 71: Rasterelektronenmikroskopaufnahme von 2 Stunden hydrothermisch behandelter Schweineschwartenmasse; Vergrößerung (A) 150x, (B) 6000x; der weiße Pfeil zeigt den zur Vergrößerung gewählten Ausschnitt, die blauen Pfeile weisen auf Gelatinestränge, die roten Pfeile auf enthaltene Öltröpfchen hin

In Abbildung 71 wird links die Schwartenmasse in 150-facher Vergrößerung dargestellt. Rechts ist ein Ausschnitt gezeigt, der 6000-fach vergrößert wurde. Im linken Teil der Abbildung ist ein Überblick über die Struktur gegeben. Es ist zu erkennen, dass eine relativ geschlossene, kompakte Struktur vorliegt. Der weiße Pfeil zeigt den für die Vergrößerung gewählten Ausschnitt. Die blauen Markierungen weisen auf die Gelatinestränge, die roten Markierungen auf die vorkommenden Öltröpfchen. Durch den Zerkleinerungsprozess bei der Herstellung der Schwartenmassen wurde enthaltenes Fett fein verteilt und emulgiert. Beim Erkalten und Verfestigen der Masse wurde das Fett fest eingebunden. Die Oberfläche wirkt glatt und es sind definierte Stränge zu erkennen. Die Quervernetzungen sind regelmäßig. Durch das langsame Erstarren hatte die Masse Zeit, regelmäßige Strukturen und breite zusammenhängende Bereiche auszubilden.

Die zweite Probe wurde mit den Zusätzen 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol versetzt. Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen sind in Abbildung 72 dargestellt.

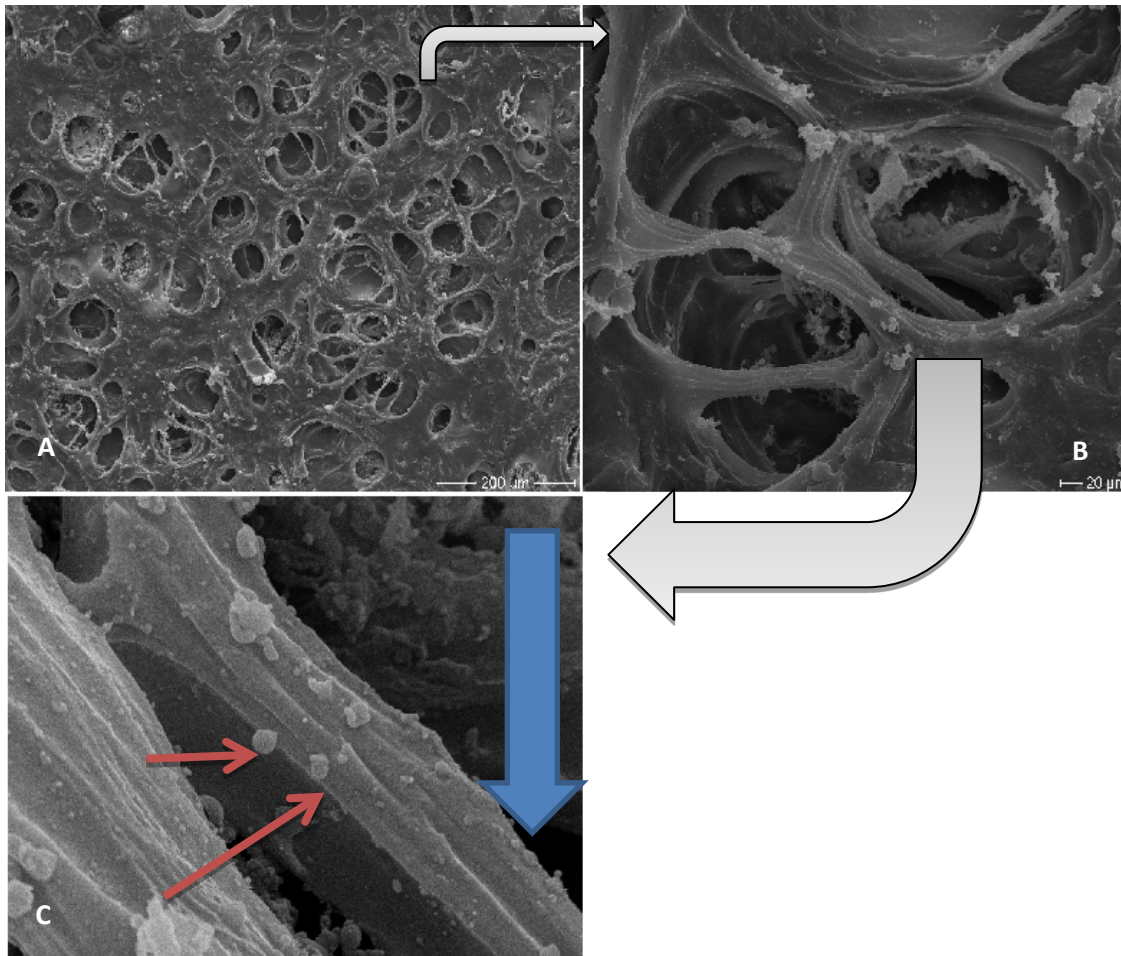


Abbildung 72: Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von Schweineschwartenmasse mit 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol, Vergrößerung: (A) 150x; (B) 1000x; (C) 6000x; die weißen Pfeile zeigen die zur Vergrößerung gewählten Ausschnitte, der blaue Pfeil weist auf Gelatinestränge, die roten Pfeile auf enthaltene Öltröpfchen hin

Die Abbildung 72 zeigt eine stärkere netzartige Struktur als bei der Schwartenmasse ohne Zusätze. Es gibt mehr Verbindungen und Stränge, die über die gesamte Oberfläche verteilt sind. Die Struktur ist offener und poriger. Dies erklärt sich durch die Vernetzung der Masse, die durch die Zugabe von Flüssigrauch erfolgte. Das Formaldehyd verband die enthaltenen Aminogruppen, wodurch sich Quervernetzungen schneller und starrer ausbildeten. Durch das schnelle Erstarren bildeten die eingeschlossenen Luftbläschen Poren, die die Oberfläche durchziehen. Die Proben wirken rauer mit mehr Unregelmäßigkeiten, die ebenfalls auf die erhöhte Verfestigungsgeschwindigkeit gegenüber der Schwartenmasse ohne Flüssigrauchzugabe zurückzuführen waren. Die Poren waren größer, als bei den Proben ohne Flüssigrauch.

Die nachfolgende Probe mit 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol wurde unter Umgebungsbedingungen für 7 Tage bei 20 °C gelagert, um eine Abtrocknung zu erreichen und so die Trocknung innerhalb der Holzkomponenten zu simulieren. Die REM-Aufnahmen sind in Abbildung 73 dargestellt.

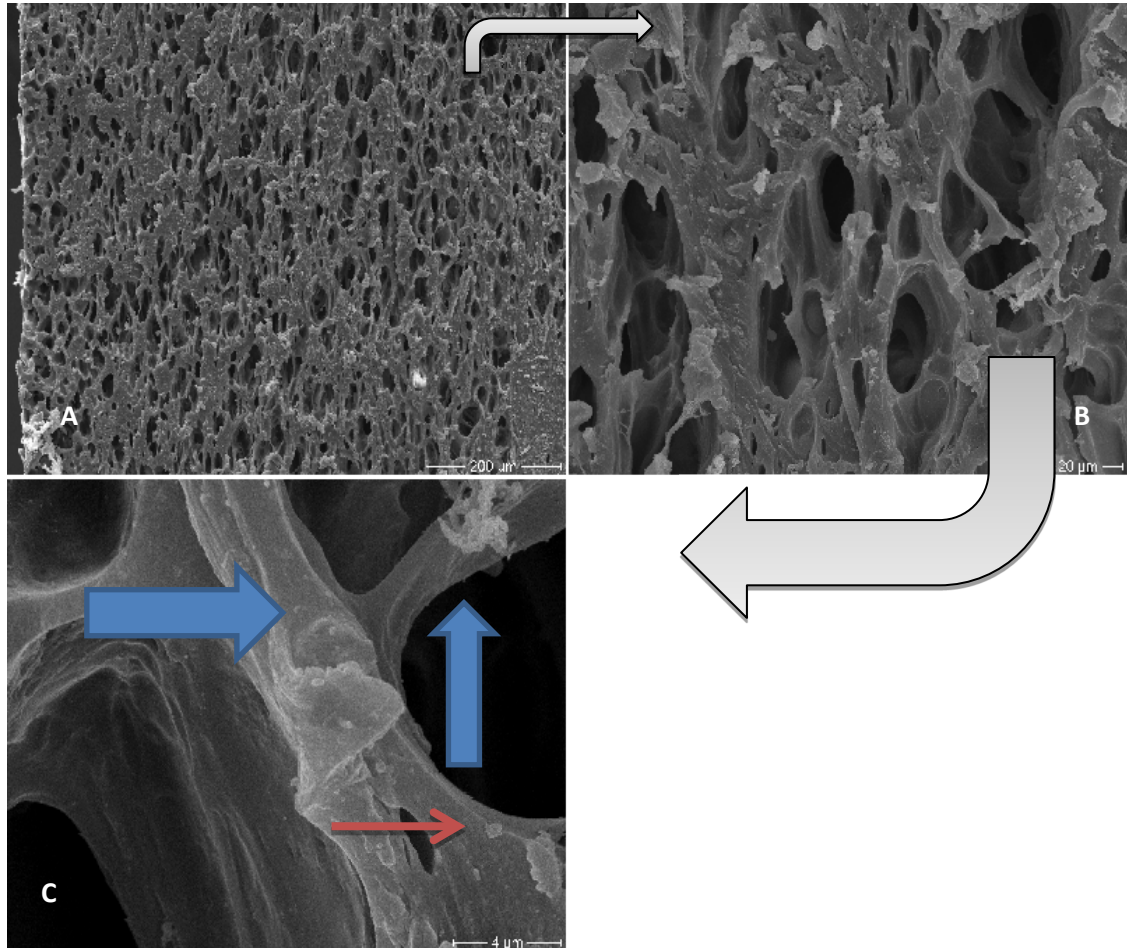


Abbildung 73: Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gelatinehaltiger Schweineschwarte mit ausgetrockneter Oberfläche, 1 % Flüssigrauch und 2 % Ethanol, Vergrößerung: (A) 150x; (B) 1000x; (C) 6000x; die weißen Pfeile zeigen die zur Vergrößerung gewählten Ausschnitte, die blauen Pfeile weisen auf Gelatinestränge, der rote Pfeil auf enthaltene Öltröpfchen

Es ist zu erkennen, dass wesentlich mehr Poren vorhanden waren. Die Quervernetzung wirkte amorpher als bei der vorangegangenen Probe und die Stränge waren im Vergleich zur nicht getrockneten Probe dünner und haben Volumen verloren. Die Poren waren nicht rundlich wie bei der ungetrockneten Probe, sie waren oval und unregelmäßig. Dem Zusammenziehen der elastischen Masse nach dem Wasserverlust folgte eine Verformung der Poren. Die gequollenen Gelatinefasern schrumpften und die Stränge entfernten sich voneinander. Die blauen Pfeile weisen auf die Kollagenstränge und der rote Pfeil auf die angelagerten Öltröpfchen.

Um die Auswirkungen der Ethanolzugabe zur Verarbeitungszeitverlängerung auf den Aufnahmen zu verdeutlichen, wurde eine Ethanolkonzentration von 5,0 % für den Versuch verwendet. Es wurde anhand der Zugversuche vermutet, dass die Quervernetzungen verringert auftreten, als bei einer Ethanolkonzentration von 2 % und sich durch die verzögerte Verfestigung analog zu den Proben ohne Flüssigrauch eine ebene Fläche ausbildete. Dies machen die nachstehenden Bilder in Abbildung 74 deutlich.

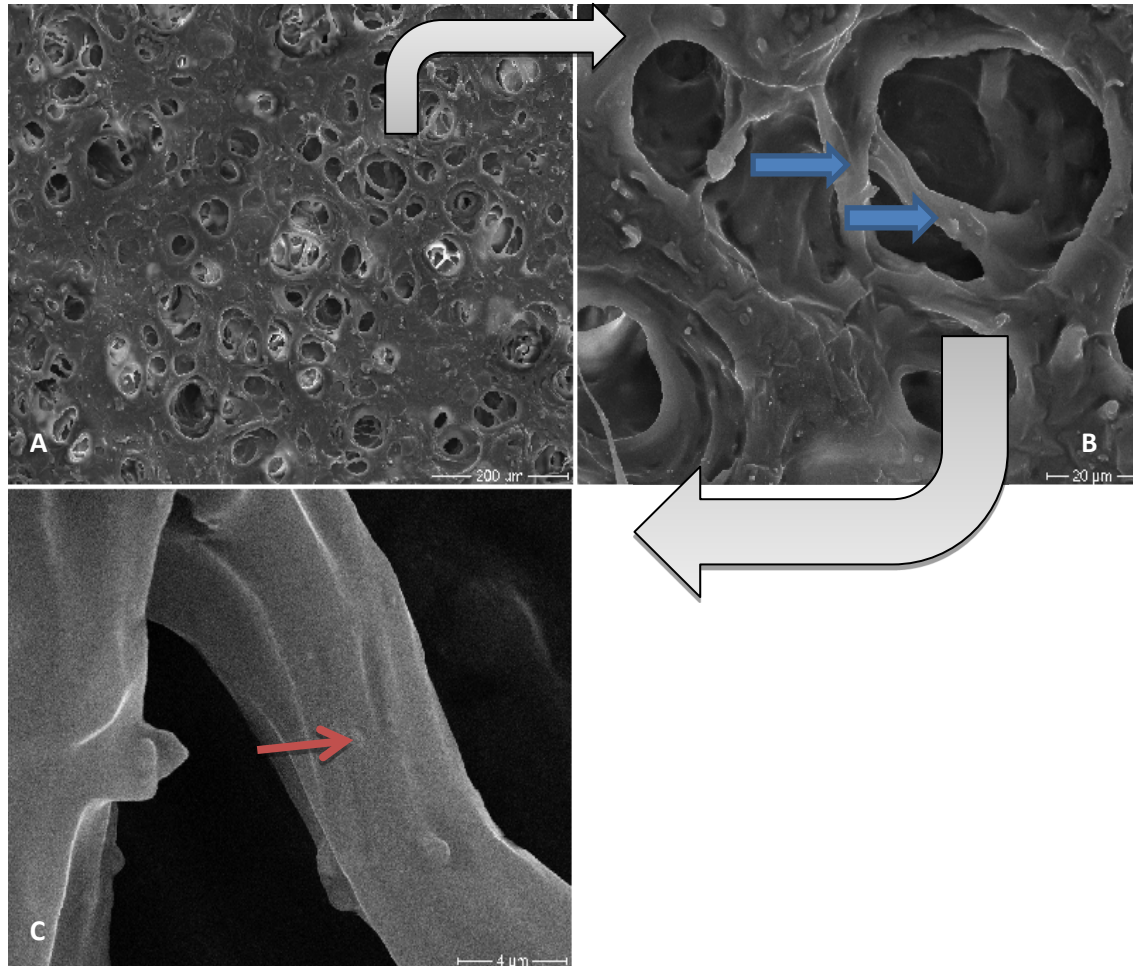


Abbildung 74: Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gelatinehaltiger Schweineschwarte mit 1 % Flüssigrauch und 5 % Ethanol, Vergrößerung: (A) 150x; (B) 1000x; (C) 6000x; die weißen Pfeile zeigen die zur Vergrößerung gewählten Ausschnitte, die blauen Pfeile weisen auf Gelatinestränge, der rote Pfeil auf enthaltene Öltröpfchen hin

Es zeigen sich weniger Quervernetzungen als bei der Zugabe von 2 % Ethanol, aber mehr als ohne Flüssigrauch- und Ethanolzugabe. Das Ethanol verhindert, dass sich die formaldehydbedingten Quervernetzungen unmittelbar ausbilden können. Durch die Abschirmung der hydrophilen Teile der Moleküle kommt es zu einer Viskositätsabnahme und zu einer Verlangsamung der Verfestigungsreaktionen. Die Verfestigung an den mit Ethanol besetzten Stellen findet erst nach dem Verdunsten des Ethanols statt. So kann eine längere Verarbeitungszeit ohne starke Beeinflussung der Haftung erreicht werden.

5.1.6 Friktionsstabilität der kombinierten Holzblöcke

Um die Friktionsstabilität der verklebten Hölzer zu prüfen, wurden die unterschiedlichen Proben dem Friktionsräucherverfahren zugeführt. Hierbei wurden zwei unbehandelte Kanthölzer bereitgestellt und die Oberfläche von Staub und anderen Verschmutzungen befreit. Das Gemisch wurde mit 1 % Flüssigrauch- sowie 2 % Ethanolzugabe vorbereitet und zügig auf den Hölzern verteilt. Die Hölzer wurden miteinander „verklebt“ und für sieben Tage zum Aushärten gelagert. In der Reibrauchanlage wurde das verbundene Versuchsholz für 30 Minuten zum Räuchern auf seine Friktionsstabilität getestet.

Von den geprüften Hölzern mit den Varianten

- Buche / Buche
- Buche / Kiefer
- Buche / Fichte
- Buche / Lärche
- Kiefer / Kiefer
- Fichte / Fichte

kam es bei keiner Variante zu einem Lösen. Es konnte durchgängig ein guter Verbund bestätigt werden. Die Hölzer hielten der Reibkraft stand und erwiesen sich für die Anwendung in der Friktionsräucheranlage geeignet. Sie wurden auf eine Balkenlänge von ca. 15 cm abgerieben und zeigten sowohl im feuchten als auch im warmen Zustand einen sehr guten Zusammenhalt.

5.1.7 Beeinflussung der Produktcharakteristika von Rohwurst durch die modifizierte Räucherung

pH-Wert

Da bei der Raucherzeugung neben Carbonylen und Ketonen auch Säuren entstehen, ist eine Einflussnahme auf die Würste nicht auszuschließen. Um den Einfluss des Räucherns auf die pH-Wert-Entwicklung im Inneren der Produkte nachzuweisen, wurden pH-Wert-Messungen vor und nach dem Räuchern durchgeführt. Mit den Werten wurde ein t-Test durchgeführt, um eine mögliche signifikante Veränderung des pH-Wertes durch die Räucherung zu ermitteln. Die Veränderungen der pH-Werte waren gering. Es wurde eine maximale Abweichung von 0,16 innerhalb aller Proben gemessen. Diese Veränderung wurde bei der Räucherung mit Buche ermittelt. Die Ergebnisse der t-Tests müssen unter dem Signifikanzniveau $p = 0,05$ liegen, damit sie sich signifikant unterscheiden. Keiner der ermittelten p-Werte lag unterhalb des Signifikanzniveaus. Das Räuchern hatte keine Auswirkungen auf die pH-Wert-Entwicklung der Rohwürste, dabei spielte es keine Rolle, welches der Räucherhölzer verwendet wurde. Zudem haben auch die unterschiedlichen Räucherzeiten keine signifikanten pH-Wert-Veränderungen durch die Räucherung gezeigt. (Ergebnisse siehe Anhang)

Farbe

Die Farbveränderung der Produktoberfläche durch den Räuchervorgang ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal geräucherter Waren. Die Farbe darf nicht zu stark ausgeprägt oder zu blass sein. Es dürfen auch keine Muster oder Flecken auftreten. Derartige Abweichungen werden vom Konsumenten als minderqualitativ bewertet und senken die Marktfähigkeit der geräucherten Produkte.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Verwendung von kombinierten Räucherhölzern nicht nachteilig hinsichtlich der Ausprägung der Räucherfarbe war. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zu einer Räucherung mit einzelnen Holzsorten inklusive dem traditionell verwendeten Buchenholz festgestellt werden. Lärchenholz führte bei allen Proben zu den geringsten Farbveränderungen gegenüber den ungeräucherten Proben. (Ergebnisse siehe Anhang)

5.1.8 Ergebnisse Aromaprofilanalyse unter Verwendung verschiedener Holzsorten

ASZ 1 - Orale Prägung

Grundsätzlich zeigten alle Proben bei der ASZ 1 ähnliche Ausprägungen der Aromen, was die Produktcharakteristik und die gleiche Rezeptur belegte. Es wurde allen voran das Attribut salzig genannt, weiter folgten scharf und sauer. Bei der Herstellung der Proben „Thüringer Runde“ wurden 30 g / kg NPS eingesetzt, was die salzige Note erzeugte. Die Säurewahrnehmung war auf die Milchsäurebildung während der Fermentation zurückzuführen. Die Schärfe wurde durch den Zusatz von Pfeffer erzeugt, zudem war bei einigen Proben die Schärfe auch als Salzscharfe bezeichnet worden. Es fand eine Überlagerung des scharfen Pfeffers und des Stechens durch die hohe Salzkonzentration statt. Die teilweise konstatierte Frische der Proben entstand durch das frühe Reifestadium von 7 Tagen der untersuchten Würste. Der Bezug zu einer kurzgereiften Salami, die teilweise einen Frischfleischcharakter besaß, wurde hergestellt.

Die geringen Wertungen bei leicht, stechend oder süß stellten eine hintergründige Beeinflussung des Produktaromas dar. Sie trugen dazu bei, dass das Aroma als voll wahrgenommen wurde, waren aber als Einzelaromen weniger wahrnehmbar. Abbildung 75 und Abbildung 76 zeigen beispielhaft die aufgenommenen Aromawerte von mit Buche und Buche / Kiefer geräucherten Wurstproben. Zu erkennen ist die Analogie in den Ausprägungen bei den unterschiedlichen Räucherholzarten sowie die Gleichförmigkeit der Ergebnisse untereinander. Die Ausprägungen der maßgeblichen Aromen sauer, salzig und scharf waren ähnlich, jedoch teilweise bei einer Räucherung mit der Kiefernholzkomponente verstärkt. Geringe Veränderungen wurden nur durch eine Räucherung mit Lärchenholz hervorgerufen (siehe Anhang). Hier waren die Süße sowie die Salzscharfe stärker betont als bei den anderen Proben. Zusätzlich wurde ein stechendes Aroma wahrgenommen.

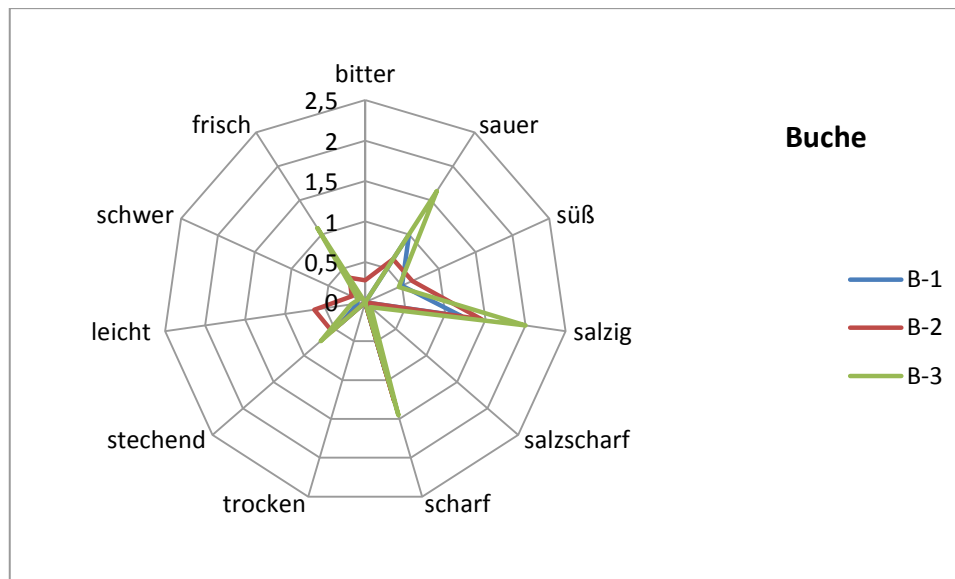


Abbildung 75: Spinnennetzgrafik der ASZ 1 – Orale Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Buchenholz

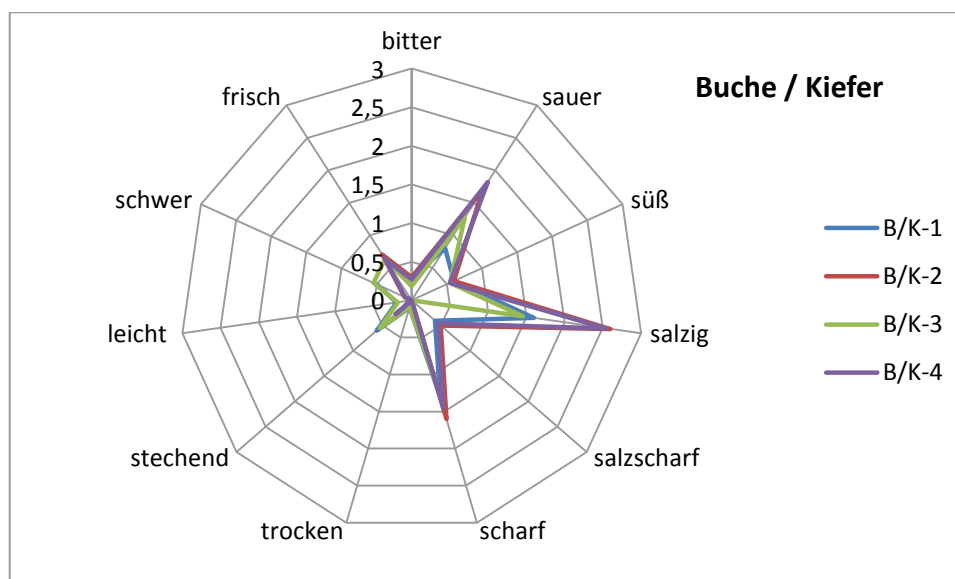


Abbildung 76: Spinnennetzgrafik der ASZ 1 – Orale Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Buchen- und Kiefernholz

ASZ 2 - Gewürzprägung

Die Abbildung der ASZ 2 zeigt die Gewürzprägungen der Wurstproben. Analog zur ASZ 1 zeigten sich hier ähnliche Ausprägungen der unterschiedlich geräucherten Proben. Somit konnte die Gewürzcharakteristik der Produkte dargestellt werden. Deutlich wurde, dass eine starke Pfefferwürzung die Produkte dominierte, die auch die Schärfe verursachte. Zudem wurden Knoblauch und ein leichtes Brühearoma detektiert. In sehr geringer Ausprägung wurde Senf wahrgenommen. Auch bei der ASZ 2 kam es durch die unterschiedliche Räucherung nur zu einer geringen Beeinflussung der Ausprägungen. Es wurde weiterhin eher die grundlegende Produktcharakteristik erfasst, als die durch die Räucherung erzeugte Änderung des Aromas. Abbildung 77 und Abbildung 78 zeigen die Ausprägungen bei den Räucherhölzern Buche / Kiefer

und Kiefer. Die Ausprägungen bei den Aromen Pfeffer und Knoblauch waren bei allen Proben gleichförmig (siehe Anhang). Abweichungen gab es bei der Räucherung mit Buchen- und Kiefernholz im Segment Brühe des Aromarades. Hier war eine stärkere Ausprägung zu verzeichnen. Bei der Räucherung mit Kiefernholz wurden abseits von Pfeffer nur wenige andere Begriffe genannt. Durch das Raucharoma wurden die Gewürz-Eindrücke vermindert, was nicht Ziel der Modifikation des Räucherverfahrens war.

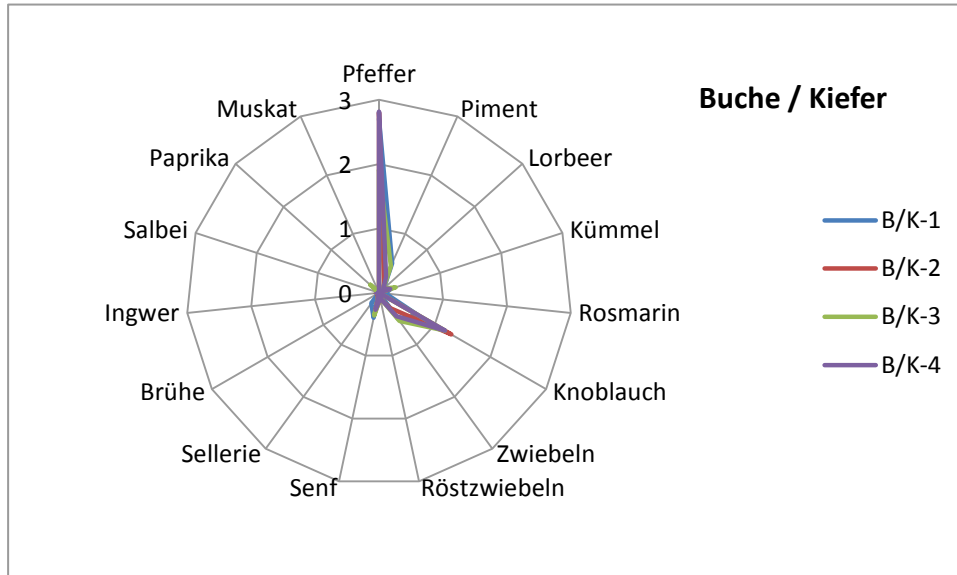


Abbildung 77: Spinnennetzgrafik der ASZ 2 – Gewürzprägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Kiefernholz

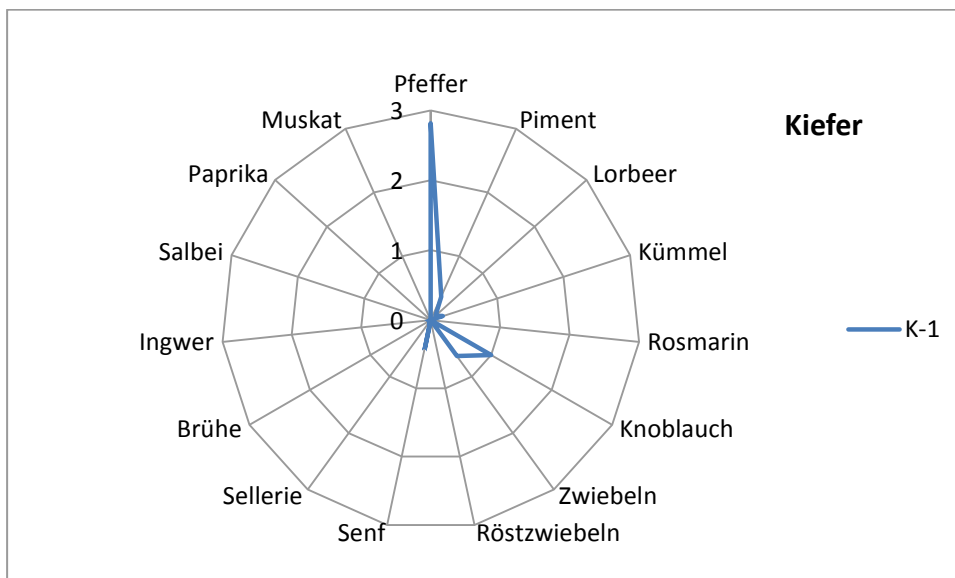


Abbildung 78: Spinnennetzgrafik der ASZ 2 – Gewürzprägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Lärchenholz

ASZ 3 -Sonstige Prägung

Unter den sonstigen Prägungen wurden Begriffe gesammelt, die schwer einer anderen Sektion zuzuordnen waren und nicht direkt zu den Aromen zählten. Es waren Wahrnehmungen von verschiedenen Fehlparfömen und Aromaeindröcken, die das Produkt näher beschrieben.

In den folgenden Abbildung 79 und Abbildung 80 sind die Ausprägungen bei den verschiedenen Räucherholzanwendungen dargestellt. Zu erkennen ist, dass insbesondere die Begriffe fettig, beißig und muffig eine Rolle spielten. Die Höhe der Ausprägungen lag meist, wie bei Buche / Kiefer zwischen 0,5 in 1 und war somit nicht als einzeln wahrnehmbar einzustufen (siehe Anhang). Es waren zum Teil Aromakomponenten, die für das typische Rohwurstaroma sorgten. Analog zur Parfümranzigkeit zeigten sich auch proteolytische Abbauprodukte, die derartige Aromen erzeugten. Bei Räucherung mit anderen Hölzern wurden Ausprägungen bei fade, seifig, warm und weitem ermittelt (siehe Anhang).

Herauszustellen war die Beeinflussung durch die Räucherung mit Lärchenholz (Abbildung 80). Hier waren deutlich stärkere Ausprägungen im Bereich beißig zu erkennen. Auch die Bewertungen des Aromas muffig waren deutlich stärker als bei den anderen Proben. Es konnte eine negative Aromatendenz der Proben gezeigt werden.

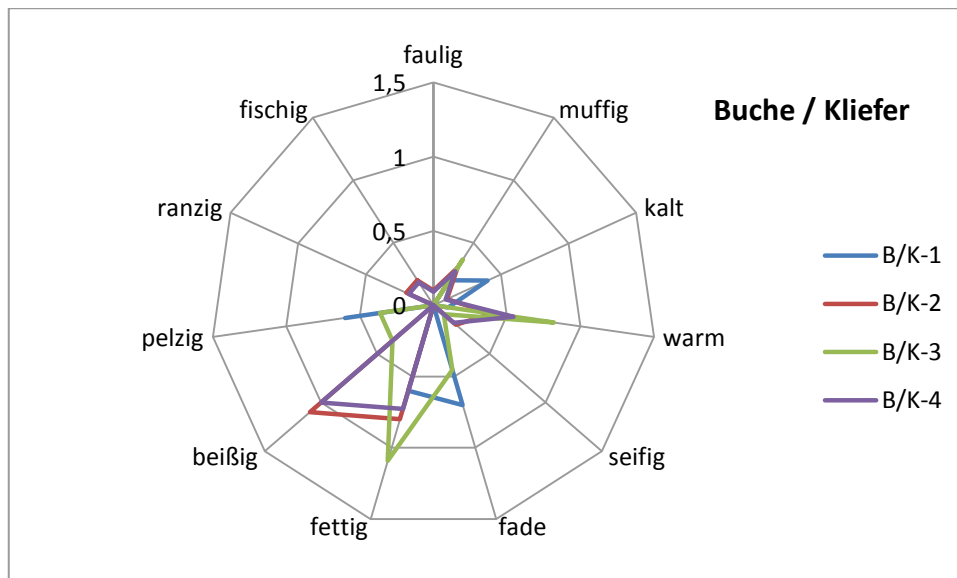


Abbildung 79: Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert

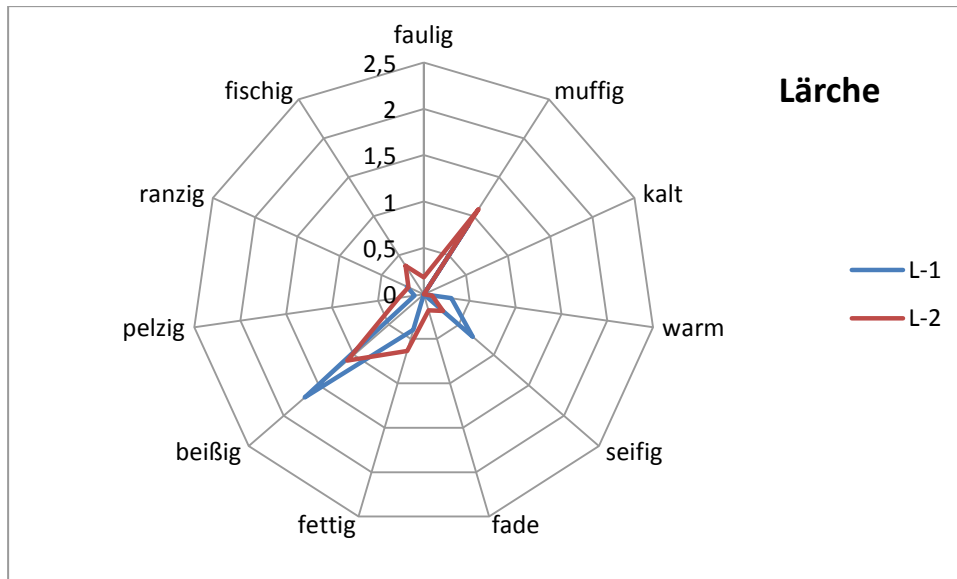


Abbildung 80: Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Lärchenholz geräuchert

ASZ 4 - Typisierung

Die ASZ4 gab den Aufschluss über die charaktertypischen Eigenschaften der Produkte. Es erfolgte eine Einordnung, die verdeutlichte, wie sehr das Produkt gewisse arttypische Bedingungen erfüllte. Bei einer wenig ausgereiften Rohwurst, wie sie zur Analyse vorlag, war eine Ausprägung im Bereich Rohwurst aber auch im Bereich Fleisch zu erkennen (Abbildung 81 und Anhang). Die Ausprägungen bei „Fleisch“ waren in einem Bereich, zwischen 1 – 1,5, was belegte, dass diese Eigenschaft das Produkt maßgeblich beeinflusste. Dominant demgegenüber war jedoch der Bereich „Rohwurst“ mit bis zu 2, der das Produkt eindeutig als solche charakterisierte. Es ließ sich eine Zuordnung zu einer nicht ausgereiften Rohwurst treffen.

Nur bei der Räucherung mit Lärche fiel die Wertung im Bereich „Rohwurst“ geringer aus als bei den anderen Proben (siehe Anhang). Die Werte lagen bei ca. bei 1,5 während die restlichen Proben Werte zwischen 1,5 und 2 zeigten. Die übrigen Prägungen in diesem Bereich wurden nicht oder nur sehr selten genannt, was eine veränderte Aromatisierung durch die unterschiedliche Räucherung negierte.

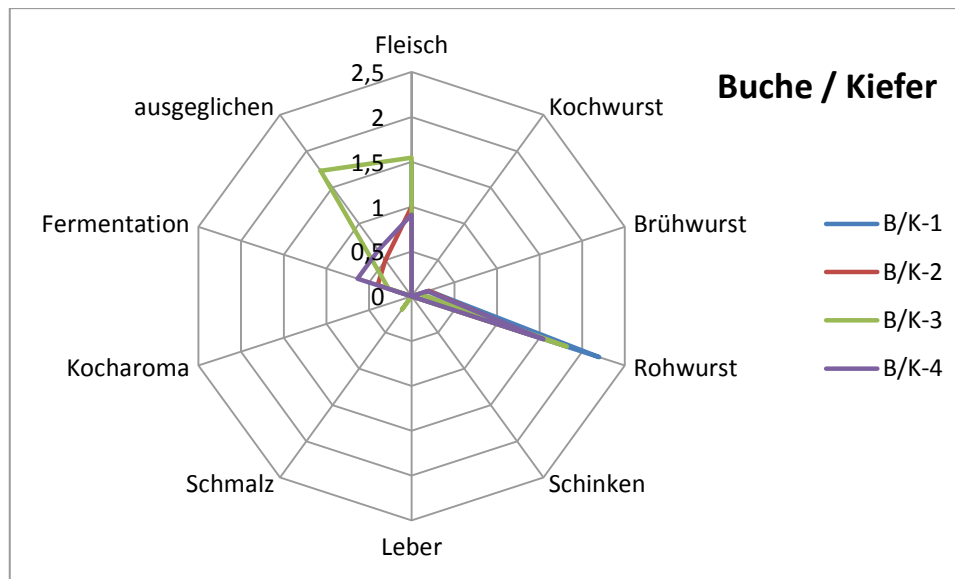


Abbildung 81: Spinnennetzgrafik der ASZ 4 – Typisierung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert

ASZ 5 - Räucherholzprägung

Die Ergebnisse der Aromaanalysen waren durch die Rauchbeaufschlagung differenziert. Es ließ sich eine Intensität und eine Charakteristik ableiten. Die Komplexität der Raucharomen sorgte für viele Überlagerungen in der Wahrnehmung. Die Sensibilität des Pannels reichte aus, die Unterschiede der Raucharomen ermitteln zu können, obwohl die Differenzierungen meistens nur gering waren. Zudem wurden diese von den intensiven Fleisch- und Gewürzaromen überdeckt und beeinflusst. Bei anderen Lebensmitteln z.B. bei Whisky oder Tee liegen diese Aromen wesentlich „freier“ vor, weshalb die Differenzierung hier besser gelingt. Aus den Ergebnissen der gesamten Aromaprofilanalyse können Informationen zu den Unterschieden zwischen den verwendeten Holzarten herausgestellt werden, die die Wahl einer favorisierten Lösung ermöglichen.

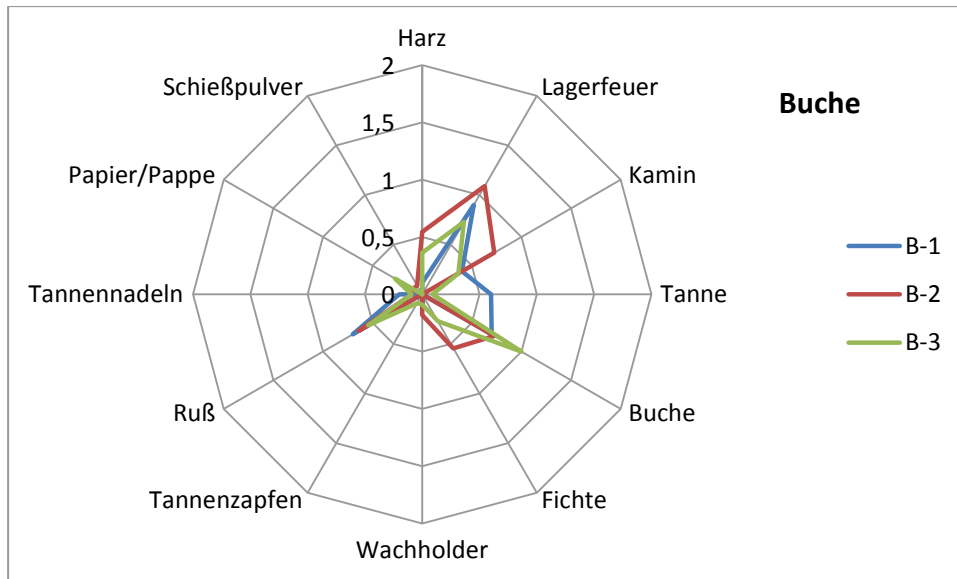


Abbildung 82: Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“
Proben mit Buchenholz geräuchert

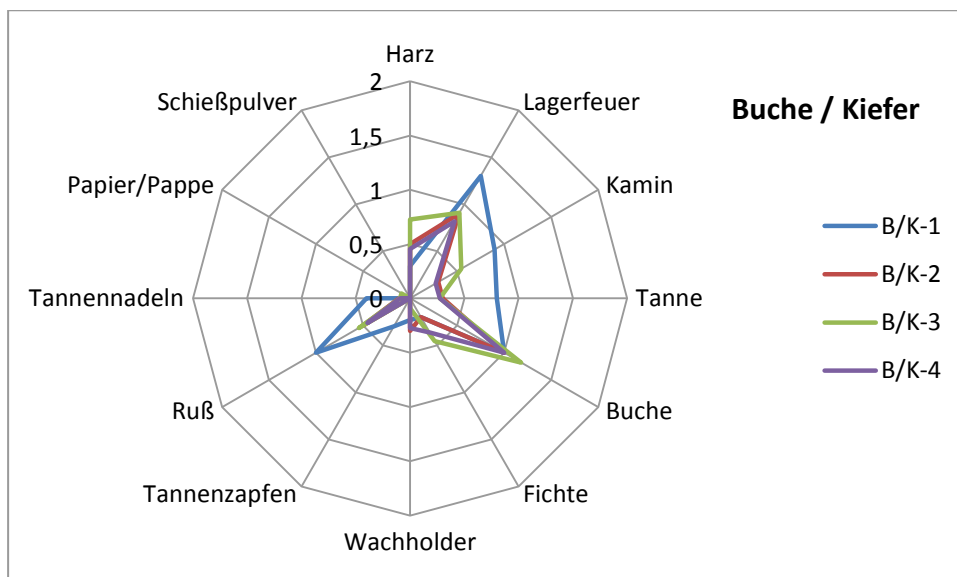


Abbildung 83: Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“
Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert

Abbildung 82 und Abbildung 83 zeigen, dass die Räucherung mit Buche zu einem Räucheraroma ohne extreme Aromatendenzen führte. Die Werte der Einzelprägungen bewegen sich alle unter 2. Zudem zeigte sich, dass ein Räuchern mit Kiefernanteil zu einer Ergänzung des Aromas in den Bereichen Tanne und Ruß führte. Diese Erweiterung der Aromen ohne eine dominante Überlagerung mit Einzelaromen war der gewünschte Effekt der Holzkombination.

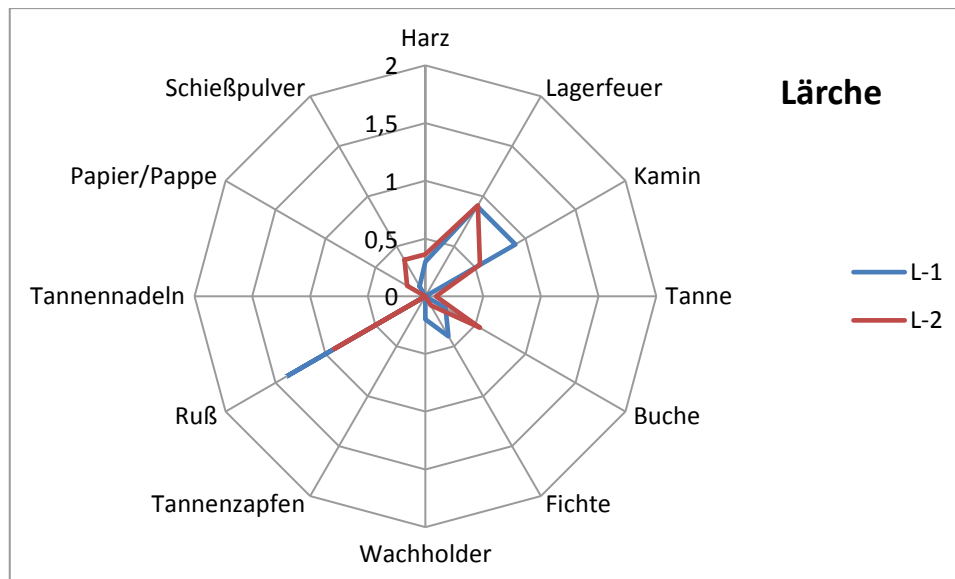


Abbildung 84: Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“
Proben mit Lärchenholz geräuchert

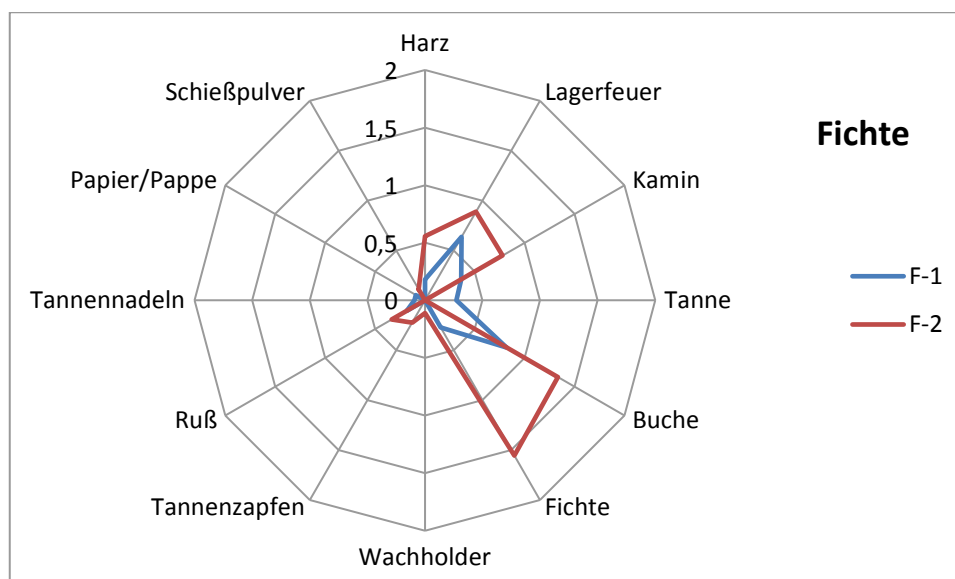


Abbildung 85: Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“
Proben mit Fichtenholz geräuchert

Die Auswahl einer Holzkombination als Favoriten orientierte sich an der Bewertung der anderen Aromasegmentzahlen sowie an den positiv und negativ assoziierten Aromen innerhalb der ASZ 5. Insbesondere der Einfluss des Rußes, der als negativ gewertet wurde, fand Beachtung. Hier waren die Ausprägungen bei Buche / Kiefer mit bis zu 1 und bei Lärche mit bis zu 1,5 erhöht (Abbildung 83). Positiv wurden Aromaprägungen wie Lagerfeuer, Kamin sowie Holznoten wie Buche und Fichte gewertet. Es zeigte sich, dass die Räucherung mit Buche gute Ergebnisse lieferte, aber in der Gesamtheit der Diversität der Aromen von Buche / Kiefer übertroffen wurde. Lärche zeigte nur wenige Aromen abseits von der starken Ausprägung im Bereich Ruß. Die Räucherung mit Fichte hatte zwar viele Holznoten, jedoch eine Überbetonung der Nadelholzkomponente „Fichte“ zur Folge.

ASZ 6 - Subjektive Prägungen

Die subjektiven Prägungen geben den Einfluss der nicht als Zutaten oder durch Behandlung eingegebenen Aromen, sondern der assoziativen Bewertung von Fremdaromen wieder. Das war insbesondere wichtig, um die Komplexität der Aromen zu zeigen. Oft wurden Proben, die viele Bewertungen innerhalb der ASZ 6 aufwiesen, als besonders gefällig bewertet. Es gab jedoch einige Einzelprägungen, bei deren Nennung die Proben als unangenehm empfunden wurden. Insbesondere die mit Lärche geräucherten Proben hatten eine gummiartige Note (siehe Anhang), die das Produkt sehr negativ beeinflusste. Die Ausprägungen bei Buche waren sehr gering, wobei die Assoziation mit Wald überwog. Die Räucherung mit Buche und Kiefer zeigte ein breiter gefächertes Spektrum an Nennungen z.B. Wald, Wiese, Lakritz, Honig, Vanille und zum Teil auch Gummi, jedoch geringer ausgeprägt als bei Lärche. Kiefer alleine zeichnete sich zwar durch etwas andere aber gleich schwache Nennungen wie bei Buche aus (siehe Anhang). Die Kombination von Holzsorten sorgte für eine gegenseitige Ergänzung der Aromavielfalt. Erkenntlich wurde, dass Prägungen wie Karamell, Vanille, Honig oder Lakritz aus dem Lebensmittelbereich und Wald, Laub, Gras oder Erde als „Fremdaromen“ positive Wahrnehmungen waren.

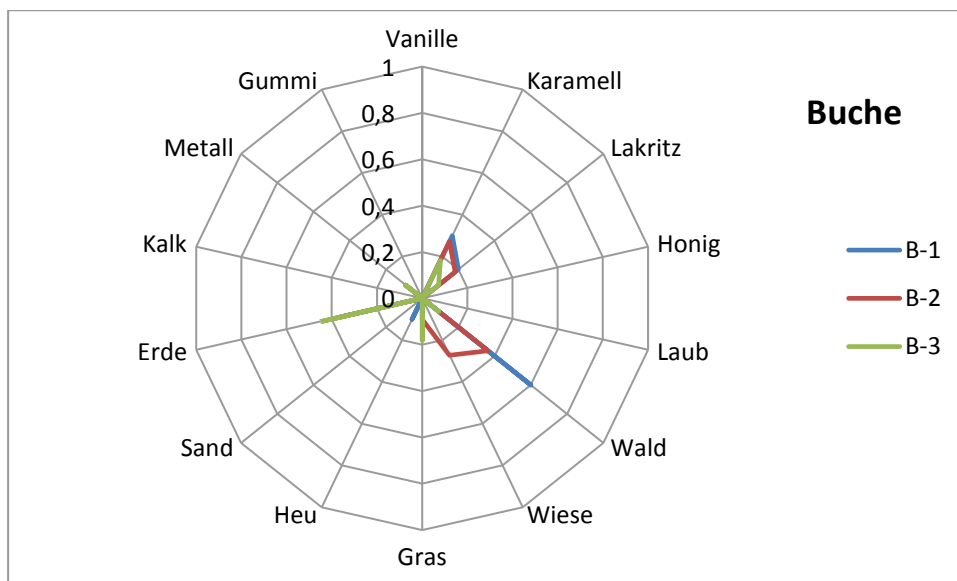


Abbildung 86: Spinnennetzgrafik der ASZ 6 – subjektive Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchenholz geräuchert

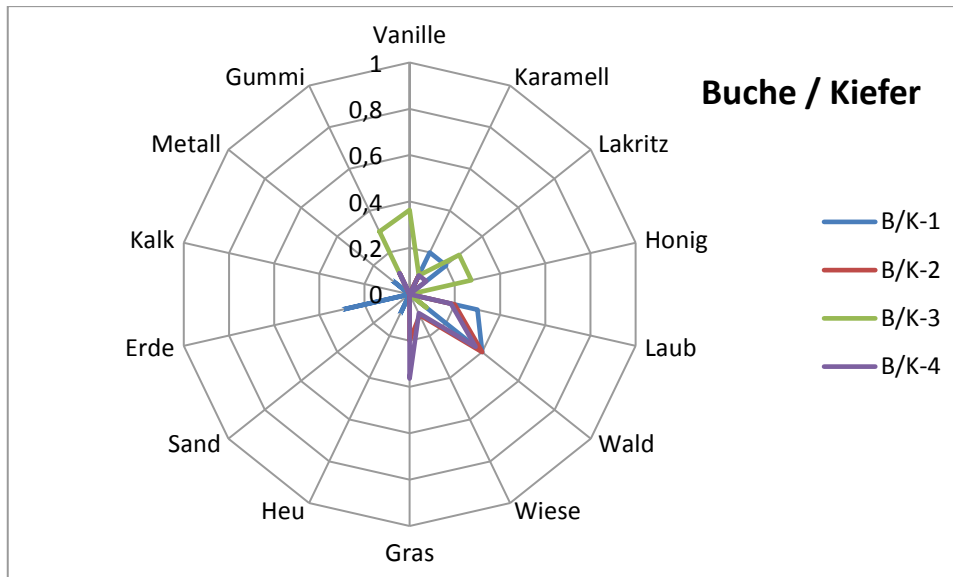


Abbildung 87: Spinnennetzgrafik der ASZ 6 – subjektive Prägung von „Thüringer Runde“
Proben mit Buchen- und Kiefernholz geräuchert

5.1.9 Zusammenfassung der Ergebnisse der Räucherversuche

Ziel war es, ein Raucherzeugungsverfahren zu entwickeln, durch das eine spezifische aromadeterminierte Rauchbeaufschlagung bei Fleisch- und Wurstwaren möglich wird. Dazu sollten verschiedenartige Holzkomponenten zum Einsatz gelangen.

Es konnte eine geeignete Pyrolyseträgerschicht entwickelt werden, die in der Lage ist, eine Kombination von Räucherholzmaterialien miteinander zu verbinden. Die Bindung war wasserunlöslich und thermostabil, was für den Räuchervorgang unabdingbar war. Die Zwischenschicht konnte die Blöcke aneinander fixieren. Die Holzblöcke wurden auch bei mechanischer Belastung am Reibrad der Friktionsrauchanlage nicht voneinander getrennt. Der finale Pyrolyseträgerstoff setzte sich aus

- 97,0 % zwei Stunden hydrothermisch behandelter Schweineschwarte,
- 1,0 % Flüssigrauch und
- 2,0 % Ethanol zusammen.

Er wurde auf die Holzkomponentenoberflächen, die verbunden werden sollten, aufgetragen und die beiden Blöcke aufeinander gepresst. Nach 24 Stunden Aushärten konnte der Block in der Friktionsrauchanlage eingesetzt werden. Eine Lagerung über 2 Monate war ebenfalls nicht nachteilig, da sich nach vollzogener Wasserabgabe der Stoff nicht weiter veränderte.

Die kombinierten Räucherhölzer wurden für die Anwendung bei verschiedenen Fleisch- und Wurstwaren hergestellt. Es wurden Rohwürste zur Eignungsprüfung herangezogen. Es sollte gezeigt werden, welche Kombinationen von Räucherholz sich für welche Produkte eignen. Es wurden Räucherprogramme für die Anwendung erstellt und die Auswirkungen auf das Räuchergut analysiert. Es hat sich gezeigt, dass die Verwendung unterschiedlicher Holzsorten auf die analytischen Werte Farbe und pH-Wert keinen erheblichen Einfluss hatten.

Die verschiedenen Holzarten veränderten das Aroma der Würste, was durch den Einsatz eines Aromarades analytisch erfasst wurde.

Die angepassten bzw. entwickelten Räucherverfahren bewirkten bei den Produkten sehr differenzierte Aromaergebnisse. Die Beeinflussung durch den Räucherrauch konnte die grundlegenden Produktcharakteristika nicht verändern, was auch nicht gefordert war. Dementsprechend war eine Gleichartigkeit der Ergebnisse Resultat. Die durch unterschiedliche Rauchbeaufschlagung behandelten Produkte zeichneten sich durch eine jeweils eigene rauchcharakteristische Note aus. Das konnte wie im Falle von Lärchenholz zu einer gummiartigen, rußbetonten Note, die die Gewürzaromen überlagert, oder wie bei der Verwendung der Mischung aus Buchenholz und Kiefernholz zu einer Ergänzung des Buchenraucharomas um interessante Nadelholzkomponenten führen. Bei der Verwendung von Kiefernholz als alleiniges Räuchermittel oder in Mischung traten ebenfalls wie bei Lärche Rußaromen auf, die im Falle der Kiefer jedoch nicht dominant, unangenehm wirkten und in der Mischung einen wertvollen Beitrag zum Gesamtaroma leisteten.

Es konnte ein wiedererkennbares Aroma erzeugt werden, dass einen Betrieb in die Lage versetzt, sich durch das Raucharoma von Konkurrenzprodukten abzuheben. Neben der Kombination zweier Holzarten war auch eine gleichzeitige Verwendung von 3 oder mehr Komponenten denkbar, wobei aus Sicht der Verarbeitung und Logistik mehr als zwei Schichten Holz als wenig praktikabel einzuschätzen sind.

Neben der Räucherung von Rohwürsten wurden Kochwürste und Rohschinken mit unterschiedlichen Räucherhölzern behandelt. Die Zusammensetzungen von Räucherholz, die für die jeweiligen Wursterzeugnisse die besten Qualitäten erzeugten, sind in Tabelle 36 dargestellt.

Tabelle 36: Favorisierte Holzzusammensetzungen für das Räuchern mit der Friktionsrauchanlage Maurer mc 5, Allround-System-Rondette

Produkt	Räucherholzzusammensetzung Verhältnis 1 : 1
Rohwurst (Art Thüringer Runde)	Buchenholz und Kiefernholz
Kochwurst (Leberwurst Thüringer Art)	Buchenholz und Fichtenholz
Rohpökelware (Rohschinken)	Buchenholz und Kiefernholz; reine Buche anschließend Buchenholz und Fichtenholz

Insbesondere die Kombination von Buchenholz und Kiefernholz war für Rohwurst- und Rohpökelwaren sehr gut geeignet. Bei den Kochwürsten, bei denen die Hülle dicker und undurchlässiger war als bei Rohwurst zeigte sich, dass die intensive Fichtennote einen guten Beitrag zum Aroma bildete, da sie sich in angenehmer Stärke im Produkt wiederfand.

Die Verwendung des Kiefernholzes brachte die Anreicherung durch die Nadelholzkomponente weniger dominant in das Produkt ein und eignet sich deshalb besser für die direkte Beaufschlagung der Lebensmitteloberfläche, die verzehrt wird, wie es bei Schinken der Fall ist.

6 Zusammenfassung

Die innerhalb der vorliegenden Arbeit behandelten Teilverfahren der Rohwurstherstellung, die Reifung und die Räucherung, konnten durch die durchgeführten Forschungsarbeiten entscheidend verbessert werden.

Durch die Modifikationen des Fermentationsverfahrens konnte die Reifung schneller und sicherer gestaltet werden. Die frühzeitige Anreicherung der Reifekulturen gepaart mit der eher einsetzenden a_w -Wert-Senkung macht das Produktionsverfahren extrem sicher.

Zusätzlich zur Lebensmittelsicherheit ermöglicht die Entwicklung eine Produktion von Rohwürsten, die eine analoge Charakteristik zu gut ausgereiften Produkten haben. Die dafür benötigte Reifezeit von 6 - 7 Tagen entspricht jedoch nur einem Bruchteil der konventionell benötigten Zeit.

Die sich aus der Einschränkung des a_w -Wertes und damit der Wasserverfügbarkeit für mikrobiologische Prozesse ergebende Nutzungsmöglichkeit zur Fermentationssteuerung konnte erfolgreich eingesetzt werden, um die pH-Wert-Entwicklung von der Kohlenhydratkonzentration abzukoppeln. Die erfolgreiche Begrenzung der pH-Wert-Absenkung konnte infolgedessen zur Integration von kohlenhydratreichen Einlagen verwendet werden. Neben der Verwendung von Brot wurden Fruchteinlagen eingesetzt, um die prinzipielle Verfahrensführung zu bestätigen, was ebenfalls gelang. Durch das entwickelte Verfahren wird es möglich eine sehr breite Palette von Zutaten in Rohwurst zu integrieren, was bisher grundsätzlich nicht möglich war. Die konventionell bei Kohlenhydratüberschuss viel zu stark ausfallende Milchsäurebildung wurde eingeschränkt und sensorisch sehr ansprechende, neuartige Produkte erzeugt.

Das Friktionsräucherverfahren wurde durch die Entwicklung des Kombinationsverfahrens sowohl wirtschaftlich als auch sensorisch optimiert. Eine bisher nicht mögliche Verwendung verschiedener Holzmischungen macht das Verfahren deutlich variabler, sodass betriebsspezifische Räucherrauchnoten erzeugt werden können. Zudem konnte der sensorische Eindruck des Glimmrauchverfahrens durch geeignete Kombination von Buchenholz und Kiefernholz für Rohwürste nachgestellt werden. Damit werden die sensorischen Vorteile des Glimmrauchs mit der geringeren PAK-Belastung des Friktionsrauchverfahrens kombiniert. Zusätzlich können günstigere Holzarten verwendet werden und bei einer geeigneten Stückgröße Holzabschnitte in der Friktionsräucheranlage verwendet werden, was die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens enorm verbessert.

Im Folgenden werden die Verfahrensmodifikationen und die Versuchsergebnisse kurz zusammengefasst dargestellt sowie ein Ausblick für weitere auf den Ergebnissen basierende Entwicklungen gegeben.

6.1 Fermentationsverfahren

- Beschleunigung der Milchsäurebildung durch Anreicherung der Mikroorganismen in den Fettbestandteilen

Die Anreicherung der Milchsäurebakterien bzw. der Starterkulturkeime in den Fettbestandteilen des Brätes wurde erfolgreich umgesetzt und diente als Basis für die optimierte Verfahrensführung bei der Rohwurstherstellung. Die dazu geeigneten Verfahrensparameter wie Zerkleinerung, Temperatur und Luftabschluss wurden eingestellt und das Fett so für den Einsatz in Rohwurst konditioniert. Es zeigte sich, dass es bei ungeeignet gewählten Parametern, insbesondere einem zu hohen Zerkleinerungsgrad, zu einem Fettaustritt kam. Dieser wirkte sich nachteilig auf die Strukturbildung aus, was durch die entwickelte Verfahrensführung unterbunden werden konnte. Die ermittelten optimalen Verfahrensparameter sind in Tabelle 37 angegeben.

Tabelle 37: Ermittelte Parameter zur vorgelagerten Fermentation von Fettgewebe

Parameter	Temperatur	Zeit	KH-Konz.	Zerkleinerung	Partikelgröße	min. pH
Wert	30 °C	24 h	20 g / kg Glc.	manuell	5 mm	4,8

Nach der Fermentation des Fettes hatten sich sowohl die Mikroflora als auch der pH-Wert des Fettes positiv im Sinne der Rohwurstreifung eingestellt. Durch den Einsatz des fermentierten Fettes lagen die gewünschten Mikroorganismen vermehrt gegenüber der Mikroorganismenzahl bei der konventionellen Herstellung vor und die pH-Wert-Hürde war stärker ausgeprägt.

- Einschränkung der pH-Wert-Senkung durch geeignete Trocknungsregime des Magerfleisches

Aus der beschleunigten Milchsäurebildung, die aus der Anreicherung der gewünschten Mikroorganismen im Wurstbrät folgte, resultierte eine zu starke Beeinflussung der Magerfleischproteine, die ausgeglichen wurde. Zudem wurde zum früheren Erreichen eines verkaufsfähigen Reifegrades die Wasserabgabe schnell realisiert, da die beschleunigte pH-Wert-Entwicklung alleine dem Produkt nicht die geeignete Textur gab. Eine schnelle Trocknung durch Veränderung der äußeren Fermentationsparameter war aufgrund der entstehenden Rohwurstfehler wie Trockenrand und feuchter Kern nicht zielführend, sodass eine partielle Reduktion des im Magerfleisch vorliegenden Wassers realisiert wurde. Durch die Reduktion des Wassergehaltes zeigte sich die erwünschte Einschränkung der pH-Wert-Senkung infolge einer geringeren Milchsäurebildung. Problematisch war hingegen erneut die Strukturierung der Produkte, da weniger aktive, gelöste Proteine vorlagen, die bei Unterschreiten des Isoelektrischen-Punktes ein Gelnetzwerk ausbildeten. Da eine schnelle Abgabe des Wassers aus dem Brät nach dem Füllen in Wursthüllen nicht realisierbar war, wurde ein Trocknungsregime für die Magerfleischfraktion entwickelt, mit dem sowohl die pH-Wert-Entwicklung gewünscht gesteuert und eine hohe Strukturierung mit ausgezeichneter Schnittfähigkeit realisiert wurde. Der notwendige Wassergehalt von 50 – 55 % wurde durch ein entwickeltes, spezifisches Trocknungsregime erzeugt, da sich nur so die Einschränkung des pH-Wert-Abfalls mit

ausreichend für die Strukturbildung vorliegenden, nativen Magerfleischproteinen verbinden ließen. Das entwickelte Trocknungsregime ist in Tabelle 38 dargestellt.

Tabelle 38: Trocknungsregime für die Magerfleischfraktion der Rohwurst mit vorfermentiertem Fett

Magerfleischanteil	Trocknung
15 % des Magerfleisches	originär
65 % des Magerfleisches	1,5 h Trocknung
20 % des Magerfleisches	4 h Trocknung

Durch Kombination der vorgelagerten Fermentation des Fettes und der Trocknung des Magerfleisches konnten im Resultat hochqualitative Rohwurstprodukte hergestellt werden, die ein ausgeprägtes Reifearoma hatten. Sie zeigten die Charakteristiken, die lang gereifte Rohwürste haben und die mit konventioneller Verfahrensführung nur durch wochenlange Reifung zu erreichen sind.

- Die kohlenhydratunabhängige Reifung als Folge der Wassereinschränkung wurde entwickelt

Auf Basis der im Zuge der Einschränkung des Wassergehaltes im Rohwurstbrät gewonnenen Erkenntnisse wurde die Theorie aufgestellt, dass die Einschränkung des Wassergehaltes im Brät vor der Reifung die Milchsäurebildung vom Kohlenhydratgehalt unabhängig macht, solange keine Wachstumsbeschränkung durch eine zu starke Trocknung vorliegt. Durch Versuche mit verschiedenen Trocknungsgraden und Kohlenhydratkonzentrationen konnte die Theorie bestätigt werden. Es zeigte sich, dass ab einem Ausgangswassergehalt des Brätes von ca. 55 % eine Beeinflussung des minimalen pH-Wertes auftrat. Der für die gewünschte pH-Wert-Senkung auf einen Wert unter 5,3 und über 5,0 geeignete Ausgangswassergehalt des Brätes lag zwischen 55 % und 50 %. Unterhalb eines Wassergehaltes von 50 % kam es zu einer zu geringen Senkung des pH-Wertes, die die geforderte Lebensmittelsicherheit nicht gewährleisten kann.

- Das Verfahren wurde durch den Einsatz von Brot unterschiedlicher Sorten bestätigt

Die Wassergehaltsgrenzen zur Einschränkung der pH-Wert-Senkung wurden im Folgenden durch den Einsatz von Brot als Einlagematerial bestätigt. Durch das Brot kam es zu einer enormen Überdosierung von Kohlenhydraten, was durch die Einschränkung des verfügbaren Wassers für die mikrobiologischen Prozesse nicht zu einer zu starken Säurebildung führte. Die pH-Wert-Entwicklung war bei den verschiedenen eingesetzten Brotsorten (Weißbrot, Graubrot, Schwarzbrot) geringfügig differenziert, jedoch zeigten sich nach dem entwickelten Verfahren immer roh wursttypische Verläufe. Die entstandenen Rohwürste zeigten traditionelle Rohwurstcharakteristiken kombiniert mit den Brotaromen, was zu einer bisher nicht existenten, hochinnovativen, ansprechenden Produktkategorie führte.

- Prüfung der Einsetzbarkeit von Fruchteinlagen

Abschließend wurden nach dem entwickelten Verfahren Rohwürste mit verschiedenen Fruchteinlagen hergestellt. Früchte als Einlagematerial zeigten durch eine Wasseraufnahme und Texturveränderung weniger gute und ungleichmäßigere Ergebnisse als sie bei der Verwendung von Brot als Einlagematerial vorlagen. Das betraf sowohl die pH-Wert-, die Wassergehalts- als auch die sensorische Entwicklung. Insbesondere die Textur der Früchte war problematisch, da es durch das im Brät enthaltene Wasser zu einer Erweichung kam, die den Früchten teilweise eine pastöse Struktur verlieh und für ein unangenehmes Mundgefühl sorgte. Die Verwendung der Früchte erwies sich als grundlegend durchführbar, war aber aus sensorischer Sicht speziell. Die besten Ergebnisse wurden mit dem Einsatz von kandiertem Ingwer erreicht, da dieser eine angenehme, ausreichend feste Struktur hatte und sich aromatisch am besten in die Fleischware einfügte. Durch den Nachweis der grundlegenden Eignung des Verfahrens auch bei Einsatz von Fruchteinlagen, ist eine umfassende Rezepturenentwicklung für Rohwürste möglich, die Unternehmen in die Lage versetzt, absolut einzigartige Produkte zu entwickeln, welche ein echtes Alleinstellungsmerkmal darstellen.

6.2 Modifikation des Räucherverfahrens

Mit der Modifikation des Friktionsräucherverfahrens ist es gelungen, das den Produkten durch die Rauchbeaufschlagung verliehene Aroma maßgeblich zu verbessern und zusätzlich durch eine veränderte Rohstoffnutzung das Verfahren wesentlich ökonomischer zu gestalten. Dazu wurden Holzelemente verschiedener Holzarten miteinander verbunden, sodass sie die enormen mechanischen Belastungen des Raucherzeugungsprozesses als kompaktes Element überstanden. Dadurch wurde eine Mischung der Pyrolyseprodukte gebildet, die jeweils charakteristische Aromausprägungen auf den Wurstprodukten zur Folge hatten.

- Entwicklung eines Kombinationsverfahrens für Räucherhölzer

Auf Basis von Schweineschwarte wurde eine Haftsubstanz entwickelt, die als eine Art Hautleim die einzusetzenden Holzelemente miteinander verband. Als zentrale Probleme wurden dabei die notwendigen Hafteigenschaften bei Feuchtigkeit und Temperatur gesehen, da die Haftmasse eine ausgeprägte Empfindlichkeit gegenüber hydrothermischen Einwirkungen besaß. Durch den Einsatz von Flüssigrauch konnte eine zur Härtingsreaktion bei der Räucherung von Naturdärmen analoge Änderung der Eigenschaften erzeugt werden, wodurch der Stoff unempfindlich gegenüber dem Temperatur- und Feuchtigkeitseinfluss während der Raucherzeugung wurde. Die Flüssigrauchkonzentration musste genau eingestellt werden, da die ablaufenden Bindungsreaktionen zu einer Verkürzung der Verarbeitungszeit und veränderten Hafteigenschaften führten. Durch die grundlegende Eignung des Trägerstoffes konnten die Holzblöcke zur Anwendung in der Räucheranlage erstellt werden. Diese bildeten die Basis für die Entwicklung einer verbesserten Aromaerzeugung mit dem Friktionsräucherverfahren.

- Test der Eigenschaften und Prüfung der Anwendung

In verschiedenen Versuchsreihen wurden die Eigenschaften des Trägerstoffes wie die Temperaturstabilität, die Haftkraft und die Verarbeitungszeit erfasst und durch Einstellung der Konzentrationen von Flüssigrauch und Ethanol optimiert. Das Ethanol hatte die Funktion, die Haftungsreaktion durch Abschirmung der hydrophilen Molekülbereiche zu verzögern und dadurch eine längere Verarbeitungszeit zu erzeugen. Eine Konzentration von 2 % Flüssigrauch und 1 % Ethanol zeigten sowohl die beste Haftung als auch eine verlängerte Verarbeitungszeit.

- Prüfung der Kombinierbarkeit verschiedener Holzsorten im Friktionsräucherverfahren

Die Haftung und Anwendbarkeit von Holzblöcken aus verschiedenen Holzkomponenten wurde geprüft. Alle Holzkombinationen zeigten durch die Haftschrift einen guten Zusammenhalt und überstanden den Räucherprozess ohne zu Abweichungen bei der Raucherzeugung zu führen. Sowohl die trockenen als auch die nassen Räucherschritte verursachten auch bei mehrfachem Belastungswechsel keine Trennung an der Haftschrift.

- Analyse der Auswirkungen auf die Aromaausprägung durch die Räucherung mit Holzkombinationen am Beispiel von Rohwurst

Insbesondere die Auswirkungen auf das Aroma durch die Modifikation des Räuchervorganges wurden erfasst. Zur Gewährleistung wurde ein Aromarad für geräucherte Fleisch und Wurstwaren erstellt, ein Prüferpanel geschult und kalibriert. Durch die Kombination von deskriptiver und bewertender Aromaanalyse konnten Aromaprofile erstellt werden, die eine Vorstellung der Produkte vermitteln können. Die Aromaprofile wurden in Aromasegmentzahlen unterteilt und dargestellt. Auf Grundlage der Spinnennetzgrafiken und einer zusätzlichen Güte-Bewertung konnten favorisierte Holzkombinationen für die zur Prüfung des Verfahrens verwendeten Rohwürste identifiziert und beschrieben werden. Mit einer Mischung aus Buchen- und Kiefernholz konnten die besten Ergebnisse erreicht werden, wobei die Rezeptur der Wurstware insgesamt einen großen Einfluss auf die Bewertung hat. Für Produkte mit anderer Gewürz- oder Fleischzusammenstellung können andere Kombinationen besser geeignet sein.

6.3 Ausblick

Das entwickelte Verfahren zur vorgelagerten Fermentation im Fettgewebe bei der Herstellung von Rohwurst ermöglicht es, andere Rohwurstvarianten wie Cervelatwurst mit einer verkürzten Reifezeit herzustellen. Dazu muss eine Anpassung der mikrobiologischen Gegebenheiten mit den jeweiligen eingesetzten Starterkulturen durchgeführt werden und deren Eignung für das entwickelte Verfahren bestätigt werden. Auch der Einsatz weiterer Einlagematerialien mit hohem Kohlenhydratgehalt z.B. von Extrudaten ist denkbar und kann zu einer Erweiterung der Produktpalette führen. Zudem ist es möglich, das Verfahren auf streichfähige Rohwürste zu übertragen und Produkte mit gänzlich neuen Produkteigenschaften zu erzeugen. Das betrifft sowohl die Verarbeitung von getrockneten Magerfleischfraktionen, die zu einer Veränderung der Charakteristiken führt, als auch den Einsatz von kohlenhydratreichen Rohstoffen in Streichwürsten, die dadurch gänzlich neue Produktkategorien ermöglichen.

Ebenfalls dürfte eine Anwendung des Verfahrens bei weniger stark ausgereiften Produkten umsetzbar sein, bei denen die Begrenzung der Milchsäurebildung weiterhin durch die Kohlenhydratkonzentration gesteuert wird. Die Zeit bis zur gewünschten pH-Wert-Senkung und die der Abtrocknung aber ließen sich reduzieren und so die Produktion in wenigen Tagen realisieren.

Die Modifikation des Räucherverfahrens bietet ebenfalls weitreichende Perspektiven, auf unterschiedlichste Produkte abgestimmt zu werden. Es sind sehr differenzierte Mischungen aus Holzvariationen zusammenstellbar, die eine genaue Abstimmung auf Produkte, regionale Verbraucherwünsche sowie die Erzeugung eines jeweils abgestimmten „Unternehmensprofils“ ermöglichen. Zudem ist es denkbar gepresste Holzelemente mit der Haftmasse zu coaten und diese so vor Wasser- und Dampfeinfluss zu schützen. Mit speziell abgestimmten Reibrad-Geometrien können aus Holzschnitzeln bestehende Elemente zur Friktionsraucherzeugung verwendet werden. Auf diese Weise sind sehr viele, differenzierte Holzmischungen verwendbar, welche einen enormen sensorischen und ökonomischen Mehrwert liefern.

7 Literaturverzeichnis

- Alén, R., E. Kuoppala, and P. Oesch, *Formation of the main degradation compound groups from wood and its components during pyrolysis*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1996. 36(2): p. 137-148.
- Andrée, S., *Occurrence and effects of natural bioactive substances in raw fermented and dry cured meat products*, in *4th International Summer School on Meat Research*. 2014, Kulmbach.
- Arnau, J., *Quick Dry Slice (QDS): Special procedure reduces production time and maintains traditional product traits*, I.-I.d.R.i.T.-M., 2014, Girona.
- Aryanta, R.W., G.H. Fleet, and K.A. Buckle, *The occurrence and growth of microorganisms during the fermentation of fish sausage*. International Journal of Food Microbiology, 1991. 13(2): p. 143-155.
- Baltes, W., *Lebensmittelchemie*. 2011, Springer Verlag, Heidelberg.
- Bauer, H., *Ein Konzept für sichere Zwiebelmettwurst, Vesperwurst und frische Mettwurst*. Fleischwirtschaft, 2004. 84(7).
- Berg, J.M., et al., *Stryer Biochemie*. 2012, Springer Verlag, Heidelberg.
- Berger, R., F. Drawert, and H. Kollmannsberger, *The flavour of cape gooseberry (Physalis peruviana L.)*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1989. 188(2): p. 122-126.
- Bischoff, S.C. and I.B. Autenrieth, *Probiotika, Präbiotika und Synbiotika: 36 Tabellen*. 2009, Thieme Verlag, Hamburg.
- Boratto, F. *Modern air conditioning, drying, smoking and ripening techniques for raw fermented sausage processing*. in *4th International Summer School on Meat Research*, 2014, Kulmbach.
- Bozzini, P., *Optimierung einer Methode zur Abschätzung der Wasseraktivität bei Fleischerzeugnissen*. 2008, HES-SO Valais.
- Brandt, M.J. and P.D.M. Gänzle, *Handbuch Sauerteig*, 2006, Behrs Verlag, Hambug.
- Branscheid, W., et al., *Qualität von Fleisch und Fleischwaren Band 2*. Vol. 2. 2007, Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.
- Büchele, A., *Fülltechnik für Rohwurst und Rohschinken- Stand der handtmann-Technik*, in *Formun Rohwurst und Rohschinken I*. 2013, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologen, Quakenbrück.
- Buckenhüskes, H., *Grundlagen der Rohwurstherstellung in Beiträge vom 1. Stuttgarter Rohwurstforum*. 1993, Stuttgart.
- Bundesanstalt für Fleischforschung, *Beiträge zur Chemie und Physik des Fleisches* ed. Insitut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Fleischforschung. 1981: Fördergesellschaft der Bundesanstalt für Fleischforschung.
- Busch, U., *Molekularbiologische Methoden in der Lebensmittelanalytik: grundlegende Methoden und Anwendungen*. 2010, Springer Verlag, Heidelberg.

- BVDF. *Beliebte Wurst und Fleischwaren in Deutschland - Top 10 der Einkaufsmengen 2012 in kg je Privarhaushalt.* 2014; Website: http://www.bvdf.de/zoom/2012_bruehwurst_beliebt_grafik. [Stand: 18.12.2014]
- Calright Instruments. *Water Activity in the Food Industrie.* Website: http://www.calright.com/water_activity_in_the_food_industry. [Stand: 01.04.2014]
- Canstein, C.F.v., *Untersuchungen zur antimikrobiellen Wirkung eines Rosmarinextraktes und dessen Einfluss auf die mikrobiologische Stabilität von nitritreduzierter schnittfester Rohwurst*, in *Zentrum für Lebensmittelwissenschaften Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit*. 2005, Tierärztlichen Hochschule Hannover, Hannover.
- Chmiel, H., *Bioprozesstechnik*. 2011: Spektrum Akademischer Verlag.
- Chr. Hansen A/S. *Our Product Offering.* Website: <http://www.chr-hansen.com/products/product-areas/meat-cultures/our-product-offering.html>. [Stand: 10.09. 2014]
- Dal Bello, F. *Anwendungen von Schutzkulturen in der Fleischindustrie.* in *Forum Rohwurst und Rohschinken II.* 2015. Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Hohenheim.
- Deleves-Broughton, J., *Use of protective cultures for preservation of fermented meat products*, in *Forum Rohwurst und Rohschinken I.* 2013, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Quakenbrück.
- Derndorfer, E., *Lebensmittelsensorik*. 2010, Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien
- Devices, D. *Mesurement of wateractivity for product quality.* 2014; Website: <http://www.aqualab.com/education/measurement-of-water-activity-for-product-quality/>. [Stand: 18.12.2014]
- Dobberstein, M., I. Dederer, and K. Troeger, *Untersuchung antioxidativer und konservierender Wirkung von Gewürzextrakten in Kochpökelfwaren.* *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 51, Nr. 195, 2012, Kulmbach, p. 33-42.
- Ehrmann, M., *Staphylococci and micrococci application to raw fermented sausages*, in *4th International Summer School on Meat Research*. 2014, Kulmbach.
- Erdös, A., *Haltbarkeitsverängernde Maßnahmen bei rekonstituiertem Fett*, in *Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie*. 2010, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Erkes, M., *Graut es Dir noch oder rötest Du schon? - Einfluss von Reifekulturen auf Aspekte der Produktqualität und -sicherheit bei Rohpökelfwaren*, in *Forum Rohwurst und Rohschinken II.* 2015, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Hohenheim.
- Escudero, D., *Casing Solutions for dry-fermented salami & dry cured ham*, in *4th International Summer School on Meat Research*. 2014, Kulmbach.

- Euzéby, J., *List of new names and new combinations previously effectively, but not validly, published*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2010. 60: p. 469-472.
- Feldheim, W., *Sichere Produkte aus dem Rauch*. Fleischwirtschaft, 2002. 82(10).
- Frey, W., *Basics of modern raw sausage processing – raw material, grinding, mixing and filling, in 4th International Summer School on Meat Research*. 2014, Kulmbach.
- Fritz, A., *Räuchern*. 2013: GRÄFE UND UNZER Verlag GmbH, München.
- Gandemer, G., *Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products*. Meat Science, 2002. 62(3): p. 309-321.
- Gareis, M., *persönliche Information an C. Hildebrand*. 2013, Quakenbrück.
- Gareis, M. *Präsentation: Zoonotische Infektionserreger und mikrobiologische Qualität von Rohwurst. Forum Rohwurst und Rohschinken I*. 2013, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Quakenbrück.
- Gareis, M., *Zoonotische Infektionserreger und mikrobiologische Stabilität von Rohwurst, Forum Rohwurst und Rohschinken I - Tagungsband*. 2013, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Quakenbrück.
- Gewürzmüller GmbH, *Fermentation mit System*. 2001, Stuttgart.
- Gleich, A., *Vorrichtung zum aromatisierenden Behandeln, insbesondere Räuchern, von Lebensmitteln mit einem aerosolförmigen Aromatisierungsmittel*. 2013, Patent: DE201210100222
- GMBI *Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse, geändert am 8.1.2010*. 1974
- Grazia, L., et al., *The role of moulds in the ripening process of salami*. Food Microbiology, 1986. 3(1): p. 19-25.
- Hammes, W.P. and H.J. Knauf, *Paper presented at the 38th International Congress of Meat Science and Technology Starters in the processing of meat products*. Meat Science, 1994. 36(1): p. 155-168.
- Häußler, R., *Rohwurst in 48 Stunden herstellen*. Fleischwirtschaft, 2011. 91(6).
- Henney, J.E., C.L. Taylor, and C.S. Boon, *Strategies to Reduce Sodium Intake in the United States*. Food and Nutrition Board. 2010, Washington, D.C.: THE NATIONAL ACADEMIES PRESS.
- Hertel, C., *Staphylokokken und Mikrokokken in der Rohwurstfermentation, in Forum Rohwurst und Rohschinken I*. 2013, GDL: Quakenbrück.
- Hildebrand, C., et al., *Entwicklung einer Aromaprofilzahl für geräucherte Fleisch- und Wurstzeugnisse*. Fleischwirtschaft, 2013. 93: p. 86-91.
- Hitzel, A., et al., *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with different types of wood and smoking spices*. Food Chemistry, 2013. 139(1–4): p. 955-962.
- Hof, H., R. Dörries, and G. Geginat, *Medizinische Mikrobiologie*. 2009: Thieme Verlag, Stuttgart.
- Hollmach, S. *Gelatine - ein vielseitiges Biopolymer*. 2000; Website: www.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/gelatine/gelatine.htm. [Stand: 5.10.2009 13:37 2009]

- Huang, H.-W., et al., *Current status and future trends of high-pressure processing in food industry*. Food Control, 2017. 72, Part A: p. 1-8.
- Huefner, E. and C. Hertel, *Improvement of raw sausage fermentation by stress-conditioning of the starter organism Lactobacillus sakei*. Current Microbiology, 2008. 57(5): p. 490-496.
- Hugas, M. and J.M. Monfort, *Mediterranean Aspects of Meat Quality as Related to Muscle Biochemistry* Bacterial starter cultures for meat fermentation. Food Chemistry, 1997. 59(4): p. 547-554.
- Hughes, M.C., et al., *Characterization of proteolysis during the ripening of semi-dry fermented sausages*. Meat Science, 2002. 62(2): p. 205-216.
- Huisman, M., et al., *The combined effect of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) and modified atmosphere packaging as protection against warmed over flavour in cooked minced pork meat*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1994. 198(1): p. 57-59.
- Incze, K., *Meat Consumption and Culture 44th International Congress of Meat Science and Technology* Dry fermented sausages. Meat Science, 1998. 49: p. 169-177.
- Iucci, L., *Role of surface-inoculated Debaryomyces hanseii and Yarrowia lipolytica in dried fermented sausages manufacture. Part 2: Evaluation of their effects on sensory quality and biogenic amine content*. Meat science, 2007(75): p. 669-675.
- Jensen, C., et al., *Warmed-over flavour in chill-stored pre-cooked pork patties in relation to dietary rapeseed oil and vitamin E supplementation*. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 1998. 207(2): p. 154-159.
- Jira, W., *Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in geräucherten Fleischerzeugnissen und Rauchkondensaten*. Fleischwirtschaft, 2003. 83(3).
- Jira, W., *Chemie beim Pökeln und Räuchern Teil 2: Räuchern*. Fleischwirtschaft, 2004. 84(6).
- Jira, W., *Benzo[a]pyren in geräucherten Fleischerzeugnissen*. Fleischwirtschaft, 2005. 85(9).
- Kabisch, J., et al., *Infektionserreger in Rohwurstzeugnissen*. Fleischwirtschaft, 2012. 92(2).
- Kjällstrand, J. and G. Petersson, *Phenolic antioxidants in wood smoke*. Science of The Total Environment, 2001. 277(1-3): p. 69-75.
- Koch, H., *Die Fabrikation feiner Fleisch- und Wurstwaren*. Vol. 19. 1988, Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.
- Kommission der europäischen Union, *VERORDNUNG (EU) Nr. 835/2011 DER KOMMISSION vom 19.August 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln*, K.D.E. UNION, Editor. 2011, Brüssel.
- Kommission der europäischen Union, *Verordnung (EU) Nr. 1129/2011 der Kommission vom 11. November 2011 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf eine Liste der Lebensmittelzusatzstoffe der Europäischen Union*, in 1129/2011. 2011, Amtsblatt der Europäischen Union.

- Kommission der europäischen Union, *Verordnung (EU) Nr. 231/2012 mit Spezifikationen für die in den Anhängen II und III der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 aufgeführten Lebensmittelzusatzstoffe*. 2012, Amtsblatt der Europäischen Union.
- Koop, F., *Reibholz und Verfahren zum Räuchern von Nahrungsmittelprodukten*. 2006, Patent: DE10124324A
- Kröckel, L., *Mikrobiologisch-genetische Ressourcen bei Fleisch*. Forschungs Repoprt, Senat der Bundesforschungsinstitute im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2010(1), Kulmbach.
- Kröckel, L., *Nachweis Wasserstoffperoxid bildender Fleisch assoziierter Milchsäurebakterien*. Fleischwirtschaft, 2011. 91(10).
- Kröckel, L., *The Role of Lactic Acid Bacteria in Safety and Flavour Development of Meat and Meat Products*. 2013: Intech Open Access Publisher.
- Kröckel, L., I. Dederer, and K. Tröger, *Starter- und Schutzkulturen bei Fleischerzeugnissen*. Fleischwirtschaft, 2011. 91(3).
- Kühne, D., *Nitrit, Nitrat, Nitrosamine*. Mitteilungsblatt BAFF, 2003. 42: p. 105-113.
- Kurzweil, P., B. Frenzel, and F. Gebhard, *Physik Formelsammlung: für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 2008: Vieweg Verlag, Wiesbaden.
- Lang, B.-A. and G. Effenberger, *Wursthüllen Kunstdarm*. 2006, Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.
- Latscha, H.P., H.A. Klein, and R. Mosebach, *Chemie für Pharmazeuten und Biologen: Begleittext zum Gegenstandskatalog GK 1*. 1988: Springer Verlag, Heidelberg.
- Leistner, L., *ALLGEMEINES über Rohwurst und Rohschinken*. Kulmbacher Reihe. Vol. 5. 1985, Kulmbach: Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.
- Leistner, L., *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken* Kulmbacher Reihe, ed. L. Leistner. Vol. 5. 1985, Kulmbach: Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.
- Leistner, L., *Stabilität und Sicherheit von Rohwurst*. Die Fleischerei, 1990.
- Leistner, L., *Food preservation by hurdle technology*. Trends in Food science and Technology, 1995. 6(2): p. 41 - 46.
- Leistner, L., *Stable and safe fermented sausages world-wide*, in *Fermented Meats*, G. Campbell-Platt and P.E. Cook, Editors. 1995, Springer US: Boston, MA. p. 160-175.
- Leistner, L., *Control of Foodborne Mikroorganisms*, ed. V.K.J.J.N. Sofos. 2002, Marcel Dekker Inc., New York.
- Leistner, L. and G. Gould, *Hurdle Technologie Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality*. 2002, kluwer Academic / Plenim Publishers, New York.
- Leroy, F., J. Verluyten, and L.d. Vyst, *Functional meat starter cultures for improved sausage fermentation*. International Journal of Food Microbiology, 2006(106): p. 270-285.
- Lick, S., *Probiotic cultures in fermented meat products*, in *4th International Summer School on Meat Research*. 2014, Kulmbach.

- Lucas, M., *Untersuchung der Ursachen von Aromaveränderungen an einem alkoholischen Heilkräuterdestillat während einer Reifeperiode: Identifizierung und Genese von Fehlgeruchsstoffen; Analysis of odour improving changes to a medical, herbal formulation during a storage period*, Technische Universität Berlin, 2000, Berlin.
- Lück, E., *Chemische Lebensmittelkonservierung: Stoffe Wirkungen Methoden*. 2013: Springer Verlag, Heidelberg.
- Lück, E. and M. Jäger, *Räucherrauch*, in *Chemische Lebensmittelkonservierung: Stoffe — Wirkungen — Methoden*. 1995, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 207-211.
- Lücke, F.-K., *Mikrobiologische Vorgänge bei der Herstellung von Rohwurst und Rohschinken*. Kulmbacher Reihe, ed. L. Leistner. Vol. 5. 1985, Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.
- Lücke, F.-K., *Fermented meat products*. Food Research International, 1994. 27(3): p. 299-307.
- M-C, M., et. al. , *Effects of Starter Cultures on the Biochemical Characteristics of French Dry Sausages*. Meat Science 1993(35): p. 889-240.
- M. Rüeegg, H.G., B. Blanc, *Einfluss der Wasseraktivität auf Vermehrung und Stoffwechsel von Prodionsäurebakterien*. Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung, 1976. 5: p. 119 - 122.
- Mau, M., *Supply Chain Management*. 2003: Wiley Verlag, Weinheim.
- Meier, D., *Eine analytische Herausforderung*. Fleischwirtschaft, 2005. 85(5): p. 43 - 46.
- Meile, L. *Selektion von neuen Starterorganismen*. in *Forum Rohwurst und Rohschinken II*. 2015. Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Hohenheim.
- Mielche, M., *Development of warmed-over flavour in ground turkey, chicken and pork meat during chill storage. A model of the effects of heating temperature and storage time*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1995. 200(3): p. 186-189.
- Miescher Schwenninger, S. *Breite und komplexe anti-Listeria Aktivität bei Milchsäurebakterien isoliert aus Fleisch und Fisch*. in *Forum Rohwurst und Rohschinken II*. 2015. Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Hohenheim.
- Möhler, K., *Das Pökeln*. 1980: Verlag d. Rheinl. Druckwerkstätte.
- Mrak, E.E.M., C.O. Chichester, and B.S. Schweigert, *ADVANCES IN FOOD RESEARCH*. 1984: Elsevier Science.
- Münch, S., T. Müller, and W.-D. Müller, *Raw fermented sausage production using different functional ingredients*. 4th International Summer School on Meat Research, 2014, Kulmbach.
- Murf, A.H., *Studie über den Phosphatgehalt im Kochschinken - Einfluss des Ausgangsmaterials und der Technologie*, Tierärztliche Fakultät 2008, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- n.N., *Collection of foreign Veterinary medical theses and Dissertations*. University of California 1969 .
- n.N., *Zusammensetzung und Verwendung von Zuckerstoffen bei der Rohwurst-Herstellung*. Fleischwirtschaft, 1986. 66(3).

- n.N., *Abfüllung und Reifung von Rohwurst*. Fleischwirtschaft, 1990. 70(11).
- n.N., *Antioxidative Wirksamkeit von Zusatzstoffmischungen*. Fleischwirtschaft, 1991. 71(12).
- n.N., *Kontinuierliches Messen der Oberflächen-Wasseraktivität von Rohwurst*. Fleischwirtschaft, 1992. 72(4).
- n.N., *Roh fermentierte, getrocknete Fleischerzeugnisse*. Fleischwirtschaft, 1992. 72(1).
- n.N., *Technologische Steuerung des Aromas und Geschmacks von Rohwürsten*. Fleischwirtschaft, 1992. 72(1).
- n.N. 2.5 *Phosphat in der Wurst?* 1996; Website: <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/wurst/25.htm>. [Stand: 21.07.2014]
- n.N., *GUIDANCE DOCUMENT on Listeria monocytogenes shelf-life studies for ready-to-eat foods, under Regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs*, in *COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT*, C.O.T.E. COMMUNITIES, 2008, Brüssel.
- n.N., *Mikroorganismen in Lebensmitteln*, E.a. Culture, L.I. and L.D. VINCI, 2010.
- n.N., *Füllen beeinflusst die Festigkeit*. Fleischwirtschaft, 2011. 91(2).
- n.N., *Innovative Konzepte für Wurst und Fleischwaren*. DLG Lebensmittel, 2017. 4/2017.
- n.N., *"Intrinsic, extrinsic an implicit parameters" Bedeutung für die Überlebensfähigkeit von Mikroorganismen*. Universität Gießen, Gießen.
- Nagl, G., *3 Wachstum der Mikroorganismen*, F.-M.U. HYGIENE, Fachhochschule Wieselburg, Wieselburg.
- Nagl, G., *5.6 Kombination verschiedener Wachstumsfaktoren - "Hürdentechnologie"*, F.-M.U. HYGIENE, Fachhochschule Wieselburg, Wieselburg.
- Naßl, K., F. Kropf, and H. Klostermeyer, *A method to mimic and to study the release of flavour compounds from chewed food*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1995. 201(1): p. 62-68.
- Nießen, M. and S. Thölking, *Sensorische Prüfverfahren: Anpassung für mittelständische Betriebe*. 2007: Behrs Verlag, Hamburg.
- Niinivaara, F.P., *Geschichte Entwicklung des Einsatzes von Starterkulturen in der Fleischwirtschaft*, in *1. Stuttgarter Rohwurstforum 1993*, Herbert J. Buckenhüskes: Stuttgart.
- Notermans, S., *Food Safety File*. 2008: AK Bilthoven.
- Olesen, P.T., *generation of flavor compounds in fermented sausages - the influence of curing ingredients, Staphylococcus starter cultures and ripening time*. Meat Science, 2003(66): p. 675-687.
- Olesen, P.T., et al., *The influence of Debaryomyces hansenii and Candida utilis on the aroma formation in garlic spiced fermented sausages and model minces*. Meat Science, 2000. 56(4): p. 357-368.
- Öltjen, T. and S. Wiese-Willmaring, *Geprüfte Sicherheit bis zur Fleischtheke*. Fleischwirtschaft, 2012. 92(6).
- P.A. Baumgartner, e.a., *The Influence of Temperature on some Parameters for Dry Sausages During Ripening* Meat Science, 1980(4): p. 191-201.

- Parat-Wilhelms, M., et al., *Influence of defined milk products on the flavour of white coffee beverages using static headspace gas chromatography–mass spectrometry/olfactometry and sensory analysis*. European Food Research and Technology, 2005. 221(3-4): p. 265-273.
- Paschen, F., *Optimierung des Raucharomas bei Fleischwaren durch Einsatz kombinierter Räucherstoffe*, in *Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie*. 2012, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Pérez-Juan, M., M. Flores, and F. Toldrá, *Generation of volatile flavour compounds as affected by the chemical composition of different dry-cured ham sections*. European Food Research and Technology, 2006. 222(5-6): p. 658-666.
- Petäjä, E., *The effect of gram-negative bacteria on the ripening and quality of dry sausage*. Scientific Society of Finland 1977(49): p. 107-177.
- Petersen, M.T.N., P. Fojan, and S.B. Petersen, *How do lipases and esterases work: the electrostatic contribution*. Journal of Biotechnology 2001. 85(2): p. 115 - 147.
- Pick, G., *Verfahren und Vakuumfüller zum Abfüllen einer pastösen Masse*. 1999: Germany.
- Pilecky, M., *Lebensmittelkonservierung - Ein Überblick über aktuell gängige Konservierungsmethoden*. 2011, Wien
- Pöhlmann, M., et al., *Contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in Frankfurter-type sausages depending on smoking conditions using glow smoke*. Meat Science, 2012. 90(1): p. 176-184.
- Prändl, O., et al., *Fleisch - Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung*. 1988, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Präve, P., et al., *Handbuch der Biotechnologie*. 1994: Oldenbourg Verlag, München.
- Preininger, M., R. Warmke, and W. Grosch, *Identification of the character impact flavour compounds of Swiss cheese by sensory studies of models*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1996. 202(1): p. 30-34.
- Püschel, G.P., et al., *Taschenlehrbuch Biochemie*. 2011: Thieme Verlag, Stuttgart .
- Randall, D.J., et al., *Tierphysiologie*. 2002: Thieme Verlag, Stuttgart.
- Rason, J., et al., and *Investigation of the physicochemical and sensory homogeneity of traditional French dried Sausage*. Meat Science, 2007(75): p. 359-370.
- Red Arrow Handels GmbH. *Rauchkondensate*. 2010; Website: <http://www.red-arrow-deutschland.de/produkte/rauchkondensate>. [Stand: 07.10. 2014]
- Rehbronn, E., F. Rutkowski, and F. Jahn, *Das Räuchern von Fischen: ein Leitfaden für Hobbyköche, Sport- und Berufsfischer, Fischzüchter, für Gastwirte und Gastgeber*. 1983: Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin.
- Reimold, F., *Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von energiereduzierter Rohwurst*, in *Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie*. 2009, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Reimold, F., *Modification of connective tissue to create a low-fat, spreadable raw fermented sausage*, in *Summer school*. 2014, Kulmbach.
- Renner, M.U., *Gelatinefilme als Arzneistoffträger*. 2004: Cuvillier.

- Rimbach, G., J. Möhring, and H.F. Erbersdobler, *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger*. 2010: Springer Verlag, Heidelberg.
- Rödel, W., *Rohwurstreifung - Klima und andere Einflussgrößen*. Kulmbacher Reihe Band 5, 1985, Kulmbach.
- Rödel, W., K. Krispien, and L. Leistner, *Die Wasseraktivität von Fetten tierischer Herkunft* Fleischwirtschaft, 1980. 60(4): p. 642 - 650.
- Sablé, S., F. Letellier, and G. Cottenceau, *An analysis of the volatile flavour compounds in a soft raw goat milk cheese*. Biotechnology Letters, 1997. 19(2): p. 143-146.
- Sahm, H., et al., *Industrielle Mikrobiologie*. 2013: Springer, Berlin Heidelberg.
- Sauer, E., E. Kinkel, and K. Hagenmüller, *Chemie und Fabrikation der tierischen Leime und der Gelatine*. 2013: Springer, Berlin Heidelberg.
- Scheid, L., *Die Rohwurst: Anleitung, Herstellung und Rezepte*. 1971: Holzmann.
- Schieberle, P., *Was riecht wenn's schmeckt? Die molekulare Sensorik als effektives Werkzeug zur Charakterisierung der genuinen Aromasignatur von Rohwurst*, in *Forum Rohwurst und Rohschinken I*. 2013, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologen, Quakenbrück.
- Schmid, R. and R. Verger, *Lipasen: Grenzflächen- Enzyme mit attraktiven Anwendungen*. Angewandte Chemie, 1998. 110(12): p. 1694 - 1720.
- Schmidt, W., *Handbuch für das Fleischergewerbe, ein Hand- und Nachschlagebuch für die Praxis*. 1953, Pfanneberg.
- Selgas, M.D., P. Salazar, and M.L. García, *Usefulness of calcium lactate, citrate and gluconate for calcium enrichment of dry fermented sausages*. Meat Science, 2009. 82(4): p. 478-480.
- Shinohara, A., et al., *Capillary headspace - gas chromatography for the characterization of the flavour of fresh vegetables*. Chromatographia, 1991. 32(7-8): p. 357-364.
- Sielaff, H., *Fleischtechnologie*. 1996, Behrs Verlag, Hamburg.
- Sielaff, H., *Räuchern Emissionen weiter vermindern Zusammensetzung und Wirkung des Räucherrauches und Umweltschutz beim Räuchern*. Fleischwirtschaft, 2008. 88(4).
- Šikić, M., *Technologische Merkmale von Fettgewebe des Schweins vom Standpunkt der Verarbeitung zu Fleischwaren*. Fleischwirtschaft, 1980. 60(11): p. 2009 - 2015.
- Stahnke, L.H., *Aroma Components from Dried Fermented Sausages with Staphylococcus xylosus*. Meat Science, 1994(38): p. 39-53.
- Stapelfeldt, H., et al., *Effect of packaging and storage conditions on development of warmed-over flavour in sliced, cooked meat*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1993. 196(2): p. 131-136.
- Stiebing, A., *EU-Gesetzgeber will Raucharomen privilegieren*. Fleischwirtschaft, 2008. 88(4).
- Sunesen, L.O. and L.H. Stahnke, *Mould starter cultures for dry sausages—selection, application and effects*. Meat Science, 2003. 65(3): p. 935-948.
- Talon, R., *Production of flavor esters by lipase of Staphylococcus warneri and Staphylococcus carnosus* Enzyme and Microbial Technology, 1996. 19(8): p. 620 - 622.

- Ternes, W., *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung*. 1990, Behrs Verlag, Hamburg.
- Ternes, W., *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung*. 1994, Behrs Verlag, Hamburg.
- Ternes, W., *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung*. 1998, Behrs Verlag, Hamburg.
- Thiemig, F., *Technologie tierischer Lebensmittel Fleischtechnologie I - Fleischgewinnung*, in *Vorlesungsmaterial Technologie proteinreicher Lebensmittel*, Technische Universität Berlin, 2010, Berlin.
- Thiemig, F., *Technologie tierischer Lebensmittel Fleischtechnologie II - Biochemie des Fleisches*, in *Vorlesungsmaterial Technologie proteinreicher Lebensmittel*, Technische Universität Berlin, 2010, Berlin.
- Thiemig, F., C. Hildebrand, and F. Reimold, *Seminar 0340 L 204 „Nachweis von Aromaprofilen für nicht-fermentierte geräucherte Fleisch- und Wurstwaren“*, Technische Universität Berlin, 2011, Berlin.
- Thiemig, F., F. Reimold, and C. Hildebrand, *Seminar 0340 L 203 „Nachweis von Aromaprofilen für geräucherte Fleisch- und Wurstwaren“*, SS 2010, Technische Universität Berlin, 2010, Berlin.
- Thorsten Müller, Alexej Nachtigall, Achim Stiebing, Irina dederer, Wolf-Dietrich Müller, *Wirkung neuartiger Zutaten bei der Herstellung von Rohwurst*. Fleischwirtschaft, 2009. 89(10): p. 103 - 107.
- Toldrá, F., *Handbook of Meat Processing*. 2010: Wiley Verlag, Weinheim .
- Tóth, L., *Chemie der Räucherung*. 1982, Verlag Chemie GmbH, Weinheim.
- Tóth, L. and R. Wittkowski, *Das Räuchern—aus der Sicht der Chemie*. Chemie in unserer Zeit, 1985. 19(2): p. 48-58.
- Tülsner, P.D.M. and P.D.M. Koch, *Technologie der Fischverarbeitung*. 2010: Behrs Verlag, Hamburg.
- U.S. Food and Drug Administration. *Water Activity (aw) in Foods*. 2010; Website: <http://www.fda.gov/iceci/inspections/inspectionguides/inspectiontechnicalguides/ucm072916.htm>. [Stand: 01.04.2014]
- Ulrich, D., et al., *Analysis of strawberry flavour – discrimination of aroma types by quantification of volatile compounds*. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 1997. 205(3): p. 218-223.
- van Ruth, S. and K. Buhr, *Influence of saliva on temporal volatile flavour release from red bell peppers determined by proton transfer reaction-mass spectrometry*. European Food Research and Technology, 2003. 216(3): p. 220-223.
- VEMAG Anlagenbau GmbH, *Qualität. Sicherheit. Wirtschaftlichkeit*. 2014, VEMAG GmbH, Verden.
- VKS, *Salz als Lebensmittel: unverzichtbar und wertvoll*, Verband der Kali- und Salzindustrie e.V., Editor. 2009, VKS, Berlin.

- Vogel, R. *Schlüsseleigenschaften koagulase-negativer Staphylokokken in der Rohwurstreifung*. in *Forum Rohwurst und Rohschinken II*. 2015, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Hohenheim.
- Vogel, R.F., *Bewertung von Starterkulturen in der Rohwurst-produktion: Am Scheideweg zwischen Aroma und Sicherheit*. Industrielle Gemeinschafts-forschung: Instrument des innovativen Mittelstands, 2011: p. 85.
- Vogel, U. and K. Bärwinkel, *Eine Rauchart mit Zukunft*. Fleischwirtschaft, 2005. 85(5): p. 47 - 50.
- Weber, H., *Fleisch und Fleischerzeugnisse*. Mikrobiologie der Lebensmittel. Vol. 1. 1996, Behrs Verlag, Hamburg.
- Weber, H., *Mikrobiologie der Lebensmittel*. Fleisch und Fleischerzeugnisse. Vol. 1. 1996, Behr's Verlag, Hamburg.
- Weiss, J., et al., *Rohwurstherstellung: Alles Mikrobiologie oder doch Physik?*, in *Forum Rohwurst und Rohschinken I*. 2013, Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien, Quakenbrück
- WIBERG GmbH, *Wiberg Fachberatung Technologie: Rohwurst*, 2011, Freilassing.
- WIBERG GmbH, *Produktinformation zu Starterkulturen*, W. GmbH, Editor. 2012, Wiberg GmbH, Freilassing.
- Widder, S. and W. Grosch, *Study on the cardboard off-flavour formed in butter oil*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1994. 198(4): p. 297-301.
- Wilfer, R., *Die stillen Stars der Wurstproduktion*. Fleischwirtschaft, 2005. 85(11).
- Zanardi, E., et al., *Lipolysis and lipid oxidation in fermented sausages depending on different processing conditions and different antioxidants*. Meat Science, 2004. 66(2): p. 415-423.
- Ziegenhals, K., et al., *Geringere PAK-Gehalte durch optimierte Räucherbedingungen*. Fleischwirtschaft, 2008. 88(7).
- Zrenner, K.M. and R. Haffner, *Lehrbuch für Fleischkontrolleure*. 1999, Enke, Stuttgart.

8 Anhang

Anhang 1: Darstellung der durchgeführten Versuchsreihen zur Modifikation des Fermentationsverfahrens

Charge	Versuch	Gluc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Bemerkung	Besonderheit
1	Versuchsreihe 1	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	Keine		
2	Versuchsreihe 2	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	24 h (7°C) getr. Im Kühlschrank		
3	Versuchsreihe 3	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	150 min getr.		
4	Konventionell	1 g / kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	keine		
5	1h Trocknung	1 g / kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	100 % 1 h getr.		
6	2h Trocknung	1 g / kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	100 % 2 h getr.		
7	3h Trocknung	1 g / kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	100 % 3h getr.		
8	V1	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	keine		nicht in der Arbeit
9	V2	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	100 % 1 h getr.		
10	V3	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	100 % 2 h getr.		
11	V4	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	100 % 3h getr.		
12	V5	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	20 % orig.; 80 % 2 h getr.;		
13	V6	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	20 % orig.; 80 % 3 h getr.;		
14	V7	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % orig.; 85 % 2 h getr.;		
15	V8	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	10 % orig.; 90 % 2 h getr.;		
16	V9	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	80 % 2 h getr.; 20 % 3 h getr.;		
17	V10	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	80 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.;		
18	V11	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	80 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.;	1 g/kg E450	
19	0,1 % Phosphat	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	1 g/kg E450	
20	0,2 % Phosphat	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
21	0,3 % Phosphat	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	3 g/kg E450	
22	0,4 % Phosphat	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	4 g/kg E450	

23	V12	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
24	V13	3 g / kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	keine	2 g/kg E450	
25	V14	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
Charge	Versuch	Gluc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Bemerkung	Besonderheit
26	V15	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
27	V16	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
28	V17	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
29	V18	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
30	V19	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	2 g/kg E450	
31		1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine		nicht in der Arbeit
32		1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine		nicht in der Arbeit
33	ohne Trocknung 1% Gluc	10 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine		
34	1h Trocknung 1% Gluc	10 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 1 h getr.		
35	2h Trocknung 1% Gluc	10 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.		
36	3h Trocknung 1% Gluc	10 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 3h getr.		
37		1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.	getrocknet eingefroren	nicht in der Arbeit
38	2h Trocknung 0,1 % Gluc	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.		
39	2h Trocknung 0,5 % Gluc	5 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.		
40	2h Trocknung 1 % Gluc	10 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.		
41	2h Trocknung 2 % Gluc	20 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.		
42	kBoT	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine		
43	WBoT	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine	8 % Weißbrot	
44	GBoT	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine	8 % Graubrot	
45	SBoT	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	keine	8 % Schwarzbrot	
46	WB1	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.	8 % Weißbrot	nicht in der Arbeit
47	GB1	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.	8 % Graubrot	nicht in der Arbeit
48	SB1	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.	8 % Schwarzbrot	nicht in der Arbeit

49		1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.	10 % Ingwer	nicht in der Arbeit
50		1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	100 % 2 h getr.	10 % Feige	nicht in der Arbeit
51	WB2	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Weißbrot	
52	GB2	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Graubrot	
53	SB2	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Schwarzbrot	
54		1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	10 % Mango	nicht in der Arbeit
55	Ingwer	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	10 % Ingwer	
Charge	Versuch	Gluc.-Gehalt	Fleischeinsatz	Trocknungsdauer Magerfleisch	Bemerkung	Besonderheit
56	Apfel	1 g/ kg	S I 37,5 %; S II 37,5 % ; S VIII 25 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	10 % Apfel	
57	WB3	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Weißbrot; 2 g/kg E450	
58	GB3	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Graubrot; 2 g/kg E450	
59	SB3	20 g/ kg bez. auf Fett	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Schwarzbrot; 2 g/kg E450	
60	Mango	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	10 % Mango	
61	Ananas	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	10 % Ananas	
62	WB4	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Weißbrot	
63	GB4	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Graubrot	
64	SB4	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Schwarzbrot	
65	oB5	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	kein	
66	WB5	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Weißbrot	
67	GB5	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Graubrot	
68	SB5	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Schwarzbrot	
69	oB6	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	kein	
70	WB6	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Weißbrot	
71	GB6	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Graubrot	
72	SB6	1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	15 % ungetr.; 65 % 1,5 h getr.; 20 % 4 h getr.	8 % Schwarzbrot	
73		1 g/ kg	S I 41,5 %; S II 41,5 %; SVIII 17 %	keine		nicht in der Arbeit

Durchführung der chemischen Analysen

Material Restnitritanalyse

Chemikalien und Geräte

- Reagenz I:
 - Kaliumhexacyanoferrat (II)-Lösung = $K_4 [Fe(CN)_6] \cdot 3 H_2 O$
 - Ansatz für 50 ml:
5,3 g $K_4 [Fe(CN)_6] \cdot 3 H_2 O$
- Reagenz II:
 - 220 g Zinkacetat: $Zn(CH_3 COO)_2 \cdot 2 H_2 O$
 - 30 ml Essigsäure (Eisessig): ω (Feuchtegehalt)=96 %, ρ (Dichte)=1,06 g/ml
 - Ansatz für 50 ml:
 - 11 g Zinkacetat und 1,5 ml Essigsäure anschließend mit dest. Wasser auf 50 ml auffüllen
- Borax-Lösung, gesättigt:
 - 50 g Dinatriumtetraborat-Dekahydrat ($Na_2 B_4 O_7 \cdot 10 H_2 O$) gelöst in 1000 ml Wasser, das auf 40 °C erwärmt worden ist
 - anschließend abkühlen
 - Ansatz für 500 ml:
 - 25 g $Na_2 B_4 O_7 \cdot 10 H_2 O$, anschließend mit dest. Wasser auffüllen
- Lösung I
 - 6 g Sulfanilamid $NH_2 C_6 H_4 SO_2 NH_2$ in 500 ml destilliertem Wasser lösen (erwärmen im Wasserbad) und abkühlen lassen, evt. filtrieren
 - 250 ml konzentrierte Salzsäure (HCl): $\rho = 1,19$ g/ml unter Rühren hinzugeben auf 1000 ml mit destilliertem Wasser auffüllen
 - Ansatz für 250 ml:
 - 1,5 g Sulfanilamid; 125 ml destilliertes Wasser; 62,5 ml konz. HCl auf 250 ml mit destilliertem Wasser auffüllen
- Lösung II:
 - unter dem Abzug arbeiten
 - 0,25 g N-(1-Naphthyl)-ethylendiammoniumdichlorid in destilliertes Wasser lösen auf 250 ml mit destilliertem Wasser auffüllen
 - in brauner Flasche eine Woche im Kühlschrank haltbar

Lösung I und Lösung II werden vor der Zugabe zur Probenlösung im Verhältnis 1:1 gemischt. Alle beschriebenen Lösungen werden angesetzt, um den Restnitritgehalt bestimmen zu können.

Herstellen der Natrium-Nitrit-Standardlösung:

Als erstes wurde eine Natrium-Nitrit-Stamm-Lösung angesetzt. Dazu wurden 500 mg $NaNO_2$ (50 mg $NaNO_2$ /l sind 33,34 mg NO_2^- /l) mit der Analysenwaage auf 0,5 mg genau abgewogen. Dazu wurden 1 ml 0,1 molare NaOH gegeben und alles auf 500 ml mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Bevor die Stammlösung weiter verarbeitet wurde, sollte sie 2 bis 3 min ruhen. Um eine

verdünnte Natrium -Nitrit-Stammlösung herzustellen, wurden 10 ml der Stammlösung mit destilliertem Wasser auf 200 ml aufgefüllt.

Die Natrium-Nitrit-Standardlösungen wurden von der verdünnten Natrium-Nitrit-Stammlösung ausgehend wie folgt hergestellt:

1. 2,5 ml ($\equiv 6,25 \mu\text{g}/10 \text{ ml}$)
2. 5,0 ml ($\equiv 12,50 \mu\text{g}/10 \text{ ml}$)
3. 10 ml ($\equiv 25,00 \mu\text{g}/10 \text{ ml}$)
4. 15 ml ($\equiv 37,50 \mu\text{g}/10 \text{ ml}$)
5. Blindwert (= destilliertes Wasser)

Diese Verdünnungen wurden je in einen 200 ml Maßkolben pipettiert. Zu diesen Ansätzen wurden 150 ml destilliertes Wasser, 10 ml gesättigte Boraxlösung, 2 ml Reagenz I und 2 ml Reagenz II gegeben. Nach Zugabe aller Lösungen waren die Proben gründlich zu vermengen und am Ende auf 200 ml mit destilliertem Wasser aufzufüllen. Die Natrium-Nitrit-Standardlösung wurde 30 min bei Raumtemperatur ruhen gelassen. Anschließend wurde die Flüssigkeit vorsichtig durch einen Faltenfilter filtriert (erster Tropfen wird verworfen). 10 ml der so hergestellten Standardlösungen enthalten als Endmenge 6,25 / 12,5 / 25 und 37,5 μg Natrium-Nitrit (4,17/8,34/16,67 und 25,01 $\mu\text{g NO-}$).

Material Umrötungsrad

Die für die photometrische Bestimmung des Umrötungsgrades benutzten Chemikalien und deren Herstellung sind nachfolgend aufgelistet:

Lösung zur Extraktion von Nitrosomyoglobin

- wässriges Aceton
 - Zugabe von 37,5 ml dest. H_2O zu 500 ml Aceton ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)

Lösung zur Extraktion von Metmyoglobin

- salzsaures Aceton
 - Zugabe von 5 ml dest. H_2O und 2,5 ml Salzsäure (konz.) zu 100 ml Aceton

Anleitung: Fettbestimmung, mod. Bligh Dyer

- Probeneinwaage 1-2 g / 10g bei flüssigen Proben bspw. in kleines Becherglas
- 6 ml dest. H_2O hinzugeben und rühren (entfällt bei flüssigen Proben!!!)
- 8 ml Chloroform (auch Dichlormethan möglich) hinzugeben und 5 min rühren
- 16 ml Methanol hinzugeben und 5 min rühren
- 8 ml Chloroform (oder Dichlormethan) hinzugeben und 5 min rühren
- 8 ml dest. H_2O hinzugeben und 5 min rühren
- Phasentrennung:
 - Entweder: Zentrifugieren für 5-10 min bei höchster Umdrehung
 - Oder: Überführen in Scheidetrichter und warten
- 10 ml der Chloroformphase (untere „schwere“ Phase) in einem breiten Gefäß (bspw. Petrischale / Leergewicht ermitteln!) geben und bei Raumtemperatur im Abzug abdampfen lassen (am besten über Nacht)
- Nach Abdampfen Petrischale mit Fettrückstand wiegen
- Gewicht des Rückstandes mit 1,6 multipliziert und dividiert durch Probeneinwaage ergibt den relativen Fettanteil

Anhang 2: DLG-Prüfschema für Rohwurst (schnittfähige und streichfähige)

Statistische Auswertung

Anhang 3: Deskriptive Statistik der Ergebnisse der Festigkeitsmessungen von mit fermentiertem Fett hergestellten Rohwürsten

Probe	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
V5	15	6,0	13,0	8,83	1,82
V6	15	9,5	19,5	13,81	2,62
V7	15	8,0	15,0	10,30	2,03
V8	15	8,5	13,5	10,83	1,35
V9	15	16,0	25,0	19,77	2,31
V10	15	10,0	20,0	14,67	2,68
V11	15	11,0	23,5	16,17	3,35
V12	15	11,5	19,0	14,21	2,10
V13	15	19,0	44,5	27,30	5,49
V14	15	11,0	24,5	15,07	3,49
V15	15	5,5	15,0	9,40	2,88

Anhang 4: Deskriptive Statistik der Ergebnisse der a_w -Wertmessungen von mit fermentiertem Fett und dem entwickelten Trocknungsregime für Magerfleisch hergestellten Rohwürsten

Tag	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
d0	12	0,90	0,95	0,92	0,02547384
d6	6	0,89	0,92	0,91	0,01296919
d13	6	0,89	0,92	0,92	0,03475869

Anhang 5: Durchschnittliche Ergebnisse der Farbmessungen während der Trocknung des Magerfleisches im $L^*a^*b^*$ -Farbraum

t in min	n	Mittelwert L^*	Standard-abweichung	n	Mittelwert a^*	Standard-abweichung	n	Mittelwert b^*	Standard-abweichung
0	5	45,55	2,07	5	10,42	2,39	5	8,37	0,68
20	5	42,73	1,02	5	4,55	0,86	5	5,84	0,93
40	5	42,17	1,41	5	5,05	0,83	5	5,55	0,80
60	5	43,93	0,96	5	5,80	0,41	5	5,45	0,65
80	5	42,55	3,04	5	6,86	1,19	5	6,05	0,51
100	5	40,66	2,26	5	6,99	1,35	5	5,60	0,20
120	5	42,60	4,98	5	7,00	2,45	5	5,42	0,80
140	5	41,55	1,27	5	8,64	1,31	5	6,33	0,82
160	5	42,93	0,92	5	9,02	1,05	5	6,76	0,55
180	5	41,12	0,94	5	8,48	1,59	5	5,87	0,54
200	5	41,98	2,90	5	8,48	1,22	5	6,17	1,23
220	5	43,58	2,71	5	9,46	1,05	5	6,36	0,39
240	5	42,64	1,74	5	9,76	1,82	5	6,43	1,16

Anhang 6: Ökonomische Berechnungen für eine Produktionsmenge von 12.000 kg Rohwurst nach konventionellem und entwickeltem Verfahren

Konventionell					mit Vorfermentiertem Fett
Ausgangsmasse Brät 12.000 kg / a					Ausgangsmasse Brät 12.000 kg / a
Material:					Material:
Magerfleisch S1	41,5%	18.144,00 €	18.144,00 €	41,5%	Magerfleisch S1
Magerfleisch S2	41,5%	15.624,00 €	15.624,00 €	41,5%	Magerfleisch S2
Fett S8	17%	2.688,00 €	2.688,00 €	16%	Fett S8
Zutaten in g/kg:					Zutaten in g/kg:
NPS	25	180,00 €	180,00 €	25	NPS
Pfeffer	1,25	435,00 €	435,00 €	1,25	Pfeffer
Knoblauch	1,25	256,80 €	256,80 €	1,25	Knoblauch
Koriander	0,5	45,00 €	45,00 €	0,5	Koriander
Ascorbinsäure	1	130,80 €	130,80 €	1	Ascorbinsäure
Glucose	1	24,84 €	79,44 €	20	Glucose (<i>im Fett</i>)
Starterkulturen: Biobak K	1			1	Starterkulturen: Biobak K (<i>im Fett</i>)
Gesamtkosten		37.528,44 €	37.583,04 €		Gesamtkosten
Verfahrenskosten Konv					Verfahrenskosten Vorferm
Energie Kutter /a		160,44 €	160,44 €		Energie Kutter / a
Betriebsmittel / a		484,56 €	484,56 €		Betriebsmittel / a
Betriebskosten Klimareifung / a		4.105,68 €	26,40 €		Kosten Magerfleischtrocknung / Mt.
Wartungskosten Klimaschrank / a		600,00 €	0,00 €		Wartungskosten Klimaschrank / a
Lagerraum Miete / a		540,00 €	162,00 €		Lagerraum Miete / a
Lagerraum Klimatisierung Klimaanlage 1,5 kW / a		505,89 €	41,28 €		Lagerraum Klimatisierung mit Heizöl / a
Kosten Personal					Kosten Personal
Herstellung 300h/a		3.450,00 €	4.830,00 €		Herstellung 420h/a
Betreuung Reifung 360h/a		4.140,00 €	1.380,00 €		Betreuung Reifung 120h/a
Summe		51.515,01 €	44.667,72 €		Summe
Kosten /kg Brät		4,29 €	3,72 €		Kosten /kg Brät
Kosten / kg getrocknete Wurst		6,74 €	5,84 €		Kosten / kg getrocknete Wurst



Anhang 7: Verschiedene Produktgestaltungen der vorfermentierten Würste durch Einsatz unterschiedlicher Darmmaterialien und Kaliber

Anhang 8: Abfolge der Produktionsschritte für die Herstellung von Rohwurst mit vorfermentiertem Fett mit 25 kg Rohwarenmasse

Menge	Bezeichnung	Schritt
4 kg	S8	Gattern und mit 80 g Glucose , 4g Starterkulturen und 80 g Gewürzmischung Mediterraneo ansetzen; Einschweißen und für 24 Std. im geheizten Raum lagern; danach anfrosten
<u>Rohwurstproduktion am nächsten Tag</u>		
21 kg	S1 und S2	Mit 25 g Ascorbinsäure und 625 g NPS mischen und in 3 Chargen (CH1, CH2 und CH3) aufteilen
3,15 kg	CH1	Ungetrocknete Charge: in die Kühlung zum Anfrosten
13,65 kg	CH2	Kurze Trocknung: 1,5 h im Räucherofen trocknen, ohne Erwärmen mit geöffneter Tür
4,2 kg	CH3	Lange Trocknung: 4 h im Räucherofen trocknen, ohne Erwärmen mit geöffneter Tür
<u>Herstellung im Kutter</u>		
	CH1	Mit 21 g Phosphat in den Kutter geben und fein zerkleinern bis ein aussehen wie Brühwurstbrät entsteht
	CH2 +CH3	Zur zerkleinerten Masse aus CH1 geben und 420 g Gewürzmischung zugeben; grob zerkleinern
	S8	den fermentierten angefrostenen Speck zugeben und bis zur gewünschten Speckgröße zerkleinern (Vorsicht nicht zu klein)
	Brät	Füllen



Anhang 9: Anschnitt einer Salami mit Mischbroteinlage, die nach den entwickelten Verfahren hergestellt wurde

Anhang 10: pH-Werte von Rohwurst vor und nach dem Räuchern unter Verwendung unterschiedlicher Holzart

Probe	pH-Werte		Holzart	p ($\alpha=0,05$)
1	ungeräuchert	geräuchert	Buche	0,26
	5,37 $\pm$ 0,052	5,43 $\pm$ 0,020		
2	ungeräuchert	geräuchert	Buche	0,18
	5,26 $\pm$ 0,006	5,10 $\pm$ 0,016		
3	ungeräuchert	Geräuchert	Buche/Kiefer	0,41
	5,45 $\pm$ 0,069	5,49 $\pm$ 0,035		
4	ungeräuchert	geräuchert	Buche/Kiefer	0,4
	5,19 $\pm$ 0,031	5,12 $\pm$ 0,026		
5	ungeräuchert	geräuchert	Buche	0,95
	6,15 $\pm$ 0,046	6,15 $\pm$ 0,035		
6	ungeräuchert	geräuchert	Lärche	0,12
	6,15 $\pm$ 0,046	6,13 $\pm$ 0,004		
7	ungeräuchert	Geräuchert	Buche/Lärche	0,23
	6,15 $\pm$ 0,046	6,15 $\pm$ 0,007		
8	ungeräuchert	geräuchert	Kiefer	0,37
	6,15 $\pm$ 0,046	6,17 $\pm$ 0,071		
9	ungeräuchert	geräuchert	Buche/Kiefer	0,86
	6,07 $\pm$ 0,014	6,05 $\pm$ 0,011		
10	ungeräuchert	Geräuchert	Buche / Kiefer	0,43
	6,07 $\pm$ 0,014	6,07 $\pm$ 0,005		

Anhang 11: p-Wert-Raster der L*-Werte zum Vergleich verschieden geräucherter Rohpurstproben (Thüringer Runde)

L *	Ohne Behand- lung	Buche 2h	Buche 3h	Kiefer 2h	Buche / Kiefer 2h	Buche / Kiefer 3h	Buche / Fichte 3h
nicht geräuchert	x	x	x	x	x	x	x
Buche 2h	0,49	x	x	x	x	x	x
Buche 3h	0,20	0,12	x	x	x	x	x
Kiefer 2h	0,32	0,18	0,65	x	x	x	x
Buche / Kiefer 2h	0,104	0,058	0,89	0,51	x	x	x
Buche / Kiefer 3h	0,16	0,09	0,95	0,65	0,67	x	x
Buche / Fichte 3h	0,98	0,58	0,25	0,41	0,41	0,41	x
Lärche 2h	0,14	0,59	0,05	0,07	0,02	0,03	0,03

Anhang 12: p-Wert-Raster der a^* -Werte zum Vergleich verschieden geräucherter Rohpurstproben (Thüringer Runde)

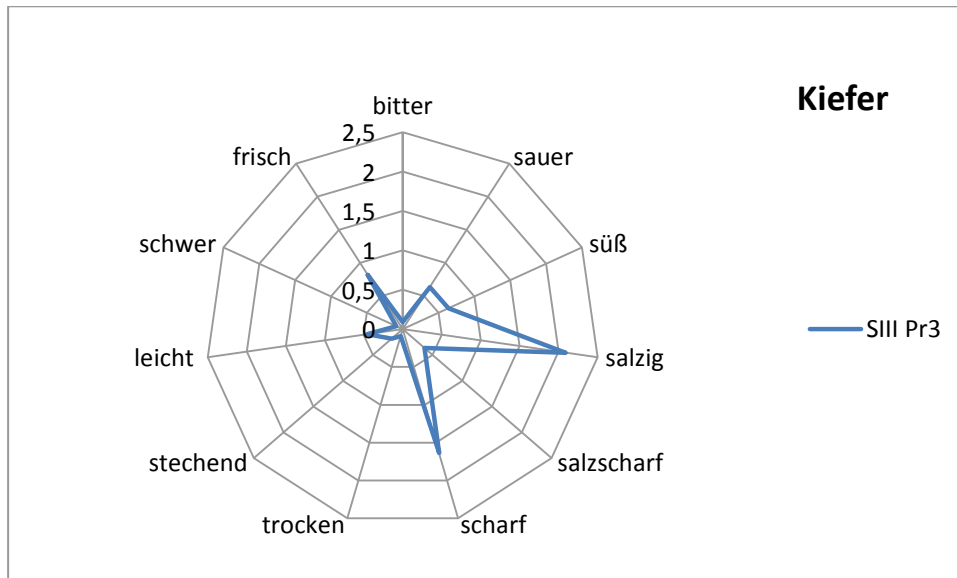
a^*	Ohne Behandlung	Buche 2h	Buche 3h	Kiefer 2h	Buche / Kiefer 2h	Buche / Kiefer 3h	Buche / Fichte 3h
nicht geräuchert	x	x	x	x	x	x	x
Buche 2h	0,67	x	x	x	x	x	x
Buche 3h	0,32	0,25	x	x	x	x	x
Kiefer 2h	0,71	0,53	0,52	x	x	x	x
Buche / Kiefer 2h	0,072	0,057	0,52	0,17	x	x	x
Buche / Kiefer 3h	0,14	0,11	0,75	0,52	0,30	x	x
Buche / Fichte 3h	0,37	0,28	0,82	0,64	0,64	0,82	x
Lärche 2h	0,14	0,59	0,05	0,07	0,02	0,03	0,03

Anhang 13: p-Wert-Raster der b^* -Werte zum Vergleich verschieden geräucherter Rohpurstproben (Thüringer Runde)

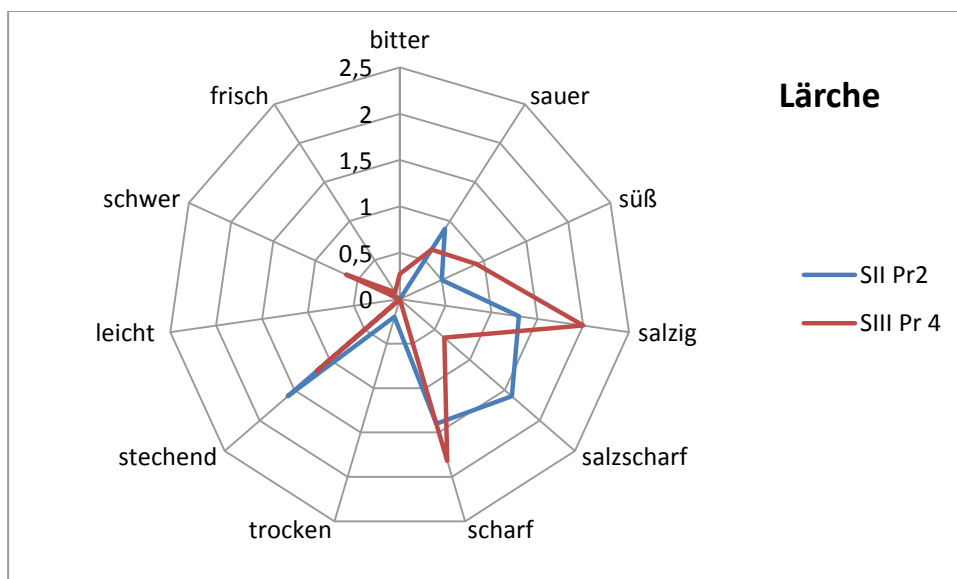
b^*	Ohne Behandlung	Buche 2h	Buche 3h	Kiefer 2h	Buche / Kiefer 2h	Buche / Kiefer 3h	Buche / Fichte 3h
nicht geräuchert	x	x	x	x	x	x	x
Buche 2h	0,33	x	x	x	x	x	x
Buche 3h	0,70	0,34	x	x	x	x	x
Kiefer 2h	0,38	0,15	0,72	x	x	x	x
Buche / Kiefer 2h	0,042	0,015	0,14	0,23	x	x	x
Buche / Kiefer 3h	0,93	0,43	0,78	0,49	0,49	x	x
Buche / Fichte 3h	0,14	0,06	0,37	0,56	0,93	0,22	x
Lärche 2h	0,09	0,61	0,18	0,06	0,01	0,21	0,02

Aromaprofile

ASZ 1

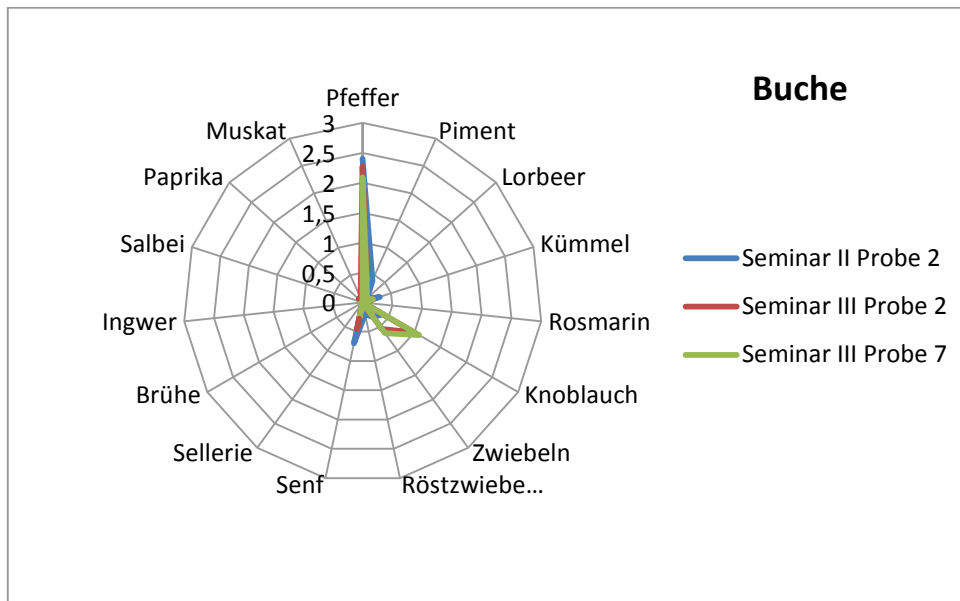


Anhang 14: Spinnennetzgrafik der ASZ 1 – Orale Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Kiefernholz



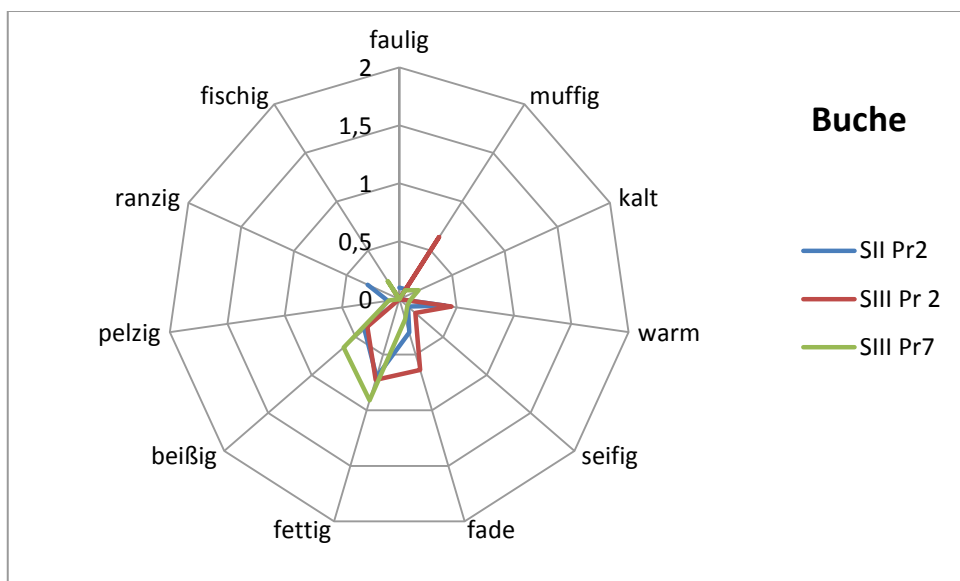
Anhang 15: Spinnennetzgrafik der ASZ 1 – Orale Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Lärchenholz

ASZ 2

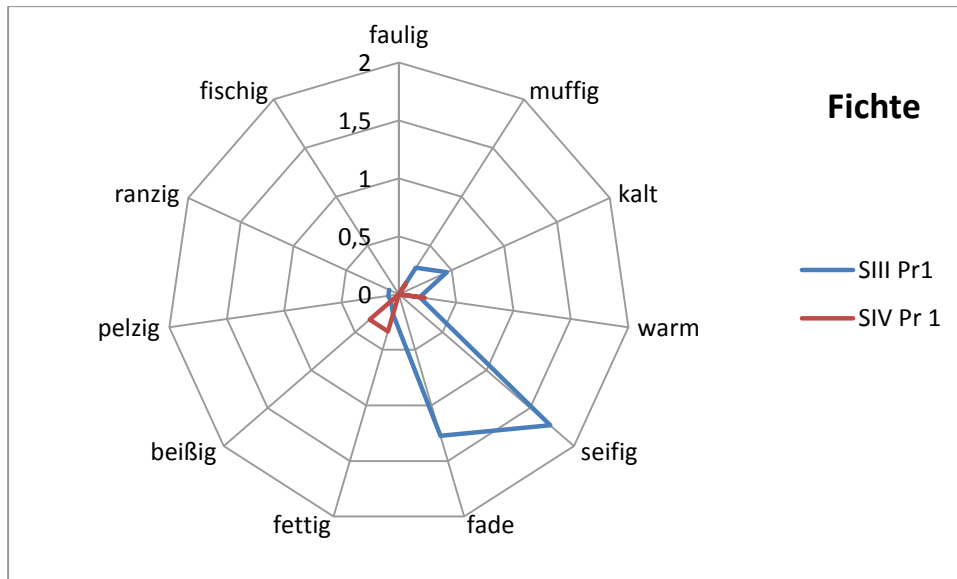


Anhang 16: Spinnennetzgrafik der ASZ 2 – Gewürzprägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Buchenholz

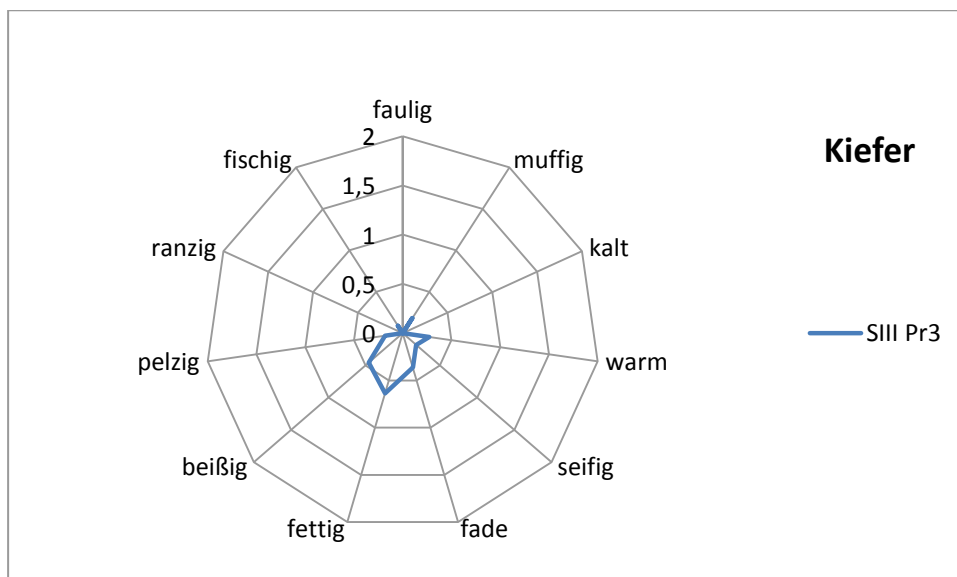
ASZ 3



Anhang 17: Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben geräuchert mit Buchenholz

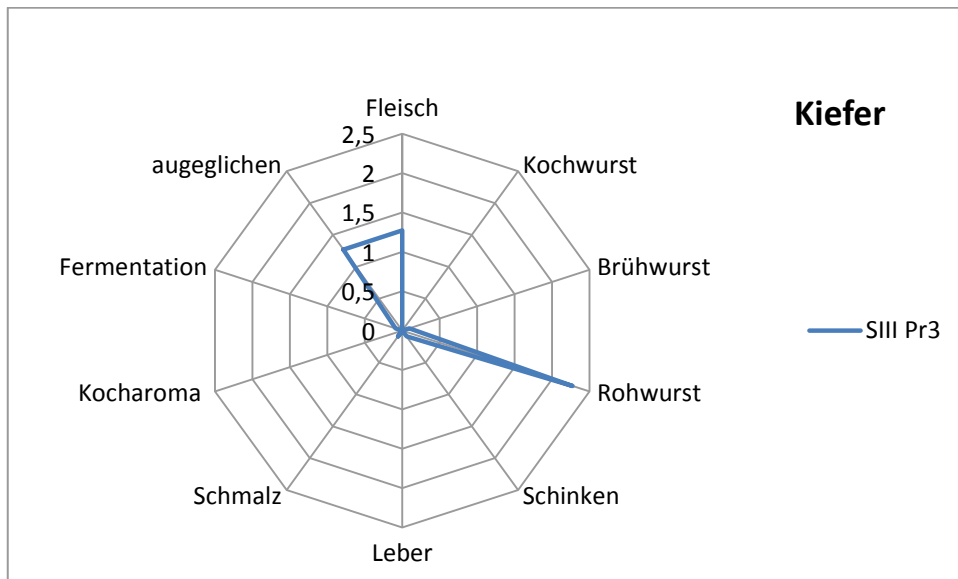


Anhang 18: Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Fichtenholz geräuchert

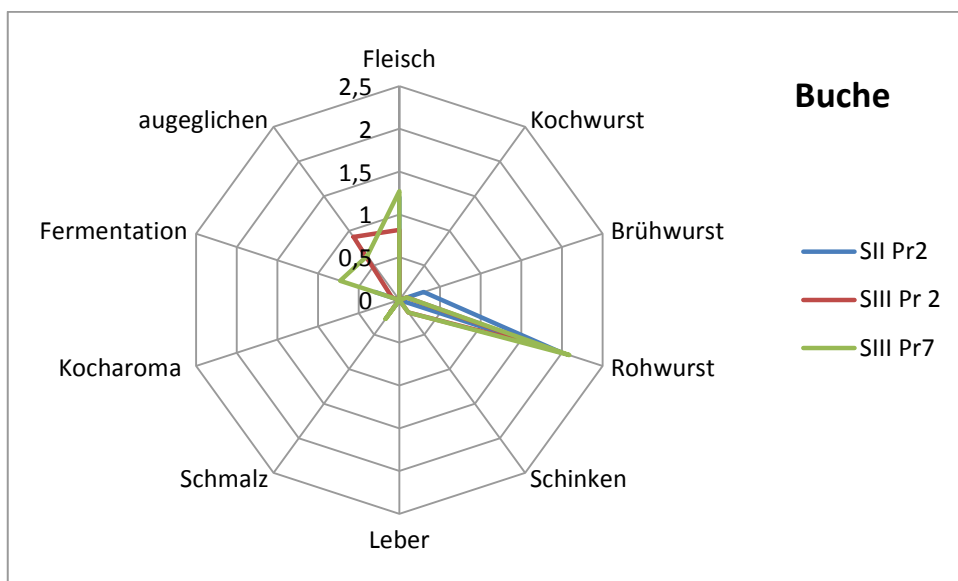


Anhang 19: Spinnennetzgrafik der ASZ 3 – sonstige Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Kiefernholz geräuchert

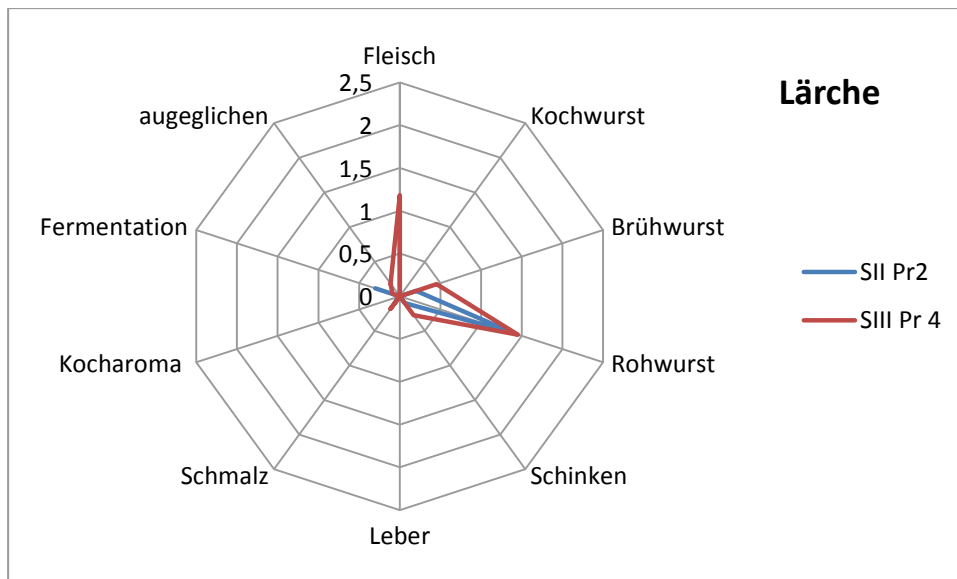
ASZ 4



Anhang 20: Spinnennetzgrafik der ASZ 4 – Typisierung von „Thüringer Runde“ Proben mit Kiefernholz geräuchert

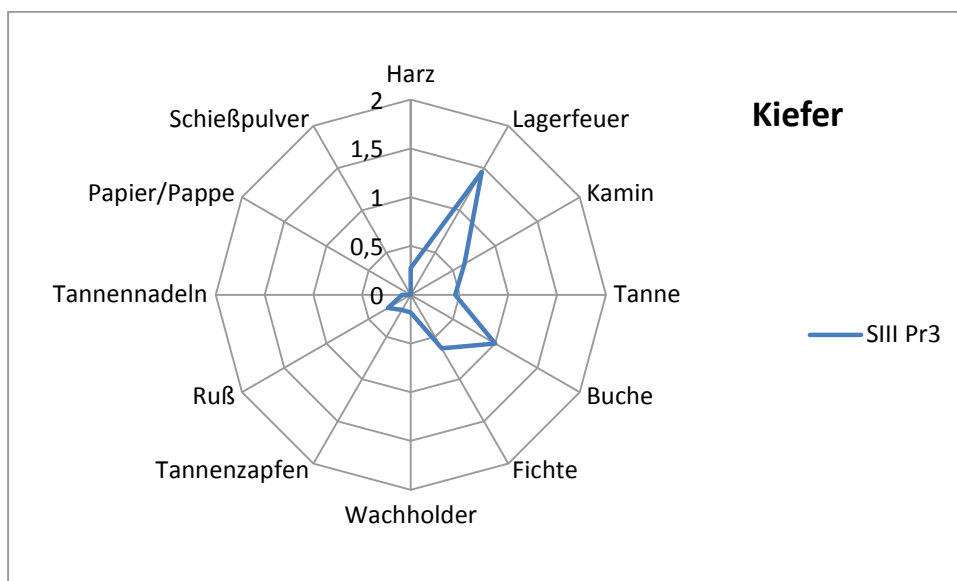


Anhang 21: Spinnennetzgrafik der ASZ 4 – Typisierung von „Thüringer Runde“ Proben mit Buchenholz geräuchert

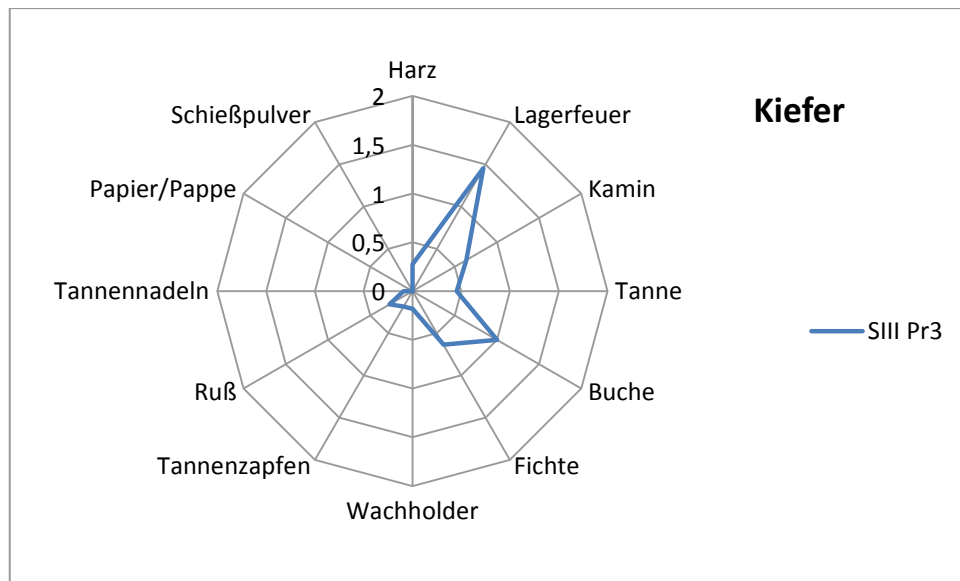


Anhang 22: Spinnennetzgrafik der ASZ 4 – Typisierung von „Thüringer Runde“ Proben mit Lärchenholz geräuchert

ASZ 5

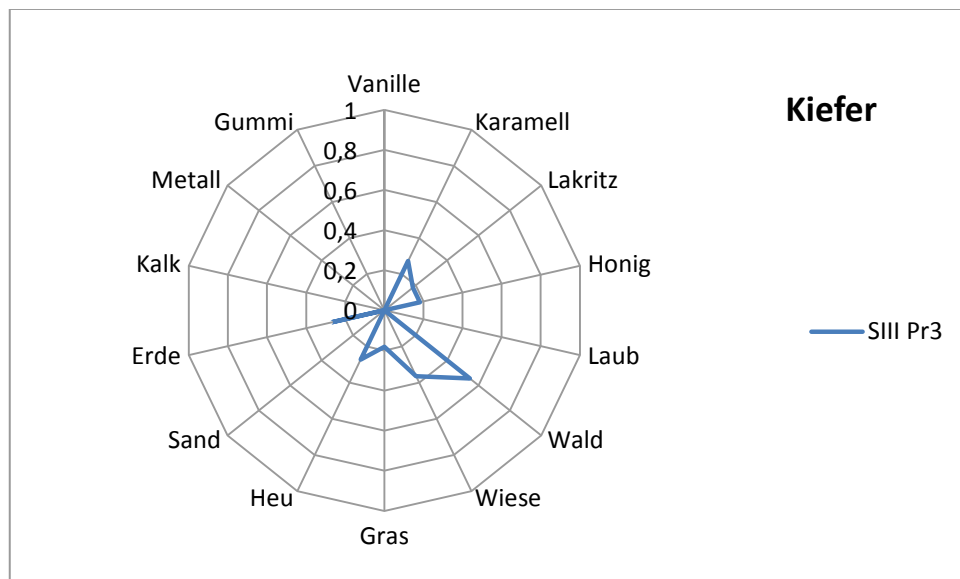


Anhang 23: Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Kiefernholz geräuchert

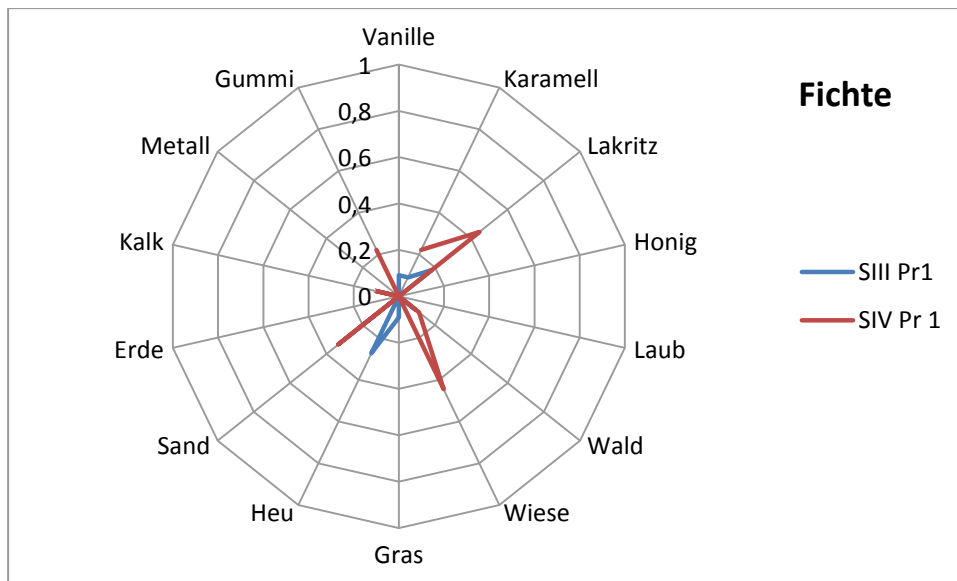


Anhang 24: Spinnennetzgrafik der ASZ 5 – Räucherholzprägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Kiefernholz z geräuchert

ASZ 6



Anhang 25: Spinnennetzgrafik der ASZ 6 – subjektive Prägung von „Thüringer Runde“ Proben mit Kiefernholz geräuchert



Anhang 26: Spinnennetzgrafik der ASZ 6 – subjektive Prägung von „Thüringer Runde“
Proben mit Fichtenholz geräuchert