

**Studiengang Life Technologies**  
**Vertiefungsrichtung Lebensmitteltechnologie**

**Diplom 2008**

*Patrick Bozzini*

*OPTIMIERUNG EINER METHODE ZUR  
ABSCHÄTZUNG DER WASSERAKTIVITÄT BEI  
FLEISCHERZEUGNISSEN*

*Einfluss von Kochsalz, Zutaten und Trocknung auf die  
Wasseraktivität von Rohwurst*

Dozent Prof. Dr. Rudolf Schmitt

Experte Prof. Dr. Achim Stiebing

---

Originalbericht des Studenten handelt, kann dieser Fehler oder ungenaue Angaben umfassen.

SI	TV	EE	IG	EST
X	X			

Confidentiel / Vertraulich

oui / ja     non / nein

<input type="checkbox"/> FSI <input checked="" type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr <b>2007/2008</b>	No PS / Nr. PS <b>ta/2008/45</b>
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Ecole hôte	Mandataire / Beauftragter <b>Patrick Bozzini</b>	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Ecole hôte
Professeur / Dozent <b>Rudolf Schmitt</b>	Expert / Experte (données complètes) <b>Prof. Dr. A. Stiebing, Hochschule Ostwestfalen-Lippe (D)</b>	

Titre / Titel

**Einfluss von Kochsalz, Zutaten und Trocknung auf die Wasseraktivität von Rohwurst**

Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele

Die Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Haltbarkeit. Hinsichtlich Rezepturoptimierung und Prozessauslegung wäre es von großem wirtschaftlichen Vorteil, die Wasseraktivität im Voraus abschätzen zu können.

Aufbauend auf den Ergebnissen seiner Semesterarbeit hat der Kandidat den Einfluss relevanter Zusatzstoffe und Zutaten sowie Trocknungsraten spezifischer zu ermitteln.

- Zunächst ist der Einfluss von Wasser- und Salzgehalt (Solekonzentration) und deren Beziehung zum aw-Wert zu untersuchen und Einflussgrößen aufzuzeigen anhand Modellbräten von Rohwurst.
- Desweiteren gilt es am Beispiel der Rohwurst die Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst bei unterschiedlichen Trocknungsraten und Zusätzen zu ermitteln.
- Ziel ist es, ein Berechnungsmodell für die praktische Anwendung im fleischverarbeiteten Betrieb zu entwickeln.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Resp. de l'unité  
 Leiter der Einheit: .....

Professeur/Dozent: .....

Etudiant/Student: .....

Délais / Termine

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:  
**01.09.2008**

Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:  
**27.02.2009**

Exposition publique / Ausstellung Diplomarbeiten:  
 zu definieren

Défense orale / Mündliche Verfechtung:  
 zu definieren

Rapport reçu le / Schlussbericht erhalten am ..... Visa du secrétariat / Visum des Sekretariats .....

## OPTIMIERUNG EINER METHODE ZUR ABSCHÄTZUNG DER WASSERAKTIVITÄT BEI FLEISCHERZEUGNISSEN

*Einfluss von Kochsalz, Zutaten und Trocknung auf die Wasseraktivität von Rohwurst*

### **OBIECTIF**

L'objectif de ce travail était, d'une part, la validation du polynôme utilisé pour la prédiction de l'activité de l'eau dans les produits à base de viande découvert par KRISPIES et al. (1979), en analysant l'influence du contenu en eau et en sel, ainsi que l'influence des additifs et de leur relation avec la valeur  $a_w$  sur la base de modèle de mélange de viande utilisé pour la fabrication de saucisse crue. Par ailleurs, la distribution de l'activité de l'eau dans une saucisse crue à différents taux de séchage et différents additifs a été étudié. Le but principal était le développement d'un nouveau modèle de calcul de l'activité de l'eau.

### **RÉSULTATS**

Les résultats des essais sur l'influence des additifs (amidon, poudre de lait et protéines de lait) ont montré que avec les quantités de poudre utilisées (1 et 3%) aucune influence sur l'activité de l'eau est observable. Lors de la distribution de l'activité d'eau à l'intérieur de la saucisse tous les profils de l'activité de l'eau obtenues montrent des profils paraboliques qui sont caractéristique des aliments hygroscopiques. Les résultats de l'essai principal ont montré que le polynôme testé est valable seulement jusqu'à une concentration en « Sole » de 6%. Grâce à la grande quantité de mesures obtenues une fonction quadratique de régression, qui contribue à la création d'un modèle de calcul optimal et é l'acquisition du but souhaité, a pu être obtenue. Les producteurs de saucisse crue ont maintenant la possibilité d'utiliser un modèle de calcul, qui permet de faire une prédiction en avance de l'activité de l'eau.

### **MOTS-CLÉS**

Saucisse crue, modèle de calcul, activité de l'eau, influence des additifs

### **ZIEL**

Ziel dieser Arbeit war es zum einen, die von KRISPIEN et al. (1979) ermittelte Polynomgleichung zur Abschätzung der Wasseraktivität bei Fleischerzeugnissen zu testen, indem der Einfluss von Wasser- und Salzgehalt sowie den Einfluss von Zusatzstoffen und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert anhand Modellbräten von Rohwurst untersucht wurden. Andererseits wurde die Wasseraktivitätsverteilung innerhalb einer Rohwurst bei unterschiedlichen Trocknungsraten und Zusätze ermittelt. Prinzipiell sollte eine neue Formel zur Berechnung der Wasseraktivität entwickelt werden.

### **ERGEBNISSE**

Die Versuchsergebnisse über den Einfluss von Zusatzstoffen (Stärke, Milchpulver und Milcheiweiß) haben bei den eingesetzten Pulvermengen (1 und 3%) keinen Einfluss auf die Wasseraktivität gezeigt. Bei der Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst zeigen alle erhaltenen Profile parabolische Wasseraktivitätsverläufe die charakteristisch für hygroskopische Lebensmitteln sind. Die Ergebnisse im Hauptversuch zeigen, dass die getestete Polynomgleichung nur bis auf eine Solekonzentration von 6% gültig ist. Dank der umfangreichen Messdatenerfassung wurde eine quadratische Regressionsfunktion entwickelt, die zu dem gewünschten Ziel und zu einem weiteren Fortschritt in Richtung eines optimalen Berechnungsmodells beiträgt. Für die Hersteller von Rohwürsten wurde damit eine neue Möglichkeit geschaffen, die Wasseraktivität anhand eines Berechnungsmodells frühzeitig vorhersagen zu können.

### **SCHLÜSSELWÖRTER**

Rohwurst, Berechnungsmodell, Wasseraktivität, Einfluss Zusatzstoffen

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig gefertigt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und wirklich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.“

Lemgo, den 19.02.2009

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT.....</b>	<b>3</b>
2.1	ROHWURST .....	3
2.2	HERSTELLUNG VON SCHNITTFESTER ROHWURST .....	3
2.3	ZUGABE VON ZUSATZSTOFFE.....	5
2.4	PARAMETER BEI DER HERSTELLUNG VON ROHWÜRSTEN .....	8
2.5	ROHWURSTREIFUNG.....	10
2.5.1	<i>Rohwursttrocknung.....</i>	<i>10</i>
2.5.2	<i>Wassertransport im Wurstinieren.....</i>	<i>12</i>
2.6	WASSERAKTIVITÄT .....	12
2.6.1	<i>Allgemeines.....</i>	<i>12</i>
2.6.2	<i>Berechnungen der Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen .....</i>	<i>14</i>
2.6.3	<i>Wasseraktivitätsverteilung in einen Rohwurst .....</i>	<i>17</i>
2.6.4	<i>a<sub>w</sub>-Kryoskopie.....</i>	<i>18</i>
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>21</b>
3.1	GERÄTE UND MATERIALIEN .....	21
3.2	HAUPTVERSUCH.....	23
3.2.1	<i>Einfluss von Wasser- und Salzgehalt.....</i>	<i>23</i>
3.2.2	<i>Einfluss von Zusatzstoffen .....</i>	<i>25</i>
3.2.3	<i>Einfluss von Milchsäure .....</i>	<i>27</i>
3.3	VERTEILUNG DER WASSERAKTIVITÄT INNERHALB DER WURST .....	28
3.3.1	<i>Wurstherstellung.....</i>	<i>29</i>
3.4	MESSMETHODEN .....	32
3.4.1	<i>Wasseraktivität.....</i>	<i>32</i>
3.4.1.1	<i>Bestimmung des Wasseraktivitätswertes mittels Gefrierpunkt-Verfahren.....</i>	<i>32</i>
3.4.1.2	<i>Kontinuierliches Messen der Oberflächen-Wasseraktivität von Rohwurst .....</i>	<i>33</i>
3.4.2	<i>Kochsalzgehalt .....</i>	<i>35</i>
3.4.3	<i>Wassergehalt .....</i>	<i>35</i>
3.4.4	<i>Gewichtsverlust .....</i>	<i>36</i>
3.4.5	<i>pH-Wert.....</i>	<i>36</i>
3.5	ENTWICKLUNG EINES BERECHNUNGSMODELLS .....	37
3.5.1	<i>Statistik .....</i>	<i>37</i>
3.5.1.1	<i>Multiple nicht-lineare Regression .....</i>	<i>38</i>
3.5.1.2	<i>t-Test.....</i>	<i>39</i>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>40</b>
4.1	HAUPTVERSUCH.....	40
4.1.1	<i>Einfluss von Wasser- und Salzgehalt.....</i>	<i>40</i>

---

4.1.2	<i>Einfluss von Milchsäure</i> .....	44
4.1.3	<i>Einfluss von Zusatzstoffen</i> .....	45
4.2	VERTEILUNG DER WASSERAKTIVITÄT INNERHALB DER WURST .....	50
4.3	ENTWICKLUNG EINES BERECHNUNGSMODELLS .....	55
4.3.1	<i>Multiple quadratische Regression</i> .....	55
4.3.2	<i>Multiple exponentielle Regression</i> .....	57
4.3.3	<i>Vergleichungstest zwischen theoretischen und bestimmten <math>a_w</math>-Werte</i> .....	59
4.3.3.1	t-Test.....	60
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>62</b>
5.1	ALLGEMEINES .....	62
5.2	HAUPTVERSUCH.....	63
5.2.1	<i>Einfluss von Wasser- und Salzgehalt</i> .....	63
5.2.2	<i>Einfluss von Milchsäure</i> .....	65
5.2.3	<i>Einfluss von Zusatzstoffen</i> .....	66
5.3	VERTEILUNG DER WASSERAKTIVITÄT INNERHALB DER WURST .....	67
5.4	ENTWICKLUNG EINES BERECHNUNGSMODELLS .....	68
5.5	BEDEUTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DIE PRAXIS.....	69
<b>6</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>80</b>

# **1 EINLEITUNG**

Bei Rohwurst handelt es sich wohl um den ältesten Wursttyp überhaupt. Schon in den Hochkulturen der Antike wurden rohwurstähnliche Produkte hergestellt. Die Rohwurst, wie wir sie kennen, hat ihren Ursprung zu Beginn des 18. Jahrhunderts in Italien und verbreitete sich in kürzester Zeit in ganz Europa. Mittlerweile werden in Deutschland 439.000 t Rohwurst pro Jahr produziert, was pro Jahr einem Pro-Kopf-Verzehr von 5.3 kg entspricht (ANONYM, 2003). Aufgrund dieser grossen Nachfrage kann der Bedarf an Rohwürsten nur noch durch Produktion im industriellen Massstab nachgekommen werden, wobei auch der mittelständischen Industrie und grösseren Handwerksbetrieben grosse Bedeutung zukommen.

Aufgrund gestiegener Ansprüche an Qualität, Produktsicherheit und Anforderungen an immer gleichmässigeren Produkten gilt die Wasseraktivität inzwischen als der kritische Parameter für die Haltbarkeitsdauer eines Lebensmittels. Sie zählt neben dem Säuregrad (pH-Wert), dem Redoxpotential (Eh-Wert), dem Nitrit/Nitratgehalt und der Konkurrenzflora zu den für die mikrobiologische Stabilität eines Fleischerzeugnisses verantwortlichen inneren Faktoren.

Für zahlreiche Fleischwaren ist die herabgesetzte Wasseraktivität der mitbestimmende Faktor für die Haltbarkeit dieser Produkte, und nicht zuletzt beruht die Wirkung verschiedener Konservierungsverfahren auf einer Depression der Wasseraktivität, so z.B. das Trocknen, Salzen, Pökeln, Zuckern und Gefrieren von Fleischwaren. Daher ist es möglich, durch Steuerung der Wasseraktivität die Herstellung und Stabilität von Fleischwaren zu optimieren (RÖDEL, 1973).

In zahlreichen Arbeiten wurde bereits über die Messung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischerzeugnissen berichtet. Die Bedeutung, die die Wasseraktivität als eine der wenigen im Fleischerzeugnis gut messbaren Grössen für eine Abschätzung der mikrobiologischen Stabilität von Lebensmitteln zukommt, wird international durch gesetzliche Vorschriften unterstrichen, die Wasseraktivitäts-Grenzwerte für Lebensmittel enthalten.

KRISPIEN, RÖDEL und LEISTNER machten 1979 einen Vorschlag, wie mit Hilfe eines einfachen Programms auf einem Taschenrechner, der auf einem Polynom 6. Ordnung basiert, die Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen aus den Gehalten von Wasser und Kochsalz berechnet werden kann. Dies hat dort seine Vorteile, wo ein Messgerät für die Bestimmung des  $a_w$ -Wertes nicht zur Verfügung steht und man allein auf der Basis der Rezeptur eine Voraussage über die Wasseraktivität des Endproduktes machen möchte.

Ziel dieser Arbeit war es, ein Berechnungsmodell für die praktische Anwendung im fleischverarbeiteten Betrieb zu entwickeln. Dabei sollte zunächst der Einfluss von Wasser und Salzgehalt (Solekonzentration) und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert nachgeprüft werden und Einflussgrößen anhand Modellbräten von Rohwurst aufgezeigt werden. Weiterhin sollte anhand gleiche Modellbräten der Einfluss von Zusatzstoffe auf die Wasseraktivität untersucht werden. Desweiteren wurde die Verteilung der Wasseraktivität innerhalb einer Rohwurst bei unterschiedlichen Trocknungsraten und Zusätze ermittelt.

Für die Hersteller von Rohwürsten soll damit eine neue Möglichkeit geschaffen werden, die Wasseraktivität anhand einen Berechnungsmodell , frühzeitig vorhersagen zu können.

## 2 GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Rohwurst

Nach den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse des deutschen Lebensmittelbuches vom 27./28.11.1994 (zuletzt geändert am 02.10.2001) „sind Rohwürste in der Regel umgerötete, ungekühlt (über + 10 °C) lagerfähige, in der Regel roh zum Verzehr gelagerte Wurstwaren, die streichfähig oder nach einer mit Austrocknung verbundenen Reifung schnittfest geworden sind.

LEISTENER (1985) geht bei seinen Ausführungen teilweise auf den Herstellungsprozess ein, indem er definiert: „Rohwurst besteht aus rohem, zerkleinerten Fleisch und Speck, die mit Salz, Gewürzen und wenigen Zusatzstoffen vermischt, in Därme gefüllt und bei angemessener Temperatur und Luftfeuchte ausreichend lange gereift und getrocknet werden; das fertige Produkt wird meist ohne Kühlung gelagert und ohne Erhitzung verzehrt“.

Grundsätzlich wird bei Rohwurst zwischen schnittfester Rohwurst, wie zum Beispiel Salami, und streichfähiger Rohwurst, wie Teewurst, unterschieden. Zusätzlich kann eine weitere Unterscheidung nach dem Zerkleinerungsgrad und der Qualitätsstufe vorgenommen werden (FISCHER, 1988).

In den weiteren Ausführungen dieser Arbeit soll unter Rohwurst nur die Produktgruppe der schnittfesten Rohwürste verstanden werden.

### 2.2 Herstellung von schnittfester Rohwurst

Die Herstellung von Rohwurst erfordert ein hohes Mass an Wissen, Erfahrung und Aufmerksamkeit. Obwohl die Rohwurstherstellung als sehr robuste Technologie gilt, sind Fehlfabrikate und mikrobiologische Risiken durch pathogene Mikroorganismen eine ständige Gefahr bei der Herstellung (STIEBING, 2007).

Hauptinhaltsstoffe von schnittfester Rohwurst sind Rind- und Schweinefleisch sowie Speck. Die weiteren Zutaten und Zusatzstoffe, die während des Zerkleinerungsprozess zugesetzt werden, erfüllen zum Teil wichtige technologische Aufgaben.

Kochsalz wird neben seiner geschmacksgebenden Eigenschaft zur Erniedrigung des  $a_w$ -Wertes und zur Erhöhung der Ionenstärke zugegeben, wodurch fibrilläres MuskelEiweiß in Lösung geht. Dieses Sol wird durch Säuerung und Trocknung zu einem festen Gel, so dass schliesslich in weiteren Verlauf der Abtrocknung die Schnittfestigkeit der Rohwurst resultiert. Als Pökelfstoff wird neben Natriumnitrit, das im Nitritpökelsalz handelsüblich in Konzentrationen von 0,4 – 0,5% vorliegt, auch Kalium- oder Natriumnitrat verwendet. Die Pökelfstoffe dienen hauptsächlich der für Rohwürste typischen rötlichen Farbbildung, tragen aber ebenso zur Aromabildung bei. Des weiteren besitzen sie konservierende und antioxidative Eigenschaften. Beschleunigt werden diese Reaktionen durch die Zugabe von Pökelfhilfsstoffen wie Ascorbinsäure bzw. Isoascorbinsäure und deren Natriumsalze (FISCHER, 1988).

Besonderen Einfluss auf den gesamten Reifungsprozess haben die Starterkulturen. Sie bewirken mit ihren Stoffwechselprodukten eine Absenkung des pH-wertes und tragen zur Bildung charakteristischer Aromakomponenten und einer stabilen Farbe bei. Als Substrate dienen Ihnen dabei vor allem Zucker bzw. Zuckerstoffen (Dextrose, Maltose, Laktose etc.), die der Rohwurst bis zu einer Menge von 2% zugesetzt werden dürfen. Gewürze runden Geruch und Geschmack der Rohwürste schliesslich ab. Häufig werden weisser Pfeffer, Pfefferkörner (ganz oder gebrochen), Kardamon, Igwer, Piment, Paprika und Knoblauch verwendet. Um das Aroma zu verstärken, kann zusätzlich Glutaminsäure bzw. Natriumglutamat eingesetzt werden.

Die Auswahl des Rohmaterials ist hier von entscheidender Bedeutung für Qualität, Produktsicherheit und oxidative Stabilität des Endproduktes. Aufgrund eines höheren Glykogengehalts und einer kräftigeren Farbe wird das Fleisch älterer Tiere bevorzugt. Zu beachten ist ein möglich geringer Anfangskeimgehalt und ein pH-Wert von weniger als 5,8. Der Speck sollte möglichst bald nach der Schlachtung eingefroren und nicht länger als zwei Monate gelagert sein, um negative bzw. unerwünschte oxidative Veränderungen der Rohwurst zu minimieren (KIRSCH, 2003).

Nach FISCHER (1988) gliedert sich die Herstellung von schnittfester Rohwurst in die Prozessabschnitte Zerkleinern, Mischen, Füllen sowie Reifen / Trocknen und gegebenenfalls Räuchern. Während bei kontinuierlichem Zerkleinerungs- und Mischprozessen der Wolf zum

Einsatz kommt, wird heutzutage immer noch häufig im Kutter auf die gewünschte Körnung zerkleinert. Die zerkleinerte Rohwurstmasse wird meist bei einer Temperatur nahe 0°C in wasserdampfdurchlässige Hüllen (Kunst- oder Naturdärme) gefüllt. Anschliessend werden sie, im Gegensatz zur Naturreifung, in Klima-Reifeanlagen unter definierten Bedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftumwälzung usw.) behandelt und je nach Anforderungen des jeweiligen Produktes unterschiedlich lange fermentiert und getrocknet (FISCHER, 1988).

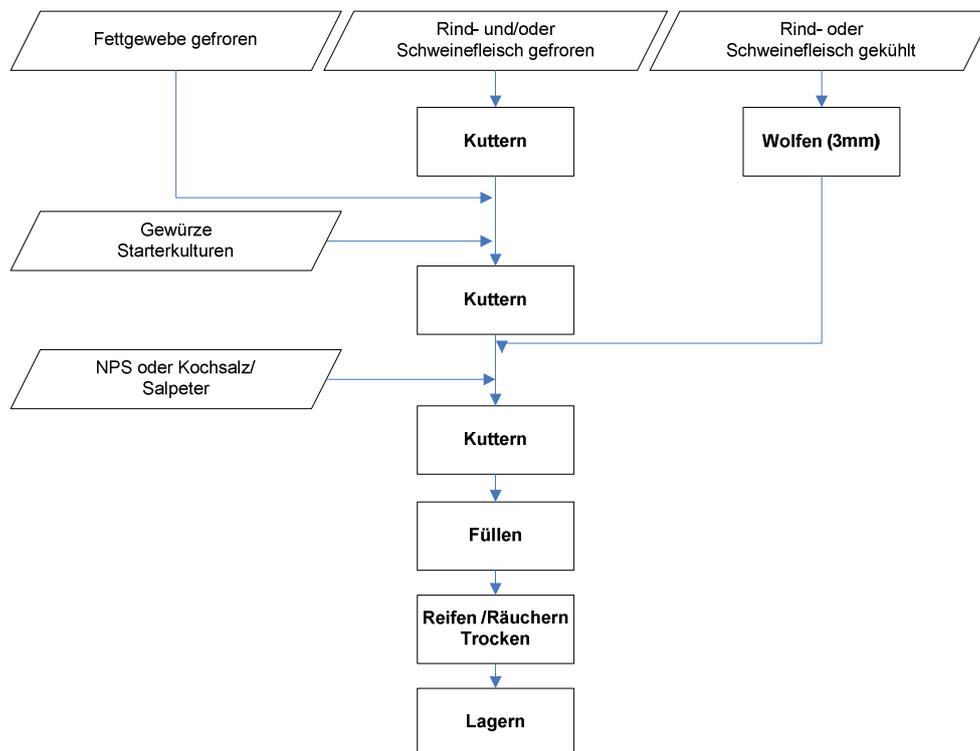


Abb. 2.1: Allgemeines Herstellungsschema für die Produktion von schnittfester Rohwurst (FISCHER, 1988)

### 2.3 Zugabe von Zusatzstoffe

Zusatzstoffe sind Stoffe, die dazu bestimmt sind, Lebensmitteln zur Beeinflussung ihrer Beschaffenheit oder zur Erzielung bestimmter Eigenschaften oder Wirkungen zugesetzt zu werden (WEBER, 2004). Mit Änderungen der deutschen Fleischverordnung (15.12.95) ist seitdem der Zusatz von pflanzlichen Eiweiß und Stärke zur Fleischwarenherstellung ohne

Mengenbeschränkung gestattet. Die Zulassung von Milcheiweiß ist erweitert worden, wobei nun nicht nur aufgeschlossenes Milcheiweiß, sondern auch „Trockenmilch-, Molken- und Milcheiweißerzeugnisse“ bei Brüh- und Kochwürste sowie Rohwürsten in einer Menge von max. 3% zugelassen sind (STIEBING, 1999).

In dieser Arbeit wurden als Zusatzstoffen Stärke, Milcheiweiß und Trockenmilchpulver verwendet. In den weiteren Ausführungen dieser Arbeit soll unter Milchpulver nur Trockenmilchpulver verstanden werden.

Den Unterschied zwischen Milchpulver und Milcheiweiß liegt in den prozentualen Proteingehalt. Milchpulver hat einen prozentualen Anteil an Proteinen von circa 35%, stattdessen besitzt Milcheiweiß einen prozentualen Gehalt grösser als 80% (MEHRENS und REIMERDES, 1991).

Zunächst soll die funktionellen Eigenschaften von Proteinen und danach von Stärke in Fleischprodukten erklärt werden.

### Proteinen:

Durch die Verarbeitung von Proteinprodukten in technologisch notwendigen Anteilen kann Magerfleisch ersetzt werden. Je nach ihrer funktionellen Eigenschaften können Proteinen u.a. bei folgenden Aufgabenstellungen zum Einsatz kommen:

- Erhöhung der Fettbindung in Fleischprodukten (Emulsionsbildung, Fettbindung, Gelbindung)
- Senkung der Verluste beim Garen (Fett- und Wasserbindung)
- Erhöhung der Wasseraufnahme von Fleischprodukten (Wasserbindung)
- Erhöhung der Saftigkeit von Hackfleischprodukten (Wasserbindung)
- Verhinderung der Synärese bei hocherhitzten und gefrorenen Produkten (Gelbildung, Wasserbindung)

Die im Handel angebotenen Proteinprodukte haben unterschiedliche Eiweißgehalte und unterschiedliche funktionelle Eigenschaften. Verfügbar sind sowohl hochfunktionelle Produkte als auch Proteinprodukte, die neben ihrer ernährungsphysiologischen und sensorischen Beeinflussung primär der Eiweißgehalt erhöhen (WEBER, 2004).

Bei grösserer Zugabe von getrockneten Proteinen ist die Verwendung als Gel zu empfehlen, d.h. die Proteinen werden zunächst in einer entsprechenden Wassermenge gelöst und der viskoser Masse ggf. feinzerkleinertes Rindfleisch, Blut oder Farbstoff zugegeben, um eine dem Schweinefleisch vergleichbare Farbe zu erzielen. Je nach pH-Wert der verwendeten Proteinen kann es notwendig sein den pH-Wert des Geles durch Zugabe z.B. von Milchsäure auf etwa 5,8 abzusenken, um die Trocknungseigenschaften und vor allem die Umrötung zu verbessern (STIEBING, 1999). Bei dieser Arbeit wurde die Zugabe von getrockneten Proteinen als Trockenpulver verwendet.

### Stärke:

Stärke ist ein Komplexes Kohlenhydrat, das aus den beiden Komponenten Amylose und Amylopektin besteht. Das Verhältnis dieser beiden Komponenten in der Stärke bestimmt die Eigenschaften und das Verhalten entscheidend und ist für jeden Rohstoff typisch, sei es die Kartoffel, der Mais oder der Weizen. Die Stärkekörner haben die Eigenschaft, in wässrigen Lösungen zu quellen und unter Temperaturwirkung Gele hoher Viskosität zu bilden. Das entscheidende Auswahlkriterium für den Einsatz von Stärke in Fleischerzeugnissen ist der Verkleisterungsbereich.

Der Stärkezusatz soll die Ausbildung einer Netzstruktur bewirken und zur Stabilisierung des Systems beitragen. Die Stärkeverkleisterung verläuft in drei Phasen:

Phase 1: Zunächst kommt es unter Aufnahme von Wasser zur Erweichung der Stärkekörner. Durch die Wasseranlagerung entsteht ein Sol. Die Viskosität steigt. Während der Verkleisterung findet ein Verlust der Doppelbrechung im polarisiertes Licht statt. Aufgrund der Temperatureinwirkung kommt es zu einer Lösung der Wasserstoffbrückenbindungen.

Phase 2: Temperaturen oberhalb des Verkleisterungsprozesses führen zur Zerstörung der Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Stärkemolekülen. Dadurch kommt es zur Quellung. Im aufgequollenen Stärkekorn verbleibt vermehrt Amylopektin zurück, da Amylose aus dem Stärkekorn in die Wässrige Lösung übergeht. Bei fortgesetztem Erhitzen findet ein weiterer Abbau der Wasserstoffbrücken statt, wodurch die Viskosität absinkt.

Phase 3: Beim Abkühlen erfolgt eine Neubildung von Wasserstoffbrückenbindungen. Dadurch entsteht ein Gel.

Für den Einsatz von Stärke in Fleischerzeugnissen bieten sich verschiedene Typen an. Neben Nativen Stärken können auch modifizierte Stärken zum Einsatz kommen (WEBER, 2004). Bei dieser Arbeit wurde Kartoffelstärke verwendet.

### ***2.4 Parameter bei der Herstellung von Rohwürsten***

Rohwurst unterliegt einem Fermentationsprozess, der als Reifung bezeichnet wird. Dabei laufen zahlreiche enzymatische und nicht enzymatische Reaktionen ab, die sich auf alle massgeblichen Qualitätskriterien wie zum Beispiel Textur, Farbe und Aroma des fertigen Produktes auswirken (DEMEYER und SAMEJIMA, 1991). Sowohl die sortenspezifische Vielfalt als auch die Qualität von Rohwürsten ergeben sich aus der Kombination verschiedener Faktoren während des Reifungsprozesses. Diese Faktoren werden als interne und externe Steuerungsparameter bezeichnet (LANDVOGT, 1993). Das Zusammenwirken verschiedener technologischer Vorgänge sowie physikalisch-chemischer Reaktionen wurde bereits von LEISTNER (1985) als Hürdentechnologie dargestellt. Die sequenzielle Abfolge, der als Hürden bezeichneten, konservierenden Faktoren baut dabei die mikrobiologische Stabilität im Laufe der Reifung Schritt für Schritt auf. Die Wirkung einzelner Hürden nimmt im Verlauf der Fermentation zwar ab oder verschwindet ganz, dafür erhöhen sich aber andere und stabilisieren die Rohwurst durch additive und synergistische Effekte.

Ein grosser Fortschritt auf dem Gebiet der Produktqualität und der Produktsicherheit wurde durch den Einsatz von Starterkulturen in Fleischerzeugnissen erzielt, die Ende der 50er, Anfang der 60er Jahre entwickelt wurden (NINIVAARA, 1955; NURMI 1966). In der modernen industriellen Produktion ist ihr Einsatz heutzutage nicht mehr wegzudenken (BUCKENHÜSKES, 1991).

Obwohl LEISTNER (1990) aufgrund dieser Entwicklungen die Rohwurstherstellung als robuste Technologie bezeichnet, zeigt die alljährlich durchgeführte Qualitätsprüfung der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft für Rohwürste, dass gelegentlich mit Qualitätseinbußen zu rechnen ist. Als typische Fehler werden neben einem zu hohen Sehnenanteil die Mängel „sauerlich“, „beissig“ und „Trockenrandbildung“ am häufigsten genannt (STIEBING und THUMEL, 2002, 2003).

Ein Hauptanliegen während der Reifung ist es, die Wasseraktivität der Rohwurstmasse möglichst gleichmässig zu reduzieren. Dieser Trocknungsprozess kann je nach Produkt und Trocknungsgrad einige Tage bis mehrere Wochen dauern (TERNES, 1995).

Neben den internen Steuerungsparametern (Tab. 2.1), wie Rezeptur, Starterkulturen, Art und Kaliber des Darmes etc., sind es dabei vor allem die externen Steuerungsparameter Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit, die den Trocknungsverlauf beeinflussen (LANDVOGT, 1993). Nach RÖDEL (1985) trägt die Erfassung und Untersuchung dieser Steuerungsgrößen als Grundvoraussetzung zu einer objektiven Bewertung und zur Optimierung der Rohwurstreifung entscheidend bei.

**Tab. 2.1:** Interne und Externe Steuerungsgrößen der Rohwurstherstellung (HERMLE, 2005)

<b>Interne Steuerungsparameter</b>	<b>Externe Steuerungsparameter</b>
<b>ROHMATERIAL</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fleisch- und Fettanteil*</li> <li>○ Vorbehandlung</li> <li>○ Verarbeitungstechnologie</li> <li>○ Zerkleinerungsgrad</li> </ul>	<b>GEOMETRIEPARAMETER</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Klimakammerabmessungen</li> <li>○ Form und Abmessungen der Würste</li> <li>○ Anordnung der Würste</li> </ul>
<b>ZUSATZSTOFFE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kochsalz*</li> <li>○ Pökelfstoffe*</li> <li>○ Zuckerstoffe*</li> <li>○ Stärke*</li> <li>○ Fremdeiweiß*</li> <li>○ Reduktionsmittel*</li> <li>○ Glucono-delta-Lacton</li> </ul>	<b>FLUIDPARAMETER</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lufttemperatur</li> <li>○ Relative Luftfeuchtigkeit</li> <li>○ Luftgeschwindigkeit</li> <li>○ Strömungsrichtung</li> <li>○ Turbulenzgrad der Strömung</li> <li>○ Rauch</li> <li>○ Zeit</li> </ul>
<b>STARTERKULTUREN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Art des Starters</li> <li>○ Inokulationsmenge</li> <li>○ Starterkulturkombination</li> </ul>	
<b>GEWÜRZE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Art und Menge</li> <li>○ Mikrobiologische Belastung</li> </ul>	
<b>FÜLLEN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Art des Füllers</li> <li>○ Darmmaterial</li> <li>○ Darmkaliber</li> </ul>	

\* Art und Menge

## **2.5 Rohwurstreifung**

Die Reifung der Rohwurst ist ein kompliziertes mikrobielles und chemisches Geschehen, bei dem Rohwurstbestandteile in verschiedener Weise verändert werden. Dabei entstehen neue Stoffe, die der Rohwurst das spezifische Gepräge geben (SIELAFF, 1996b).

Unter Rohwurstreifung versteht man einen mikrobiell beeinflussten Säuerungs-, Aromatisierungs-, und Trocknungsprozess. STIEBING (2007) empfiehlt während der Reifung der Wassergehalt der Wurst möglichst gleichmässig zu vermindern. Dies wird erreicht durch Steuerung der relativen Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Luftbewegung und Behandlungszeit.

### **2.5.1 Rohwursttrocknung**

Unter Trocknen versteht man das Austreiben von Flüssigkeit aus einem Gut durch Verdunsten, Verdampfen oder im Sonderfall der Gefriertrocknung auch durch Sublimieren (HERMLE, 2005).

Der Trocknungsvorgang bei Rohwurst lässt sich als Verdunstungstrocknung beschreiben, die als Trennprozess unter gleichzeitiger Wirkung von Wärme-, Stoff- und Impulsübertragung definiert ist (LEUTZ, 1999). Als Trägermedium für den Wärme- und Stofftransport dient die Luft in der Klimakammer, welche die abgegebene Feuchtigkeit der Wurst aufnimmt und abführt. Den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt bei der Trocknung stellt der Stofftransport im Wurstinernen dar (KOTTKE et al., 1996). Daher ist es notwendig, die externen Parameter so zu wählen, dass einerseits durch eine zu langsame Trocknung ein unerwünschtes Wachstum von Schimmelpilzen, Hefen oder Bakterien auf der Wurstoberfläche und andererseits bei zu schneller Trocknung die Gefahr der Trockenrandbildung vermieden wird (RÖDEL, 1985). Der Trocknungsverlauf wird im allgemeinen in drei Schritte eingeteilt. Der erste Trocknungsabschnitt ist durch eine gleichmässige Wasserabgabe von einer nassen Oberfläche gekennzeichnet, wodurch der Trocknungsvorgang vorwiegend durch den Stoffübergang an der Oberfläche bestimmt wird (LANGE, 1985).

Nach dem Füllen soll die sehr kalte Wurst (ca. 0°C) möglichst schnell auf die gewünschte Fermentationstemperatur erwärmt werden. Darauf wurde von RÖDEL (1985) hingewiesen. Er empfiehlt zu Beginn den Klimatisierungsprozess so ablaufen zu lassen, dass möglichst wenig Kondensation des Wasserdampfes an der Wurstoberfläche stattfindet. Da dieses

Kondensat später wieder abgetrocknet werden muss, stellt diese in der Praxis bislang übliche Kondensatbildung einen unnötigen Energieaufwand dar. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass durch das Kondenswasser eine „Auswaschung“ von Muskelfarbstoff und Pökelfstoffen an der Oberfläche stattfindet, was zu einer unzureichenden Pökelfarbbildung im Randbereich und zur Vergrauung der Wurstoberfläche führen kann. Diese nasse Oberfläche ist aber letztlich verfahrenstechnisch ein Kunstfehler, da die Feuchtigkeit durch Austauen der Luftfeuchtigkeit auf den Rohwürsten entsteht, wenn die Rohwürste kalt in die Reifekammer geschoben werden. Bei verfahrenstechnisch optimalen Prozessbedingungen kann dieser erster Trocknungsabschnitt, der mit einer Zunahme der Rohwurstfeuchtigkeit verbunden ist, vermieden werden, so dass der zweite Trocknungsabschnitt wirksam wird.

Wenn das freie Oberflächenwasser abgetrocknet ist, nimmt die Trocknungsgeschwindigkeit entsprechend dem zweiten Trocknungsabschnitt ab.

Bei der dritte Trocknungsabschnitt werden die Würste meist, jedoch nach Kaliber und dem gewünschten Abtrocknungsgrad für unterschiedliche Zeit, zum Nachreifen in einen Klimatisierten Lagerraum verbracht. Die Klimabedingungen werden aufgrund sensorischer Eindrücke, z.B. Elastizität und Feuchtigkeit des Darmes, äusserer Farbe der Wurst usw., verändert.

Als geeigneter Messwert für die Beurteilung von Reifungsvorgängen kann neben dem Gewichtsverlust der  $a_w$ -Wert herangezogen werden. Während der Reifung besteht ein permanentes Wasseraktivitätsgefälle vom Inneren der Wurst zum Rand (RÖDEL, 1973).

Zur Erreichung der gewünschten Wasseraktivität in der Wurst ist es notwendig, die Trocknung der Wurst in eine langsame und stetige Art und Weise durchzuführen. Das ist eine schwierige Aufgabe. Es ist ein empfindliches Gleichgewicht zwischen zwei physikalischen Prozesse, die Diffusion des Wassers von innen der Wurst auf der Außenseite und Verdunstung von der Oberfläche auf die Umwelt.

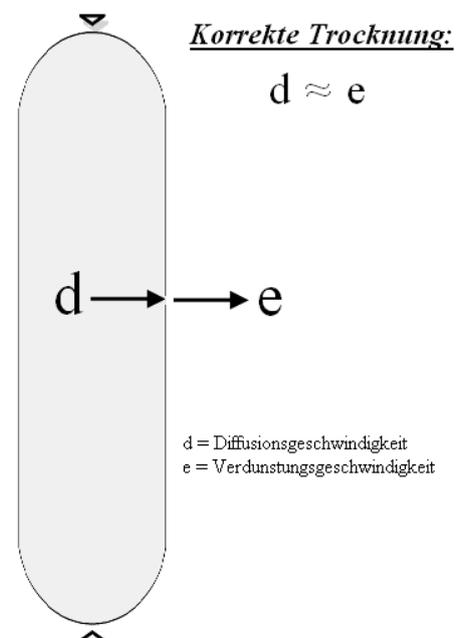


Abb. 2.2: Schematische Darstellung eines Trocknungsprozesses.

Beide Prozesse, Diffusion und Verdunstung, müssen ähnliche Geschwindigkeiten besitzen um eine korrekte Trocknung zu haben (Abb. 2.2). Das Wasserdampfpartialdruckgefälle zwischen Rohwurst und Raumluft sollte ca. 5-10% nicht übersteigen, um die Bildung eines Trockenrandes und damit ein Fehlfabrikat zu vermeiden (LÜCKE, 1985).

### **2.5.2 Wassertransport im Wurstinneren**

Wie es von RÖDEL und HOFMANN (1982) bewiesen wurde, kommt es während der Reifung zu einer Wanderung von Kochsalz aus der Rand- in die Kernzone. Hierbei erfolgt jedoch nur sehr langsam ein vollständiger Ausgleich der Konzentration zwischen beiden Zonen. Das heisst, das Randgebiet der Wurst weist über längere Zeit aufgrund des Vorliegendes einer konzentrierten Lösung (im wesentlichen Kochsalz in Wasser) im Vergleich zum Wurstkern mit einem höheren Wassergehalt bzw. einer weniger stark konzentrierten Lösung einen niedrigeren Wasserdampfpartialdruck auf. Auf diese Weise kann das Wasser in der Wurst mittels Diffusion vom Wurstinneren zur Oberfläche transportiert werden und dort in die Umgebung verdunsten. Damit die Wasserabgabe über die Wurstoberfläche an die Umgebung erfolgen kann, muss eine entsprechende Differenz zwischen dem Dampfdruck des Wassers im Produkt und dem Sättigungsdruck des Wassers in der Luft vorhanden sein (SIELAFF, 1996).

## **2.6 Wasseraktivität**

### **2.6.1 Allgemeines**

Der Begriff „Wasseraktivität“ ist von SCOTT 1953 in die Mikrobiologie eingeführt worden (zit. nach RÖDEL et al, 1980). Laut schweizerisches Lebensmittelbuch ist die Wasseraktivität wie folgend definiert:

Die Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert) in einem Produkt wird meistens indirekt über die Gleichgewichtsfeuchte (GF) im Dampfraum gemessen. Als Gleichgewichtsfeuchte in % ist diejenige relative Feuchte definiert, welche sich mit einem hygroskopischen Material bei konstanter Temperatur in einem geschlossenen System als Feuchte-Gleichgewicht einstellt.

$$\text{Wasseraktivität} = \frac{p}{p_s} \quad (2.1)$$

wobei

- p = Wasserdampfdruck oberhalb der Materialoberfläche der Probe (Taupunkt)  
 ps = Sättigungsdruck = Wasserdampfdruck oberhalb der Oberfläche von reinem Wasser bei gleicher Temperatur wie die Probe.

Die Skala des  $a_w$ -Wertes, z.B. über den Osmotischen Druck gibt LONCIN (1988). Die Skala des  $a_w$ -Wertes reicht von 0 (völlige Trockenheit) bis 1 (freie Wasseroberfläche). Fleischwaren haben Werte im oberen  $a_w$ -Bereich von ca. 0,75  $a_w$  (stark abgetrocknete Rohwurst) über 0,96 (frische Rohwurst) bis 0,993 (frisches Fleisch).

Die Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert) ist ein Mass für das frei verfügbare Wasser in einem Lebensmittel (RÖDEL, 1993). Frei verfügbares Wasser in einem Lebensmittel steht sowohl Mikroorganismen als auch chemischen und biochemischen Reaktionen zur Verfügung. Bereits vor der Trocknung ist durch chemische Protein-Wasserbindungen ein Teil des Gesamtwassers immobilisiert, und nur ein verminderter Anteil steht noch zur Verfügung (Abb. 2.3).

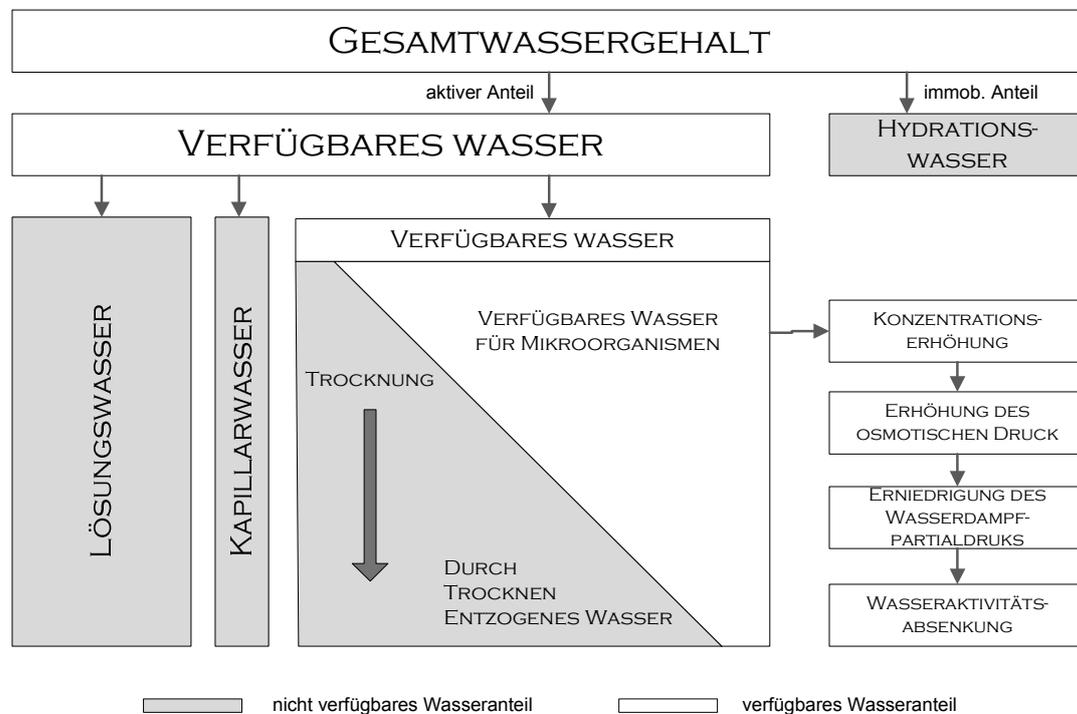


Abb. 2.3: Schematische Darstellung des für Mikroorganismen zur Verfügung stehenden Wasseranteils im Verhältnis zum Gesamtwasser (modifiziert nach RÖDEL et al. 1979)

Bei der Rohwurstproduktion wird im Rahmen der Reifung ein möglichst gleichmäßiger Wasserentzug im Wurstgut angestrebt. Die Wasseraktivität der Rohwurst lässt sich durch Variationen der Rezeptur und des Klimas einstellen bzw. Steuern. Eine Einstellung des Anfangs- $a_w$ -Wert erfolgt durch die zugesetzte Salzmenge, denn Salzionen binden freies Wasser und verringern damit die Wasseraktivität. Der Ausgangswassergehalt von Rohwurst wird mit abnehmender Fettzugabe erhöht, da der Wassergehalt von Fettgewebe (Speck 5-10%) deutlich unter dem von Muskelfleisch (70-75%) liegt (RÖDEL, 1985).

Weitere Möglichkeiten zur Beeinflussung des Anfangs- $a_w$ -Wert ergeben sich durch den Einsatz von gefriergetrocknetem Fleisch (STIEBING und BECKER, 1995), durch den Einsatz von fleischfremden Proteinen sowie durch das Ablaken eines Teils des Rohmaterials.

Durch die Herabsetzung der Wasseraktivität im Wurstgut kommt es zu einer Hemmung des mikrobiellen Wachstums, wodurch eine mikrobiologische Stabilität erreicht wird (BUCKENHÜSKES, 1993).

Die mikrobiologische Stabilität langgereifter Rohwurst ist primär vom  $a_w$ -Wert abhängig, da sich der pH-Wert wieder erhöht und der Restnitritgehalt gering ist sowie die Keimzahl der Konkurrenzflora abgenommen hat (WEBER, 2003).

### **2.6.2 Berechnungen der Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen**

Seit der Einführung der  $a_w$ -Wert Messung wurde auch gleichzeitig nach Methoden zur Berechnung der Wasseraktivität aus Analysendaten und Rezepturfaktoren gesucht. Angesichts der zeitintensiven Messmethoden, erscheint diese Vorgehensweise als unbedingt notwendig (LANDVOGT, 1993). Kernpunkt der Berechnungsversuche bildete dabei meistens die Aufstellung einer Sorptionsisotherme, die den Zusammenhang zwischen Gleichgewichtswassergehalt und Wasseraktivität darstellt. Alle existierenden Modelle weisen eine mehr oder weniger gute Korrelation zu den experimentell bestimmten Daten auf, haben aber für Fleisch und Fleischprodukte eine Reihe gravierender Nachteile. Meistens sind die Anpassungen im Bereich hoher  $a_w$ -Werte, wie sie in Fleischerzeugnissen auftreten, mit grossen Fehlern behaftet, da die Sorptionsisotherme dort sehr steil verläuft. Einen Überblick über diese Problematik bei Fleisch und Fleischprodukten gibt MOTARJEMI (1988).

Nach MIRNA (1970) ist für die Berechnung des  $a_w$ -Wertes von Fleischerzeugnissen aus der Molarität der gelösten Stoffen das zur Lösung zur Verfügung stehende Wasser zu

berücksichtigen, welches mit ausreichender Genauigkeit dem analytischen ermittelten Wassergehalt entsprechen soll. Der Autor schränkt allerdings ein, dass dieses Verfahren zur Berechnung des  $a_w$ -Wertes nur bei solchen Fleischerzeugnissen mit einiger Zuverlässigkeit anwendbar ist, bei denen keine wesentliche Auslaugung und damit Konzentrationsänderung der löslichen, fleischeigenen Verbindungen vorliegt. LEISTNER et al. (1971) zeigten, dass die  $a_w$ -Werte in Rohwürste, errechnet nach MIRNA (1970), gemessenen Werte um durchschnittlich 0,033 übertrafen. Sie folgerten daraus, dass die Berechnung von  $a_w$ -Werten für Rohwurst keine befriedigende Resultate ergibt, wenn sie mit den mehr „realistischen“ gemessenen Werten verglichen werden.

KRISPIEN, RÖDEL und LEISTNER machten 1979 einen Vorschlag, wie mit Hilfe eines einfachen Programms auf einem Taschenrechner, der sich auf eine Funktion eines Polynoms 6. Ordnung (Abb. 2.4) basiert, die Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen aus den Gehalten von Wasser und Kochsalz berechnet werden kann. Die Prüfung dieser Funktion war den Hauptziel dieser Arbeit.

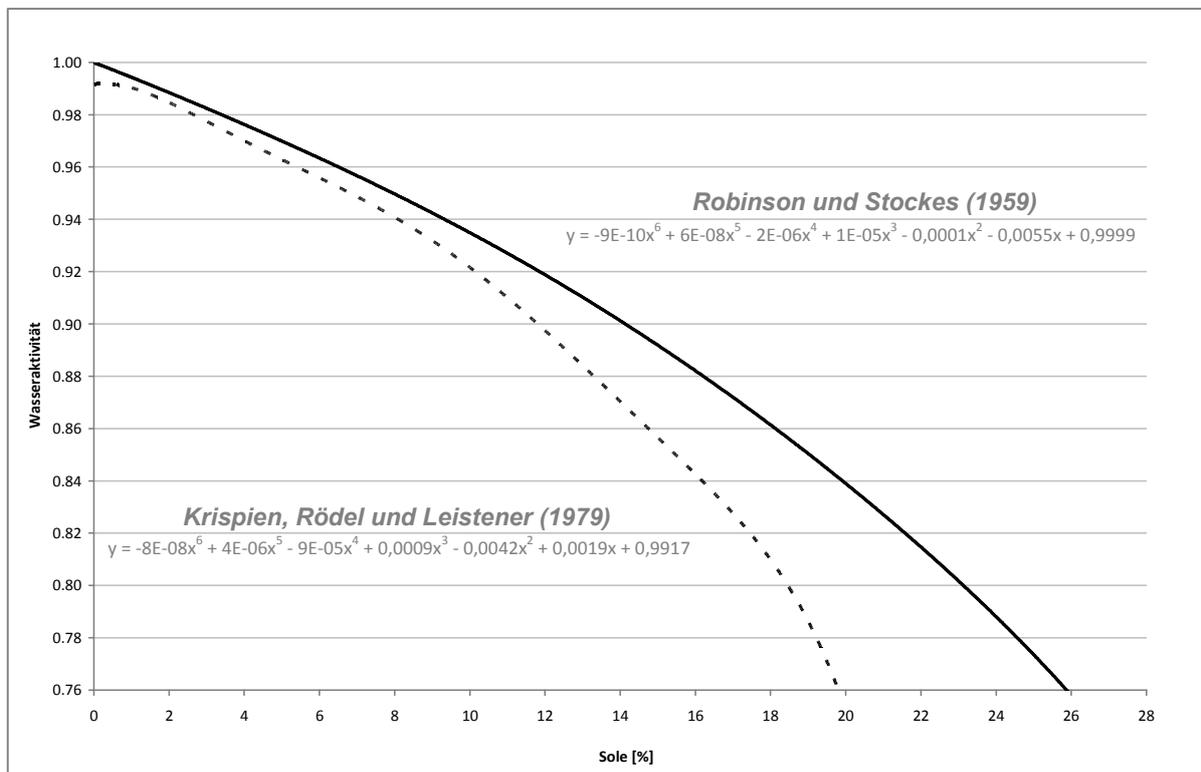
Dieses Polynom 6. Ordnung wurde aus den Verhältnis zwischen  $a_w$ -Wert und Solekonzentration mehrere Fleischerzeugnisse ermittelt. Wenn das zur Lösung von Kochsalz zur Verfügung stehende Wasser dem analytisch ermittelten Wassergehalt entspricht, ist der  $a_w$ -Wert leicht über die Berechnung der Solekonzentration nach Formel 2.2 ermittelbar (KARMAS und THOMPSON, 1960).

$$\% \text{ Solekonzentration} = \frac{\% \text{ NaCl}}{\% \text{ NaCl} + \% \text{ H}_2\text{O}} \cdot 100 \quad (2.2)$$

In den von KRISPIEN, RÖDEL und LEISTNER (1979) durchgeführte Untersuchung wurde geprüft, ob der Zusammenhang zwischen der Konzentration einer Lösung, dem osmotischen Druck, dem Gefrierpunkt, dem Dampfdruck und somit dem  $a_w$ -Wert von Salzlösungen auch bei der Berechnung des  $a_w$ -Wertes von Fleischerzeugnissen genutzt werden kann.

Bei 55 unterschiedlichen Proben von Fleischerzeugnissen in  $a_w$ -Wert-Bereich von 0,751 bis 0,987 wurden Wasser- und Kochsalzbestimmungen sowie  $a_w$ -Wert-Messungen durchgeführt. Bei der Wasserbestimmung handelte es sich um eine gravimetrische Methode und der Kochsalzgehalt der Proben ist durch die verbrauchte Menge an Silbernitrat ermittelt worden. Die Feststellung des Erstarrungsbeginns von Wasser in Fleischerzeugnissen wurde mittels einen Cu-Konstantan-Thermoelement durchgeführt. Der Unterschied zwischen dem

gemessenen  $a_w$ -Wert und dem  $a_w$ -Wert der Sole, zu dessen Berechnung der Gesamtwassergehalt zugrunde gelegt wurde, deutet darauf hin, dass die Lösung die den vorliegenden  $a_w$ -Wert eines Fleischerzeugnisses bedingt, einen höhere Konzentration aufweisen muss, als sie über Sole-Formel aus den Werten für Kochsalzgehalt und Gesamtwassergehalt errechnet werden kann. Daraus kann gefolgert werden, dass nur ein bestimmter Teil des Gesamtwassers von Fleischerzeugnissen als Lösungswasser für Kochsalz zur Verfügung steht. Die Autoren behaupten, dass Bestimmungen des  $a_w$ -Wertes auf diesem analytisch rechnerischen Weg zeitaufwendiger (NaCl- und Wasserbestimmung) als die  $a_w$ -Wert-Messung mit leistungsfähigen Geräten sind, können jedoch dann empfohlen werden, wenn entsprechende Geräte nicht zur Verfügung stehen.

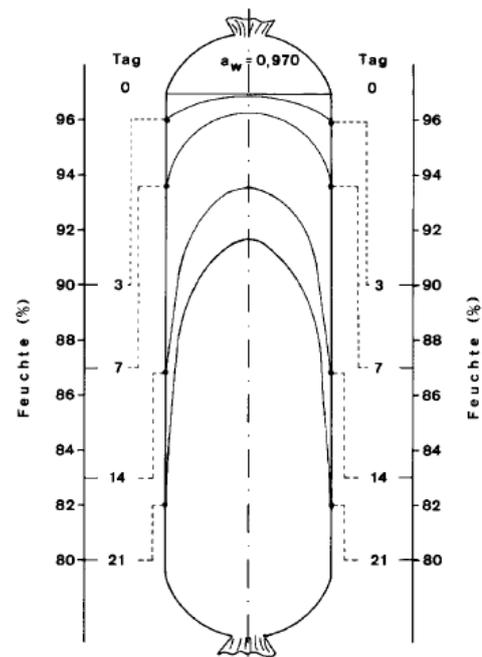


**Abb. 2.4:** Verhältnis zwischen Wasseraktivität und Solekonzentration. Schraffierende Kurve: Polynom 6. Ordnung von KRISPIEN, RÖDEL und LEISTNER (1979); Obere Kurve; Polynom 6. Ordnung von ungesättigten NaCl-Lösungen unterschiedlicher Konzentration (ROBINSON und STOKES, 1959)

### 2.6.3 Wasseraktivitätsverteilung in einen Rohwurst

Die Wasseraktivität in den einzelnen Zonen der Wurst spielt ein dynamischen Feuchtegleichgewicht stehendes System. Wird im Rand die Wasseraktivität mehr oder weniger stark gesenkt, so pendelt sich zwangsläufig im inneren durch den Austausch von Kochsalz und Wasser ein entsprechender  $a_w$ -Wert ein.

Die Feuchteverteilung in einer Rohwurst (Kaliber 60 mm) nach unterschiedlichen Reifungszeiten ist in der Abbildung 2.5 gezeigt. Die Feuchteverteilung in der Wurst wurde von STIEBING und RÖDEL (1992) diskontinuierlich mit herkömmlichen Methoden und die Oberflächenwasseraktivität kontinuierlich während der Reifung mittels dem unter 3.4.1.2 beschriebenen Verfahren bestimmt. Aus der Abbildung wird deutlich wie mit sinkender Luftfeuchte und zunehmender Reifungsdauer die Unterschiede zwischen Kern- und Randzone der Wurst immer grösser werden, d.h. mit zunehmender Trocknung die Verteilung der Wasseraktivität in der Wurst einen immer stärker gekrümmten parabolischen Verlauf ausbildet. Diese parabolischen Feuchteverteilung ist bei der Verdunstungs-Trocknung von hygroskopischen Lebensmitteln charakteristisch. Aus der Abbildung wird aber auch deutlich, dass bei den willkürlich aufgrund der Erfahrung festgesetzten Luftfeuchten die Differenzen zur Oberflächefeuchte am Anfang mit 6% gegenüber 2% nach 21 Tagen wesentlich grösser ist. Entsprechend ist auch die Trocknungsgeschwindigkeit am Anfang aufgrund des grösseren Feuchtegefälles höher. Nach STIEBING (1997) wird es möglich, durch die Messung der Oberflächefeuchte, gezielt eine Differenz für die Regelung vorzugeben, und so die Trocknungsgeschwindigkeit gleichmässiger und damit auch wirtschaftlicher zu gestalten.



**Abb. 2.5:** Feuchteverteilung in der Wurst in Abhängigkeit der Reifungszeit (Klima: 3 Tage 90%; 4 Tage 87%; 7 Tage 83% und 7 Tage 80%; STIEBING und RÖDEL 1989)

### 2.6.4 $a_w$ -Kryoskopie

Klassische Messsysteme zur Messung der Wasseraktivität sind mechanische, elektrolytische oder auch kapazitive Hygrometer. Die hohen Anforderungen an die Proben temperierung, aber auch die langen Messzeiten von etwa 4 Stunden bei der Ermittlung der Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen sind bei diesen Messsysteme nachteilig.

Ein relativ neues alternatives Verfahren zur Bestimmung des  $a_w$ -Wertes stellt das thermometrische Messverfahren ( $a_w$ -Kryoskopie) dar. Dieses, speziell für Fleischerzeugnisse entwickelte Messverfahren, nutzt den Gefrierpunkt, der für ein Produkt typisch ist, als messbare Grösse. Dieses Messverfahren wurde während dieser Arbeit verwendet.

Das Messprinzip kann folgendermassen erklärt werden: Kühlt man Flüssigkeiten ab, so gefrieren sie bei einer bestimmten Temperatur. Am Gefrierpunkt wird Erstarrungswärme abgegeben, wodurch die Temperatur der erstarrenden Flüssigkeit zunächst durch stetige weitere Wärmeabgabe konstant bleibt, bis die Flüssigkeit vollständig erstarrt ist. Erst dann fällt die Temperatur weiter ab. Enthält nun eine Flüssigkeit gelöste Stoffe, wie z.B. Kochsalz, kommt es zu einer Gefrierpunktniedrigung, die der Konzentration der gelösten Teilchen proportional ist. Andererseits beeinflusst die Salzkonzentration auch den osmotischen Druck und damit die Wasseraktivität im Lebensmittel. Somit stehen der Gefrierpunkt und die Wasseraktivität in enger Beziehung zueinander. Über die Kryoskopie, das heisst über die Gefrierpunktbestimmung, kann deshalb auf die Wasseraktivität des Produktes geschlossen werden ( RÖDEL, SCHEUER und WAGNER, 1989).

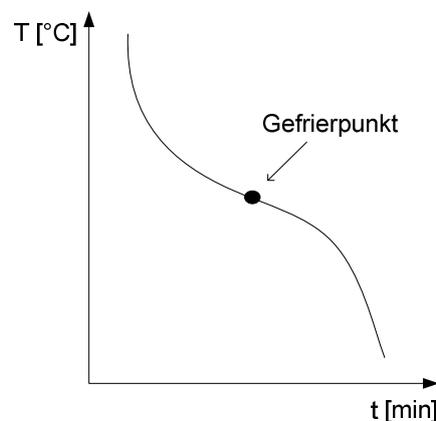


Abb. 2.6: Typische Verlaufsform von Fleischerzeugnissen.

Von dieser physikalischen Grundlagen ausgehend, wurde von RÖDEL, SCHEUER und WAGNER an der deutsche Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach ein Messverfahren entwickelt, bei dem mit einem Widerstandsthermometer der Temperaturverlauf während der Abkühlung des Produktes bestimmt, mit einem Mikroprozessor automatisch der Gefrierpunkt ermittelt und daraus die Wasseraktivität für eine Temperatur von 25°C berechnet wird.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde von der Firma NAGY Messsysteme GmbH, Filderstadt, ein entsprechendes Messgerät entwickelt, welches mittlerweile in Serie gefertigt wird. Es handelt sich hierbei um das sogenannte  $a_w$ -Kryometer, welches aus einem elektronischen Messgerät, einem Temperaturfühler, einem speziellen Probenbehälter und einem Kältebad besteht. Die Funktion und Bedienung des Gerätes gestaltet sich durch eine Menusteuerung sehr einfach und bedienefreundlich. Auf einer Textanzeige werden Fragen nach den Funktionen, Messbereichen, Parametern usw. gestellt bzw. Vorschläge angezeigt. Der Bediener braucht in den Meisten Fällen den ihm passenden Vorschlag nur auszuwählen oder zu quittieren. Eventuelle falsche Eingaben können leicht korrigiert werden. Eine Fehlbedienung wird auf diese Weise vermieden. Die ausgewählten Funktionen, Messbereiche oder Parameter werden auch nach dem Ausschalten des Gerätes erhalten und brauchen beim Neueinschalten nicht wieder eingegeben zu werden.

Zur Messung wird eine entsprechende Probenmenge eines Fleischerzeugnisses, die je nach Probenart vorher noch einmal homogenisiert werden sollte, in einem zylinderförmigen oben und unten mit Schraubkappen verschliessbaren Probenbehälter gefüllt. In den Probenbehälter wird der nadelförmige Temperatursensor durch eine Öffnung in der oberen Schraubkappe eingesteckt. Der Probenbehälter wird in das Kältebad getaucht, in dem eine Temperatur von ca. -45°C herrscht. Die Probe kühlt sich je nach Probenart und Probenausgangstemperatur in etwa 10 bis 20 Minuten bis auf den Gefrierpunkt ab. Während dieser Abkühlung wird die Proben temperatur fortlaufend durch den eingesteckten Temperatursensor und das elektronische Messgerät gemessen, nach Bedarf gespeichert und kontrolliert. Das Mikroprozessor-gesteuerte Gerät kann durch die Differenzierung der Zeit-Temperatur-Kurve während des Kühlvorganges den jeweiligen Gefrierpunkt der Probe exakt nach bestimmten festgelegten Auswahlkriterien erkennen (THUMEL, 2008).

Nach der Ermittlung des Gefrierpunktes rechnet das Gerät die Messwerte in den  $a_w$ -Wert bei 25°C um, beendet automatisch die jeweilige Messung und zeigt den betreffenden  $a_w$ -Wert an.

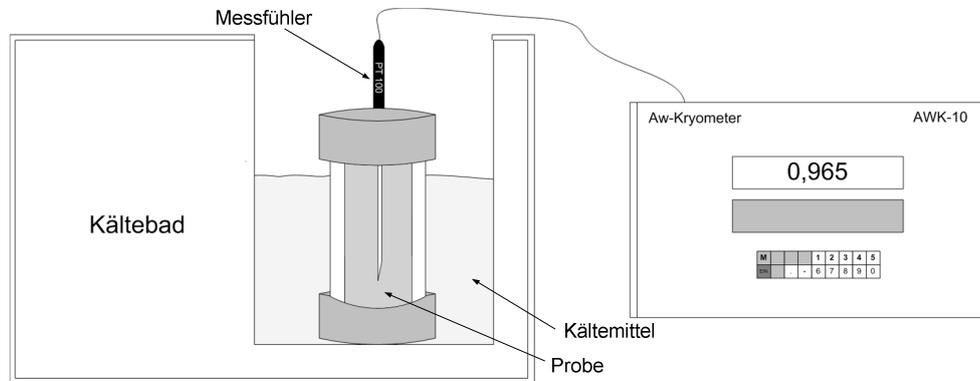


Abb. 2.7: Darstellung der  $a_w$ -Messvorrichtung

Durch das hier beschriebene Messverfahren wird ein  $a_w$ -Messbereich für Fleischerzeugnisse von 0,999 bis etwa 0,780 abgedeckt. Dieser Messbereich ist ausreichend, um die Wasseraktivität der meisten handelsüblichen Fleischerzeugnisse zu bestimmen. Mikrobiologisch ist der  $a_w$ -Bereich unterhalb von 0,780 für die Stabilitätsbeurteilung der Produkte weniger bedeutsam (RÖDEL, SCHEUER und WAGNER, 1989).

### 3 MATERIAL UND METHODEN

Die Versuche zu meiner Diplomarbeit wurden im Laboratorium Fleischtechnologie des Fachbereiches Life Science Technologies, der Fachhochschule Ostwestfalen-Lippe, in Lemgo durchgeführt.

#### 3.1 Geräte und Materialien

Analytische Waage	Modell BP2150 Sartorius AG, Goettingen, D
a <sub>w</sub> -Kryometer	Typ AWK-10 Nagy GmbH, Filderstadt, D
a <sub>w</sub> -Messgerät	Modell Therm 5500-3 AHLBORN GmbH, Holzkirchen, D
Backpapier	Toppits Anti-haft Backpapier Melitta Haushaltsprodukte GmbH, Minden, D
Därme	Faserlies-verstärkter Zelloosedarm, Typ FCX 80 VISKASE S.A.S, Beauvais Cedex, F
Dextrose	Dextrose Monohydrat, Lot FF0702483 Gustav Ehlert GmbH & Co. KG, Gülersloh, D
FATT-Gerät	Typ ALMEMO 8990-8 Ahlborn, Holzkirchen, D
Gefrierschneider	Typ 042 MAGURIT GmbH, Remscheid, D
Kartoffelstärke	Kartoffelmehl Müller's Mühle GmbH, Gelsenkirchen, D
Klimaanlage	Typ PRF 100 SCHRÖTER GmbH, Borgholzhausen, D
Klimaanlage	Modell Micromat C7 VEMAG GmbH, Verden, D
Kutter	Modell Nr. 445-1031 K+G Wetter GmbH, Biedenkopf, D
Lüfter	Typ VORNADO 520 Vornado Air LCC, Andover, USA
Magermilchpulver (ca. 34% Protein)	Sprühmagermilchpulver, Lot P1269/2008 Schwarzwaldmilch GmbH, Offenburg, D
Milcheiweiß (>88% Protein)	ROVITA FN 5 S (Natriumcaseinat), Lot:L070408003 Rovita GmbH, Engelsberg, D

Milchsäure	Milchsäure 60%, Lot 56455 Riedel-de Haën AG, Seelze, D
Mixer	Typ R3 Robot coupe S.A., Montceau en Bourgogen, F
Nachreiferaum	Typ 4025 001 VIESMANN AG, Hof/West, D
Natriumascorbat	Natriumascorbat E301, Lot 21630 Gustav Ehlert GmbH & Co. KG, Gülersloh, D
Nitritpökelsalz	Siede Nitrit Pökelsalz mit Jod 0,45, Gustav Ehlert GmbH & Co. KG, Gülersloh, D
Petrischalen	Petrischalen 145/20mm Greiner Bio-One GmbH, Essen, D
Pfeffer Weiss	Pfeffer Weiss, Lot L0009906 Gustav Ehlert GmbH & Co. KG, Gülersloh, D
pH-Meter	Typ CG 817T SCHOTT Instruments GmbH, Mainz, D
pH-Meter	Typ E516 Titriskop Metrohm, Herisau, CH
Poly-Clip Maschine	Typ SCD 700 Poly-Clip Sistem GmbH, Frankfurt, D
Raucherzeuger (SMOKjet)	Typ RH 90, Holzart: Hackspäne SCHRÖTER GmbH, Borgholzhausen, D
Salpetersäure	Salpetersäure 65%, Lot 7313 Riedel-de Haën AG, Seelze, D
Silbernitratlösung	0.1 M, Lot: HC809184 Merk KGaA, Darmstadt, D
Starterkultur	Bactoferm T-D-66, Lot 2829444 CHR HANSEN, Pohlheim, D
Trockenschrank	Typ 1540030000202 VTB Binder, Tuttlingen, D
Trockenschrank	Typ 331509900310 VTB Binder, Tuttlingen, D
Vakuumfüller	Modell 300, Typ 2840 VEMAG GmbH, Verden, D
Verpackungsmaschine	Typ A300/42 Multivac GmbH, Wolfertschwenden, D
Waage	Modell Combics1 Sartorius AG, Göttingen, D
Wolf	Typ MEW 620 MADO Maschinenfabrick, Domhan, D

### 3.2 Hauptversuch

Zielsetzung des Hauptversuches war es, der Einfluss von Wasser und Salzgehalt (Solekonzentration) sowie der Einfluss von Zusatzstoffe und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert zu untersuchen und Einflussgrößen aufzuzeigen anhand Modellbräten von Rohwurst. Die Untersuchungen wurden mit speziellen Modellbräten durchgeführt. Das hergestellte Wurstbrät wurde in Petrischalen mit einem Diameter von 145mm ausgefüllt (Siehe Abb.3.2). Durch diese Massnahme war die gewünschte Abtrocknung, die bis zu einem Gewichtsverlust von ungefähr 40% dauern sollte, in wenigen Tagen erreicht.

#### 3.2.1 Einfluss von Wasser- und Salzgehalt

Um den Einfluss von Wasser und Salzgehalt und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert zu untersuchen, wurden Modellbräten von Rohwürste aus Schweinefleisch (Lachsabschnitte) und Speck (Rückenspeck) hergestellt.

Für diese Untersuchung wurden 5 Chargen produziert. Folgenden Rezepturen wurden gewählt:

Tab. 3.1: Konzentrationen der Zutaten in den verschiedenen Chargen

Zutaten	Chargen				
	1	2	3	4	5
Sauenfleisch SII (gekühlt)	75%	75%	75%	75%	75%
Rückenspeck SVIII (gekühlt)	25%	25%	25%	25%	25%
NPS	<b>1.8%</b>	<b>2.4%</b>	<b>2.9%</b>	<b>3.4%</b>	<b>3.9%</b>
Pfeffer Weiss	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Ascorbat	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%
Glucose	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Starterkultur	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%

Die NPS-Konzentrationen wurden so gewählt, damit die erste Charge eine niedrige NPS-Konzentration als eine handelsüblicher Grundrezeptur und die letzte eine maximale theoretische Sole von 6% hatte. Laut STIEBING (1999) darf die Solekonzentration im Brät

6% nicht übersteigen, denn sonst wird die Festigkeit (Gelbildung) wieder verschlechtert („Aussalzeffekt“ der Proteine).

Schweinefleisch und Rückenspeck wurden separat auf 3mm gewolft (Typ MEW 620, MADO Maschinenfabrick). Danach erfolgte das Kuttern in einem 40 L Kutter der Fa. KG Wetter. Da der Rückenspeck separat gewolft wurde, entstand beim Kuttern Agglomerate von Rückenspeck. Aus diesem Grund wurde das gesamte Grundbrät in kleine Vakuumbbeutel verpackt und während 2 Stunden bei -18°C gelagert und wieder bis eine Kerngrösse von 3mm gekuttert.

Danach wurde für alle einzelne Chargen den Grundbrät mit Starterkulturen, die mit lauwarmes Wasser zu eine Verhältnis von 1:5 eine viertel Stunde vor der Herstellung aktiviert wurden, Gewürze und die entsprechende NPS-Konzentration von Hand gemischt und in die 145mm Ø Petrischalen je 200 g gefüllt (Abb. 3.2).

Alle Petrischalen wurden nach dem Füllen auf zwei Gitter, die mit durchgelöchertem Backpapier bedeckt waren, in die Klimaanlage (Modell Micromat C7, VEMAG GmbH) gestellt (Abb. 3.1).



**Abb. 3.1:** Gefüllte Petrischalen in die Klimaanlage am Tag der Herstellung.

Folgendes Reifeprogramm wurde gefahren:

**Tab. 3.2:** Reifeprogramm der Würste.

Tag	rel. Feuchte [%]	Umluft [%]	Temperatur [°C]	Klimaanlage
1	92	50	22	VEMAG
2	80	50	20	VEMAG
3	Entfernung der Würste aus den Petrischalen			
3	75	40	20	VEMAG
4	75	40	18	VEMAG
5-8	75	60	18	Nachreiferaum VIESMANN
8-12	60	-	16	Nachreiferaum VIESMANN

Die Entfernung der Würste aus der Petrischalen hätte spätestens am Ende der ersten Tag geschehen sollen. Weil das Brät ein bisschen schmierig war, war die Entfernung am Ende der ersten Tag nicht möglich. Die Würste wurden am Dritten Tag aus den Petrischalen entfernt. Aus dem gleichen Grund hat die Reifung anstatt wenigen Tagen insgesamt 12 Tagen gedauert. Nach der Entfernung der Petrischalen wurden die Rohwürste jeden Tag am Morgen, Mittag und Abend umgedreht, damit sie gleichmäßig auf beiden Seiten trocknen konnten.

Am Tag der Herstellung sowie während der Reifung wurden, bei ungefähr 15%, 30% und 40% Gewichtsverlust, der Gewichtsverlust, pH-Wert,  $a_w$ -Wert, Wassergehalt und der Kochsalzgehalt bestimmt. Die Messmethoden sind im Kapitel 3.4 beschrieben worden.

### 3.2.2 Einfluss von Zusatzstoffen

Stärke, Milchpulver (ca. 34% Proteingehalt) und Milcheiweiß (>88% Proteingehalt) wurden, um den Einfluss von Zusatzstoffen und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert zu untersuchen, gewählt.

Insgesamt wurden für diesen Untersuchung 7 Chargen hergestellt. Folgenden Rezepturen wurden gewählt:

**Tab. 3.3:** Konzentrationen der Zutaten in den verschiedenen Chargen

<i>Zutaten</i>	<i>Chargen</i>						
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Sauenfleisch SII (gefroren)	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Ruckenspeck SVIII (gefroren)	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
NPS	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%
Pfeffer Weiss	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Ascorbat	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Glucose	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Starterkultur	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Stärke	-	<b>1%</b>	<b>3%</b>	-	-	-	-
Milchpulver	-	-	-	<b>1%</b>	<b>3%</b>	-	-
Milcheiweiß	-	-	-	-	-	<b>1%</b>	<b>3%</b>

Die erste Charge wurde als Kontrolle ohne Zusatzstoffen produziert. Mit Änderung der deutschen Fleisch-VO (15.12.1995) ist der Zusatz von Milcheiweiß und Trockenmilcherzeugnisse in einer Menge von maximal 3% zugelassen. Aus diesem Grund wurde für alle drei Zusatzstoffen eine maximale Menge von 3% gewählt.

In die Chargen 2 und 3 wurde Stärke (Kartoffelmehl, Müller's Mühle GmbH) bei 1% und 3%, in die Chargen 4 und 5 Milchpulver (Sprühmagermilchpulver, Schwarzwaldmilch GmbH) bei 1% und 3% und in die Chargen 6 und 7 Milcheiweiß (ROVITA FN 5 S, Rovita GmbH) auch bei 1% und 3% dazugegeben.

Da bei der Herstellung des Versuches über den Einfluss von Wasser und Salzgehalt auf den  $a_w$ -Wert, der Endbrät ein bisschen schmierig war, wurde für diesen Versuch der Herstellungsvorgang geändert.

Für diesen Versuch wurde nur gefrorenes Fleisch verwendet. Das gefrorene Schweinefleisch (Lachsabschnitte) und der gefrorene Rückenspeck wurden getrennt in einen Gefrierschneider (Typ 042, MAGURIT GmbH) vorzerkleinert. Danach wurde 35% Schweinefleisch in einem 40 L Kutter der Fa. KG Wetter grob gekuttert und zur Seite gelegt. Demnach wurden 40% Schweinefleisch grob gekuttert, 25% Rückenspeck und die Starterkulturen, die mit lauwarmes Wasser zu eine Verhältnis von 1:5 eine viertel Stunde vor der Herstellung aktiviert wurden, dazugegeben und wieder grob gekuttert, die 35% grob gekutterte Schweinefleisch beigefügt und bis auf eine Körngrösse von 3mm gekuttert.

Danach wurde für alle einzelne Chargen den Grundbrät mit Gewürze, NPS und den entsprechenden Zusatzstoff von Hand gemischt und in die 145mm Ø Petrischalen je 200 g gefüllt.



**Abb. 3.2:** Links; gefüllte Petrischale am Tag der Herstellung. Rechts; Rohwurstmodellbrät am Ende der Reifung.

Alle Petrischalen wurden, wie im vorherigen Versuch, nach dem Füllen auf zwei Gitter, die mit durchgelöchertem Backpapier bedeckt waren, in die Klimaanlage (Modell Micromat C7, VEMAG GmbH) gestellt.

Folgendes Reifeprogramm wurde gefahren:

**Tab. 3.4:** Reifeprogramm der Würste.

Tag	rel. Feuchte [%]	Umluft [%]	Temperatur [°C]	Klimaanlage
1	92	50	24	VEMAG
1	Entfernung der Würste aus den Petrischalen			
2	80	40	24	VEMAG
3-4	80	40	22	VEMAG

Nach der Entfernung von der Petrischalen wurden die Rohwürste jeden Tag am Morgen, Mittag und Abend umgedreht, damit sie gleichmäßig auf beiden Seiten trocknen konnten.

Am Tag der Herstellung sowie während der Reifung wurden, wie bei der Versuch über den Einfluss von Wasser und Kochsalz, bei ungefähr 20%, 30% und 40% Gewichtsverlust, der Gewichtsverlust, pH-Wert,  $a_w$ -Wert, Wassergehalt und der Kochsalzgehalt bestimmt. Die Messmethoden sind im Kapitel 3.4 beschrieben worden.

### **3.2.3 Einfluss von Milchsäure**

Um die Ergebnissen des Versuches über den Einfluss von Wasser und Kochsalz besser zu interpretieren wurde während dieser Arbeit einen Versuch durchgeführt, der den Einfluss von Milchsäure auf den  $a_w$ -Wert darstellt.

Dafür wurden 16 Chargen hergestellt. Pro Charge wurde gekühltes Schweinefleisch SII, frisches Rückenspeck SVIII, 60%ig Milchsäure und Nitritpökelsalz auf eine Gesamtmenge von 250 g gemischt und mit einem Mixer (Typ R3, Robot coupe S.A.) homogenisiert. Das prozentuale Anteil der einzelnen Zutaten ist in der Tabelle 3.5 dargestellt.

Tab. 3.5: prozentualen Anteil der Zutaten.

Charge	Schweinefleisch [%]	Rückenspeck [%]	Milchsäure [%]	NPS [%]	Gesamtmenge [%]
1	75.0	25.0	0.0	0.0	100
2	73.6	24.5	0.1	1.8	100
3	73.5	24.5	0.2	1.8	100
4	73.4	24.5	0.3	1.8	100
5	73.4	24.5	0.4	1.8	100
6	72.8	24.3	1.1	1.8	100
7	72.0	24.0	0.1	3.9	100
8	71.9	24.0	0.2	3.9	100
9	71.9	24.0	0.3	3.9	100
10	71.8	23.9	0.4	3.9	100
11	71.3	23.8	1.1	3.9	100
12	64.5	21.5	0.1	13.9	100
13	64.4	21.5	0.3	13.9	100
14	64.1	21.4	0.6	13.9	100
15	63.9	21.3	0.9	13.9	100
16	63.8	21.3	1.1	13.9	100

Bei der Charge 1 wurde keine Milchsäure sowie keinen NPS dazugegeben, damit der  $a_w$ -Wert des Grundbrätes bestimmt werden könnte. Die Chargen 2 bis 6 hatten den gleichen prozentualen Anteil an NPS, sowie die Chargen 7 bis 11 und 12 bis 16. Die Chargen 12 bis 16 hatten einen prozentualen NPS-Anteil von 13.9%, der einen zu hohen Wert, als einen der in eine handelsüblicher Rezeptur verwendet wird, entspricht. Dieses prozentualen Anteil von 13,9% wurde so gewählt, damit man eine theoretische Sole von ungefähr 19% erreichen könnte, um den Einfluss von Milchsäure auch bei tieferen  $a_w$ -Werte zu prüfen. Die höchste Milchsäurekonzentration von 1.1% ist so gewählt worden, damit man einen pH-Wert zwischen 4.8 und 4.6, der den tiefsten pH-Wert-Bereich in eine Salamireifung entspricht, erreichen könnte.

Nach dem Homogenisieren wurden pH-Wert und  $a_w$ -Wert bestimmt. Die Messmethoden sind im Kapitel 3.4 beschrieben worden.

### ***3.3 Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst***

Ziel dieses Versuches war es, die Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst bei verschiedene Zutaten und Trocknungsraten zu ermitteln.

### 3.3.1 Wurstherstellung

Insgesamt wurden 8 verschiedene Chargen hergestellt. Bei den ersten zwei Chargen wurde die NPS- Konzentration variiert und um die Ergebnissen der anderen Chargen miteinander vergleichen zu können wurde für die Chargen 3 bis 8 den gleichen prozentualen NPS-Anteil wie Charge 1 (2,4%) beigefügt. Bei den Chargen drei und vier wurde die Stärkekonzentration, bei den Chargen fünf und sechs die Milchpulverkonzentration und bei den letzten zwei Chargen die Milcheiweißkonzentration verändert (Tabelle 3.6).

Tab. 3.6: Konzentrationen der Zutaten in den verschiedenen Chargen

Zutaten	Chargen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sauenfleisch SII (gefroren)	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Sauenfleisch SII (gekühlt)	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
Ruckenspeck SVIII (gefroren)	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
NPS	<b>2.4%</b>	<b>3.2%</b>	2.4%	2.4%	2.4%	2.4%	2.4%	2.4%
Pfeffer Weiss	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Ascorbat	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Glucose	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Starterkultur	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Stärke	-	-	<b>1%</b>	<b>3%</b>	-	-	-	-
Milchpulver	-	-	-	-	<b>1%</b>	<b>3%</b>	-	-
Milcheiweiß	-	-	-	-	-	-	<b>1%</b>	<b>3%</b>

Das gefrorene Fleisch wurde mittels Gefrierschneider (Typ 042, Magurit GmbH) vorzerkleinert und das aufgetaute Sauenfleisch auf 6mm gewolft (Typ MEW 620; MADO).

Das Kuttern der einzelne Chargen wurde in einem 40L Kutter der Fa. KG Wetter und nach einen befolgten Herstellungsvorgang (Tabelle 3.7) durchgeführt.

Tab. 3.7: Herstellungsvorgang der einzelnen Chargen.

<b>Rundenzahl</b>	<b>Messer-Geschwindigkeit</b>	<b>Schüssel-Geschwindigkeit</b>	<b>Arbeitsschritte</b>
0	1500	1	Schweinefleisch gefroren
7	1500	1	Starterkulturen (mit lauwarmes Wasser 1:5)
10	3000	2	
15	1500	1	Rückenspeck gefroren
20	1500	1	Gewürze (gut vorgemischt)
25	3000	2	Schweinefleisch gekühlt und auf 6[mm] gewolft
30	1500	1	NPS
35	1500	1	Öffnen, Kutterdeckel auskratzen
max. 45	1500	1	Bis Körnung Salami erreicht

Das Abfüllen erfolgte mit dem VEMAG-Vakuumfüller in Zellulosedärme (Typ FCX 80, VISKASE S.A.S) mit einem Füllkaliber von 88 mm und ein Länge von circa 550 mm.

Folgendes Reifeprogramm wurde gefahren:

Tab. 3.8: Reifeprogramm der Würste.

<b>Tag</b>	<b>rel. Feuchte [%]</b>	<b>Umluft [%]</b>	<b>Temperatur [°C]</b>	<b>Klimaanlage</b>
1	92	50	24	VEMAG
2	92	40	22	VEMAG
3	91	40	21	SCHRÖTER
3	Räuchern t = 45 min			
4-5	88	40	18	SCHRÖTER
5	Räuchern t = 45 min			
6-8	88	40	18	SCHRÖTER
9-12	80	-	16	Nachreiferaum VIESMANN
12-21	70	-	16	Nachreiferaum VIESMANN
21-32	60	Zusätzlicher Lüfter (Typ VORNADO 520)	16	Nachreiferaum VIESMANN
32-49	60	-	16	Nachreiferaum VIESMANN

Am Tag der Herstellung sowie während der Reifung wurden, bei ungefähr 14%, 20% und 34% Gewichtsverlust, der  $a_w$ -Wert in 4 verschiedene Schichten (Zonen) der Rohwurst bestimmt. Am gewünschten Gewichtsverlust wurde der entsprechende Rohwurst gewogen und der Gewichtsverlust bestimmt. Danach wurde das Zellulosedarm entfernt und in Scheiben mit eine Höhe von ungefähr 2.5 cm geschnitten. Jede einzelne Scheibe wurde in vier verschiedene Zonen mit je 88cm, 50cm, 34cm und 18cm Diameter ausgestanzt. Alle erhaltene

Ringe einer Zone wurde vakuumiert und in eine Kühlzelle bei 4°C gelagert. Der Tag danach wurden alle einzelne Zonen homogenisiert (Typ R3, Robot coupe S.A.) und der  $a_w$ -Wert bestimmt (Abb. 3.3). Die Messmethoden sind im Kapitel 3.4 beschrieben worden.

Vom vierten Tag der Reifung wurde auch die Oberflächenwasseraktivität, die im Kapitel 3.4.1.2 beschrieben wurde, bestimmt. Die Oberflächenwasseraktivität wurde als zusätzliche Zone (Zone 5) gewählt. Für diese Messung gab es nicht genügenden Temperaturmessfühler um alle Würste zu analysieren, aus diesem Grund würden die folgenden drei Chargen analysiert: Charge 1 (2,4% NPS), Charge 2 (3,2% NPS) und Charge 6 (3% Milchpulver). Mitte bis Ende der Reifung gab es elektronischen Problemen, die eine genaue Messung der Oberflächentemperatur der Würste nicht erlaubten. Als Ursache werden in dieser Arbeit nur die Ergebnissen vom 4. bis zum 11. Tag der Reifung beachtet.

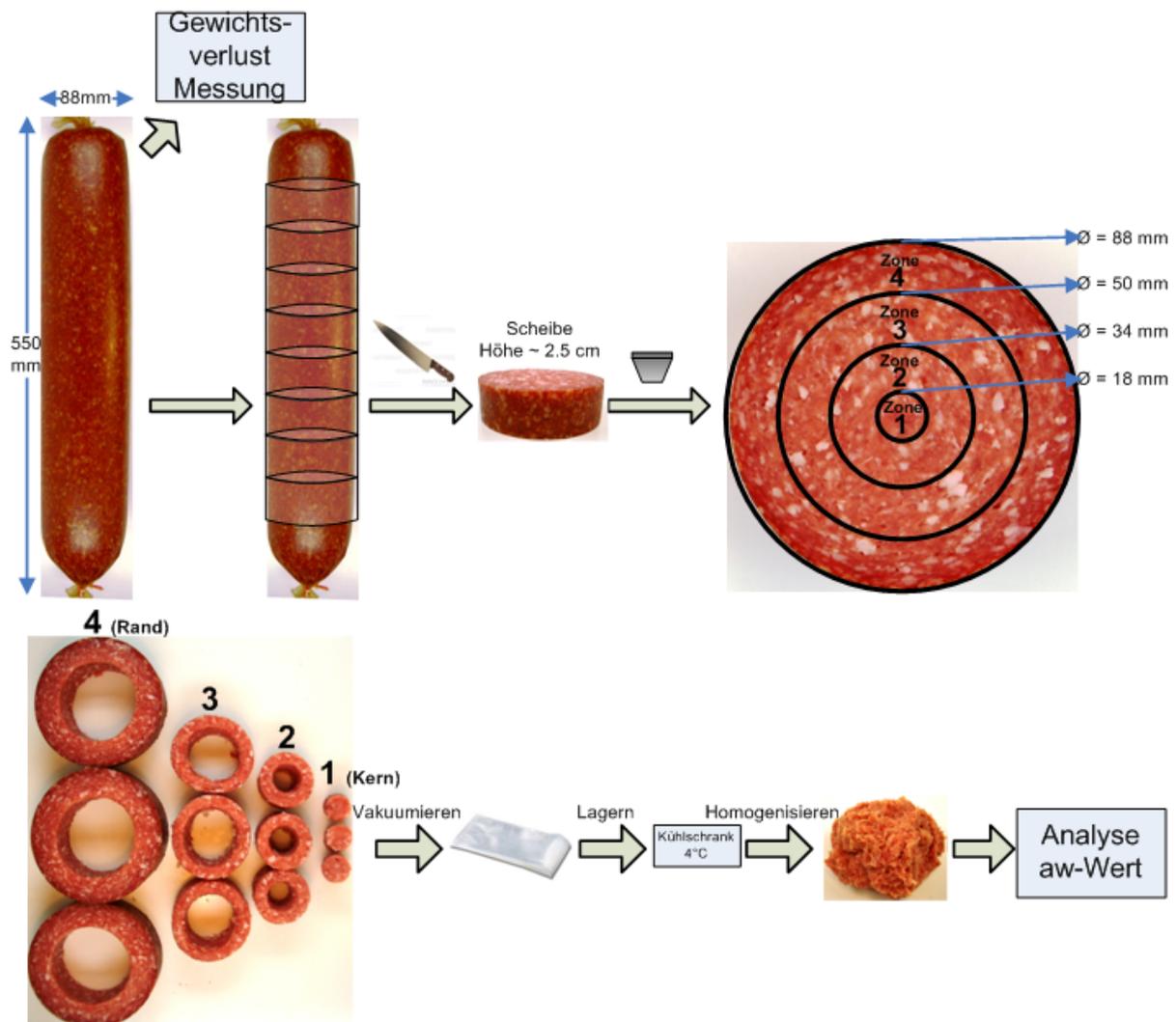


Abb. 3.3: Allgemeines Probenvorbereitungsschema für die Wasseraktivitätsanalyse.

### 3.4 Messmethoden

#### 3.4.1 Wasseraktivität

##### 3.4.1.1 Bestimmung des Wasseraktivitätswertes mittels Gefrierpunkt-Verfahren

Klassische Messsysteme zur Messung der Wasseraktivität sind mechanische, elektrolytische oder auch kapazitive Hygrometer. Die hohen Anforderungen an die Proben temperierung, aber auch die langen Messzeiten von etwa 4 Stunden bei der Ermittlung der Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen sind bei diesen Messsysteme nachteilig. Deshalb wurde bei dieser Arbeit das thermometrische Messverfahren verwendet. Das Messprinzip basiert auf die Gefrierpunktmessung, welche in Kapitel 2.6.2 bereits beschrieben wurde.

Bei den verwendeten Gerät handelte es sich um einen  $a_w$ -Kryometer vom Typ AWK-10, der Firma NAGY GmbH, Filderstadt (Abb. 3.4). Als Kühlmittel diente Ethanol  $\geq 99.8\%$ . Die technische Daten sind in Tabelle 3.9 dargestellt. Eine Kalibrierung des Temperatur-Messfühler ist im Normalfall nicht erforderlich. Trotzdem wurden, ein Mal pro Woche, die Temperatur-Messfühler in einem Becher mit eiskaltem Wasser getaucht, um die Temperatur zu testen. Bevor jeder Messung wurde die Probe mittels einen Mixer (Typ R3, Robot coupe S.A.) während mindestens 15 Sekunden homogenisiert und jede Messung erfolgte doppelt.



**Abb. 3.4:** Messvorrichtung zur Ermittlung der Wasseraktivität. In der Mitte links ein Messgerät, daneben das Kältebad und in der Mitte rechts wieder ein Messgerät. Unten von links nach rechts; Probenausstanzer, Einfüllwerkzeuge (4 Teile), Spachtel, Probenbehälter mit 2 Verschlusskappen und eingefüllter Probenbehälter mit eingestochener Pt-100 Temperaturmessfühler.

**Tab. 3.9:** Technische Daten des  $a_w$ -Kryometer Typ AWK-10

<i><math>a_w</math>-Messung</i>		<i>Temperatur-Messung</i>		<i>Kältebad</i>	
Messbereich	0.8000 ... 0.9999	Messbereich	-199.99 / +199.99°C	Tiefe	170 mm
Messgenauigkeit	+ / - 0.001	Messgenauigkeit	+ / - 0.03°C	Durchmesser	130 mm
Auflösung	0.0001	Auflösung	0.01 °C	Inhalt	2.25 l
Messfolge	2/s	Messfolge	2/s	Temperaturbereich	bis - 50°C

### 3.4.1.2 Kontinuierliches Messen der Oberflächen-Wasseraktivität von Rohwurst

Das Prinzip des von STIEBING und RÖDEL (1992) entwickelten Verfahrens beruht auf der exakten Messung des Klimas in der Reifeanlage, das heisst über die Messung der Trockentemperatur TT und Feuchttemperatur FT (Psychometrie) sowie der Messung der Temperatur der Rohwürste WT ist es aufgrund Thermodynamischer Gesetzmässigkeiten möglich, die Oberflächen-Wasseraktivität der Rohwürste während der Fermentierung kontinuierlich zu errechnen (Abb. 3.6).

Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur wurden NTC-Temperaturfühler eingesetzt. Diesen wurden direkt unter dem Darm der Rohwürste angebracht. Bevor das Anbringen und auch während der Reifung, wurden die NTC-Temperaturfühler in einem Becher mit eiskaltem Wasser getaucht, um eine Kalibrierung durchzuführen. Die Trocken- und Feuchttemperatur wurden ermittelt, indem ebenfalls kalibrierte NTC-Temperaturfühler auf einen Rohr fixiert wurden. Der NTC-Temperaturfühler für die Feuchttemperatur wurde in einem nassen Schweissbänder eingesteckt.



Abb. 3.5: Links: Messvorrichtung zur Ermittlung der Trocken- und Feuchttemperatur; Rechts: Anbringen zwei Temperaturfühlers zur Bestimmung der Oberflächentemperatur der Würste

Die Messsignale wurden kontinuierlich zu einem Messgerät „FATT“(Typ ALMEMO 8990-8, Ahlborn) weitergeführt und in einem Intervall von 5 Sekunden aufgezeichnet.

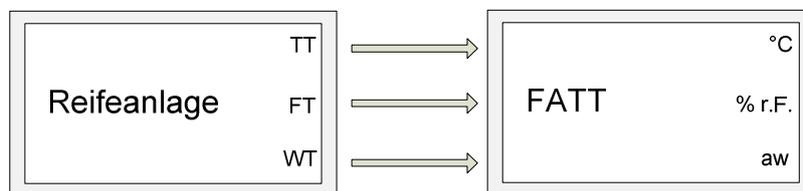


Abb. 3.6: Messgerät “FATT” und Messanordnung zur kontinuierlichen Bestimmung der Oberflächen-Wasseraktivität

Die relative Feuchte (r.F.) in Abhängigkeit von FT und TT kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$r.F. = \frac{\left( \frac{(17,08085 \cdot FT)}{(234,175 + FT)} \right) - (0,00066 \cdot (1 + 0,00115 \cdot FT)) (1013,246 \cdot (TT - FT))}{\left( \frac{(17,08085 \cdot TT)}{(234,175 + TT)} \right)} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Die Oberflächen-Wasseraktivität wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Oberfläche-Wasseraktivität} = \frac{(64,7 \cdot (TT - WT)) + \left(6,1078 \cdot e^{\frac{(17,08085 \cdot TT)}{(234,175 + TT)}}\right) \cdot r.F.}{\left(6,1078 \cdot e^{\frac{(17,08085 \cdot WT)}{(234,175 + WT)}}\right)} / 100 \quad (3.2)$$

### 3.4.2 Kochsalzgehalt

Der Kochsalzgehalt der Würste wurde durch Chloridbestimmung mittels potentiometrischer Titration ermittelt (Dreifachbestimmung). Die in heissem destilliertes Wasser homogenisierte und suspendierte Probe wurde filtriert, mit 65%-ige Salpetersäure angesäuert und das Chlorid mit Silbernitrat potentiometrisch titriert. Während der Titration wurde Stromfrei das Potential mit einer Indikatorelektrode gemessen und die Titrationskurve, aus der der Äquivalenzpunkt ermittelt wurde, gezeichnet.

Der prozentuale Kochsalzgehalt wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$$\% \text{ NaCl} = \frac{V \cdot c \cdot t \cdot 5,8445 \cdot 5}{m_E} \quad (3.4)$$

% NaCl	prozentualer Kochsalzgehalt
V	Verbrauch an Silbernitrat-Masslösung in mL
C	Konzentration Silbernitrat-Masslösung: c = 0,1 mol/L
T	Titer der Silbernitrat-Masslösung
5	Umrechnungsfaktor für Verdünnungsschritte
5,8445	Äquivalenzfaktor
m <sub>E</sub>	Probeneinwaage in g

### 3.4.3 Wassergehalt

Der Wassergehalt wurde durch Bestimmung der Trockenmasse ermittelt. 4g der homogenisierte Probe wurden auf 1 mg genau in eine 30g Seesand gefüllte, mit einem Glasstab versehene, zusammen mit dem Sand und dem Glasstab vorgetrocknete Abdampfschale eingewogen. Dann wurden eingewogene Probe und Seesand in der auf schwarzes Glanzpapier gestellten Schale gleichmässig verrieben und über die Nacht im

Trockenschrank bei  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  getrocknet. Danach wurde während mindestens eine Stunde abgekühlt und gewogen. Für jede Probe erfolgte eine Dreifachbestimmung.

Der prozentuale Kochsalzgehalt wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$$\% \text{Wassergehalt} = 100 - \frac{(m - a) \cdot 100}{m} \quad (3.5)$$

a durch die Trocknung erfolgte Massenabnahme in g  
m Probeneinwaage in g

#### **3.4.4 Gewichtsverlust**

Zur Bestimmung des End-Gewichtsverlustes nach Erreichen des gewünschten Gewichtsverlust wurde jede entsprechende Wurst auf eine digitalen Waage der Firma Sartorius Typ Cobics 1 vor und nach der entsprechenden Gewichtsverlust bestimmt.

Der Gewichtsverlust wurde aus der folgender Gleichung in Prozent gerechnet:

$$\% \text{Gewichtsverlust} = 100 - \frac{m_2 \cdot 100}{m_1} \quad (3.6)$$

m<sub>1</sub> Einwaage vor Trocknung in g  
m<sub>2</sub> Einwaage nach Trocknung in g

#### **3.4.5 pH-Wert**

Die Messung des pH-Wertes erfolgte generell durch Einstichverfahren mit einem pH-Meter mit Digitalanzeige der Firma Schott Typ CG 817 T.

Zur notwendigen Eichung der Elektrode vor jeder Messreihe wurden Pufferlösungen (pH 7 und pH 4) herangezogen und zwischen den Messungen mit destilliertes Wasser abgespült. Ebenso war vor jeder Messreihe die entsprechende Temperatur des zu messenden Gutes am pH-Meter einzustellen.

Der pH-Meter der jeweiligen Untersuchungswurst zum festgelegten Zeitpunkt wurde durch arithmetische Mittlung der an drei Einstichstellen gemessenen Werte ermittelt.

### ***3.5 Entwicklung eines Berechnungsmodells***

Bevor der Entwicklung eines Berechnungsmodells wurden Wasseraktivität, Wassergehalt und Salzgehalt in einem 3D-Diagramm dargestellt, damit man eine Vermutung hatte, was für eine Funktion sein könnte. Die Erstellung des 3D-Diagramms erfolgte durch ein Programm; Gnuplot.

Gnuplot ist ein kommandozeilen-orientiertes, interaktives Programm, d.h. beim Aufruf erscheint ein Kommandofenster mit folgendem Prompt: (gnuplot>), das eine Eingabe verlangt, z.B. einen der Plotbefehle oder die Definition einer Funktion oder Angaben zur Formatierung einer Achse oder etwas ähnliches. Ist eine Eingabe erfolgt, wird sie ausgeführt, was man entweder sofort merkt (bei einem Plotbefehl) oder sich später auf folgende Plotbefehle auswirkt.

Im wissenschaftlichen Bereich ist Gnuplot wegen seiner übersichtlichen Plots und der Möglichkeit, skriptgesteuert automatisch Plots aus Daten oder Messwerten zu erzeugen, sehr beliebt. Das Programm verarbeitet große Datenmengen effizient und ist im Vergleich zu kommerziellen Alternativen platzsparend und schnell. Die Originaldaten bleiben immer unangetastet und müssen auch nicht in einem „Worksheet“ vorgehalten werden.

Aus den Daten des 3D-Diagramms wurde eine multiple quadratische Regression durchgeführt. Die multiple nicht-lineare Regression ist im Kapitel 3.5.1.1 beschrieben worden.

Weil viele Berechnungsmodelle für die Wasseraktivität von Lebensmitteln auf exponentielle Funktionen beruhen (SERENO et al. 2000), sind Wasseraktivität in Bezug auf Salzgehalt sowie Wasseraktivität in Bezug auf Wassergehalt in 2D-Diagrammen dargestellt worden. Aus den zwei erfundenen exponentiellen Gleichungen wurde eine multiple exponentielle Regression durchgeführt. Die Theorie dieser Regression ist im Kapitel 3.5.1.1 beschrieben worden.

#### **3.5.1 Statistik**

Beide erfundenen Funktionen, d.h. eine multiple quadratische Regression und eine multiple exponentielle Funktion basieren sich auf der Multivariable nicht-lineare Funktion. Im nächsten Unterkapitel soll diese Art von Regression erklärt werden.

3.5.1.1 Multiple nicht-lineare Regression

Die nicht-lineare Regression lässt sich auf die mehrfache lineare Regression zurückzuführen (GROGG, 2001).

Wenn eine abhängige Variable eine lineare Funktion von mehreren unabhängigen Variablen ist, ist die allgemeine Form der 1. Ordnung Regressionsgleichung eine Kombination der verschiedenen linearen Regressionsgeraden. Im Fall von drei unabhängigen Variablen schreibt man:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3$$

Die Koeffizienten werden gelöst, nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate, durch Addition der quadratischen Abweichungen und durch minimieren der partiellen Ableitungen nach  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  und  $a_3$ . Man erhält die folgenden Gleichungen:

$$\begin{array}{rcccccc} a_0 \cdot N & + & a_1 \cdot \sum_{i=1}^N X_{1,i} & + & a_2 \cdot \sum_{i=1}^N X_{2,i} & + & a_3 \cdot \sum_{i=1}^N X_{3,i} & = & \sum_{i=1}^N Y_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^N X_{1,i} & + & a_1 \cdot \sum_{i=1}^N X_{1,i}^2 & + & a_2 \cdot \sum_{i=1}^N X_{2,i} X_{1,i} & + & a_3 \cdot \sum_{i=1}^N X_{1,i} X_{3,i} & = & \sum_{i=1}^N X_{1,i} Y_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^N X_{2,i} & + & a_1 \cdot \sum_{i=1}^N X_{1,i} X_{2,i} & + & a_2 \cdot \sum_{i=1}^N X_{2,i}^2 & + & a_3 \cdot \sum_{i=1}^N X_{2,i} X_{3,i} & = & \sum_{i=1}^N X_{2,i} Y_i \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^N X_{3,i} & + & a_1 \cdot \sum_{i=1}^N X_{1,i} X_{3,i} & + & a_2 \cdot \sum_{i=1}^N X_{2,i} X_{3,i} & + & a_3 \cdot \sum_{i=1}^N X_{3,i}^2 & = & \sum_{i=1}^N X_{3,i} Y_i \end{array}$$

Nach Ersetzen der Summen erhält man 4 Gleichungen mit vier unbekanntem Koeffizienten. Die Koeffizienten werden als Matrix angeordnet und durch inverse Matrixrechnung bestimmt. Nach Ersetzen der Koeffizienten in der Funktion ist die Regression beendet.

Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  ist definiert als:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

## 3.5.1.2 t-Test

Der t-Test ist ein Begriff aus der mathematischen Statistik, er bezeichnet eine Gruppe von Hypothesentests.

Den t-Test im eigentlichen Sinn gibt es nicht. Es handelt sich hier lediglich um einen beliebigen Hypothesentest mit t-verteilter Testprüfgröße. Bei einem t-Test im engeren Sinne werden Hypothesen über Erwartungswerte getestet. Er wird sehr oft in der regressionellen Analyse eingesetzt. Erstens stellt man eine Hypothese.

*Hypothese 1:*  $\bar{X} = \bar{Y}$

Danach berechnet man gemäß die folgende Formel den t-Wert:

$$t_c = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{(N_x - 1) \cdot S_x^2 + (N_y - 1) \cdot S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{N_x \cdot N_y}{N_x + N_y} (N_x + N_y - 2)}$$

$$t_{\alpha}^* = t(\alpha, \Phi = N_x + N_y - 2)$$

\* Wert aus der Student-Verteilungstabelle in Funktion der Freiheitsgrades N (FISHER und YATES, 1963)

$$|t_c| < t_{\alpha} \quad \rightarrow \text{Hypothese 1: **bestätigt!**}$$

Wenn die Hypothese nicht bestätigt wird, sind die getesteten Mittelwerten, mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von  $\alpha$  unterschieden.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Hauptversuch

#### 4.1.1 Einfluss von Wasser- und Salzgehalt

Zu Beginn dieser Arbeit wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem der Einfluss von verschiedenen Salzkonzentrationen und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert untersucht wurden. Aufgrund eines zu groben Zerkleinerungsgrades des Grundbrätes waren die Ergebnisse zu ungenau und unpräzise. Aus diesem Grund werden sie nicht in dieser Arbeit berücksichtigt und der Versuch wurde wiederholt.

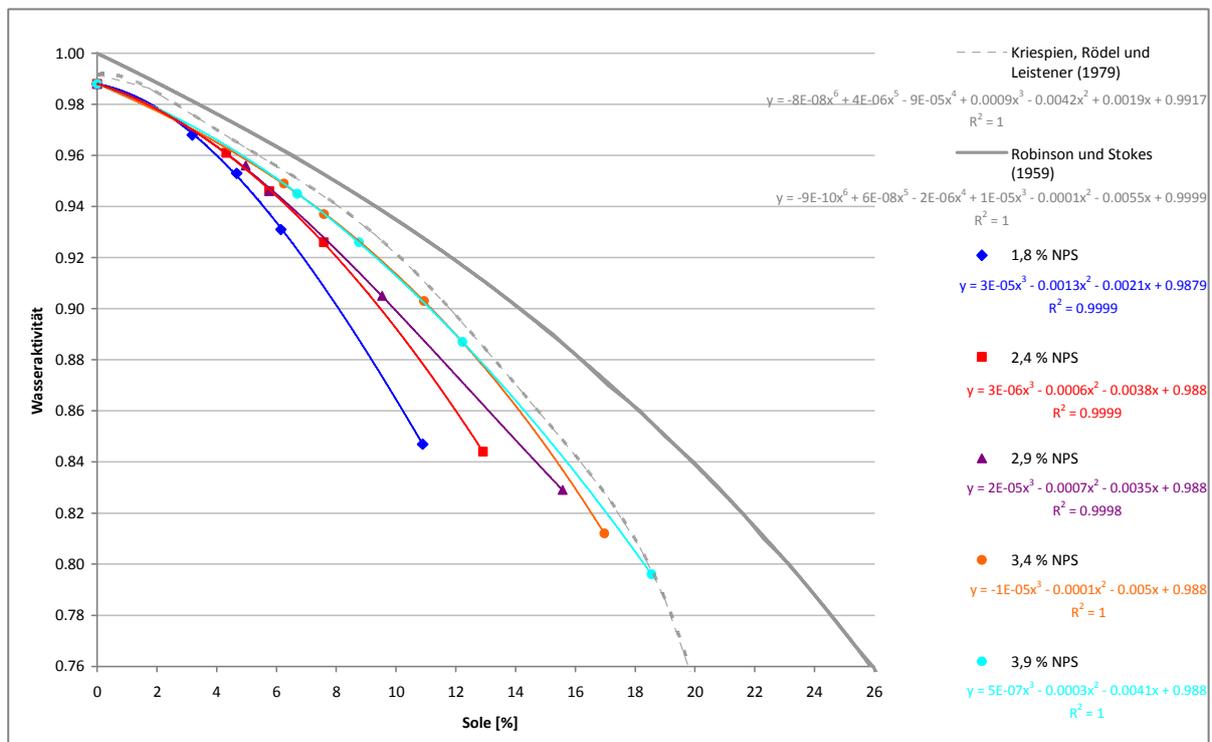
Um die ermittelten Wasseraktivitätsverläufe der verschiedener Chargen miteinander vergleichen zu können, wurden in den folgenden Diagrammen die Wasseraktivität der einzelnen Chargen, bezogen auf die prozentualen Solekonzentrationen, aufgetragen. Bei jeder Charge erfolgte mit den einzelnen Messpunkten anschliessend eine polynomische Regressionsanalyse dritter Ordnung.

Um die erhaltenen Ergebnisse mit den Resultaten von KRISPIEN, RÖDEL und LEISTENER (1979) sowie die Wasseraktivitätswerte von ungesättigten NaCl-Lösungen unterschiedlicher Konzentration (ROBINSON und STOKES, 1959) vergleichen zu können, wurden diese auch in den folgenden Diagramme aufgetragen und darauf erfolgte eine polynomische Regressionsanalyse sechster Ordnung.

Die Gleichungen der polynomischen Regressionsanalysen sowie der entsprechende Bestimmungskoeffizient ( $R^2$ ), der je näher „1“ liegt, desto besser werden die Datenwerte durch die Funktion abgebildet, wurden in der Legende des Diagramms eingetragen.

Wie in Abbildung 4.1 zu sehen ist, sind alle Wasseraktivitätsverläufe der fünf untersuchten Chargen niedriger als der geprüfte Wasseraktivitätsverlauf (KRISPIEN, RÖDEL und LEISTENER, 1979). Bis auf eine Solekonzentration von 3% haben alle fünf Chargen den gleichen Verlauf, der niedriger als der getestete Wasseraktivitätsverlauf liegt. Ab dieser Solekonzentration, je niedrigere die NPS-Konzentration ist, desto grösser der Abstand vom geprüften Verlauf bei sinkendem  $a_w$ -Wert wird. Bei 3,9% NPS ist der Abstand niedriger aber gewissermaßen immer konstant als das getestete Wasseraktivitätsverlauf.

Dabei ist zu erkennen, dass die erhaltenen Bestimmungskoeffizienten der polynomischen Regressionsanalysen der fünf analysierten Chargen sehr nahe „1“ liegen, und bestätigen diese unterschiedlichen Verläufe bei ungleichen NPS-Konzentrationen.



**Abb. 4.1:** Wasseraktivitätsverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen.

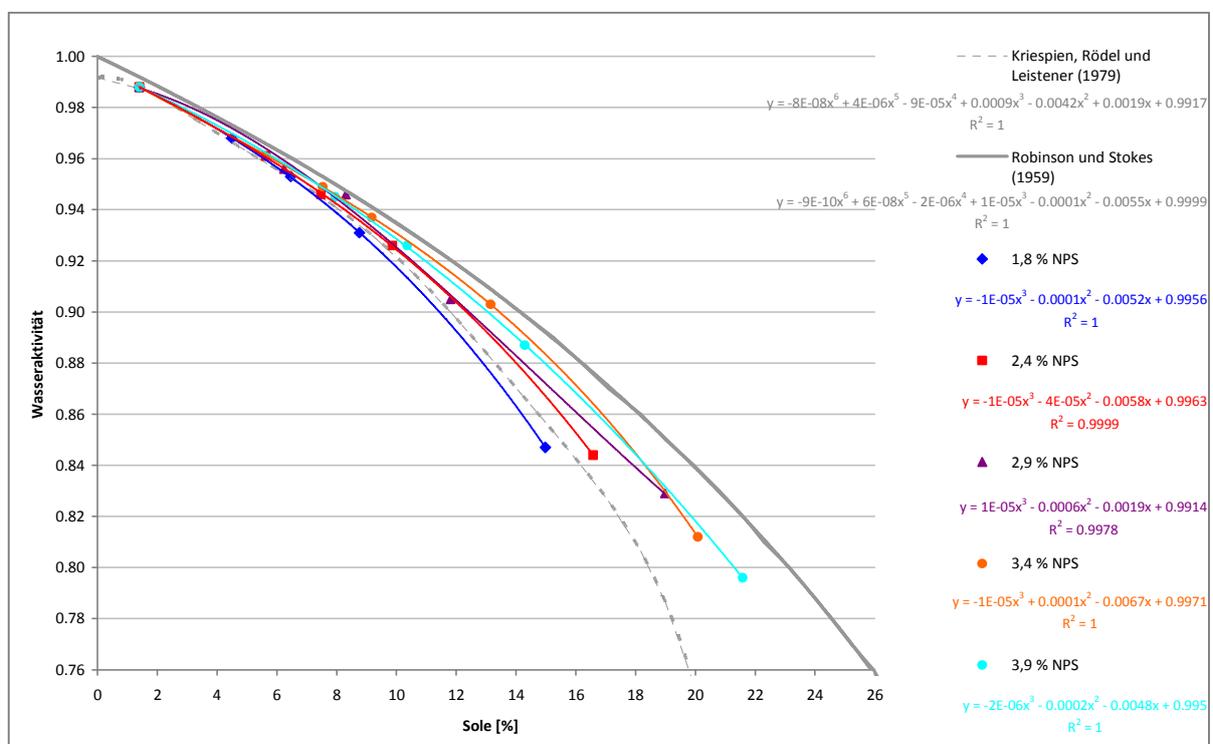
Da Fleisch einen sehr geringen prozentualen Anteil an Mineralstoffen enthält (SIELAFF, 1996a), wurde der erhaltene Wasseraktivitätswert von 0.988 des Grundbrätes (Schweinefleisch und Rückenspeck) in die erhaltene Gleichung des Wasseraktivitätsverlaufs von ungesättigten NaCl-Lösungen von ROBINSON und STOKES (Abb. 4.1) eingesetzt und ein prozentualer Anteil an Mineralstoffen von 0,8 gerechnet. Dieser prozentuale Anteil an Mineralstoffen wurde, unter Berücksichtigung des Gewichtsverlustes, zu der analytisch bestimmten Kochsalzmenge addiert. Daraus erfolgte eine neue Solekonzentration, die höher als die am Anfang berechnete Sole lag.

Die Abbildung 4.2 zeigt die korrigierten Wasseraktivitätsverläufe der fünf analysierten Chargen, die auf die neuen berechneten Solekonzentrationen bezogen sind.

Die Wasseraktivitätsverläufe liegen nach der Korrektur der Solekonzentration höher und die Abstände zwischen den fünf analysierten Chargen sind niedriger als in Abbildung 4.1.

Dabei ist festzustellen, dass nur die erste Charge mit einer NPS-Konzentration von 1,8% niedriger als der Wasseraktivitätsverlauf von KRISPIEN, RÖDEL und LEISTNER (1979) liegt und die übrigen Chargen sich zwischen den beiden polynomischen Regressionskurve sechster Ordnung befinden. Bis zu einer Solekonzentration von 6-7% liegen alle Verläufe ungefähr auf den Wasseraktivitätsverlauf von KRISPIEN et al. (1979).

Die Bestimmungskoeffizienten der polynomischen Regressionsanalysen der fünf analysierten Chargen haben sich bei der Korrektur praktisch nicht geändert.



**Abb. 4.2:** Korrigiertes Wasseraktivitätsverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen.

Aus dem Wassergehalt des Grundbrätes (56,5 %) und den verschiedenen Gewichtsverlusten wurde eine theoretische Sole berechnet (Anhang 8.2.6). Die Korrelation zwischen gemessener und berechnete Sole ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Da sich, wie in Abbildung 4.2 zu sehen ist, bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen mehrere Wasseraktivitätsverläufe ergeben, wurde die Korrelation für alle fünf analysierten Chargen einzeln durchgeführt.

Dabei ist zu erkennen, dass alle fünf Korrelationsgeraden einen Bestimmungskoeffizient sehr nahe „1“ haben.

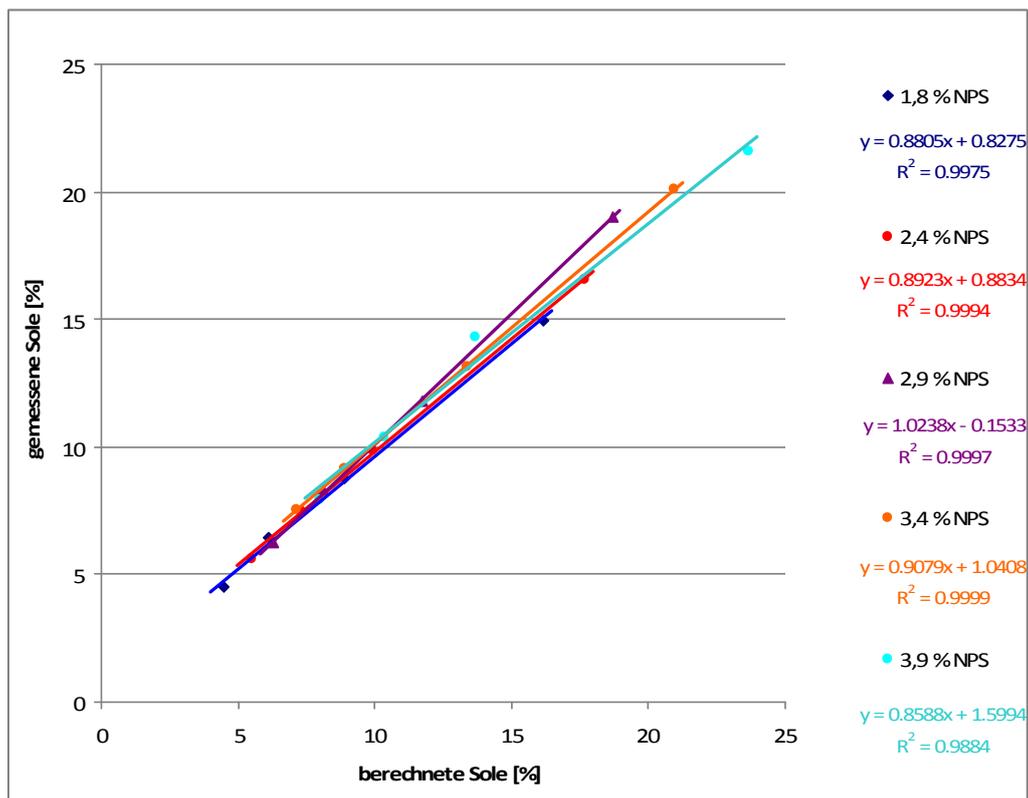


Abb. 4.3: Korrelation zwischen gemessener und berechneter Sole.

Der pH-Wertverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei den unterschiedlichen getesteten NPS-Konzentrationen ist in der Abbildung 4.4 dargestellt. Aus dieser Abbildung ist gut zu erkennen, dass die pH-Wertverläufe für die geprüften Chargen nicht gleich sind. Die Länge der lag-Phase wurde bei einer Erhöhung der NPS-Konzentration größer und als Ursache war die Säuerungsleistung bei einer höheren Solekonzentration niedrig.

Dabei ist zu erkennen, dass bei einer höheren NPS-Konzentration das Ausmaß der pH-Absenkung kleiner wurde.

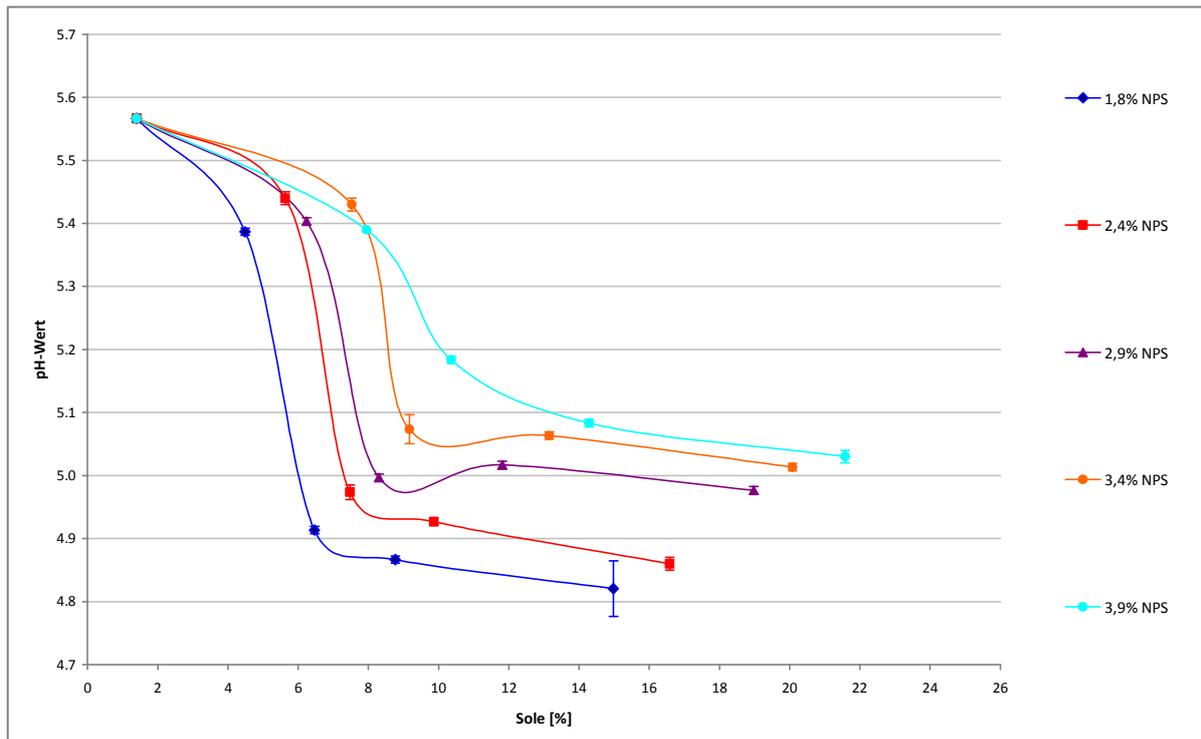


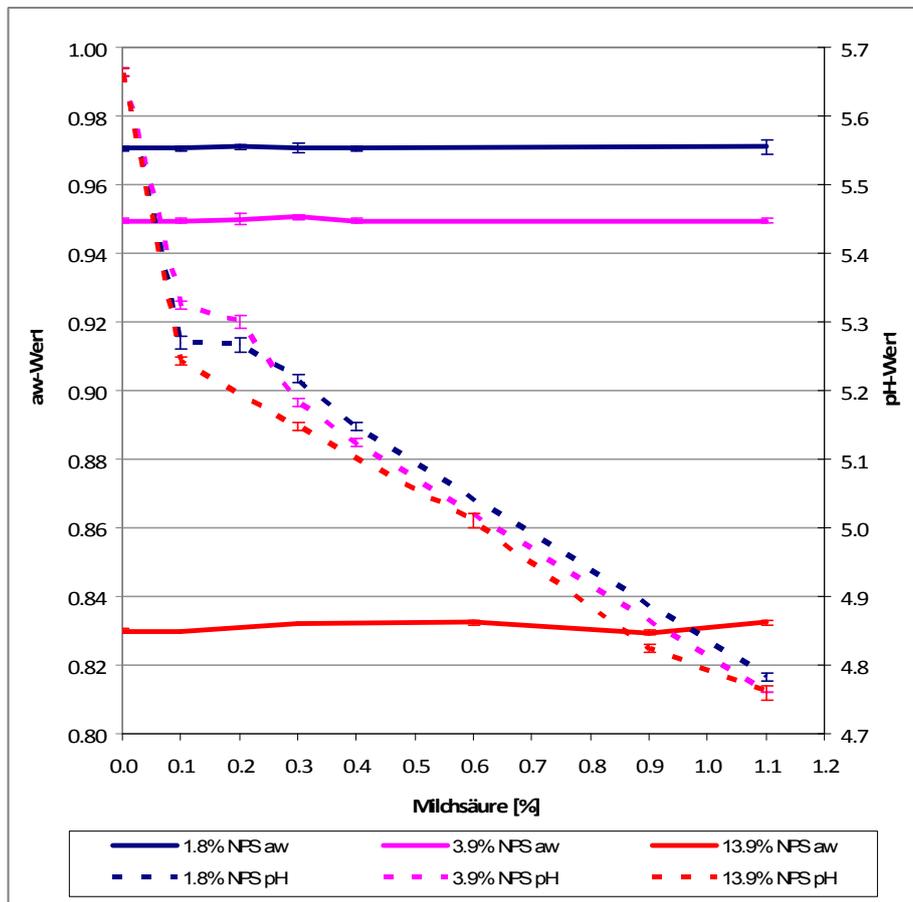
Abb. 4.4: pH-Wertverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen.

#### 4.1.2 Einfluss von Milchsäure

Um die Ursache der Abstände zwischen den 5 erhaltenen Wasseraktivitätsverläufe des erstens Versuch (Abbildung 4.2) zu untersuchen, wurde wie es schon im Kapitel 3.2.3 beschrieben, der Einfluss von Milchsäure auf die Wasseraktivität bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen untersucht. Die erhaltenen Ergebnisse sind in der Abbildung 4.5 dargestellt. Die höhere NPS-Konzentration von 13,9% wurde so gewählt, damit man eine theoretische Sole von ungefähr 19% erreichen könnte, die den unteren Bereich der Wasseraktivitätsverläufe in Abbildung 4.2 entspricht.

Wie es zu erkennen ist, bei einer Zugabe von 1,1% Milchsäure verminderte sich der pH-Wert des Brätes von 5,7 auf 4,8. Dieser niedrigere pH-Wert des Endbrätes entspricht ungefähr dem minimalen pH-Wert von 4,8, der bei der Reifung der Modellbräten des erstes Versuches erreicht wurde.

In Abbildung 4.5 ist zu erkennen, dass nach der Zugabe von Milchsäure bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen die Wasseraktivität immer konstant bleibt und kein Einfluss zu erkennen ist.



**Abb. 4.5:** Wasseraktivitäts- und pH-Wert-Verlauf in Abhängigkeit von der Milchsäurekonzentration bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen.

### 4.1.3 Einfluss von Zusatzstoffen

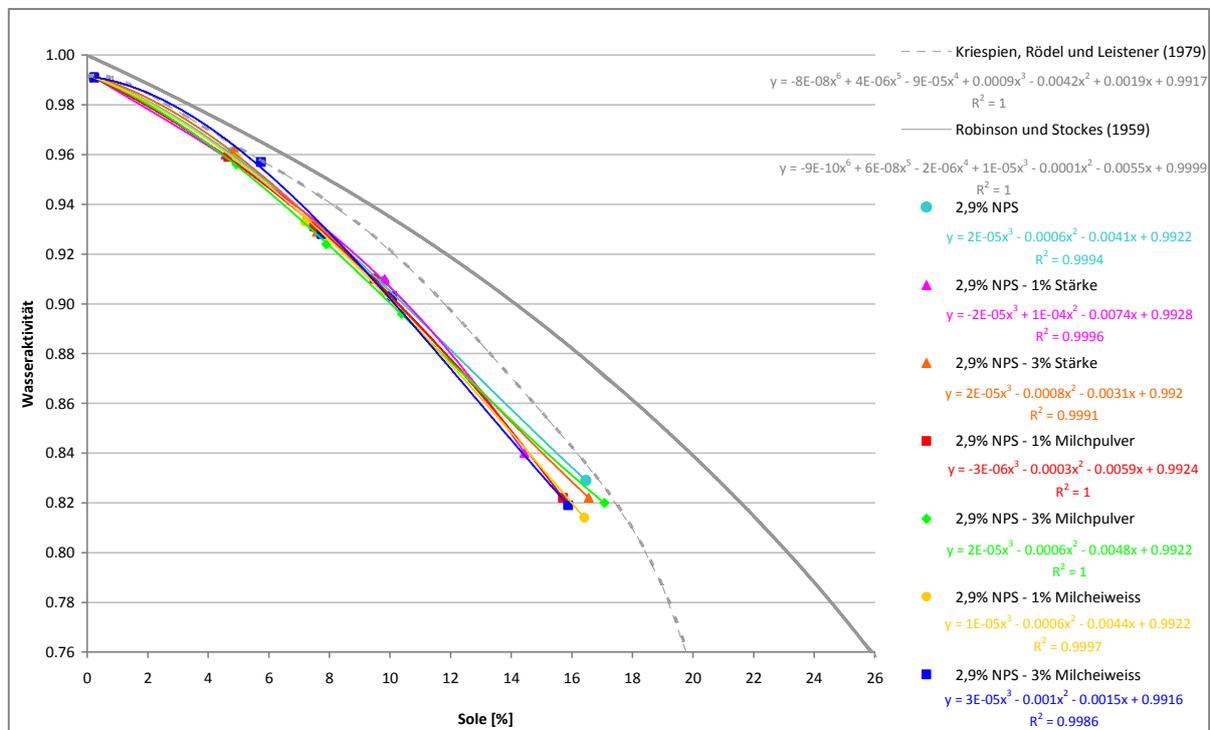
Bei diesen Versuch wurden ebenfalls Diagramme erstellt, die die Wasseraktivität der einzelnen Chargen bezogen auf die prozentualen Solekonzentrationen auftragen und um die ermittelten Wasseraktivitätsverläufe der verschiedene Chargen miteinander vergleichen zu können. Auf diese Weise kann desgleichen die Charge 1 mit der Charge 3 des vorherigen Versuchs verglichen werden, da beide Chargen die gleiche Rezeptur, dass heisst die gleiche prozentuale NPS-Konzentration, haben.

Wie in Abbildung 4.6 zu sehen ist, liegen fast alle Wasseraktivitätsverläufe der sieben analysierten Chargen niedriger als die von KRISPIEN ermittelten Ergebnissen. Nur bei der Charge 7, 3% Milcheiweiß, liegt der Wasseraktivitätsverlauf bis auf eine Solekonzentration von 5% auf der gleichen Kurve des getesteten Wasseraktivitätsverlaufs. Dabei ist zu erkennen, dass von einer Solekonzentration von ungefähr 6% bis auf eine Solekonzentration von etwa 12% haben alle analysierten Chargen den gleichen Verlauf.

Ab einer Solekonzentration von 12% fangen die verschiedenen Wasseraktivitätsverläufe an sich zu trennen.

Alle analysierten Chargen mit zusätzlichen Zusatzstoffen haben, ab einer Solekonzentration von 12%, einen niedrigeren Wasseraktivitätsverlauf als die erste Charge, die ohne Zusatzstoffe produziert wurde.

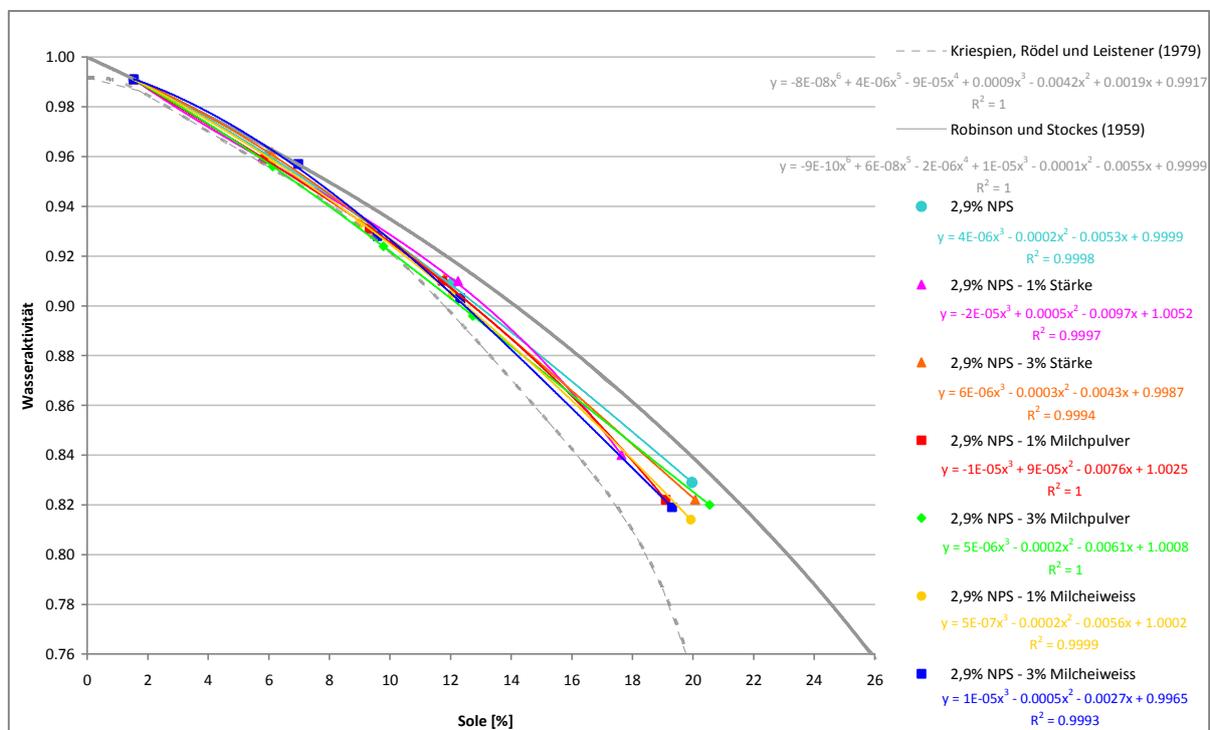
Den grössten Abstand von der ersten Charge (2,9% NPS) haben die Chargen 2 (1% Stärke), 4 (1% Milchpulver), 6 (1% Milcheiweiß) und 7 (3% Milcheiweiß).



**Abb. 4.6:** Wasseraktivitätsverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei unterschiedlichen Konzentrationen von Zusatzstoffen.

Auch bei diesen Versuch wurden die Solekonzentrationen korrigiert. Wie es aus dem Anhang 8.3.1 zu entnehmen ist, hatte das Grundbrät dieses Versuches einen Wasseraktivitätswert von 0.991. Anhand dieses Wertes wurde die erhaltene Gleichung des Wasseraktivitätsverlaufs von ungesättigten NaCL-Lösungen von ROBINSON und STOKES (Abb.4.6) eingesetzt und ebenfalls einen prozentualen Anteil an Mineralstoffen von 0,8 gerechnet. Dieser prozentuale Salzanteil wurde, unter Berücksichtigung des Gewichtsverlustes, zu der analytisch bestimmten Kochsalzmenge addiert. Daraus erfolgte eine neue Solekonzentration, die höher als die am Anfang berechnete Sole lag.

In Abbildung 4.7 ist zu erkennen, dass sich die korrigierten gemessenen Wasseraktivitätsverläufe auch, wie im ersten Versuch, zwischen den beiden polynomischen Regressionskurven sechster Ordnung sich befinden. Weil die NPS-Konzentration bei den 7 Chargen gleich ist, haben sich mit der Korrektur der Solekonzentration die Abstände zwischen den Wasseraktivitätsverläufen nicht geändert. Praktisch sind alle Wasseraktivitätsverläufe bis auf eine Solekonzentration von 14% identisch.



**Abb. 4.7:** Korrigiertes Wasseraktivitätsverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei unterschiedlichen Konzentrationen von Zusatzstoffen.

Aus dem Wassergehalt des Grundbrätes (60,3%) und den verschiedenen Gewichtsverlusten wurde eine theoretische Sole gerechnet (Anhang 8.3.6). In Abbildung 4.8 ist die Korrelation zwischen gemessener und berechneter Sole dargestellt.

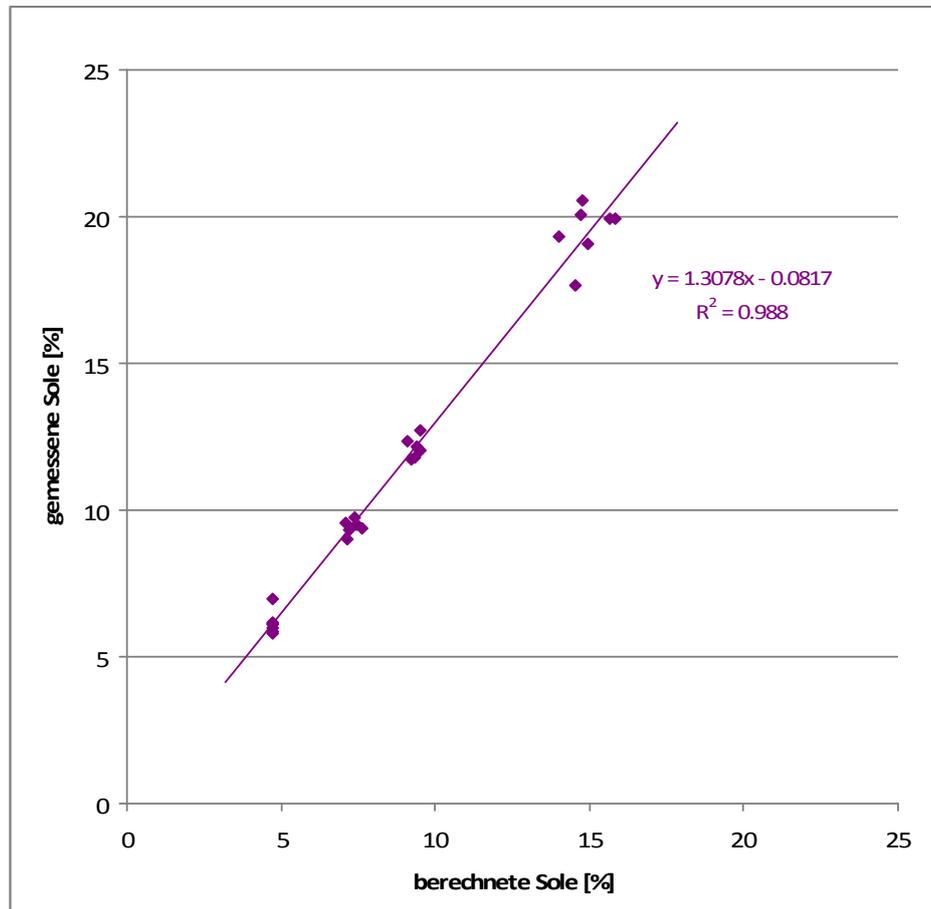


Abb. 4.8: Korrelation zwischen gemessener und berechneter Sole.

Der pH-Wertverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei den unterschiedlichen getesteten Zusatzstoffen ist in der Abbildung 4.9 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass bei allen Chargen mit den geprüften Zusatzstoffen ein sehr ähnlicher pH-Wertverlauf wie bei der Kontrolle (Charge 1; 2,8% NPS) vorliegt.

Die Charge 7 (2,9% NPS – 3% Milcheiweiß) besitzt einen höheren pH-Wertverlauf als die anderen Chargen.

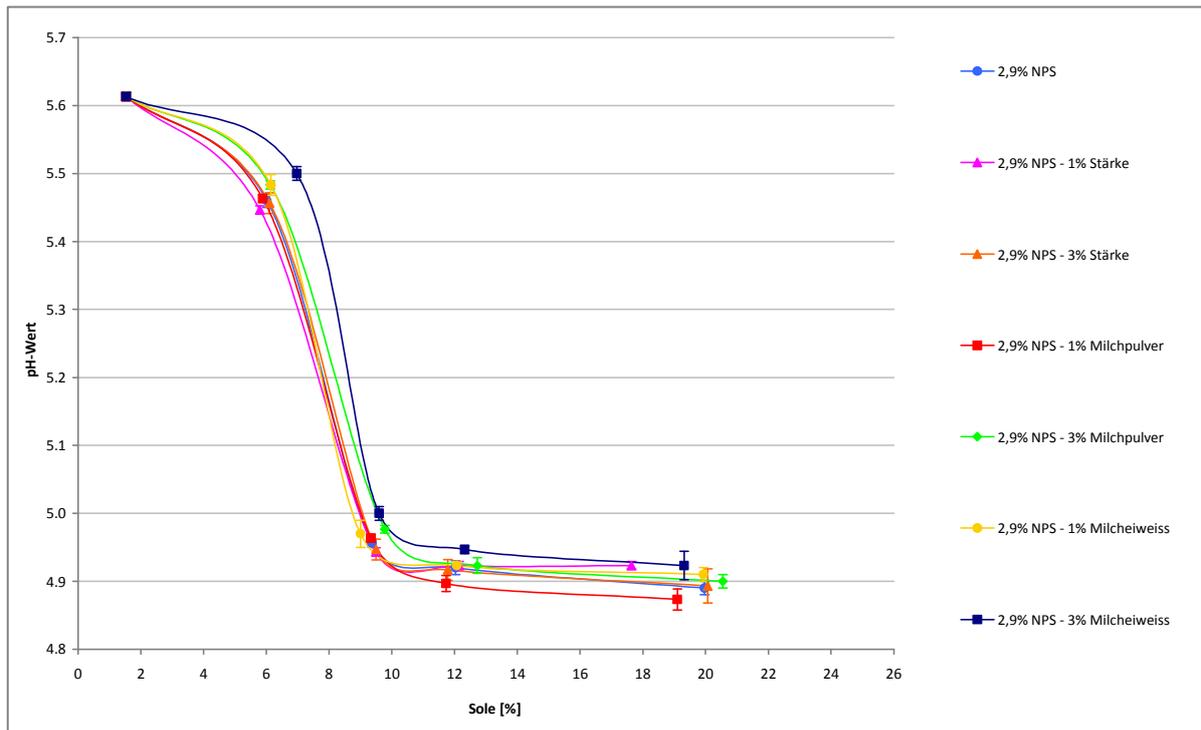


Abb. 4.9: pH-Wertverlauf in Abhängigkeit von der Solekonzentration bei unterschiedlichen Zusatzstoffe.

## 4.2 Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst

Die folgenden Abbildungen zeigen die Wasseraktivitätsverteilung in einer Wurst (Kaliber 88 mm) nach unterschiedlichen Reifungszeiten. Die Wasseraktivitätsverteilung wurde diskontinuierlich mit der beschriebenen Methode im Kapitel 3.4.1.1 und kontinuierlich vom 4. bis 11. Tag der Reifung mittels dem unter 3.4.1.2 beschriebenen Verfahren bestimmt.

Die Abbildung 4.10 zeigt die Wasseraktivitätsverteilung in der Wurst an verschiedenen Reifungstagen, im linken Diagramm für die Charge 1 (2,4% NPS) und im rechten Diagramm für die Charge 2 (3,2% NPS). Die roten Punkte auf die Oberfläche der Würste stellen die Werte der Oberflächenwasseraktivität dar, die während der Reifung mit den kontinuierlichen Verfahren über die Temperaturmessung ermittelt wurden. Am 4. Reifungstag betrug die relative Luftfeuchtigkeit in der Klimaanlage 88, am 9. Tag 80, am 17. Tag 70 und am 49. Tag 60%.

Die Würste hatten am 0. Tag einen  $a_w$ -Wert von  $0.965 \pm 0.001$  bzw.  $0.958 \pm 0.000$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung). Am 4. Tag war die Oberflächenwasseraktivität der beiden Würste auf einen Wert von 0.921 abgesunken bei einer Luftfeuchtigkeit von 88%. Mit sinkender Luftfeuchte und zunehmender Reifungsdauer wurden die Unterschiede zwischen Kern und Rand der Würste immer grösser und die Verteilung der Wasseraktivität in den verschiedenen Zonen nahm einen immer stärker gekrümmten parabolischen Verlauf an.

In Abbildung 4.10 ist zu erkennen, dass bei der Charge 2 (rechtes Diagramm) ein immer weniger gekrümmter Wasseraktivitätsverlauf als bei der Charge 1 (linkes Diagramm) gab. Entsprechend war auch die Trocknungsgeschwindigkeit grösser. So betrug der Gewichtsverlust am 49. Tag bei der Charge 1 (2,4% NPS) 33,3 und bei der Charge 2 (3,2% NPS) 34,5%.

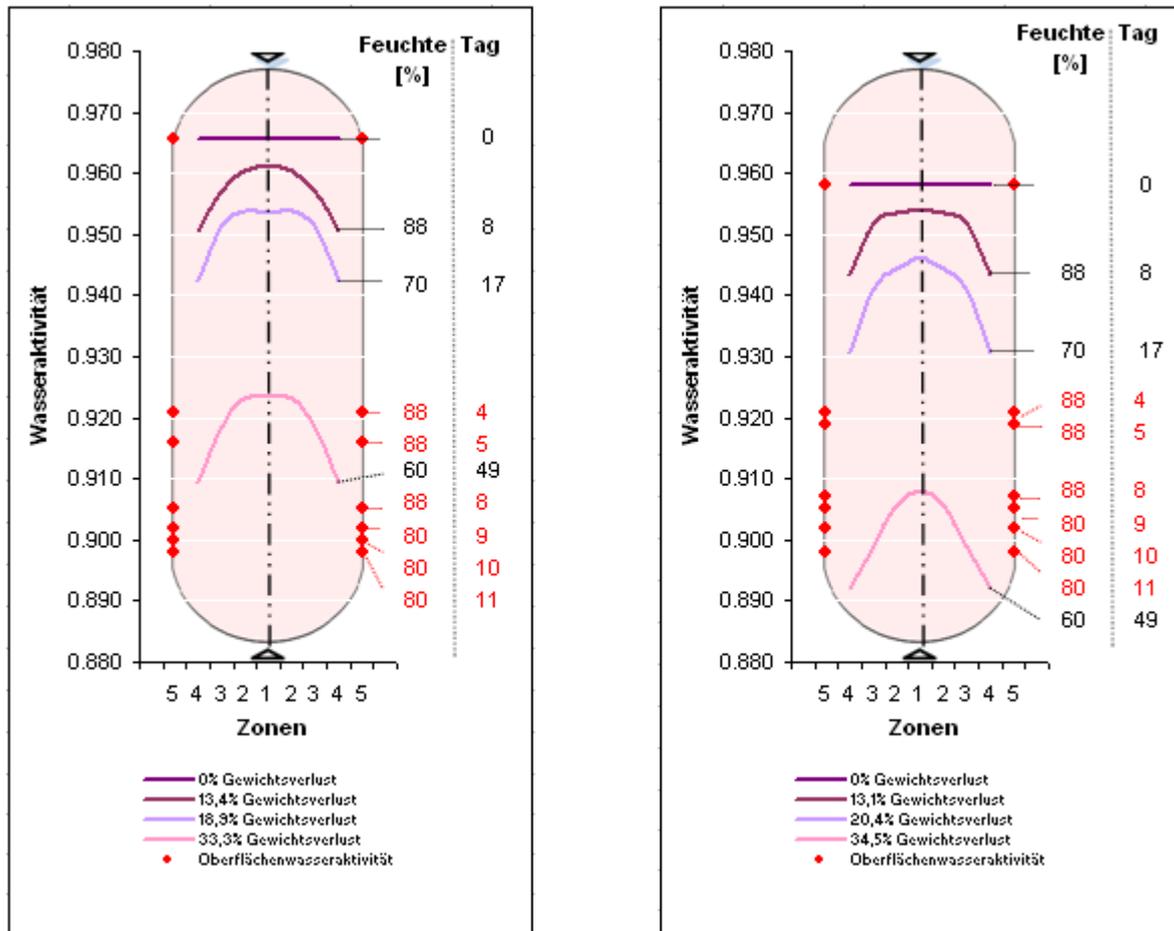


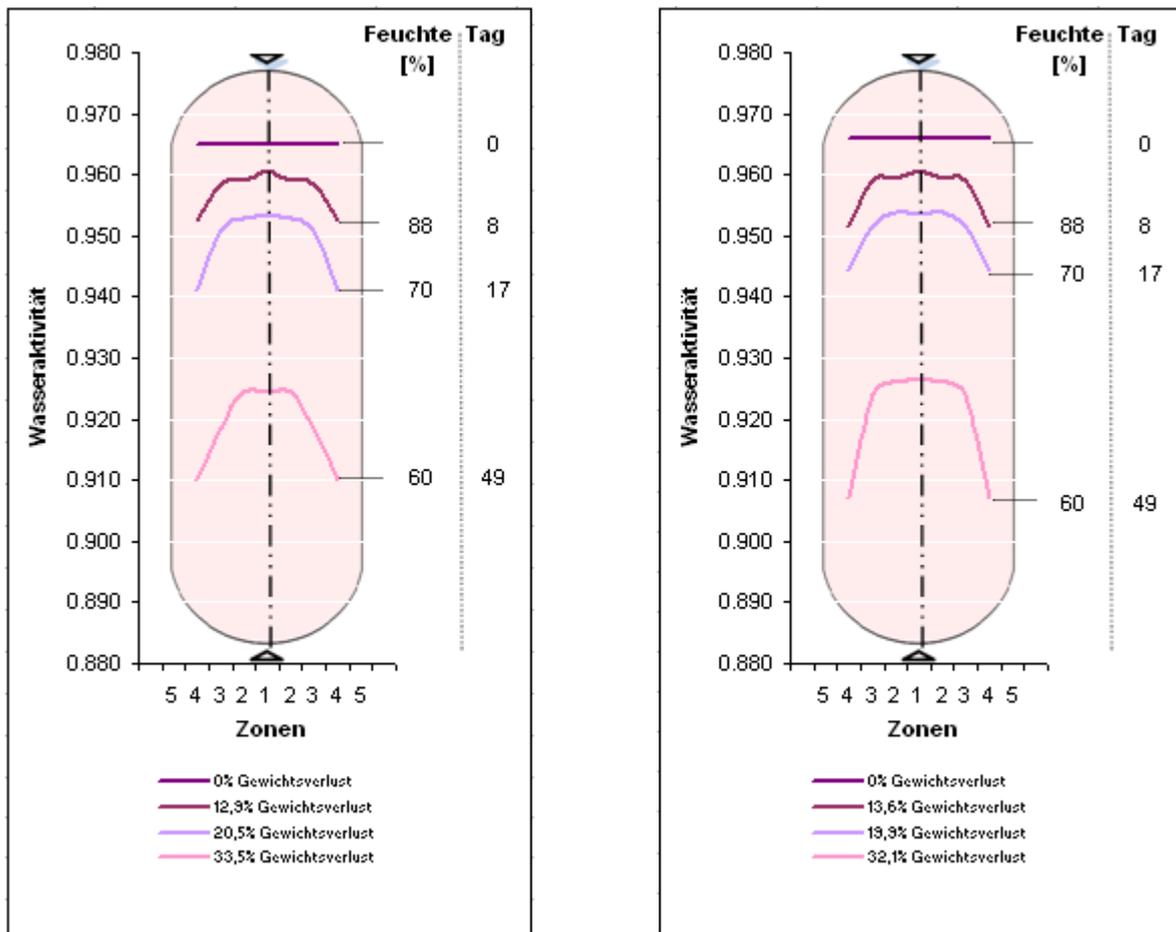
Abb. 4.10: Wasseraktivitätsprofile in Rohwurst bei verschiedenen Gewichtsverlusten und in Abhängigkeit von Feuchte und Reifungsdauer. Links; Charge 1 (2,4% NPS), rechts; Charge 2 (3,2% NPS).

Die Wasseraktivitätsverteilung in der Wurst an verschiedenen Reifungstagen für die Chargen 3 (1% Stärke + 2,4% NPS) und 4 (3% Stärke + 2,4% NPS) ist in der Abbildung 4.11 dargestellt.

Die Würste hatten am 0. Tag einen  $a_w$ -Wert von  $0.965 \pm 0.000$  bzw.  $0.966 \pm 0.001$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung). Wie bei den Chargen 1 und 2, mit sinkender Luftfeuchte und zunehmender Reifungsdauer wurden die Unterschiede zwischen Kern und Rand der Würste immer grösser und die Verteilung der Wasseraktivität in den verschiedenen Zonen nahm einen immer stärker gekrümmten parabolischen Verlauf an.

Wie in Abbildung 4.11 zu sehen ist, waren die Wasseraktivitätsverläufe der beiden Chargen sehr ähnlich und gleichen sich mit der Charge 1 (2,4%NPS). Mit 1 bzw. 3% Stärke gab es keine Erniedrigung der Wasseraktivitätsverläufe während der Reifung. Bei der Charge 4 (3% Stärke + 2,4% NPS) gab es am 49. Tag analoge Wasseraktivitätswerte in den ersten 3 Zonen, was als Ursache einen nicht so stark gekrümmten parabolischen Wasseraktivitätsverlauf als

die Charge 3 gab. Der Gewichtsverlust betrug am 49. Tag bei der Charge 3 (1% Stärke + 2,4% NPS) 33,5 und bei der Charge 4 (3% Stärke + 2,4% NPS) 32,1%.

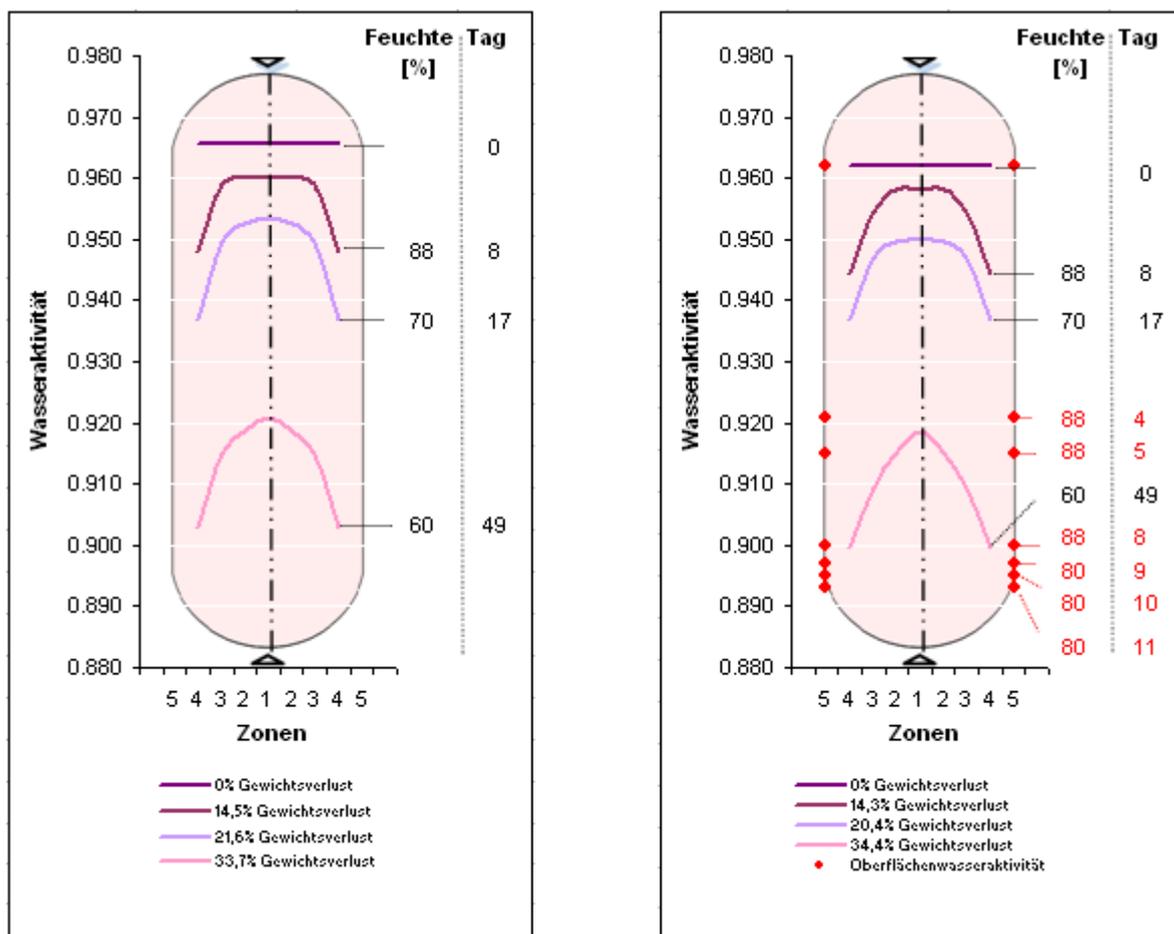


**Abb. 4.11:** Wasseraktivitätsprofile in Rohwurst bei verschiedenen Gewichtsverlusten und in Abhängigkeit von Feuchte und Reifungsdauer. Links; Charge 3 (2,4% NPS – 1% Stärke), rechts; Charge 4 (2,4% NPS – 3% Stärke)

Die Abbildung 4.12 zeigt die Wasseraktivitätsverteilung in der Wurst an verschiedenen Reifungstagen, im linken Diagramm für die Charge 5 (1% Milchpulver + 2,4% NPS) und im rechten Diagramm für die Charge 6 (3% Milchpulver + 2,4% NPS).

Bei der Charge 6 stellen die roten Punkte auf der Oberfläche der Würste die Oberflächenwasseraktivität dar, die während der Reifung mit den kontinuierlichen Verfahren über die Temperaturmessung ermittelt wurden. Interessant war die Beobachtung, dass mit zunehmender Reifungsdauer die Unterschiede zwischen der Charge 1 (2,4% NPS) und der Charge 6 (3% Milchpulver + 2,4% NPS) in der Oberflächenwasseraktivität immer größer wurden. Die Würste hatten am 0. Tag einen  $a_w$ -Wert von  $0.966 \pm 0.001$  bzw.  $0.962 \pm 0.001$

(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung), die nahezu mit der Charge 1 (2,4% NPS) identisch sind. Am 49. Tag sind die  $a_w$ -Werte im Kern der Würste der Chargen 5 und 6 ( $0.919 \pm 0.001$ ) bzw.  $0.915 \pm 0.001$ ) jedoch deutlich niedriger als der bei der Charge 1 ( $0.923 \pm 0.000$ ), die auch mit der gleichen NPS-Konzentration von 2,4% produziert wurde. Die parabolische Kurve bei der Charge 6 ist am 49. Tag nicht so stark gekrümmt wie die der Charge 5. Der Gewichtsverlust betrug am 49. Tag bei der Charge 5 (1% Milchpulver + 2,4% NPS) 33,7 und bei der Charge 6 (3% Milchpulver + 2,4% NPS) 34,4 %.



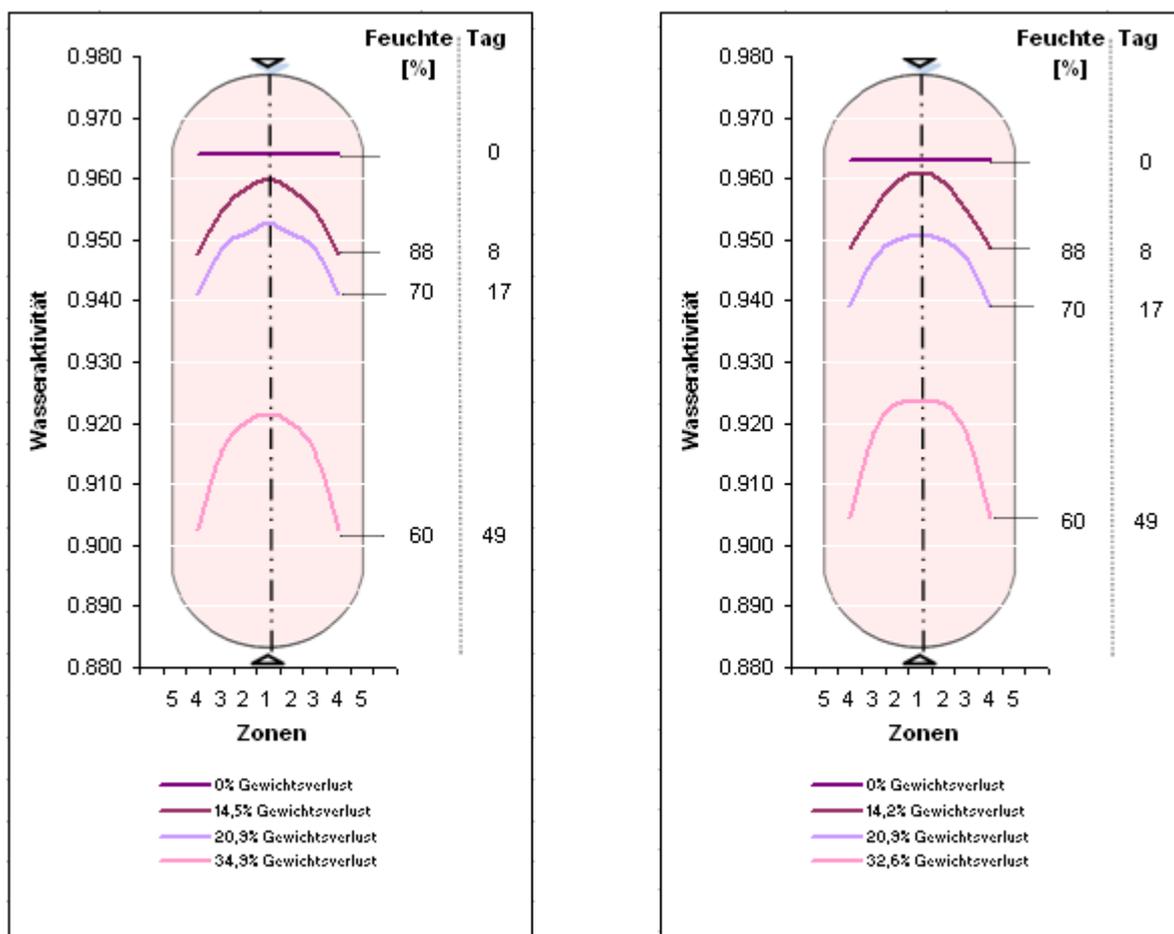
**Abb. 4.12:** Wasseraktivitätsprofile in Rohwurst bei verschiedenen Gewichtsverlusten und in Abhängigkeit von Feuchte und Reifungsdauer. Links; Charge 5 (2,4% NPS – 1% **Milchpulver**), rechts; Charge 6 (2,4% NPS – 3% **Milchpulver**)

Die Wasseraktivitätsverteilung in der Wurst an verschiedenen Reifungstagen für die Chargen 7 (1% Milcheiweiß+ 2,4% NPS) und 8 (3% Milcheiweiß+ 2,4% NPS) ist in der Abbildung 4.13 dargestellt.

Die Würste hatten am 0. Tag einen  $a_w$ -Wert von  $0.964 \pm 0.001$  bzw.  $0.963 \pm 0.001$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung). Auch bei diesen Chargen wurden die Unterschiede, mit sinkender Luftfeuchte und zunehmender Reifungsdauer, zwischen Kern und Rand der Würste immer grösser und die Verteilung der Wasseraktivität in den verschiedenen Zonen nahm einen immer stärker gekrümmten parabolischen Verlauf an.

Am 49. Tag sind die  $a_w$ -Werte im Kern der Würste der Chargen 7 und 8 ( $0.920 \pm 0.000$  bzw.  $0.923 \pm 0.000$ ) nahezu identisch mit Charge 1 ( $0.923 \pm 0.000$ ).

Der Gewichtsverlust betrug am 49. Tag bei der Charge 7 (1% Milcheiweiß + 2,4% NPS) 34,9 und bei der Charge 8 (3% Milcheiweiß + 2,4% NPS) 32,6 %.

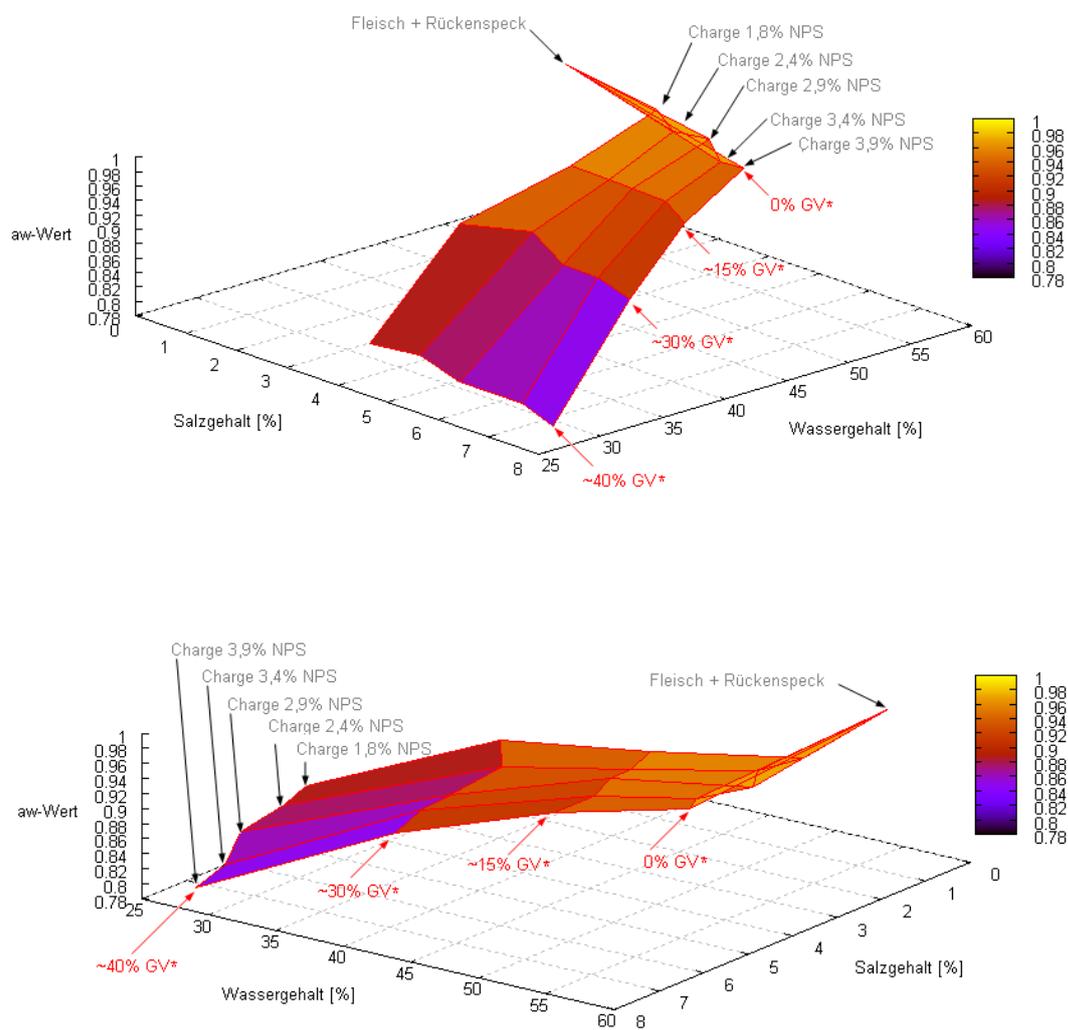


**Abb. 4.13:** Wasseraktivitätsprofile in Rohwurst bei verschiedenen Gewichtsverlusten und in Abhängigkeit von Feuchte und Reifungsdauer. Links; Charge 7 (2,4% NPS – 1% Milcheiweiß), rechts; Charge 8 (2,4% NPS – 3% Milcheiweiß)

### 4.3 Entwicklung eines Berechnungsmodells

#### 4.3.1 Multiple quadratische Regression

Um eine Vermutung über eine mögliche Funktion zu erschaffen wurde unter Verwendung des Programms Gnuplot ein 3D-Diagramm der gemessenen Werte Wasseraktivität (Mittelwerte), Wassergehalt (Mittelwerte) und Salzgehalt (Mittelwerte Kochsalzgehalt + Korrektur) dargestellt (Abb. 4.14).



\*GV = Gewichtsverlust

**Abb. 4.14:** 3D-Diagramme des analytischen gemessenen Werten; Wasseraktivität (Mittelwerte), Wassergehalt (Mittelwerte) und Salzgehalt (Mittelwerte Kochsalzgehalt + Korrektur). Beide Diagramme stellen ein einziges Diagramm in zwei Ansichten dar.

Aus dem 3D-Diagramm (Abb. 4.14) wurde vermutet, dass es eine multiple quadratische Funktion darstellt. Folgende Funktion wurde aufgestellt:

$$a_w(W,S) = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2 + a_3 \cdot S + a_4 \cdot S^2 + a_5 \cdot W \cdot S \quad (4.1)$$

W = Wassergehalt in Prozent  
S = Gesamtsalzgehalt in Prozent

Der Wassergehalt (W) und der Gesamtsalzgehalt (S) werden nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$S [\%] = \frac{100}{(100 - GV [\%])} \cdot (NPS [\%] + 0,8) \quad (4.2)$$

$$W [\%] = \frac{100}{(100 - GV [\%])} \cdot \left( \left( \frac{(100 - NPS [\%]) \cdot W_0 [\%]}{100} \right) - GV [\%] \right) \quad (4.3)$$

S = Gesamtsalzgehalt in Prozent  
GV = Gewichtsverlust in Prozent  
NPS = Nitritpökelsalz oder/und Kochsalz in Prozent  
W = Wassergehalt in Prozent  
W<sub>0</sub> = Anfangswassergehalt des Grundbrätes, Fleisch + Speck in Prozent (berechnet nach Anhang 8.6)

Die Koeffizienten der Funktion 4.1 wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Die folgenden 6 Gleichungen wurden erhalten:

$$S = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} (\hat{A}_{wi} - A_{wi})^2$$

$$\begin{array}{l}
 a_0 \cdot N \quad + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i \quad + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 \quad + a_3 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i \quad + a_4 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^2 \quad + a_5 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i \quad = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i \quad + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 \quad + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^3 \quad + a_3 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i \cdot W_i \quad + a_4 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^2 \cdot W_i \quad + a_5 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 \cdot S_i \quad = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot W_i \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 \quad + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^3 \quad + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^4 \quad + a_3 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i \cdot W_i^2 \quad + a_4 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^2 \cdot W_i^2 \quad + a_5 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^3 \cdot S_i \quad = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot W_i^2 \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i \quad + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i \quad + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 S_i \quad + a_3 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^2 \quad + a_4 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^3 \quad + a_5 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i^2 \quad = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot S_i \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^2 \quad + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i^2 \quad + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 S_i^2 \quad + a_3 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^3 \quad + a_4 \cdot \sum_{i=1}^{20} S_i^4 \quad + a_5 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i^3 \quad = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} S_i^2 \\
 a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i \quad + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 S_i \quad + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^3 S_i \quad + a_3 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i^2 \quad + a_4 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i S_i^3 \quad + a_5 \cdot \sum_{i=1}^{20} W_i^2 S_i^2 \quad = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot W_i S_i
 \end{array}$$

Nach Ersetzen der Summen wurden folgenden Gleichungen erhalten:

$$\begin{aligned}
 a_0 \cdot 2.0E+01 + a_1 \cdot 8.4E+02 + a_2 \cdot 3.8E+04 + a_3 \cdot 9.6E+01 + a_4 \cdot 5.0E+02 + a_5 \cdot 3.9E+03 &= 1.8E+01 \\
 a_0 \cdot 8.4E+02 + a_1 \cdot 3.8E+04 + a_2 \cdot 1.8E+06 + a_3 \cdot 3.9E+03 + a_4 \cdot 1.9E+04 + a_5 \cdot 1.7E+05 &= 7.7E+02 \\
 a_0 \cdot 3.8E+04 + a_1 \cdot 1.8E+06 + a_2 \cdot 8.6E+07 + a_3 \cdot 1.7E+05 + a_4 \cdot 7.8E+05 + a_5 \cdot 7.6E+06 &= 3.5E+04 \\
 a_0 \cdot 9.6E+01 + a_1 \cdot 3.9E+03 + a_2 \cdot 1.7E+05 + a_3 \cdot 5.0E+02 + a_4 \cdot 2.7E+03 + a_5 \cdot 1.9E+04 &= 8.6E+01 \\
 a_0 \cdot 5.0E+02 + a_1 \cdot 1.9E+04 + a_2 \cdot 7.8E+05 + a_3 \cdot 2.7E+03 + a_4 \cdot 1.6E+04 + a_5 \cdot 1.0E+05 &= 4.4E+02 \\
 a_0 \cdot 3.9E+03 + a_1 \cdot 1.7E+05 + a_2 \cdot 7.6E+06 + a_3 \cdot 1.9E+04 + a_4 \cdot 1.0E+05 + a_5 \cdot 7.8E+05 &= 3.5E+03
 \end{aligned}$$

Durch Rechnung von inverse Matrizen wurden die 6 Koeffizienten ( $a_0$  bis  $a_5$ ) bestimmt und in Gleichung 4.1 eingetragen. Die erhaltene quadratische Regressionsfunktion mit entsprechendem Bestimmtheitsmaß ist die folgende:

$$\mathbf{a}_w = 0.654587787 + 0.01241031 \cdot \mathbf{W} - 0.00012046 \cdot \mathbf{W}^2 - 0.005438184 \cdot \mathbf{S} - 0.001606704 \cdot \mathbf{S}^2 + 0.000128446 \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{S} \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0.8604$$

### 4.3.2 Multiple exponentielle Regression

Weil viele Berechnungsmodelle für die Wasseraktivität von Lebensmitteln auf exponentiellen Funktionen beruhen (SERENO et al. 2000), sind Wasseraktivität in Bezug auf Salzgehalt und Wassergehalt in 2D-Diagrammen dargestellt worden (Abb. 4.15).

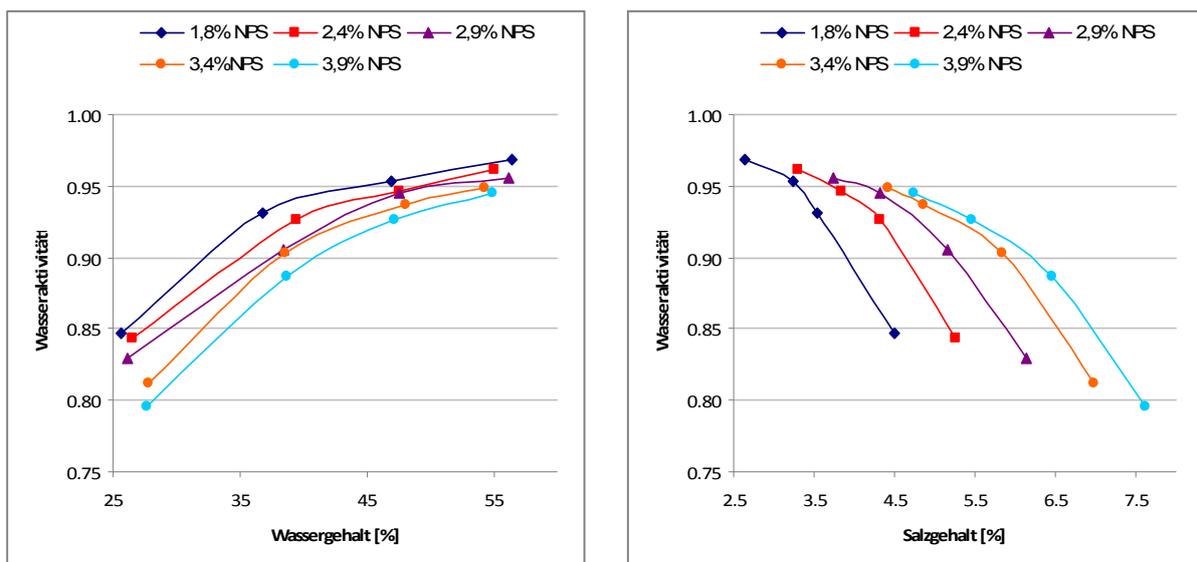


Abb. 4.15: Links; gemessene Wasseraktivitätswerte in Bezug zum ermittelten Wassergehalt der fünf geprüften Chargen. Rechts; gemessene Wasseraktivitätswerte in Bezug zum ermittelten Salzgehalt der fünf getesteten Chargen.

Aus dem linken Diagramm der Abb. 4.15 wurde dank einer persönlichen Mitteilung von Prof. Dr. André Ahuja (Fachhochschule Ostwestfalen-Lippe, in Lemgo) folgende Gleichung ermittelt:

$$A_w = 1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)} \quad (4.5)$$

Aus dem rechten Diagramm der Abb. 4.15 wurde folgende Gleichung ermittelt:

$$A_w = 1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)} \quad (4.6)$$

Aus den beiden Gleichungen wurde die folgende exponentielle Funktion ermittelt:

$$a_w = a_0 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) + a_1 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) + a_2 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) \quad (4.7)$$

W = Wassergehalt in Prozent  
S = Gesamtsalzgehalt in Prozent

Wassergehalt und Gesamtsalzgehalt werden nach Gleichungen 4.2 bzw. 4.3 berechnet. Die Koeffizienten der Funktion 4.7 wurden nach der Methode der kleinsten Quadraten bestimmt. Die folgenden 3 Gleichungen wurden erhalten:

$$S = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} (\hat{A}_{wi} - A_{wi})^2$$

$$\begin{aligned}
& a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right)^2 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) = \\
& \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) \\
& a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right)^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) = \\
& \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) \\
& a_0 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) + a_2 \cdot \sum_{i=1}^{20} \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right)^2 \\
& \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right)^2 = \sum_{i=1}^{20} A_{wi} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right)
\end{aligned}$$

Nach Ersetzen der Summen wurden folgenden Gleichungen erhalten:

$$\begin{aligned}
a_0 \cdot 6.4E+01 + a_1 \cdot 4.2E+01 - a_2 \cdot 7.6E+01 &= -3.3E+01 \\
a_0 \cdot 4.2E+01 + a_1 \cdot 2.8E+01 - a_2 \cdot 5.0E+01 &= -2.1E+01 \\
a_0 \cdot (-7.6E+01) - a_1 \cdot 5.0E+01 + a_2 \cdot 9.1E+01 &= 3.8E+01
\end{aligned}$$

Durch Rechnung von inverse Matrizen wurden die 3 Koeffizienten ( $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$ ) bestimmt und in Gleichung 4.7 eingetragen. Die exponentielle Regressionsfunktion mit entsprechenden Bestimmtheitsmaß ist die folgende:

$$a_w = -0.59986186 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) - 3.39171097 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) - 1.97077662 \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{1}{W-1} + 1\right)}\right) \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-1}{S} + 1\right)}\right) \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0.8495$$

### 4.3.3 Vergleichstest zwischen theoretischen und bestimmten $a_w$ -Werte

Die Vergleichstests gehören zu den statistischen Entscheidungen. Bei dieser Arbeit wurde als statistischer Vergleichstest ein t-Test durchgeführt

## 4.3.3.1 t-Test

*Hypothese 1:* Die erhaltenen theoretischen  $a_w$ -Werten ( $A_{w_t}$ ) bei der quadratische und exponentielle Regressionsfunktion sind mit den bestimmten  $a_w$ -Werte ( $A_{w_b}$ ) gleich.

$$\bar{X} A_{w_t} = \bar{X} A_{w_b}$$

$$t_c = \frac{\bar{X} A_{w_t} - \bar{X} A_{w_b}}{\sqrt{(N_t - 1) \cdot SA_{w_t}^2 + (N_b - 1) \cdot SA_{w_b}^2}} \cdot \sqrt{\frac{N_t \cdot N_b}{N_t + N_b} (N_t + N_b - 2)}$$

$N_t$	= Anzahl theoretischen $a_w$ -Werte
$N_b$	= Anzahl bestimmte $a_w$ -Werte
$\bar{X} A_{w_t}$	= Mittelwerte theoretische $a_w$ -Werte
$\bar{X} A_{w_b}$	= Mittelwerte bestimmte $a_w$ -Werte
$SA_{w_t}$	= Standardabweichung theoretische $a_w$ -Werte
$SA_{w_b}$	= Standardabweichung bestimmte $a_w$ -Werte

Quadratische Regressionsfunktion (QR)  $t_c = -0,05$

Exponentielle Regressionsfunktion (QE)  $t_c = -0,10$

$$\alpha = 0.001$$

$$dl = N-1 = 19 \rightarrow t_\alpha = 3,291^*$$

QR 0,05 =  $|t_c| < t_\alpha = 3,291^*$   $\rightarrow$  *Hypothese 1: bestätigt!*

QE 0,10 =  $|t_c| < t_\alpha = 3,291^*$   $\rightarrow$  *Hypothese 1: bestätigt!*

\* Wert aus der Student-Verteilungstabelle in Funktion der Freiheitsgrades (FISHER und YATES, 1963)

Es gibt **keinen** Unterschied zwischen beiden erhaltenen theoretischen  $a_w$ -Werten und den bestimmten  $a_w$ -Werten bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0.1% ( $\alpha=0,001$ ).

Bei der exponentiellen Regressionsfunktion ist der erhaltene t-Wert ( $t_c$ ) doppelt so gross (0,10) als bei der quadratischen Regressionsfunktion (0,05).

**Tab. 4.1:** Gemessene Wasseraktivitätswerte und die gerechneten Wasseraktivitätswerte mit den zwei erhaltenen Regressionsfunktionen.

gemessene Wasseraktivität		gerechnete Wasseraktivität	
Analysenwerte	Standards- abweichung	quadratische Regressionsfunktion (Formel 4.4)	exponentielle Regressionsfunktion (Formel 4.8)
<b>0.968</b>	0.001	0.966	0.981
<b>0.961</b>	0.001	0.961	0.968
<b>0.956</b>	0.001	0.957	0.960
<b>0.949</b>	0.000	0.951	0.953
<b>0.945</b>	0.000	0.945	0.947
<b>0.953</b>	0.001	0.959	0.959
<b>0.946</b>	0.001	0.953	0.947
<b>0.945</b>	0.002	0.947	0.940
<b>0.937</b>	0.001	0.941	0.936
<b>0.926</b>	0.001	0.928	0.926
<b>0.931</b>	0.001	0.928	0.924
<b>0.926</b>	0.001	0.925	0.917
<b>0.905</b>	0.006	0.910	0.903
<b>0.903</b>	0.001	0.894	0.892
<b>0.887</b>	0.001	0.893	0.896
<b>0.847</b>	0.001	0.838	0.827
<b>0.844</b>	0.003	0.834	0.824
<b>0.829</b>	0.000	0.829	0.825
<b>0.812</b>	0.003	0.808	0.812
<b>0.796</b>	0.001	0.779	0.795

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Allgemeines

Zur Messung der Wasseraktivität stehen eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, von denen allerdings nur die Wenigsten in der Praxis Anwendungen finden. Seit der Einführung der  $a_w$ -Wert Messung wurde auch gleichzeitig nach Methoden zur Berechnung der Wasseraktivität aus Analysendaten und Rezepturfaktoren gesucht (LANDVOGT, 1993). Angesichts der zeitintensiven Messmethoden und der hohen Preise der Messgeräte, erscheint diese Vorgehensweise als unbedingt notwendig.

Trotz zahlreicher wissenschaftlichen Arbeiten, in denen die Wasseraktivität aus Analysendaten für Lebensmittelgruppen untersucht wurde (LOMAURO et al., 1985; MITTAL und USBORNE, 1985; IGBEKA und BLAISDELL, 1982; MIN, 1987; SPIESS und WOLF, 1983; MOTARJEMI, 1988; MIRNA, 1987) ist die Berechnung der Wasseraktivität für Fleischerzeugnissen immer noch unbefriedigend.

KRISPIEN, RÖDEL und LEISTNER (1979) stellten einen Vorschlag zur Berechnung der Wasseraktivität von Fleischerzeugnissen aus den Gehalten von Wasser und Kochsalz vor. Laut den Autoren kann, über eine empirisch ermittelte Polynomgleichung, durch eine Gewichtsverlustmessung während der Trocknung auf den aktuellen  $a_w$ -Wert geschlossen werden. Die Genauigkeit der Errechnung der Wasseraktivität über die Polynomgleichung hängt ab von der Genauigkeit der Gleichung und der Analyse der Anfangsgehalte an Wasser und Kochsalz.

Ziel dieser Arbeit war es zum einen, diese von KRISPIEN et al. (1979) ermittelte Polynomgleichung zu testen, indem der Einfluss von Wasser- und Salzgehalt sowie der Einfluss von Zusatzstoffen und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert untersucht wurde. Andererseits wurde die Wasseraktivitätsverteilung innerhalb einer Rohwurst bei unterschiedlichen Trocknungsraten und Zusätzen ermittelt. Prinzipiell sollte eine neue Formel entwickelt werden, die zu einem weiteren Fortschritt in Richtung eines optimalen Berechnungsmodells beitragen soll.

## 5.2 Hauptversuch

### 5.2.1 Einfluss von Wasser- und Salzgehalt

Die Untersuchungen über den Einfluss von Wasser- und Salzgehalt haben gezeigt, dass bei verschiedenen NPS-Konzentrationen nicht nur ein einzigen Wasseraktivitätsverlauf erhalten wird, sondern dass es für bestimmte NPS-Konzentrationen mehrere Wasseraktivitätsverläufe gibt.

Durch Rückrechnung der gemessenen Wasseraktivität auf die Solekonzentration ergibt sich, dass die über die Rezeptur eingesetzte Menge an Kochsalz zu niedrig ist, um die von KRISPIEN et al. (1979) angegebene  $a_w$ -Werte zu erreichen. Diese Fehlerbetrachtung wurde von mehreren Arbeiten beobachtet (RÖDEL et al. 1980; STIEBING et al., 1987, 1985; LANDVOGT, 1993). Dies liegt an den bereits im Fleisch selbst vorhandenen gelösten Stoffen aller Art, die ebenfalls die Wasseraktivität verringern. Zur Korrektur wurde von verschiedenen Autoren ein Korrekturfaktor vorgeschlagen, der diese gelösten Stoffe erfasst (MIRNA, 1970; KRISPIEN, 1979; DEMEYER, 1979; JAEGER et al., 1984). Mehrere Autoren schlagen für diese Korrektur einen Betrag von 0,1...0,2% Kochsalz-Äquivalenten vor.

Obwohl der bestimmte Kochsalzgehalt im Grundbrät (Fleisch und Rückenspeck) tatsächlich einen Wert von 0,14% ergibt (siehe Anhang 8.3.1), zeigen die Ergebnisse, dass unter Rückrechnung des Salzgehaltes mit der Gleichung von ungesättigten NaCl-Lösungen von ROBINSON und STOKES (1959) und mit dem bestimmten  $a_w$ -Wert des Grundbrätes, ein höherer Korrekturfaktor von 0,8% nötig ist.

Dies liegt an den im Fleisch vorhandenen Mineralstoffen. Sie kommen im Fleisch als Ionen frei (in Lösung) oder in undissoziierter Form vor. Die wichtigsten Mineralstoffe im Fleisch, die in einem Gehalt von 0,8-1% vorkommen, sind Kalium, Natrium, Calcium, Phosphor, Magnesium, Eisen, Chlor, Kupfer, Schwefel, Mangan, Molybdän, Kobalt, Zink, Jod, Silicium, Selen, und Fluor. In der ausgeführten Reihenfolge sind die Mineralstoffe ab Kupfer nur noch als Spurenelemente vorhanden. Fleisch ist durch einen relativ hohen Gehalt an Kalium, Phosphor und Chlor gekennzeichnet (SIELAFF, 1996a).

Trotz der Korrektur ist die getestete polynomiale Gleichung nur bis auf eine Solekonzentration von ungefähr 6-7 % gültig. Ab dieser Solekonzentration bekommt man bei unterschiedlichen NPS-Konzentrationen ähnliche Verläufe, die aber immer einen gewissen Abstand haben.

Eine Solekonzentration von 6-7 % entspricht gemäss den Ergebnissen dieser Arbeit einem Salzgehalt von 4-5 %. Laut SIELAFF (1996b) soll die Denaturierung der Muskeleiweiße bei Kochsalzkonzentrationen mit einer Ionenstärke von  $\geq 1$  (5-6 % NaCl) einsetzen. Bei Untersuchungen von HERMANSSON und ÄKESSON (1975) konnte festgestellt werden, dass bei Schweinefleisch eine Denaturierung der Muskeleiweiße bei einer Kochsalzkonzentration von 4% und bei Rindfleisch von 5% anfängt. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde ausschließlich Schweinefleisch verwendet.

Es treten Denaturationen an den sarkoplasmatischen und myofibrillären Proteinen auf. Neben den Strukturänderungen, die durch den Zerkleinerungsprozess eintreten, verursacht die Kochsalzzugabe Myofibrillenquellung und Proteinlösung.

Durch Enzymwirkungen kommt es zum Abbau von Peptidketten. Dabei wirken sowohl muskeleigene als auch mikrobielle Proteasen, und es entstehen niedermolekulare Proteine, Peptide und freie Aminosäuren. Es werden überwiegend Cytoplasmaeiweiße abgebaut. Polypeptidstickstoff nimmt besonders vom 5. bis 7. Tag zu. Der Gehalt an freien Aminosäuren nimmt in den ersten Wochen zu und dann wieder ab (SIELAFF, 1996b).

OFFER und TRINICK (1982) und HAMM (1960) konnten bei einer Variierung der Kochsalzzugabe eine Änderung der Myofibrillenquellung beobachten. Laut CASSENS et al. (1963) verursacht die Denaturierung der Myosin des Myofibrils eine Veränderung der Wasserstoffbrücken, eine Schrumpfung der Struktur und als Ursache Verlust von Wasser. Die Denaturierung der Fleischeiweiße, die der Grund der Abstände zwischen den verschiedenen Wasseraktivitätsverläufe ist, wird durch die Milchsäurebildung beeinflusst. Der genaue Grund der Abstände zwischen den fünf geprüften Chargen (Abb. 4.2) sowie die Beeinflussung durch die Milchsäure werden in Kapitel 5.2.2 erklärt.

Wie in Abbildung 4.4 zu erkennen ist, war der pH-Wertverlauf bei den fünf getesteten Chargen unterschiedlich. Mit unterschiedlichen Zugaben von NPS änderte sich am Tag der Herstellung der  $a_w$ -Wert, was eine Änderung des Verlaufes der Säuerungskurve verursachte. Dabei lassen sich drei Effekte unterscheiden. Mit fallendem  $a_w$ -Wert, d.h. mit eine Erhöhung

der NPS-Konzentration, verlängert sich die lag-Phase, die Säuerungsleistung nimmt ab und der erreichte End-pH-Wert erhöht sich. Die sehr schnelle Säuerung bei der Charge 1 (1,8% NPS) ist nicht nur durch den hohen  $a_w$ -Wert, sondern wahrscheinlich auch durch eine geringere Hemmwirkung von Nitrit bedingt. Diese Zusammenhänge sind allgemein bekannt (LANDVOGT und FISCHER, 1990).

### **5.2.2 Einfluss von Milchsäure**

DEMEYER et al. (1978) konnten feststellen, dass die durch Titration ermittelte Menge an gebildeter Milchsäure allein praktisch nicht mit dem Ausmaß der pH-Absenkung in der Rohwurst korrelierbar ist. Aus diesem Grund ist die eingesetzte Menge an Milchsäure, die in diesen Versuch angewendet wurde um den pH-Wert abzusenken, zu hoch.

Nach SIELAFF (1996b) wird die Denaturierung der Muskeleiweiße durch die Milchsäurebildung beeinflusst. Je mehr und schneller Milchsäure gebildet wird desto schneller wird die Denaturierung der Muskeleiweiße.

Obwohl die Ergebnissen dieser Arbeit gezeigt haben, dass die Milchsäure keinen direkten Einfluss auf die  $a_w$ -Absenkung hat (Abb. 4.5), ist die Milchsäurebildung die Erklärung der Abstände zwischen den fünf geprüften Chargen (Abb. 4.2).

Wie schon im vorherigen Kapitel (5.2.1) erklärt wurde, mit einer Erhöhung der Kochsalzkonzentration verlängert sich die lag-Phase, die Säuerungsleistung nimmt ab und der erreichte End-pH-Wert erhöht sich. D.h., dass mit einer Erhöhung der NPS-Konzentration die Milchsäurebildung später anfängt und die während der Säuerung produzierte Menge an Milchsäure geringer ist, als bei niedrigeren NPS-Konzentrationen. Als Ursache verläuft die Denaturierung der Muskeleiweiße während der Reifung bei tieferen NPS-Konzentrationen schneller, da mehr und schneller Milchsäure gebildet wird. Bei einer bestimmten Solekonzentration und bei einer niedrigen NPS-Konzentration ist der Verlust von Wasser aus der Denaturierung der Muskeleiweiße höher, was zu einer Erhöhung des osmotischen Druckes, und über die Erniedrigung des Wasserdampfpartialdruckes, zu einer schnelleren Absenkung der Wasseraktivität führt als bei höheren NPS-Konzentrationen.

### 5.2.3 Einfluss von Zusatzstoffen

Die Untersuchungen über den Einfluss von Zusatzstoffen haben gezeigt, dass die eingesetzte Menge an Zusatzstoffen keinen Einfluss auf den Wasseraktivitätsverlauf hat.

Wie schon im vorherigen Versuch, wurde auch in diesem Versuch festgestellt, dass ein Korrekturfaktor von 0,8% auf die Kochsalzbestimmung nötig ist, um eine korrekte Solekonzentration zu erreichen.

In Abbildung 4.7 haben die korrigierten Wasseraktivitätsverläufe der 8 getesteten Chargen bei niedrigeren  $a_w$ -Werten geringe Abstände. Das ist auf die nicht überall gleiche NPS Verteilung während der Erstellung der Chargen zurückzuführen. Wie schon im Kapitel 5.2.2 erklärt wurde, bei einer nicht gleichen NPS-Konzentration wird die Menge der Milchsäurebildung unterschiedlich, was als Folge eine schnellere oder langsame Muskeleiweißdenaturierung verursacht, die einen Einfluss auf der Wasseraktivitätsverlauf hat.

Durch die Zugabe von Proteinen wird im allgemeinen die Wasserbindung des Rohwurstbrätes verbessert und die Gelbildung (Festigkeit) durch den höheren Anteil an gelöstem und gequollenem Eiweiß erhöht. Nachteilig ist jedoch, dass als Folge einer verbesserten Wasserbindung unter Umständen die Trocknungseigenschaften verschlechtert werden. Die Gefahr der Trockenrandbildung nimmt zu, da der Wassertransport aus dem Kernbereich in die Randzone verlangsamt wird.

Proteine, wie auch andere "Trockenprodukte", werden sehr oft zur Senkung der Ausgangswasseraktivität des Rohwurstbrätes empfohlen (TOLDRÁ, 2002). Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die eingesetzten Arten und Mengen an Proteinen (Charge 4 bis 6) keinen Einfluss auf die Ausgangswasseraktivität des Rohwurstbrätes sowie auf die Trockeneigenschaften haben.

STIEBING (1998) konnte feststellen, dass beim direkten Austausch (1:1) mit Magerfleisch nur eine sehr geringe Beeinflussung des Ausgangs- $a_w$ -Wertes gegeben ist, da hierdurch der Wasseranteil der Rezeptur und damit die Solekonzentration nur geringfügig geändert wird. BRENDL und KLEIN (1972) erkannten, dass der Zusatz von 1% Milchpulver (Trockenmilch) keine wesentlichen Veränderungen des Wasserbindungsvermögens des Fleischbrätes, weder in An- noch in Abwesenheit von Natriumchlorid bewirkt.

Laut STIEBING (1998) ist die Absenkung deutlicher, wenn entsprechend der zugefügten Eiweißmenge ein adäquater Magerfleischanteil ausgetauscht wird (z.B. 4 Teile Magerfleisch gegen 1 Teil Eiweiß) und der verbleibende Rest nicht durch Wasser wieder ausgeglichen wird. Durch den so vollzogenen Austausch von Magerfleisch kommt es zu einer merklichen Absenkung des Wassergehaltes und bei korrigierter Salzzugabe (gleiche Zugabemenge wie bei Kontrollcharge) zu einer deutlichen Verminderung der Wasseraktivität. Der Autor beobachtet, dass der  $a_w$ -Wert des Brätes zu Anfang nicht zu stark gesenkt wird, da auch das Wachstum der erwünschten Fermentationsflora (z.B. Starterkulturen) bei zu starker Erniedrigung des  $a_w$ -Wertes beeinträchtigt wird. Bei Rohwürsten wird die mögliche Trocknungsgeschwindigkeit vor allem von Darmart, Oberflächenbeschaffenheit, Luftgeschwindigkeit, Temperatur, Feuchtedifferenz (relative Luftfeuchtigkeit, Wasseraktivität) und der Wasserdiffusion in der Wurst (Zerkleinerungsgrad, Fettstruktur, pH-Wert) beeinflusst. Sinkt der Ausgangs- $a_w$ -Wert durch den Austausch von Magerfleisch, erniedrigt sich entsprechend auch die Trocknungsgeschwindigkeit während der Reifung, sofern gleiche Klimabedingungen angewendet werden, da die Differenz zwischen rel. Luftfeuchte und Wasseraktivität der Würste kleiner wird. Andererseits verkürzt sich aber auch die notwendige Trocknungszeit bzw. verringert sich der erforderliche Gewichtsverlust zur Erzielung eines gewünschten End- $a_w$ -Wertes.

Über den Einfluss von Stärke wurden keine wissenschaftlichen Arbeiten gefunden. Aus den Ergebnisse dieser Arbeit ist festzustellen, dass wie bei Milchpulver und Milcheiweiß, bei eine Stärkepulverzugabe von gleich oder kleiner als 3% kein Einfluss auf den Wasseraktivitätsverlauf von Rohwurst zu beobachten ist.

### ***5.3 Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst***

Während  $a_w$ -Werte normalerweise an repräsentativen Querschnitten einer Probe gemessen und auch angegeben werden, kann durch Messung in verschiedenen Zonen eines Produktes ein Gradient in der Wasseraktivität angezeigt werden. Wie verschiedene Autoren bereits zeigten, kommt es im Verlauf der Trocknung zur Ausbildung eines Gradienten im Wasser- und Salzgehalt zwischen dem Wurstinernen und dem Rand und somit auch im  $a_w$ -Wert (RÖDEL und HOFFMANN, 1982; STIEBING und RÖDEL, 1987,1989).

Deshalb war es von Interesse, den durch unterschiedliche Trocknungsraten bei verschiedenen NPS-Konzentrationen und Zusatzstoffen verursachten Gradienten im  $a_w$ -Wert zu messen und als Profile über verschiedenen Zonen aufzutragen.

Alle erhaltene Profile zeigen parabolischen Wasseraktivitätsverläufe. Ähnliche parabolische Verläufe wurden von STIEBING und RÖDEL (1992) gefunden. Diese parabolische Wasseraktivitätsverläufe sind bei der Verdunstungs-Trocknung von hygroskopischen Lebensmitteln charakteristisch und entsprechend bei vielen stückigen Produkten zu beachten (STIEBING und RÖDEL, 1992).

Die grössten Unterschiede in der Wasseraktivität der Chargen findet man in den Rand- und Oberflächenzonen, die geringsten Unterschiede im Kern der Würste.

BRENDL und KLEIN (1972) stellten fest, dass aufgeschlossenes Milcheiweiß verschiedener Herkunft unter gleichen Bedingungen eine sehr geringe Veränderung des Wasserbindungsvermögens des Fleischbrätes als Trockenmilchpulver, weder in An- noch in Abwesenheit von Natriumchlorid, beeinflusst.

In Trockenmilch stellt den Hauptteil nicht Eiweiß, sondern Lactose dar, die in der um etwa eine Hälfte grössere Menge vorhanden ist. BRENDL und KLEIN (1972) konnten zeigen, dass die Erhöhung des Wasserbindungsvermögen mit der Erhöhung des Gehaltes an Lactose parallel läuft. Diese Feststellung, die bei den Versuch über den Einfluss von Zusatzstoffen nicht zu beachten war, erklärt die leicht niedrigeren Wasseraktivitätswerte bei den Chargen 5 und 6 (1% - 3% Milchpulver; Abb. 4.12), als bei den Chargen 7 und 8 (1% - 3% Milcheiweiß; Abb. 4.13)

#### ***5.4 Entwicklung eines Berechnungsmodells***

Während dieser Arbeit wurde gezeigt, dass es anhand der bestimmten Analysenwerte möglich ist, zwei Regressionsfunktionen, die auf die multiple nicht-lineare Regression beruhen, zu entwickeln.

Beide erhaltenen Regressionsfunktionen (Formel 4.4 und 4.8) sind für eine theoretische Wasseraktivitätsrechnung gültig, da sie ein hohes statistisches und wissenschaftliches Bestimmtheitsmaß besitzen.

Da beide gerechneten Bestimmtheitsmaße ähnliche Werte haben, sollten nun theoretische Überlegungen über die Bevorzugung entscheiden. Um diese Aufgabe leichter zu lösen, wurde einen Vergleichstest (t-Test), der Teil einer statistischen Entscheidung ist, durchgeführt.

Wie der t-Test gezeigt hat, gibt es für beide erhaltene theoretische  $a_w$ -Werte und den bestimmten  $a_w$ -Werten bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0.1% keinen Unterschied.

Es wurde aber deutlich, dass bei der exponentiellen Regressionsfunktion der erhaltene t-Wert doppelt so gross ist als bei der quadratischen Regressionsfunktion. Als Ursache besitzt die exponentielle Regressionsfunktion eine höhere Fehlerwahrscheinlichkeit, die kleiner als 0.1% sein muss, als bei der quadratischen Regressionsfunktion. Aus diesem Grund wird die quadratische Regressionsfunktion für die Berechnung eines theoretischen  $a_w$ -Wertes bevorzugt.

### ***5.5 Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis***

Die hier entwickelte Regressionsfunktion zur theoretischen Berechnung der Wasseraktivität bei Rohwurst (Formel 4.4) wird zu einem weiteren Fortschritt in Richtung eines optimalen Berechnungsmodells beitragen.

Die Versuchsergebnisse über den Einfluss von Zusatzstoffen und die Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst werden zu einer generellen Optimierung der Rezeptur führen. Im Einzelnen ergeben sich folgende Vorteile und Anwendungsnutzen für die Praxis:

- Durch die Berechnung der Wasseraktivität mit der entwickelten Regressionsfunktion ist es möglich, wo ein Messgerät für die Bestimmung des  $a_w$ -Wertes nicht zur Verfügung steht, die Wasseraktivität rechnerisch zu bestimmen.
- Dank dieser Regressionsfunktion können die hohen Anforderungen an die Proben temperierung, aber auch die langen Messzeiten von etwa 4 Stunden bei der Ermittlung der Wasseraktivität von Rohwürsten bei den meistens gebräuchliche Messsystemen gespart werden.
- Auf der Basis der Rezeptur und dank der Analysenwerte der GEHA-Verarbeitungsmaterialstandards (Anhang 8.6) kann mit der entwickelten Regressionsfunktion eine Voraussage über die Wasseraktivität des Endproduktes rasch getroffen bzw. berechnet werden.

- Durch die umfangreiche Messdatenerfassung stehen Daten zur Verfügung, um den Berechnungsmodell zusammen mit Hilfe anderer Untersuchungen (z.B. Analysen auf mehreren NPS-Konzentrationen) gezielt zu optimieren.
- Bei der Entwicklung neuer Rohwurstrezepte kann die Regressionsfunktion eingesetzt werden, um eine theoretische Haltbarkeit und Sicherheit abzuschätzen.
- Die erhaltenen Ergebnisse über den Einfluss von Zusatzstoffen und die Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst können bei der Zugabe von Zusatzstoffen zur Beeinflussung der Beschaffenheit oder zur Erzielung bestimmter Eigenschaften oder Wirkungen bei der Rohwurstherstellung zu einer optimalen Einsetzung genutzt werden.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Wasseraktivität bestimmt entscheidend die Haltbarkeitsdauer eines Lebensmittels. Ziel dieser Arbeit war es zum einen, die von KRISPIEN et al. (1979) ermittelte Polynomgleichung zur Abschätzung der Wasseraktivität bei Fleischerzeugnissen zu testen, indem der Einfluss von Wasser- und Salzgehalt sowie den Einfluss von Zusatzstoffen und deren Beziehung zum  $a_w$ -Wert untersucht wurden. Andererseits wurde die Wasseraktivitätsverteilung innerhalb einer Rohwurst bei unterschiedlichen Trocknungsraten und Zusätze ermittelt. Prinzipiell sollte eine neue Formel entwickelt werden, die zu einem weiteren Fortschritt in Richtung eines optimalen Berechnungsmodells beitragen soll. Die Versuchsergebnisse über den Einfluss von Zusatzstoffen (Stärke, Milchpulver und Milcheiweiß) haben bei den eingesetzten Mengen (1 und 3%) keinen Einfluss auf die Wasseraktivität gezeigt. Bei der Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst zeigen alle erhaltenen Profile parabolische Wasseraktivitätsverläufe, die charakteristisch für hygroskopische Lebensmitteln sind.

Die Ergebnisse im Hauptversuch zeigen, dass die getestete Polynomgleichung nur bis auf eine Solekonzentration von 6% gültig ist. Dank der umfangreichen Messdatenerfassung wurde eine quadratische Regressionsfunktion entwickelt, die zu dem gewünschten Ziel und zu einem weiteren Fortschritt in Richtung eines optimalen Berechnungsmodells beiträgt. Für die Hersteller von Rohwürsten wurde damit eine neue Möglichkeit geschaffen, die Wasseraktivität anhand eines Berechnungsmodells frühzeitig vorhersagen zu können.

## 7 LITERATUR

**ANONYM (2003):** Verzehr von Fleischerzeugnissen. Geschäftsbericht 2002/2003, Hrsg. Deutscher Fleischer- Verband, Frankfurt a.M., 47.

**BUCKENHÜSKES, H.J. (1991):** Starterkulturen für die Rohwurstproduktion – eine Standortbestimmung. *Fleisch* 45(3), 163 – 172.

**BRENDL, J. und S. KLEIN (1972):** Der Einfluss von Milcheiweißzusätze auf das Wasserbindungsvermögen des Fleisches, *Fleischwirtschaft* (3), 339 – 344.

**CASSENS, R.G., E.J. BRISKEY und W.G. HOEKSTRA (1963):** *Nature* 197, 1119.

**DEMEYER, D. (1979):** Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Werten der Wasseraktivität in Rohwurst, *Fleischwirtschaft* 59(7), 940 – 943.

**DEMEYER, D., P. VANDEKERCKHOVE, L. VERMEULEN und R. MOERMAN (1978):** Compounds determining pH in dry sausage. Proc. 24. Europ. Fleischforscherkongress, Kulmbach, Bd II G 15:3.

**DEMEYER, D: und K. SAMEJIMA (1991):** *Animal Biotechnology and Meat Processing*. In: *Animal Biotechnology and Quality of Meat Production*. Fiems L. O., Cottyn B. G. & Demeyer, D. (Eds), Elsevier, Amsterdam, 127.

**FISCHER, A. (1988):** Produktbezogene Technologie – Herstellung von Fleischerzeugnissen. In; *Fleisch, Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung*, Prändl, O., A. Fischer, T. Schmidhofer und H. J. Sinell, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 488 – 594.

**FISCHER, A., H. BASEL und L. KOTTER (1976):** Zur lebensmittelrechtlichen Beurteilung von Rohwurst nach dem  $a_w$ -Wert, *Fleischwirtschaft* 56 (2), 184 – 187.

**FISHER und YATES (1963):** Statistical Tables for Biological Agricultural and Medical Research: 6th ed, Longman, London, 46.

**GROGG A.F. (2001):** Statistique appliquée. Dans ; détermination d'équations empiriques, HES-SO Wallis, 34 – 36.

**HAMM, R. (1960):** Advances in Food Research, 10, 335.

**HERMANSSON A.M. und C. ÅKESSON (1975):** Functional properties of added proteins correlated with properties of meat systems. Journal of food science (49), 603 – 610.

**HERMLE, M. (2005):** Strömungs- und Transportvorgänge in Rohwurstreifungsanlagen, Dissertation, Universität Hohenheim.

**IGBEKA, J.C. und J.L. BLAISDELL (1982):** Moisture Isotherms of a processed meat product, Bologna, J. Food Technologies 17, 37 – 46.

**JAEGER, DE, I., J.P. VAN STEENKISTE und D. DEMEYER (1984):** Calculation of water activity in industrial sausage production, Berichtsband des Europäischen Fleischforscher congress, Bristol, 6: 26, 304.

**KARMAS, E. und J.E. THOMPSON (1960):** Preliminary studies on the significance of tissue moisture in determining the control of sodium chloride in processed meats, Food Technol. 18, 169.

**KOTTKE, V., H. DAMM, A. FISCHER und U. LEUTZ (1996):** Engineering aspects in fermentation of meat products. Meat Sci., 43, 243 – 255.

**KRISPIEN, K., W. RÖDEL und L. LEISTNER (1979):** Vorschlag zur Berechnung der Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert) von Fleischerzeugnissen aus den Gehalten von Wasser und Kochsalz, Fleischwirtschaft 59 (8), 1173 – 1177.

**LANDVOGT, A. (1993):** Grundlagen für computergeregelte Verfahren zur Optimierung von Reifungs- und Trocknungsprozessen bei der Rohwurstherstellung. Dissertation, Universität Hohenheim.

**LANDVOGT, A. und A. FISCHER (1990):** Rohwurstreifung; Gezielte Steuerung der Säuerungsleistung von Starterkulturen, Fleischwirtschaft 70(10), 1134 – 1140.

**LEISTNER, L., H. HERZOG und F. WIRTH (1971):** Untersuchungen über die Wasseraktivität von Rohwurst, Fleischwirtschaft 51, 213.

**LEISTNER, L. (1985):** Allgemeines über Rohwurst und Rohschinken. In: Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken, Hrsg. Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.

**LEISTNER, L. (1990):** Stabilität und Sicherheit von Rohwurst. Die Fleischerei 40 (8), 570 – 582.

**LEUTZ, U. (1999):** Analyse des Wassertransports in schnittfesten Rohwürsten als Grundlage einer mit Fuzzy Control automatisierten Rohwurstreifung. Dissertation, Universität Hohenheim.

**LOMAURO, C.J., A.S. BAKSHI und T.P. LABUZA (1985):** Evaluation of Food Moisture Isotherm Equations, Part I: Fruits, Vegetable and Meat Products. Lebensmittel- Wiss. U. Technologie 178, 111 – 117.

**LONCIN, M. (1988):** Activity of Water and its Importance in Preconcentration and Drying of Foods. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

**LÜCKE, F.K. (1985):** Fermented sausages. In: Mikrobiology of Fermented Foods. Vol. 2, B.J.B. Wood (ed.), Elsevier Applied Science, London, 41 – 83.

**MEHRENS, H.-A. und E.H. REIMERDES (1991):** Milchproteinen, In: Einsatz von Milchproteinen in Lebensmitteln, Behr's Verlag, 51 – 62.

**MIN, S.-G. (1987):** Aufnahme von Wasserdampfsorptionsisothermen von Rindfleisch, insbesondere im Bereich höherer Wasseraktivität, Diplomarbeit, Institut für Lebensmitteltechnologie, Universität Hohenheim, Stuttgart.

**MIRNA, A. (1970):** Versuche zur Berechnung der Wasseraktivität von Fleischwaren aus analytischen Werten, Fleischwirtschaft 6, 831 – 833.

**MITTAL, G.S., J.L. BLAISDEN und F.L. HERUM (1983):** Moisture Mobility in Meat Emulsion During Thermal Processing: Analysis of Slab Moisture Profile. Meat Science 8, 15 – 32.

**MOTARJEMI, Y. (1988):** A study of some physical properties of water in foodstuffs. Dissertation, Department of Food Engineering, Lund University, Lund, Schweden.

**NINIVAARA, F. (1995):** Über den Einfluss Bakterienreinkulturen auf die Reifung und Umrötung der Rohwurst. Dissertation. Acta Agrar Fenn, 85.

**NURMI, E. (1966):** Studies on the acceleration of the ripending process of dry sausage. 12. Europ Meet Meat Res Work, Sandefjord, Norwegen, E8.

**OFFER, G. und J. TRINICK (1982):** On the Mechanism of Water Holding in Meat; The Swelling and Shrinking of Myofibrils, Meat Science 8 (1983), 245 – 281.

**RÖDEL, W. (1973):** Messung der Wasseraktivität unter Praxisbedingungen, Fleischwirtschaft 1, 27 – 31.

**RÖDEL, W., K. KRISPIEN und L. LEISTNER (1979):** Messung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischerzeugnissen, Fleischwirtschaft 59 (6), 831 – 836.

**RÖDEL, W. und P.-G. KLETTNER (1980):** Beitrag zum Einfluss des Hüllensmaterials auf die Rohwurstreifung. Die Fleischerei 33 (10), 24 – 25.

**RÖDEL, W. und G. HOFMANN (1982):** Beitrag zur Kochsalzdiffusion in der Wurst während der Reifung, Die Fleischerei 1(82), 24 – 26.

**RÖDEL, W.(1985):** Rohwurstreifung – Klima und andere Einflussgrößen. In: Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken, Hrsg. Institut für Mikrobiologie, Toxikologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.

**RÖDEL, W. (1993):** Water activity and its measurement in food. Verlag Butterworth-Heinemann, Oxford, London, 375 – 415.

**RÖDEL, W, R. SCHEUER und H. WAGNER (1989):** Neues Verfahren zur Bestimmung der Wasseraktivität bei Fleischerzeugnissen, Fleischwirtschaft 69 (9), 1396 – 1399.

**SERENO, A.M., M.D. HUBINGER, J.F. COMESANA und A. CORREA (2000):** Prediction of water activity of osmotic solutions, Elsevier, Journal of Food Engineering (49), 103 – 104.

**SIELAFF, H. (1996a):** Fleischtechnologie, Kapitel 3: Zusammensetzung von Tierkörper – Mineralstoffen, Behr's Verlag, 56 – 57.

**SIELAFF, H. (1996b):** Fleischtechnologie, Kapitel 10.5.4: Erzeugnisherstellung - Rohwurst, Behr's Verlag, 427 – 464.

**SPIESS, W.E.L. und W.R. WOLF (1983):** Physical Properties of Foods, G. Vos, Applied science Publishers, London, 65.

**STIEBING, A. (1998):** Einfluss von Proteinen auf den Reifungsverlauf von Rohwurst, Fleischwirtschaft 11, 1140.

**STIEBING, A. (1999):** Neue Zutaten und Zusatzstoffe: Chancen, Grenzen und Technologie, Laboratorium Fleischtechnologie FH Lippe, Lemgo.

**STIEBING, A. (2007):** Qualität von Fleisch und Fleischwaren, Kapitel 20: Rohwurst, Deutscher Fachverlag, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, 1056 – 1085.

**STIEBING, A. und W. RÖDEL (1985):** Einfluss unterschiedlicher Klimate uf den Reifungsverlauf bei Rohwurst, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung (BAFF), Kulmbach, 88, 6394 – 6398.

**STIEBING, A. und W. RÖDEL (1987):** Einfluss der Luftgeschwindigkeit auf den Reifungsverlauf bei Rohwurst. Fleischwirtschaft. 67 (9), 236 – 240.

**STIEBING, A, und W. RÖDEL (1989):** Kontinuierliches Messen der Oberflächen-Wasseraktivität von Rohwurst, Mittbl. Bundesanstalt für Fleischforschung 28, 221.

**STIEBING, A. und W. RÖDEL (1992):** Kontinuierliches Messen der Oberflächen-Wasseraktivität von Rohwurst, Fleischwirtschaft 72 (4), 432 – 438.

**STIEBING, A. und R. BECKER (1995):** Einfluss von gefriergetrocknetem Fleisch auf die Reifung fettreduzierter Salami, Fleischwirtschaft, 75 (11), 1311 – 1316.

**STIEBING, A. und H. THUMEL (2002):** Trend zu frischer Ware ungebrochen. DLG-Wettbewerb 2001 für rohe Fleischerzeugnisse und Konserven, Fleischwirtschaft, 82 (4), 50 – 54.

**STIEBING, A. und H. THUMEL (2003):** Prämierungsquote steigt weiter an. DLG-Qualitätswettbewerb 2002 und 2003 – Rohe Fleischerzeugnisse und Konserven, Fleischwirtschaft, 83 (10), 41 – 46.

**TERNES, W. (1995):** Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung. 2. Auflage, Behr's Verlag GmbH & Co., Hamburg.

**THUMEL, H. (2008):** Die Kryoskopie – ein neues alternatives Verfahren zur Bestimmung der Wasseraktivität bei Fleischerzeugnissen, Laboratorium Fleischtechnologie FH Lippe, Lemgo.

**TOLDRÁ, F. (2002):** Dry-cured meat products, Chapter 4: Principles of dry-fermented sausage-making, Food and Nutrition Press, Connecticut USA, 63 – 87.

**WEBER, H. (2003):** Fleisch – Fisch Feinkost, Mikrobiologie der Lebensmittel, Behr's Verlag GmbH & Co. Hamburg, 1. Auflage, 330.

**WEBER, H. (2004):** Wirkung und Wirkungsweise pflanzliches und tierisches Eiweiß, Stärke und Hydrokolloide, Fleischwirtschaft 7, 31 – 34.

---

## DANKSAGUNG

Die Versuche zu meiner Diplomarbeit wurden 2008-2009 im Laboratorium Fleischtechnologie des Fachbereiches Life Science Technologies, der Fachhochschule Ostwestfalen-Lippe, in Lemgo durchgeführt.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei all denjenigen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Achim Stiebing, der mir während der gesamten Zeit stets freundlich mit Rat und Tat und seiner grossen Kompetenz auf diesem Gebiet zur Verfügung stand.

Herrn Prof. Dr. Rudolf Schmitt für die Übergabe des Themas und die freundliche Unterstützung während der gesamten Zeit der Diplomarbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Andre Ahuja für die wissenschaftliche Unterstützung bei den statistischen und mathematischen Analysen während dieser Arbeit recht herzlich danken.

Den Mitarbeitern des Laboratoriums der Fleischtechnologie der FH-Lippe danke ich für die tatkräftige Unterstützung bei den Arbeiten im Labor und das freundschaftliche Mitarbeiterverhältnis.

---

## 8 ANHANG

<b>8.1. Analysendaten von ROBINSON und STOKES (1959) und KRISPIEN et al. (1979)</b>	<b>81</b>
<b>8.2. Versuch Einfluss Wasser- und Salzgehalt</b>	<b>82</b>
8.2.1. Gesamtergebnisse	82
8.2.2. Wasseraktivität	83
8.2.3. Wassergehalt	84
8.2.4. Salzgehalt	87
8.2.5. pH-Wert	88
8.2.6. Korrelation zwischen gemessene und gerechnete Sole	89
<b>8.3. Versuch Einfluss Zusatzstoffen</b>	<b>90</b>
8.3.1. Gesamtergebnisse	90
8.3.2. Wasseraktivität	91
8.3.3. Wassergehalt	92
8.3.4. Salzgehalt	96
8.3.5. pH-Wert	98
8.3.6. Korrelation zwischen gemessene und gerechnete Sole	99
<b>8.4. Versuch Einfluss Milchsäure</b>	<b>100</b>
<b>8.5. Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst</b>	<b>101</b>
8.5.1. Wasseraktivität	101
8.5.2. Oberflächenwasseraktivität	105
8.5.3. Gewichtsverlust	106
8.5.4. pH-Wert	107
<b>8.6. Analysenwerte der GEHA-Verarbeitungsmaterialstandards auf einem Blick</b>	<b>108</b>

## 8.1. Analysendaten von ROBINSON und STOKES (1959) und Krispien et al. (1979)

$a_w$ -Werte von ungesättigten NaCl-Lösungen  
unterschiedlicher Konzentration bei 25°C

Robinson and Stokes (1959)				Krispien, Rödel und Leistener (1979)
NaCl [%]	Dest. H <sub>2</sub> O [%]	$a_w$ -Wert	Sole [%]	$a_w$ -Wert
0.00	100.00	1.000	0.00	0.992
1.72	98.28	0.990	1.72	0.986
3.39	96.61	0.980	3.39	0.974
5.00	95.00	0.970	5.00	0.963
6.55	93.45	0.960	6.55	0.952
7.95	92.05	0.950	7.95	0.941
9.30	90.70	0.940	9.30	0.929
10.60	89.40	0.930	10.60	0.915
11.85	88.15	0.920	11.85	0.899
13.05	86.95	0.910	13.05	0.883
14.15	85.85	0.900	14.15	0.868
15.25	84.75	0.890	15.25	0.853
16.20	83.80	0.880	16.20	0.840
17.10	82.90	0.870	17.10	0.826
18.17	81.83	0.860	18.17	0.806
19.00	81.00	0.850	19.00	0.786
19.95	80.05	0.840	19.95	0.754
20.80	79.20	0.830	20.80	0.712
21.60	78.40	0.820	21.60	0.656
22.30	77.70	0.810	22.30	0.588
23.15	76.85	0.800	23.15	0.474
23.85	76.15	0.790	23.85	0.347
24.55	75.45	0.780	24.55	0.182
25.22	74.78	0.770	25.22	-0.021
25.96	74.04	0.760	25.96	-0.306
26.44	73.56	0.750	26.44	-0.532

## 8.2. Versuch Einfluss Wasser- und Salzgehalt

## 8.2.1. Gesamtergebnisse

	effektiver Gewichtswert [%]	pH-Wert	stdev (s)	Wassergehalt [%]	stdev (s)	Kochsalzgehalt [%]	stdev (s)	Salz [%]	Gesamt Salzgehalt [%]	avr-Wert	stdev (s)	sole [%]	sole [mit Korrektur]
Grundbrät	-	5.6	0.01	56.5	0.3	-	-	0.80	0.80	0.988	0.001	0	1.40
Charge 1,8%	-	5.4	0.01	56.4	0.3	1.85	0.07	0.80	2.65	0.968	0.001	3.18	4.49
Charge 2,4%	-	5.4	0.01	55.1	0.5	2.49	0.06	0.80	3.29	0.961	0.001	4.32	5.63
Charge 2,9%	-	5.4	0.01	56.2	1.1	2.94	0.10	0.80	3.74	0.956	0.001	4.97	6.24
Charge 3,4%	-	5.4	0.01	54.3	0.5	3.62	0.01	0.80	4.42	0.949	0.000	6.25	7.53
Charge 3,9%	-	5.4	0.00	54.9	0.5	3.94	0.07	0.80	4.74	0.945	0.000	6.70	7.95
Charge 1,8%	15.63	4.9	0.01	47	0.7	2.3	0.03	0.95	3.25	0.953	0.001	4.67	6.46
Charge 2,4%	14.48	5.0	0.01	47.6	0.2	2.91	0.03	0.94	3.85	0.946	0.001	5.76	7.47
Charge 2,9%	13.06	5.0	0.01	47.6	0.2	3.39	0.00	0.92	4.31	0.945	0.002	6.65	8.30
Charge 3,4%	11.64	5.1	0.02	48.1	0.3	3.95	0.04	0.91	4.86	0.937	0.001	7.59	9.17
Charge 3,9%	13.55	5.2	0.01	47.2	0.1	4.53	0.02	0.93	5.46	0.926	0.001	8.76	10.36
Charge 1,8%	28.80	4.9	0.01	36.8	1.1	2.41	0.02	1.12	3.53	0.931	0.001	6.15	8.76
Charge 2,4%	26.14	4.9	0.01	39.5	0.6	3.24	0.02	1.08	4.32	0.926	0.001	7.58	9.86
Charge 2,9%	27.08	5.0	0.01	38.5	0.3	4.06	0.01	1.10	5.16	0.905	0.006	9.54	11.81
Charge 3,4%	27.44	5.1	0.01	38.6	0.8	4.74	0.02	1.10	5.84	0.903	0.001	10.94	13.15
Charge 3,9%	24.65	5.1	0.01	38.7	0.2	5.39	0.04	1.06	6.45	0.887	0.001	12.22	14.29
Charge 1,8%	41.99	4.8	0.04	25.6	0.2	3.13	0.04	1.38	4.51	0.847	0.001	10.89	14.98
Charge 2,4%	40.22	4.9	0.01	26.5	0.1	3.93	0.03	1.34	5.27	0.844	0.003	12.91	16.58
Charge 2,9%	38.75	5.0	0.01	26.2	2.4	4.83	0.04	1.31	6.14	0.829	0.000	15.57	18.98
Charge 3,4%	38.73	5.0	0.01	27.8	0.2	5.68	0.04	1.31	6.99	0.812	0.003	16.97	20.08
Charge 3,9%	39.12	5.0	0.01	27.7	3.4	6.31	0.06	1.31	7.62	0.796	0.001	18.55	21.58

TAG HERSTELLUNG

15% GV

30% GV

45% GV

## 8.2.2. Wasseraktivität

**GRUNDBRÄT**

	Grundbrät
a	0.989
b	0.987
<b>Mittelw.</b>	0.988
stdev	0.001

**TAG HERSTELLUNG**

	Charge 1,8%	Charge 2,4%	Charge 2,9%	Charge 3,4%	Charge 3,9%
a	0.967	0.96	0.956	0.949	0.945
b	0.968	0.961	0.955	0.949	0.945
<b>Mittelw.</b>	0.968	0.961	0.956	0.949	0.945
stdev	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000

**~10%****GEWICHTSVERLUST**

	Charge 1,8%	Charge 2,4%	Charge 2,9%	Charge 3,4%	Charge 3,9%
a	0.952	0.945	0.943	0.936	0.925
b	0.953	0.946	0.946	0.937	0.926
<b>Mittelw.</b>	0.953	0.946	0.945	0.937	0.926
stdev	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001

**~30%****GEWICHTSVERLUST**

	Charge 1,8%	Charge 2,4%	Charge 2,9%	Charge 3,4%	Charge 3,9%
a	0.931	0.925	0.909	0.903	0.888
b	0.93	0.926	0.901	0.902	0.886
<b>Mittelw.</b>	0.931	0.926	0.905	0.903	0.887
stdev	0.001	0.001	0.006	0.001	0.001

**~45%****GEWICHTSVERLUST**

	Charge 1,8%	Charge 2,4%	Charge 2,9%	Charge 3,4%	Charge 3,9%
a	0.848	0.846	0.829	0.81	0.795
b	0.846	0.842	0.829	0.814	0.796
<b>Mittelw.</b>	0.847	0.844	0.829	0.812	0.796
stdev	0.001	0.003	0.000	0.003	0.001

## 8.2.3. Wassergehalt

**GRUNDBRÄT**

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probereinwaage	Gesamtmasse nach Trocknung	Wassergehalt [%]	Mittelwert	Standardab- weichung
1	70.101	4.027	71.8472	56.64	56.5	0.3
2	76.8443	4.0878	78.6152	56.68		
3	73.2527	4.1384	75.0711	56.06		

**TAG HERSTELLUNG**

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probereinwaage	Gesamtmasse nach Trocknung	Wassergehalt [%]	Mittelwert	Standardab- weichung
R1a	71.0802	4.1312	72.8691	56.70	56.4	0.3
R1b	76.7523	4.0615	78.5322	56.18		
R1c	75.9006	4.0771	77.6815	56.32		

R2a	70.6133	4.0903	72.4586	54.89	55.1	0.5
R2b	72.8944	4.0154	74.7078	54.84		
R2c	81.1443	4.0823	82.954	55.67		

R3a	72.1752	4.1209	74.0345	54.88	56.2	1.1
R3b	75.0281	4.0461	76.7831	56.62		
R3c	79.4041	4.1483	81.1886	56.98		

R4a	73.1703	4.0259	75.0299	53.81	54.3	0.5
R4b	75.3617	4.114	77.2186	54.86		
R4c	76.8172	4.0358	78.6652	54.21		

R5a	77.6464	4.0099	79.4426	55.21	54.9	0.5
R5b	76.0855	4.0118	77.9194	54.29		
R5c	80.3979	4.1959	82.2825	55.08		

**15% GEWICHTSVERLUST**

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probereinwaage	Gesamtmasse nach Trocknung	Wassergehalt [%]	Mittelwert	Standardabweichung
R1a	90.4471	4.14	92.6515	46.75	47.0	0.7
R1b	94.2875	4.0916	96.4252	47.75		
R1c	87.6859	4.0111	89.8337	46.45		

R2a	78.4752	4.1631	80.663	47.45	47.6	0.2
R2b	74.3094	4.1318	76.469	47.73		
R2c	71.9648	4.0568	74.0861	47.71		

R3a	82.7021	4.0873	84.8466	47.53	47.6	0.2
R3b	77.1536	4.0479	79.2623	47.91		
R3c	86.6515	4.078	88.7951	47.44		

R4a	79.7536	4.1343	81.8989	48.11	48.1	0.3
R4b	75.6521	4.1543	77.7979	48.35		
R4c	83.6618	4.1317	85.8179	47.82		

R5a	78.1372	4.0812	80.2995	47.02	47.2	0.1
R5b	77.3388	4.0933	79.4965	47.29		
R5c	98.6477	4.0977	100.8107	47.21		

**30% GEWICHTSVERLUST**

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probereinwaage	Gesamtmasse nach Trocknung	Wassergehalt [%]	Mittelwert	Standardabweichung
R1a	72.4337	2.014	73.6855	37.85	36.8	1.1
R1b	69.0627	2.0361	70.3497	36.79		
R1c	70.5083	2.0214	71.8078	35.71		

R2a	68.4161	2.0249	69.6289	40.11	39.5	0.6
R2b	70.0055	2.0396	71.2526	38.86		
R2c	65.0778	2.1837	66.3981	39.54		

R3a	81.6172	2.0688	82.8833	38.80	38.5	0.3
R3b	73.6024	2.093	74.8908	38.44		
R3c	72.1668	4.1045	74.7061	38.13		

R4a	71.8834	2.2082	73.2196	39.49	38.6	0.8
R4b	71.9111	2.0959	73.2064	38.20		
R4c	69.0123	2.037	70.2743	38.05		

R5a	78.9995	2.0877	80.2823	38.55	38.7	0.2
R5b	81.7321	2.1202	83.0343	38.58		
R5c	81.7443	2.2731	83.1344	38.85		

## 45% GEWICHTSVERLUST

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probereinwaage	Gesamtmasse nach Trocknung	Wassergehalt [%]	Mittelwert	Standardab- weichung
R1a	75.6403	4.1259	78.7065	25.68	25.6	0.2
R1b	70.352	4.128	73.4171	25.75		
R1c	76.1314	4.0848	79.1826	25.30		
R2a	74.2845	4.148	77.3386	26.37	26.5	0.1
R2b	71.1088	4.0791	74.1051	26.55		
R2c	63.4754	4.0356	66.4429	26.47		
R3a	66.0569	4.0927	69.125	25.03	26.2	2.4
R3b	75.1444	4.0995	78.0578	28.93		
R3c	75.1117	4.1578	78.243	24.69		
R4a	81.3003	4.1749	84.3187	27.70	27.8	0.2
R4b	68.4723	4.0813	71.4252	27.65		
R4c	76.9661	4.0473	79.8765	28.09		
R5a	72.7164	4.0569	75.4882	31.68	27.7	3.4
R5b	69.3822	4.1372	72.4535	25.76		
R5c	71.0892	4.1513	74.1719	25.74		

## 8.2.4. Salzgehalt

TAG HERSTELLUNG	Charge 1,8%			Charge 2,4%			Charge 2,9%			Charge 3,4%			Charge 3,9%		
	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]
a	1.345	2.08	1.93	1.77	2.0648	2.56	2.07	2.0483	3.01	2.54	2.0948	3.61	2.69	2.053	3.91
b	1.28	2.08	1.83	1.708	2.0648	2.47	2.05	2.0483	2.98	2.55	2.0948	3.63	2.69	2.053	3.91
c	1.25	2.08	1.79	1.699	2.0648	2.45	1.94	2.0483	2.82	2.54	2.0948	3.61	2.77	2.053	4.02
Mittelwert			1.85			2.49			2.94			3.62			3.94
Standardabweichung			0.07			0.06			0.10			0.01			0.07
<b>15% GEWICHTSVERLUST</b>															
	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]
a	1.62	2.0857	2.32	2.04	2.0773	2.93	2.38	2.0944	3.39	2.74	2.045	3.99	3.16	2.0923	4.50
b	1.62	2.0857	2.32	2.04	2.0773	2.93	2.38	2.0944	3.39	2.68	2.045	3.91	3.18	2.0923	4.53
c	1.58	2.0857	2.26	2.005	2.0773	2.88	2.383	2.0944	3.39	2.72	2.045	3.96	3.19	2.0923	4.54
Mittelwert			2.30			2.91			3.39			3.95			4.53
Standardabweichung			0.03			0.03			0.00			0.04			0.02
<b>30% GEWICHTSVERLUST</b>															
	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]
a	1.65	2.0596	2.39	2.29	2.1106	3.23	2.79	2.055	4.05	3.21	2.0215	4.73	3.7	2.0628	5.35
b	1.67	2.0596	2.42	2.29	2.1106	3.23	2.81	2.055	4.08	3.23	2.0215	4.76	3.74	2.0628	5.40
c	1.68	2.0596	2.43	2.31	2.1106	3.26	2.8	2.055	4.06	3.21	2.0215	4.73	3.75	2.0628	5.42
Mittelwert			2.41			3.24			4.06			4.74			5.39
Standardabweichung			0.02			0.02			0.01			0.02			0.04
<b>45% GEWICHTSVERLUST</b>															
	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]	ml Ag/NO <sub>3</sub>	Einwaage [g]	Salz [%]
a	2.09	2.0205	3.08	2.7	2.0457	3.93	3.39	2.0721	4.88	3.99	2.1095	5.64	4.28	2.0401	6.25
b	2.135	2.0205	3.15	2.68	2.0457	3.90	3.34	2.0721	4.80	4.02	2.1095	5.68	4.32	2.0401	6.31
c	2.135	2.0205	3.15	2.72	2.0457	3.96	3.35	2.0721	4.82	4.04	2.1095	5.71	4.36	2.0401	6.37
Mittelwert			3.13			3.93			4.83			5.68			6.31
Standardabweichung			0.04			0.03			0.04			0.04			0.06

## 8.2.5. pH-Wert

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Mittelwert	
TAG HERSTELLUNG	Grundbrät	5.57	5.56	5.57	5.6
	Charge 1,8%	5.39	5.39	5.38	5.4
	Charge 2,4%	5.45	5.43	5.44	5.4
	Charge 2,9%	5.41	5.4	5.4	5.4
	Charge 3,4%	5.44	5.42	5.43	5.4
	Charge 3,9%	5.39	5.39	5.39	5.4
15% GV	Charge 1,8%	4.91	4.92	4.91	4.9
	Charge 2,4%	4.98	4.96	4.98	5.0
	Charge 2,9%	4.99	5	5	5.0
	Charge 3,4%	5.06	5.06	5.1	5.1
	Charge 3,9%	5.18	5.18	5.19	5.2
30% GV	Charge 1,8%	4.87	4.87	4.86	4.9
	Charge 2,4%	4.93	4.93	4.92	4.9
	Charge 2,9%	5.01	5.02	5.02	5.0
	Charge 3,4%	5.07	5.06	5.06	5.1
	Charge 3,9%	5.09	5.08	5.08	5.1
45% GV	Charge 1,8%	4.79	4.8	4.871	4.8
	Charge 2,4%	4.85	4.86	4.87	4.9
	Charge 2,9%	4.98	4.97	4.98	5.0
	Charge 3,4%	5.01	5.02	5.01	5.0
	Charge 3,9%	5.02	5.03	5.04	5.0

## 8.2.6. Korrelation zwischen gemessene und gerechnete Sole

Korrelation zwischen gemessene und gerechnete Sole (Versuch Einfluss Wasser- und Salzgehalt)										
Wassergehalt Grundbrät (gemessen)										56.5 [%]
Charge	Salzgehalt [g]	effektiver Gewichtsverlust [g]	Gewicht [g]	Wurst [g]	Wassergehalt [%]	Wassergehalt [%]	Salzgehalt [%]	gerechnete Sole [%]	gemessene Sole [%]	gemessene Sole mit Korrektur [%]
Charge 1,8%	1.8	0	100		55.5	55.5	1.8	3.14	3.18	4.49
Charge 2,4%	2.4	0	100		55.1	55.1	2.4	4.17	4.32	5.63
Charge 2,9%	2.9	0	100		54.9	54.9	2.9	5.02	4.97	6.24
Charge 3,4%	3.4	0	100		54.6	54.6	3.4	5.86	6.25	7.53
Charge 3,9%	3.9	0	100		54.3	54.3	3.9	6.70	6.70	7.95
Charge 1,8%	1.8	15.63	84.37	39.9	47.2	47.2	2.1	4.32	4.67	6.46
Charge 2,4%	2.4	14.48	85.52	40.7	47.5	47.5	2.8	5.57	5.76	7.47
Charge 2,9%	2.9	13.06	86.94	41.8	48.1	48.1	3.3	6.49	6.65	8.30
Charge 3,4%	3.4	11.64	88.36	42.9	48.6	48.6	3.8	7.34	7.59	9.17
Charge 3,9%	3.9	13.55	86.45	40.7	47.1	47.1	4.5	8.74	8.76	10.36
Charge 1,8%	1.8	28.80	71.20	26.7	37.5	37.5	2.5	6.32	6.15	8.76
Charge 2,4%	2.4	26.14	73.86	29.0	39.3	39.3	3.2	7.64	7.58	9.86
Charge 2,9%	2.9	27.08	72.92	27.8	38.1	38.1	4.0	9.45	9.54	11.81
Charge 3,4%	3.4	27.44	72.56	27.1	37.4	37.4	4.7	11.13	10.94	13.15
Charge 3,9%	3.9	24.65	75.35	29.6	39.3	39.3	5.2	11.63	12.22	14.29
Charge 1,8%	1.8	41.99	58.01	13.5	23.3	23.3	3.1	11.77	10.89	14.98
Charge 2,4%	2.4	40.22	59.78	14.9	25.0	25.0	4.0	13.85	12.91	16.58
Charge 2,9%	2.9	38.75	61.25	16.1	26.3	26.3	4.7	15.25	15.57	18.98
Charge 3,4%	3.4	38.73	61.27	15.8	25.9	25.9	5.5	17.66	16.97	20.08
Charge 3,9%	3.9	39.12	60.88	15.2	24.9	24.9	6.4	20.44	18.55	21.58

Tag HERSTELLUNG

15% GV

30% GV

45% GV

## 8.3. Versuch Einfluss Zusatzstoffen

## 8.3.1. Gesamtergebnisse

	effektiver Gewichtsverlust [%]	pH-Wert	stdev (3)	Wassergehalt [%]	stdev (3)	Kochsalzgehalt [%]	stdev (3)	Salze [%]	Gesamt- salzgehalt [%]	aw-Wert	stdev (2)	sole [%]	sole [mit Korrektur]
<b>TAG HERSTELLUNG</b>	-	5.61	0.01	60.3	0.2	0.14	0	0.80	0.94	0.991	0.001	0.23	1.53
<b>20% GV</b>													
Charge K	23.52	4.96	0.01	46.4	0.2	3.75	0.01	1.05	4.80	0.931	0.001	7.48	9.37
Charge S1	22.6	4.94	0.01	46	0.2	3.79	0.05	1.03	4.82	0.931	0.000	7.61	9.49
Charge S3	22.53	4.95	0.02	45.1	0.1	3.7	0.05	1.03	4.73	0.929	0.000	7.58	9.50
Charge Mp1	21.29	4.96	0.01	46.8	0	3.8	0.02	1.02	4.82	0.931	0.000	7.51	9.33
Charge Mp3	22.26	4.98	0.01	45.3	0.4	3.88	0.02	1.03	4.91	0.924	0.000	7.89	9.78
Charge Me1	20.8	4.97	0.02	47	0	3.64	0.05	1.01	4.65	0.933	0.001	7.19	9.00
Charge Me3	20.52	5.00	0.01	45.3	0.3	3.8	0.02	1.01	4.81	0.928	0.001	7.74	9.59
<b>30% GV</b>													
Charge K	30.95	4.92	0.01	40.7	0.1	4.41	0.06	1.16	5.57	0.909	0.006	9.78	12.04
Charge S1	30.53	4.92	0.01	39.3	0.3	4.28	0.02	1.15	5.43	0.91	0.001	9.82	12.14
Charge S3	30.45	4.92	0.02	40.2	0	4.22	0.04	1.15	5.37	0.911	0.004	9.50	11.78
Charge Mp1	30.01	4.90	0.01	40.5	0.2	4.24	0.04	1.14	5.38	0.91	0.001	9.48	11.73
Charge Mp3	30.94	4.92	0.01	38.8	0.2	4.5	0.05	1.16	5.66	0.896	0.001	10.39	12.73
Charge Me1	30.76	4.92	0.01	40.4	0.2	4.39	0.04	1.16	5.55	0.905	0.003	9.80	12.07
Charge Me3	29.68	4.95	0.01	39.9	0.2	4.47	0.02	1.14	5.61	0.903	0.003	10.07	12.32
<b>40% GV</b>													
Charge K	42.94	4.89	0.01	26.7	0.9	5.26	0.07	1.40	6.66	0.829	0.002	16.46	19.97
Charge S1	41.47	4.90	0.01	30	1.3	5.06	0.06	1.37	6.43	0.84	0.001	14.43	17.64
Charge S3	41.75	4.89	0.03	26.1	0.1	5.18	0.04	1.37	6.55	0.822	0.001	16.56	20.07
Charge Mp1	42.05	4.87	0.02	27.7	0.6	5.16	0.01	1.38	6.54	0.822	0.005	15.70	19.10
Charge Mp3	41.83	4.90	0.01	26	0.4	5.35	0.05	1.38	6.73	0.82	0.001	17.07	20.55
Charge Me1	43.13	4.91	0.01	26.7	1.1	5.24	2.00	1.41	6.65	0.814	0.001	16.41	19.93
Charge Me3	40.77	4.92	0.02	26.7	0.1	5.04	0.02	1.35	6.39	0.819	0.007	15.88	19.31

## 8.3.2. Wasseraktivität

**GRUNDBRÄT**

	Grundbrät
a	0.99
b	0.991
Mittelw.	0.991
stdev	0.001

**TAG HERSTELLUNG**

	Charge k	Charge S 1%	Charge S 3%	Charge Mp 1%	Charge Mp 3%	Charge Me 1%	Charge Me 3%
a	0.961	0.959	0.961	0.959	0.957	0.959	0.957
b	0.96	0.96	0.962	0.959	0.955	0.959	0.956
Mittelw.	0.961	0.960	0.962	0.959	0.956	0.959	0.957
stdev	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001

**10% GEWICHTSVERLUST**

	Charge k	Charge S 1%	Charge S 3%	Charge Mp 1%	Charge Mp 3%	Charge Me 1%	Charge Me 3%
a	0.93	0.931	0.929	0.931	0.924	0.932	0.928
b	0.932	0.931	0.929	0.931	0.924	0.933	0.927
Mittelw.	0.931	0.931	0.929	0.931	0.924	0.933	0.928
stdev	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001

**30% GEWICHTSVERLUST**

	Charge k	Charge S 1%	Charge S 3%	Charge Mp 1%	Charge Mp 3%	Charge Me 1%	Charge Me 3%
a	0.905	0.909	0.908	0.909	0.896	0.903	0.905
b	0.913	0.91	0.914	0.911	0.895	0.907	0.901
Mittelw.	0.909	0.910	0.911	0.910	0.896	0.905	0.903
stdev	0.006	0.001	0.004	0.001	0.001	0.003	0.003

**45% GEWICHTSVERLUST**

	Charge k	Charge S 1%	Charge S 3%	Charge Mp 1%	Charge Mp 3%	Charge Me 1%	Charge Me 3%
a	0.827	0.841	0.823	0.818	0.819	0.813	0.824
b	0.83	0.839	0.821	0.825	0.821	0.814	0.814
Mittelw.	0.829	0.840	0.822	0.822	0.820	0.814	0.819
stdev	0.002	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001	0.007

## 8.3.3. Wassergehalt

**GRUNDBRÄT**

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probewinwaage	Gesamtmasse Trocknung	nach Wassergehalt [%]	Mittelw.	stdev
1	65.459	4.0695	67.074	60.31	60.3	0.2
2	67.5519	4.0812	69.1796	60.12		
3	84.3826	4.0602	85.9841	60.56		

**TAG HERSTELLUNG**

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probewinwaage	Gesamtmasse Trocknung	nach Wassergehalt [%]	Mittelw.	stdev
K1a	66.7633	4.0291	68.4141	59.03	59.5	0.4
K1b	73.5359	4.0145	75.1519	59.75		
K1c	76.6185	4.1378	78.2867	59.68		

S1a	66.6489	4.1975	68.4059	58.14	58.0	0.3
S1b	76.4435	4.0909	78.1745	57.69		
S1c	68.5572	4.1367	70.2878	58.16		

S3a	65.5644	4.1889	67.3539	57.28	57.4	0.3
S3b	72.9679	4.063	74.6832	57.78		
S3c	66.0819	4.1332	67.853	57.15		

Mp1a	68.3944	4.0254	70.0603	58.62	58.5	0.2
Mp1b	68.5315	4.0109	70.2047	58.28		
Mp1c	66.1468	4.067	67.831	58.59		

Mp3a	76.84	4.0122	78.2907	63.84	59.3	3.9
Mp3b	71.8233	4.1083	73.5994	56.77		
Mp3c	70.5765	4.1853	72.3634	57.31		

Me1a	74.2197	4.1948	75.9799	58.04	58.2	0.3
Me1b	75.0375	4.0766	76.7273	58.55		
Me1c	68.8503	4.1889	70.6125	57.93		

Me3a	65.9403	4.1675	67.7276	57.11	57.1	0.0
Me3b	66.3036	4.0901	68.059	57.08		
Me3c	64.0848	4.0235	65.8092	57.14		

## 15% Gewichtsverlust

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probereinwaage	Gesamtmasse Trocknung	nach	Wassergehalt [%]	Mittelw.	stdev
K1a	78.207	4.0793	80.3843		46.63	46.4	0.2
K1b	83.4211	4.0148	85.5775		46.29		
K1c	83.8343	4.0774	86.0211		46.37		

S1a	78.6263	4.0579	80.8252		45.81	46.0	0.2
S1b	72.1649	4.1433	74.4046		45.94		
S1c	80.5717	4.011	82.7312		46.16		

S3a	70.8547	4.0228	73.0654		45.05	45.1	0.1
S3b	72.7363	4.1678	75.0188		45.23		
S3c	78.9925	4.0402	81.2131		45.04		

Mp1a	80.1742	4.0992	82.3554		46.79	46.8	0.0
Mp1b	88.7508	4.0889	90.9247		46.83		
Mp1c	83.275	4.099	85.4562		46.79		

Mp3a	67.1447	4.0123	69.3504		45.03	45.3	0.4
Mp3b	77.0668	4.0106	79.2447		45.70		
Mp3c	71.0608	4.0125	73.2665		45.03		

Me1a	74.9082	4.0662	77.0637		46.99	47.0	0.0
Me1b	75.0577	4.0288	77.1953		46.94		
Me1c	80.3588	4.0667	82.5143		47.00		

Me3a	78.7508	4.0265	80.9653		45.00	45.3	0.3
Me3b	82.6775	4.0571	84.8848		45.59		
Me3c	70.5144	4.0668	72.7354		45.39		

## 30% Gewichtsverlust

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probewinwaage	Gesamtmasse Trocknung	nach Wassergehalt [%]	Mittelw.	stdev
K1a	69.6506	4.0129	72.0327	40.64	40.7	0.1
K1b	79.4257	4.0879	81.8521	40.64		
K1c	65.9922	4.0356	68.3782	40.88		

S1a	77.478	4.0728	79.942	39.50	39.3	0.3
S1b	90.2466	4.0814	92.724	39.30		
S1c	80.8337	4.0489	83.3039	38.99		

S3a	71.8083	4.1221	74.2718	40.24	40.2	0.0
S3b	71.8099	4.1136	74.2701	40.19		
S3c	63.6098	4.1719	66.1025	40.25		

Mp1a	66.7221	4.0567	69.1438	40.30	40.5	0.2
Mp1b	77.7276	4.0825	80.1532	40.59		
Mp1c	68.3564	4.0679	70.7744	40.56		

Mp3a	78.1337	4.0489	80.6041	38.99	38.8	0.2
Mp3b	82.3828	4.0315	84.8455	38.91		
Mp3c	68.5505	4.0875	71.0619	38.56		

Me1a	87.3959	4.0479	89.8097	40.37	40.4	0.2
Me1b	94.4176	4.1102	96.8548	40.70		
Me1c	69.1324	4.0572	71.5565	40.25		

Me3a	100.6964	4.1766	103.1987	40.09	39.9	0.2
Me3b	87.6933	4.1068	90.1599	39.94		
Me3c	87.6354	4.1721	90.1512	39.70		

## 40% Gewichtsverlust

	Vorgetrocknete Abdampfschale	Probeweinwaage	Gesamtmasse Trocknung	nach	Wassergehalt [%]	Mittelw.	stdev
K1a	80.4657	4.0223	83.3811		27.52	26.7	0.9
K1b	73.7502	4.1544	76.7895		26.84		
K1c	94.476	4.0796	97.507		25.70		

S1a	71.8427	4.0307	74.6954		29.23	30.0	1.3
S1b	76.9292	4.1567	79.7741		31.56		
S1c	69.6795	4.1709	72.626		29.36		

S3a	85.0278	4.1776	88.1232		25.90	26.1	0.1
S3b	78.1353	4.0579	81.1307		26.18		
S3c	73.9854	4.0614	76.9871		26.09		

Mp1a	79.8132	4.1048	82.7659		28.07	27.7	0.6
Mp1b	73.5966	4.1696	76.6011		27.94		
Mp1c	80.3427	4.1246	83.3546		26.98		

Mp3a	77.4314	4.0505	80.4436		25.63	26.0	0.4
Mp3b	72.8987	4.0884	75.9034		26.51		
Mp3c	81.5972	4.0969	84.631		25.95		

Me1a	72.2786	4.1167	75.3077		26.42	26.7	1.1
Me1b	70.5642	4.1376	73.5473		27.90		
Me1c	77.0967	4.1292	80.166		25.67		

Me3a	66.5934	4.1676	69.6554		26.53	26.7	0.1
Me3b	74.0745	4.0456	77.0392		26.72		
Me3c	65.3775	4.1937	68.4501		26.73		

8.3.4. Salzgehalt

TAG HERSTELLUNG	Charge k				Charge SI				Charge S3				Charge Mp1				Charge Mp3			
	Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]	
	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]
a	2.03	2.0235	2.99	2.76	2.01	2.1714	2.76	2.76	2.04	2.1009	2.89	2.89	1.96	2.0596	2.82	2.82	2.1	2.0577	3.04	3.04
b	2.06	2.0235	3.03	2.77	2.02	2.1714	2.77	2.77	2.07	2.1009	2.94	2.94	1.98	2.0596	2.85	2.85	2.12	2.0577	3.07	3.07
c	2.05	2.0235	3.02	2.77	2.02	2.1714	2.77	2.77	2.08	2.1009	2.95	2.95	2.01	2.0596	2.89	2.89	2.13	2.0577	3.09	3.09
Mittelwert			3.01	2.77			2.77	2.77				2.93			2.86					3.07
Standardabweichung			0.02	0.01			0.01	0.01				0.03			0.04					0.02
	Charge Me1				Charge Me3				Grundbrät											
a	2.05	2.0559	2.97	3.47	2.38	2.0459	3.47	3.47	0.1	2.0692	0.14	0.14								
b	2.09	2.0559	3.03	3.47	2.38	2.0459	3.47	3.47	0.1	2.0692	0.14	0.14								
c	2.09	2.0559	3.03	3.50	2.4	2.0459	3.50	3.50	0.1	2.0692	0.14	0.14								
Mittelwert			3.01	3.48			3.48	3.48				0.14								
Standardabweichung			0.03	0.02			0.02	0.02				0.00								

20% GEWICHTSVERLUST	Charge k				Charge SI				Charge S3				Charge Mp1				Charge Mp3			
	Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]		Einwaage [g]		Salz [g]	
	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [g]	Salz [%]
a	2.52	2.0059	3.74	3.73	2.66	2.1258	3.73	3.73	2.54	2.0763	3.65	3.65	2.63	2.0811	3.77	3.77	2.62	2.0232	3.86	3.86
b	2.53	2.0059	3.76	3.80	2.71	2.1258	3.80	3.80	2.58	2.0763	3.70	3.70	2.66	2.0811	3.81	3.81	2.64	2.0232	3.89	3.89
c	2.53	2.0059	3.76	3.83	2.73	2.1258	3.83	3.83	2.61	2.0763	3.75	3.75	2.66	2.0811	3.81	3.81	2.65	2.0232	3.90	3.90
Mittelwert			3.75	3.79			3.79	3.79				3.70			3.80					3.88
Standardabweichung			0.01	0.05			0.05	0.05				0.05			0.02					0.02
	Charge Me1				Charge Me3															
a	2.64	2.2028	3.57	3.77	2.54	2.0075	3.77	3.77												
b	2.71	2.2028	3.67	3.82	2.57	2.0075	3.82	3.82												
c	2.71	2.2028	3.67	3.80	2.56	2.0075	3.80	3.80												
Mittelwert			3.64	3.80			3.80	3.80												
Standardabweichung			0.05	0.02			0.02	0.02												

## 30% GEWICHTSVERLUST

	Charge k			Charge S1			Charge S3			Charge Mp1			Charge Mp3		
	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]
a	2.96	2.0209	4.37	2.89	2.0189	4.27	2.86	2.0453	4.17	2.92	2.0785	4.19	3.04	2.0396	4.44
b	2.98	2.0209	4.40	2.89	2.0189	4.27	2.91	2.0453	4.24	2.97	2.0785	4.26	3.1	2.0396	4.53
c	3.04	2.0209	4.48	2.91	2.0189	4.30	2.91	2.0453	4.24	2.97	2.0785	4.26	3.1	2.0396	4.53
Mittelwert			4.41			4.28			4.22			4.24			4.50
Standardabweichung			0.06			0.02			0.04			0.04			0.05
	Charge Me1			Charge Me3											
	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]									
a	2.98	2.0466	4.34	3.02	2.0254	4.44									
b	3.02	2.0466	4.40	3.04	2.0254	4.47									
c	3.04	2.0466	4.43	3.05	2.0254	4.49									
Mittelwert			4.39			4.47									
Standardabweichung			0.04			0.02									

## 40% GEWICHTSVERLUST

	Charge k			Charge S1			Charge S3			Charge Mp1			Charge Mp3		
	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]
a	3.68	2.119	5.18	3.62	2.1555	5.01	3.67	2.1334	5.13	3.76	2.173	5.16	3.76	2.1159	5.30
b	3.75	2.119	5.27	3.66	2.1555	5.06	3.72	2.1334	5.20	3.76	2.173	5.16	3.81	2.1159	5.37
c	3.78	2.119	5.32	3.7	2.1555	5.12	3.73	2.1334	5.21	3.77	2.173	5.17	3.82	2.1159	5.38
Mittelwert			5.26			5.06			5.18			5.16			5.35
Standardabweichung			0.07			0.06			0.04			0.01			0.05
	Charge Me1			Charge Me3											
	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]	ml AgNO3	Einwaage [g]	Salz [%]									
a	3.76	2.1516	5.21	3.62	2.1566	5.00									
b	3.79	2.1516	5.25	3.66	2.1566	5.06									
c	3.79	2.1516	5.25	3.67	2.1566	5.07									
Mittelwert			5.24			5.04									
Standardabweichung			0.02			0.04									

## 8.3.5. pH-Wert

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Mittelwert	
<i>Grundbrät</i>	5.61	5.62	5.61	5.6	
TAG HERSTELLUNG	<i>Charge k</i>	5.47	5.45	5.46	5.5
	<i>Charge S 1%</i>	5.45	5.44	5.45	5.5
	<i>Charge S 3%</i>	5.44	5.47	5.46	5.5
	<i>Charge Mp 1%</i>	5.47	5.46	5.46	5.5
	<i>Charge Mp 3%</i>	5.48	5.49	5.48	5.5
	<i>Charge Me 1%</i>	5.48	5.47	5.5	5.5
	<i>Charge Me 3%</i>	5.5	5.51	5.49	5.5
20 % GV	<i>Charge k</i>	4.95	4.96	4.96	5.0
	<i>Charge S 1%</i>	4.94	4.95	4.94	4.9
	<i>Charge S 3%</i>	4.93	4.95	4.96	5.0
	<i>Charge Mp 1%</i>	4.96	4.96	4.97	5.0
	<i>Charge Mp 3%</i>	4.98	4.97	4.98	5.0
	<i>Charge Me 1%</i>	4.97	4.95	4.99	5.0
	<i>Charge Me 3%</i>	5	5.01	4.99	5.0
30 % GV	<i>Charge k</i>	4.91	4.92	4.93	4.9
	<i>Charge S 1%</i>	4.92	4.93	4.92	4.9
	<i>Charge S 3%</i>	4.9	4.92	4.93	4.9
	<i>Charge Mp 1%</i>	4.89	4.89	4.91	4.9
	<i>Charge Mp 3%</i>	4.91	4.93	4.93	4.9
	<i>Charge Me 1%</i>	4.92	4.92	4.93	4.9
	<i>Charge Me 3%</i>	4.95	4.94	4.95	5.0
40 % GV	<i>Charge k</i>	4.88	4.89	4.9	4.9
	<i>Charge S 1%</i>	4.89	4.9	4.91	4.9
	<i>Charge S 3%</i>	4.87	4.89	4.92	4.9
	<i>Charge Mp 1%</i>	4.89	4.87	4.86	4.9
	<i>Charge Mp 3%</i>	4.89	4.9	4.91	4.9
	<i>Charge Me 1%</i>	4.9	4.91	4.92	4.9
	<i>Charge Me 3%</i>	4.93	4.94	4.9	4.9

## 8.3.6. Korrelation zwischen gemessene und gerechnete Sole

## Korrelation zwischen gemessene und gerechnete Sole (Rohwurstversuch 3)

Wassergehalt Grundbrät (gemessen)

60.3 [%]

	Salzgehalt [g]	effektiver Gewichtsverlust [g]	Gewicht Wurst [g]	Wassergehalt [g]	Wassergehalt [%]	Salzgehalt [%]	gerechnete Sole [%]	gemessene Sole [%]	gemessene Sole mit Korrektur [%]
Charge K	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	4.82	6.02
Charge S1	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	4.56	5.80
Charge S3	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	4.86	6.10
Charge Mp1	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	4.66	5.89
Charge Mp3	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	4.92	6.13
Charge Me1	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	4.92	6.14
Charge Me3	29	0	100	58.6	58.6	2.9	4.72	5.74	6.97
Charge K	29	23.52	76.48	35.0	45.8	3.8	7.65	7.48	9.37
Charge S1	29	22.60	77.40	36.0	46.4	3.7	7.46	7.61	9.49
Charge S3	29	22.53	77.47	36.0	46.5	3.7	7.45	7.58	9.50
Charge Mp1	29	21.29	78.71	37.3	47.3	3.7	7.22	7.51	9.33
Charge Mp3	29	22.26	77.74	36.3	46.7	3.7	7.40	7.89	9.78
Charge Me1	29	20.80	79.20	37.8	47.7	3.7	7.13	7.19	9.00
Charge Me3	29	20.52	79.48	38.0	47.9	3.6	7.09	7.74	9.59
Charge K	29	30.95	69.05	27.6	40.0	4.2	9.51	9.78	12.04
Charge S1	29	30.53	69.47	28.0	40.3	4.2	9.38	9.82	12.14
Charge S3	29	30.45	69.55	28.1	40.4	4.2	9.35	9.50	11.78
Charge Mp1	29	30.01	69.99	28.5	40.8	4.1	9.22	9.48	11.73
Charge Mp3	29	30.94	69.06	27.6	40.0	4.2	9.50	10.39	12.73
Charge Me1	29	30.76	69.24	27.8	40.1	4.2	9.45	9.80	12.07
Charge Me3	29	29.68	70.32	28.9	41.1	4.1	9.13	10.07	12.32
Charge K	29	42.94	57.06	15.6	27.4	5.1	15.67	16.46	19.97
Charge S1	29	41.47	58.53	17.1	29.2	5.0	14.51	14.43	17.64
Charge S3	29	41.75	58.25	16.8	28.8	5.0	14.72	16.56	20.07
Charge Mp1	29	42.05	57.95	16.5	28.5	5.0	14.95	15.70	19.10
Charge Mp3	29	41.83	58.17	16.7	28.7	5.0	14.78	17.07	20.55
Charge Me1	29	43.13	56.87	15.4	27.1	5.1	15.83	16.41	19.93
Charge Me3	29	40.77	59.23	17.8	30.0	4.9	14.02	15.88	19.31

Tag HERSTELLUNG

20% GV

30% GV

40% GV

## 8.4. Versuch Einfluss Milchsäure

Charge	Rezeptur						Theoretische Werte			Analysen							
	Magerfleisch	Speck	MS	Salz	Gesamtmenge		Wasser	Sole		aw			pH				
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	1	2	Mittelwert	stdev	1	2	3	Mittelwert
1	75.0	25.0	0.0	0.0	100.0	57.8	0.0	0.992	0.990	0.989	0.990	0.001	5.66	5.67	5.66	5.66	5.66
2	73.6	24.5	0.1	1.8	100.0	57.8	3.0	0.977	0.970	0.971	0.970	0.001	5.26	5.27	5.28	5.27	5.27
3	73.5	24.5	0.2	1.8	100.0	57.9	3.0	0.977	0.970	0.972	0.970	0.001	5.27	5.27	5.26	5.27	5.27
4	73.4	24.5	0.3	1.8	100.0	58.0	3.0	0.977	0.970	0.971	0.970	0.001	5.21	5.22	5.22	5.22	5.22
5	73.4	24.5	0.4	1.8	100.0	58.0	3.0	0.977	0.972	0.969	0.972	0.002	5.15	5.15	5.14	5.15	5.15
6	72.8	24.3	1.1	1.8	100.0	58.0	3.0	0.977	0.971	0.971	0.971	0.000	4.78	4.78	4.79	4.78	4.78
7	72.0	24.0	0.1	3.9	100.0	57.8	6.3	0.954	0.950	0.949	0.950	0.001	5.32	5.32	5.33	5.32	5.32
8	71.9	24.0	0.2	3.9	100.0	57.9	6.3	0.954	0.949	0.951	0.949	0.001	5.31	5.30	5.29	5.30	5.30
9	71.9	24.0	0.3	3.9	100.0	58.0	6.3	0.954	0.951	0.950	0.951	0.001	5.18	5.19	5.18	5.18	5.18
10	71.8	23.9	0.4	3.9	100.0	58.0	6.3	0.954	0.949	0.950	0.949	0.001	5.12	5.13	5.12	5.12	5.12
11	71.3	23.8	1.1	3.9	100.0	58.0	6.3	0.954	0.949	0.950	0.949	0.001	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76
12	64.5	21.5	0.1	13.9	100.0	57.8	19.4	0.775	0.830	0.830	0.830	0.000	5.25	5.24	5.24	5.24	5.24
13	64.4	21.5	0.3	13.9	100.0	58.0	19.3	0.776	0.832	0.832	0.832	0.000	5.15	5.14	5.15	5.15	5.15
14	64.1	21.4	0.6	13.9	100.0	58.2	19.3	0.778	0.833	0.832	0.833	0.001	5.02	5.01	5.00	5.01	5.01
15	63.9	21.3	0.9	13.9	100.0	58.4	19.2	0.780	0.830	0.829	0.830	0.001	4.82	4.83	4.82	4.83	4.82
16	63.8	21.3	1.1	13.9	100.0	58.5	19.2	0.781	0.832	0.833	0.833	0.001	4.76	4.75	4.77	4.75	4.76

## 8.5. Verteilung der Wasseraktivität innerhalb der Wurst

## 8.5.1. Wasseraktivität

	Gewichtsverlust [%]	aw Zone 1 (Kern)	aw Zone 2	aw Zone 3	aw Zone 4 (Rand)
<b>Charge NPS 2,4%</b>	0.00		0.966		
			0.965		
Mittelwert			<b>0.966</b>		
Standardabweichung			0.001		
<b>Charge NPS 3,2%</b>	0.00		0.958		
			0.958		
Mittelwert			<b>0.958</b>		
Standardabweichung			0.000		
<b>Charge S 1%</b>	0.00		0.965		
			0.965		
Mittelwert			<b>0.965</b>		
Standardabweichung			0.000		
<b>Charge S 3%</b>	0.00		0.967		
			0.965		
Mittelwert			<b>0.966</b>		
Standardabweichung			0.001		
<b>Charge Mp 1%</b>	0.00		0.965		
			0.966		
Mittelwert			<b>0.966</b>		
Standardabweichung			0.001		
<b>Charge Mp 3%</b>	0.00		0.961		
			0.963		
Mittelwert			<b>0.962</b>		
Standardabweichung			0.001		
<b>Charge Me 1%</b>	0.00		0.964		
			0.964		
Mittelwert			<b>0.964</b>		
Standardabweichung			0.000		
<b>Charge Me 3%</b>	0.00		0.964		
			0.962		
Mittelwert			<b>0.963</b>		
Standardabweichung			0.001		

	Gewichtsverlust [%]	aw Zone 1 (Kern)	aw Zone 2	aw Zone 3	aw Zone 4 (Rand)
<b>Charge NPS 2,4%</b>	13.4	0.961	0.961	0.957	0.951
		0.961	0.960	0.957	0.950
Mittelwert		<b>0.961</b>	<b>0.961</b>	<b>0.957</b>	<b>0.951</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.000	0.001
<b>Charge NPS 3,2%</b>	13.2	0.954	0.953	0.953	0.945
		0.954	0.954	0.951	0.942
Mittelwert		<b>0.954</b>	<b>0.954</b>	<b>0.952</b>	<b>0.944</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.001	0.002
<b>Charge S 1%</b>	12.9	0.960	0.959	0.959	0.952
		0.961	0.959	0.958	0.953
Mittelwert		<b>0.961</b>	<b>0.959</b>	<b>0.959</b>	<b>0.953</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.001	0.001
<b>Charge S 3%</b>	13.6	0.960	0.960	0.959	0.951
		0.961	0.959	0.959	0.952
Mittelwert		<b>0.961</b>	<b>0.960</b>	<b>0.959</b>	<b>0.952</b>
Standardabweichung		0.001	0.001	0.000	0.001
<b>Charge Mp 1%</b>	14.5	0.961	0.961	0.959	0.947
		0.960	0.959	0.959	0.949
Mittelwert		<b>0.961</b>	<b>0.960</b>	<b>0.959</b>	<b>0.948</b>
Standardabweichung		0.001	0.001	0.000	0.001
<b>Charge Mp 3%</b>	14.3	0.958	0.958	0.955	0.944
		0.958	0.958	0.954	0.945
Mittelwert		<b>0.958</b>	<b>0.958</b>	<b>0.955</b>	<b>0.945</b>
Standardabweichung		0.000	0.000	0.001	0.001
<b>Charge Me 1%</b>	14.6	0.960	0.958	0.955	0.948
		0.960	0.958	0.955	0.947
Mittelwert		<b>0.960</b>	<b>0.958</b>	<b>0.955</b>	<b>0.948</b>
Standardabweichung		0.000	0.000	0.000	0.001
<b>Charge Me 3%</b>	14.3	0.961	0.960	0.955	0.948
		0.961	0.959	0.955	0.949
Mittelwert		<b>0.961</b>	<b>0.960</b>	<b>0.955</b>	<b>0.949</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.000	0.001

	Gewichtsverlust [%]	aw Zone 1 (Kern)	aw Zone 2	aw Zone 3	aw Zone 4 (Rand)
<b>Charge NPS 2,4%</b>	18.9	0.954	0.954	0.952	0.942
		0.953	0.954	0.951	0.943
Mittelwert		<b>0.954</b>	<b>0.954</b>	<b>0.952</b>	<b>0.943</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.001	0.001
<b>Charge NPS 3,2%</b>	20.4	0.946	0.945	0.941	0.931
		0.946	0.944	0.941	0.930
Mittelwert		<b>0.946</b>	<b>0.945</b>	<b>0.941</b>	<b>0.931</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.000	0.001
<b>Charge S 1%</b>	20.5	0.953	0.953	0.950	0.944
		0.954	0.953	0.952	0.938
Mittelwert		<b>0.954</b>	<b>0.953</b>	<b>0.951</b>	<b>0.941</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.001	0.004
<b>Charge S 3%</b>	19.9	0.953	0.954	0.951	0.944
		0.954	0.954	0.952	0.945
Mittelwert		<b>0.954</b>	<b>0.954</b>	<b>0.952</b>	<b>0.945</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.001	0.001
<b>Charge Mp 1%</b>	21.6	0.954	0.952	0.948	0.939
		0.953	0.953	0.951	0.935
Mittelwert		<b>0.954</b>	<b>0.953</b>	<b>0.950</b>	<b>0.937</b>
Standardabweichung		0.001	0.001	0.002	0.003
<b>Charge Mp 3%</b>	20.4	0.950	0.950	0.946	0.937
		0.950	0.949	0.948	0.937
Mittelwert		<b>0.950</b>	<b>0.950</b>	<b>0.947</b>	<b>0.937</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.001	0.000
<b>Charge Me 1%</b>	20.9	0.952	0.950	0.947	0.941
		0.953	0.952	0.950	0.941
Mittelwert		<b>0.953</b>	<b>0.951</b>	<b>0.949</b>	<b>0.941</b>
Standardabweichung		0.001	0.001	0.002	0.000
<b>Charge Me 3%</b>	20.9	0.951	0.950	0.947	0.939
		0.950	0.950	0.947	0.939
Mittelwert		<b>0.951</b>	<b>0.950</b>	<b>0.947</b>	<b>0.939</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.000	0.000

	Gewichtsverlust [%]	aw Zone 1 (Kern)	aw Zone 2	aw Zone 3	aw Zone 4 (Rand)
<b>Charge NPS 2,4%</b>	33.3	0.923	0.923	0.918	0.909
		0.924	0.923	0.919	0.910
Mittelwert		<b>0.924</b>	<b>0.923</b>	<b>0.919</b>	<b>0.910</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.001	0.001
<b>Charge NPS 3,2%</b>	34.6	0.908	0.905	0.899	0.893
		0.908	0.906	0.899	0.891
Mittelwert		<b>0.908</b>	<b>0.906</b>	<b>0.899</b>	<b>0.892</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.000	0.001
<b>Charge S 1%</b>	33.6	0.924	0.924	0.918	0.914
		0.925	0.925	0.919	0.906
Mittelwert		<b>0.925</b>	<b>0.925</b>	<b>0.919</b>	<b>0.910</b>
Standardabweichung		0.001	0.001	0.001	0.006
<b>Charge S 3%</b>	32.1	0.926	0.926	0.924	0.906
		0.927	0.926	0.924	0.908
Mittelwert		<b>0.927</b>	<b>0.926</b>	<b>0.924</b>	<b>0.907</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.000	0.001
<b>Charge Mp 1%</b>	33.7	0.921	0.918	0.915	0.903
		0.921	0.919	0.915	0.903
Mittelwert		<b>0.921</b>	<b>0.919</b>	<b>0.915</b>	<b>0.903</b>
Standardabweichung		0.000	0.001	0.000	0.000
<b>Charge Mp 3%</b>	34.4	0.918	0.914	0.909	0.898
		0.919	0.916	0.910	0.901
Mittelwert		<b>0.919</b>	<b>0.915</b>	<b>0.910</b>	<b>0.900</b>
Standardabweichung		0.001	0.001	0.001	0.002
<b>Charge Me 1%</b>	35.0	0.921	0.920	0.914	0.902
		0.922	0.920	0.917	0.903
Mittelwert		<b>0.922</b>	<b>0.920</b>	<b>0.916</b>	<b>0.903</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.002	0.001
<b>Charge Me 3%</b>	32.6	0.923	0.923	0.919	0.904
		0.924	0.923	0.918	0.905
Mittelwert		<b>0.924</b>	<b>0.923</b>	<b>0.919</b>	<b>0.905</b>
Standardabweichung		0.001	0.000	0.001	0.001

## 8.5.2. Oberflächenwasseraktivität

Tag	Messungen (Mittelwerte aus 120 Werte)									
	TT		HT		Wurst 1 2.4 % NPS		Wurst 2 3.2 % NPS		Wurst 3 3% Milchpulver	
	<i>T [°C]</i>	<i>Stabw</i>	<i>T [°C]</i>	<i>Stabw</i>	<i>T [°C]</i>	<i>Stabw</i>	<i>T [°C]</i>	<i>Stabw</i>	<i>T [°C]</i>	<i>Stabw</i>
4	17.7	0.05	16.2	0.06	17.04	0.01	17.04	0.01	17.04	0.01
5	17.7	0.06	16.3	0.05	17.12	0.01	17.09	0.01	17.13	0.01
8	17.7	0.05	16.2	0.03	17.17	0.01	17.14	0.01	17.22	0.01
9	17.7	0.03	16.0	0.04	17.00	0.01	15.97	0.01	17.06	0.01
10	15.3	0.42	13.3	0.38	14.27	0.07	14.25	0.09	14.33	0.08
11	15.8	0.03	13.4	0.04	14.35	0.02	14.35	0.01	14.40	0.01

Tag	Oberflächewasseraktivität			
	r.F. [%]	Wurst 1	Wurst 2	Wurst 3
		2.4 % NPS	3.2 % NPS	3% Milchpulver
4	86.0	0.921	0.921	0.921
5	86.3	0.916	0.919	0.915
8	85.8	0.905	0.907	0.900
9	84.5	0.902	0.905	0.897
10	80.1	0.900	0.902	0.895
11	76.5	0.898	0.898	0.893

## 8.5.3. Gewichtsverlust

	<i>Wurst Nr.</i>	<i>Einwaage vor Troknung [kg]</i>	<i>Einwaage nach Trocknung [kg]</i>	<i>Gewichtsverlust [%]</i>
Charge NPS 2,4%	6772-918	3.050	2.034	33.3
	6772-960	3.140	2.548	18.9
	6772-914	2.074	1.796	13.4
Charge NPS 3,2%	6772-901	2.772	2.208	20.4
	6772-959	2.824	1.848	34.6
	6772-894	2.618	2.274	13.1
Charge S 1%	6772-937	2.568	1.706	33.6
	6772-946	2.592	2.062	20.5
	6772-938	2.642	2.300	12.9
Charge S 3%	6772-939	2.804	2.422	13.6
	6772-922	2.540	2.034	19.9
	6772-913	2.618	1.778	32.1
Charge Mp 1%	6772-931	2.512	1.970	21.6
	6772-893	2.398	2.050	14.5
	6772-917	2.792	1.850	33.7
Charge Mp 2%	6772-920	2.548	2.184	14.3
	6772-910	2.940	2.340	20.4
	2388-001	2.484	1.630	34.4
Charge Me 1%	6772-898	2.470	2.110	14.6
	6772-903	2.622	2.074	20.9
	6772-936	2.722	1.770	35.0
Charge Me 3%	6772-909	2.922	1.970	32.6
	6772-943	2.792	2.210	20.9
	6772-952	2.468	2.116	14.3

## 8.5.4. pH-Wert

	Gewichtsverlust	Wurst Nr.	Tag Herstellung	2 Tag	3 Tag	4 Tag	5 Tag	8 Tag	10 Tag	15 Tag	22 Tag
Charge NPS 2,4%	10%	6772-918	5,73	5,69	5,62	5,55	5,43	5,30	5,30	5,12	5,10
	20%	6772-960	5,74	5,66	5,63	5,55	5,40	5,31	5,31	5,11	5,11
	30%	6772-914	5,74	5,67	5,64	5,56	5,41	5,30	5,31	5,12	5,11
1	Mittelwert Standardabweichung		0,01 0,01	0,02 0,02	0,01 0,01	0,01 0,01	0,02 0,02	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01
Charge NPS 3,2%	10%	6772-901	5,64	5,59	5,66	5,53	5,44	5,21	5,23	5,12	5,07
	20%	6772-959	5,67	5,58	5,65	5,52	5,42	5,22	5,23	5,13	5,08
	30%	6772-894	5,65	5,57	5,66	5,53	5,43	5,22	5,22	5,12	5,07
2	Mittelwert Standardabweichung		0,02 0,01	0,01 0,01							
Charge S 1%	10%	6772-937	5,69	5,58	5,62	5,45	5,36	5,23	5,25	5,23	5,09
	20%	6772-946	5,69	5,61	5,61	5,44	5,37	5,24	5,26	5,22	5,10
	30%	6772-938	5,68	5,59	5,62	5,45	5,36	5,23	5,25	5,22	5,11
3	Mittelwert Standardabweichung		0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01
Charge S 3%	10%	6772-939	5,75	5,65	5,64	5,46	5,34	5,27	5,26	5,21	5,10
	20%	6772-922	5,74	5,64	5,63	5,45	5,35	5,27	5,27	5,20	5,09
	30%	6772-913	5,75	5,64	5,62	5,45	5,36	5,28	5,27	5,21	5,09
4	Mittelwert Standardabweichung		0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01
Charge Mp 1%	10%	6772-931	5,83	5,75	5,70	5,51	5,36	5,24	5,24	5,17	5,03
	20%	6772-893	5,81	5,76	5,70	5,50	5,38	5,23	5,24	5,16	5,04
	30%	6772-917	5,80	5,75	5,69	5,52	5,38	5,25	5,25	5,16	5,04
5	Mittelwert Standardabweichung		0,02 0,01	0,01 0,01							
Charge Mp 2%	10%	6772-920	5,83	5,69	5,75	5,56	5,43	5,26	5,25	5,13	5,01
	20%	6772-910	5,83	5,70	5,76	5,55	5,44	5,26	5,25	5,13	5,03
	30%	2388-001	5,83	5,71	5,76	5,56	5,43	5,26	5,24	5,12	5,02
6	Mittelwert Standardabweichung		0,00 0,00	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,00 0,00	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01
Charge Me 1%	10%	6772-898	5,73	5,71	5,67	5,48	5,40	5,26	5,26	5,18	5,06
	20%	6772-903	5,72	5,72	5,68	5,47	5,39	5,26	5,26	5,19	5,07
	30%	6772-936	5,73	5,71	5,67	5,49	5,40	5,25	5,25	5,18	5,07
7	Mittelwert Standardabweichung		0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,00 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01
Charge Me 3%	10%	6772-909	5,85	5,73	5,75	5,57	5,47	5,31	5,31	5,21	5,04
	20%	6772-943	5,84	5,73	5,74	5,58	5,46	5,32	5,31	5,22	5,05
	30%	6772-952	5,85	5,74	5,75	5,57	5,46	5,32	5,32	5,22	5,04
8	Mittelwert Standardabweichung		0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01	0,01 0,01

## 8.6. Analysenwerte der GEHA-Verarbeitungsmaterialstandards auf einem Blick

Art	Klasse	Beschreibung	Wasser [%]
Sau und Schwein	S I	Einlagematerial frei von Fett und ohne sichtbare Sehnen, für Brühwurstsorten (z.B. Bierschinken) sowie Rohwurstsorten mit hervorhebenden Qualitätsmerkmalen	75
	S II	Einlagematerial und/oder Grundmaterial für Aufschnittware und Kochwurstsorten. Magere, sehnenfreie Fleischabschnitte. Sichtbarer Fettanteil: max 5%.	73
	S III	Feinbrätmaterial. Mageres Kutterfleisch mit einem höheren Sehnenanteil. Sichtbarer Fettanteil: max 6%.	70
	S IV	Einlagematerial. Abschnitte vom mageren Bauch, Brustspitzenmaterial, Schulter und Schinkenspeckabschnitte. Sichtbarer Fettanteil: max 30%.	53
	S V	Einlagematerial. Kerniger Schweinebauch. Sichtbarer Fettanteil: max 60%.	32
	S VI	Einlagematerial für Kochwurst und/oder Grundmaterial für Brühwurst-Feinbrät. Schweinefettbacke ohne Schwartenzug und ohne Drüsen.	40
	S VII	Feinbrät- und/oder Einlagematerial. Speck vom Nacken und dünner, nicht schmalzender Rückenspeck.	17
	S VIII	Einlage- und/oder Feinbrätmaterial. Kerniger, fetter Rückenspeck.	8
	S IX	Feinbrätmaterial. Fettabschnitte mit geringem Schwartenzug und sehr geringem Magerfleischanteil.	25
	S X	Grundmaterial für streichfähige Roh- und Leberwurstsorten. Mittelfette Wamme ohne Schwartenzug und ohne Drüsen.	40
	S XI	Fette, Weiche Fettwammen ohne Schwarten mit geringem Magerfleischanteil	20
	S XII	Schweinemasken ohne Mager- und Fettbacke.	55
	S II/III	Magere Abschnitte von Bug, Schinken und Kotelett sowie vom Dicken Eisbein. Sichtbarer Fettanteil max 5%.	73
Rind, Kuh, Bulle	R I	Einlage- und Grundmaterial für Rindfleischspezialitäten und für Schabefleisch. Ausgesuchtes Fleisch von der Keule und vom Bug ohne sichtbares Fett und ohne sichtbare Sehnen.	75
	R II	Grundmaterial für Brüh- und Rohwurstsorten. Grob entsehnte, magere Fleischabschnitte. Sichtbarer Fettanteil: max. 5%.	72
	R III	Feinbrätmaterial für Brüh- und Rohwurstsorten. Grob entsehnte Magerfleischabschnitte. Sichtbarer Fettanteil: max. 10%.	69
	R IV	Feinbrätmaterial für einfache Brüh- und Rohwurstsorten. Fett- und sehnenhaltiges Material, Kopffleisch. Sichtbarer Fettanteil: max 15%.	64
	R V	Grundmaterial für streichfähige sowie für schnittfeste Rohwurstsorten und für Brüh-Rindwurst. Sehnenfreie Abschnitte mit hohem Fettanteil. Sichtbarer Fettanteil: mind. 30%.	50
	R II/III	R II/III fällt an, wenn R III mittels Trennsatz im Wolf oder im Weichtrenner bearbeitet wird.	70
	KUH I	Gut entsehntes und entfettetes Kuhfleisch ohne sichtbares Fett und ohne sichtbare Sehnen. Ausgesuchtes Fleisch von der Keule und vom Bug.	75
	KUH II	Entsehntes und fettfreies Kuhfleisch. Sichtbarer Fettanteil bis max 5%.	73
Kalb	KA I	Mageres und sehnenfreies Fleisch von Keule und Bug, ohne sichtbares Fett und ohne sichtbare Sehnen.	76
	KA II	Kalbfleischabschnitte mit einem sichtbaren Fettanteil von max. 5% und mit geringem sichtbaren Sehnenanteil. Teile von Hals und Brust sowie Abschnitte (bindegewebsEiweißhaltig)	73
	KA III	Kalbfleischabschnitte mit einem sichtbaren Fettanteil von max. 15%; Brust und Fleisch von der Dünung von fett-gedeckten Kälbern; Abschnittfleisch.	67
	KA IV	Kalbfleischabschnitte mit einem sichtbaren Fettanteil von über 20%, jedoch ohne sichtbare Sehnen. Material von Brust und Dünung.	60

\* Bei den Analysenwerte handelt es sich um Mittelwerte, bezogen auf die textlich dargestellten GEHA-Verarbeitungsmaterialstandards.