



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

„Fettoxidation in Modellbrühwürsten mit Rapsöl als
Alternative zu Schweinespeck“

verfasst von

Fanny Carolina Castaneda Rocha de Kopp, BSc.

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 838

Studienrichtung lt. Studienblatt: Masterstudium Ernährungswissenschaften

Betreut von: ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Bauer

Danksagungen

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Bauer für die Überlassung des Masterarbeitsthemas und die ständige Unterstützung herzlich bedanken, wodurch diese Arbeit überhaupt erst möglich wurde.

Mein Dank gilt auch Herrn Ing. Shahriar Vali und Frau Brigitte Pilz für die Begutachtung, die konstruktiven Anmerkungen, das Interesse an meiner Arbeit und das angenehme Arbeitsklima. Sie haben mir wichtige Hilfestellungen beim Erlernen der verschiedenen Methoden gegeben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Schwiegereltern Ingrid und Heinz Kopp, die mich durch Ihren unerschütterlichen Optimismus immer wieder bestärkt haben und jederzeit für mich da waren. Danke für das Vertrauen, Ihr seid einfach wunderbar. Ich habe Euch sehr lieb.

Dankbar bin ich auch Margarete und Johann Kopp, die alles dafür tut, dass ich mich wie zu Hause fühle. Ihr macht mich sehr glücklich.

Ein herzliches Dankeschön gilt meinen Eltern Luis Castaneda und Juana Rocha und meinem Bruder Luis Castaneda, die mich durch ihre Kraft in manchen schweren Zeiten immer wieder aufgerichtet und mich mein ganzes Leben lang beispiellos unterstützt haben. Los amo mucho, gracias por su apoyo, ánimos y el amor que me hacen sentir a pesar de la distancia.

Mein größter Dank gilt meinem Mann, Dietmar Kopp. Danke, dass Du immer für mich da bist und mich während des gesamten Studiums in jeder Art und Weise unterstützt hast. Wie schön, dass es Dich gibt, das Leben mit Dir ist einfach wunderbar. Te amo mi amor.

Ich danke Gott für die Kraft und Euch allen!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung und Fragestellung	1
2. Literaturüberblick.....	3
2.1. Pflanzliche Öle	3
2.1.1. Definition.....	3
2.1.2. Bearbeitung.....	3
2.1.3. Anwendung.....	5
2.1.4. Produktion.....	6
2.1.5. Sonnenblumenöl	9
2.1.5.1. Definition.....	9
2.1.5.2. Anwendung.....	9
2.1.5.3. Produktion	10
2.1.6. Sojaöl	10
2.1.6.1. Definition.....	10
2.1.6.2. Anwendung.....	11
2.1.6.3. Produktion	12
2.1.7. Palmöl	12
2.1.7.1. Definition.....	12
2.1.7.2. Anwendung.....	13
2.1.7.3. Produktion	14
2.1.8. Rapsöl	15
2.1.8.1. Definition.....	15
2.1.8.2. Anwendung.....	16
2.1.8.3. Produktion	17
2.2. Tierische Fette	18
2.2.1. Definition.....	18
2.2.2. Bearbeitung.....	19
2.2.3. Anwendung.....	20
2.2.4. Produktion.....	21

2.2.5. Schweinespeck.....	23
2.2.5.1. Definition.....	23
2.2.5.2. Anwendung.....	24
2.2.6. Schweineschmalz.....	24
2.2.6.1. Definition.....	24
2.2.6.2. Anwendung.....	26
2.2.7. Rind- und Schweinefleisch	26
2.2.7.1. Definition.....	26
2.2.7.2. Produktion und Verbrauch	27
2.2.7.3. Fettgehalt	29
2.3. Fett und Ernährung.....	33
2.3.1. Nahrungsfetzzufuhr und Biofunktionalität von Fettsäuren	33
2.3.2. Gesättigte Fettsäuren	35
2.3.3. Ungesättigte Fettsäuren	37
2.3.3.1. Einfach ungesättigte Fettsäuren.....	40
2.3.3.2. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren.....	41
2.3.3.3. <i>Trans</i> -Fettsäuren.....	44
2.3.4. Fettbegleitstoff: Cholesterol	46
2.3.5. Richtwerte für Fette und essentielle Fettsäuren	48
2.3.6. Fettaufnahme in Österreich.....	53
2.3.6.1. Schulkinder.....	54
2.3.6.2. Erwachsene.....	57
2.3.6.3. Seniorinnen und Senioren.....	60
2.3.7. Möglichkeiten der Fettreduktion und Fettmodifikation.....	63
2.4. Mechanismen der Fettoxidation	66
2.4.1. Oxidation der Lipide.....	66
2.4.2. Das Oxidationsverfahren im Lebensmittel Fleisch.....	71
2.4.3. Ernährungsaspekte von Ranzigkeit.....	72
2.4.4. Prooxidantien	73
2.4.4.1. Definition.....	73
2.4.4.2. Natriumchlorid (Kochsalz)	74
2.4.5. Antioxidantien	75
2.4.5.1. Definition.....	75
2.4.5.2. Nitrit und Nitrat	77
2.4.5.3. Ascorbinsäure	78

2.4.5.4. Vitamin E.....	79
2.4.5.5. Kräuter.....	81
2.4.5.5.1. Majoran.....	81
2.4.5.5.2. Petersilie.....	82
2.4.5.6. Phosphat	83
3. Material und Methoden.....	84
3.1. Herstellung der Modellwürsten.....	84
3.1.1. Geräte und Hilfsmittel	88
3.1.2. Durchführung.....	89
3.2. Fettbestimmung - Methode nach Soxhlet.....	89
3.2.1. Prinzip und Definition	89
3.2.2. Chemikalien.....	90
3.2.3. Geräte und Hilfsmittel	90
3.2.4. Durchführung.....	90
3.2.5. Berechnung.....	91
3.3. Bestimmung der Thiobarbitursäurezahl (TBA)	92
3.3.1. Prinzip und Definition	92
3.3.2. Chemikalien.....	93
3.3.3. Geräte und Hilfsmittel	93
3.3.4. Durchführung.....	93
3.3.5. Berechnung.....	94
3.4. Bestimmung der Peroxidzahl (POZ) – Verfahren nach Sully	94
3.4.1. Prinzip und Definition	94
3.4.2. Chemikalien.....	95
3.4.3. Geräte und Hilfsmittel	95
3.4.4. Durchführung.....	96
3.4.5. Berechnung.....	97
3.4.6. Grenzwerte.....	98
3.5. Statistik.....	98
4. Ergebnisse und Diskussion.....	99
4.1. Erster Versuch.....	99
4.1.1. Fettgehalte.....	100
4.1.2. TBARS	101
4.1.3. Peroxidzahl	102
4.1.4. Vergleich TBA/POZ.....	103

4.2. Zweiter Versuch	104
4.2.1. Fettgehalte.....	104
4.2.2. TBARS	105
4.2.3. Peroxidzahl	106
4.2.4. Vergleich TBA/POZ	107
4.3. Dritter Versuch.....	108
4.3.1. Fettgehalte.....	109
4.3.2. TBARS	109
4.3.3. Peroxidzahl	111
4.3.4. Vergleich TBA/POZ	112
4.4. Vierter Versuch	113
4.4.1. Fettgehalte.....	113
4.4.2. TBARS	114
4.4.3. Peroxidzahl	115
4.4.4. Vergleich TBA/POZ	116
4.5. Fünfter Versuch.....	117
4.5.1. Fettgehalte.....	117
4.5.2. TBARS	118
4.5.3. Peroxidzahl	120
4.5.4. Vergleich TBA/POZ	121
5. Schlussbetrachtung.....	122
6. Zusammenfassung	123
7. Summary.....	124
8. Literaturverzeichnis	125
9. Anhang.....	135
10. Lebenslauf.....	147

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Chemische Struktur von Sonnenblumenöl (Demir <i>et al.</i> 2012).....	9
Abb. 2: Die größten Produzenten von Sonnenblumenöl weltweit (USDA 2013)	10
Abb. 3: Chemische Struktur eines Triglycerides in einem trocknenden Öl (ColArt International Holdings Ltd 2011)	11
Abb. 4: Die größten Produzenten von Sojaöl weltweit (USDA 2013)	12
Abb. 5: Chemische Strukturen von Palmitinsäure, die keine Doppelbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen aufweist, und von Linolsäure (18:2) (Colebrook 2010)	13
Abb. 6: Die größten Produzenten von Palmöl weltweit (USDA 2013)	14
Abb. 7: Chemische Struktur von Erucasäure (PubChem 2009)	15
Abb. 8: Chemische Strukturen von Ölsäure, Linolsäure und α -Linolensäure (WebMD 2009)	16
Abb. 9: Die größten Produzenten von Rapsöl weltweit (USDA 2013).....	17
Abb. 10: Verfahrensablauf bei der Fettabtrennung (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	19
Abb. 11: Verwendung von tierischen Fetten von 2006 bis 2010 je nach Art der Nutzung innerhalb der Europäischen Union (Peters <i>et al.</i> 2011).....	20
Abb. 12: Bereiche, wo Rückenspeck und Bauchspeck im Schwein herkommen (Z.k.M. 2013).....	23
Abb. 13: Rindfleisch Verbrauch in kg pro Kopf im Jahr 2012 von ausgewählten Ländern (Heinrich-Böll-Stiftung 2013).....	28
Abb. 14: Schweinefleisch Verbrauch in kg pro Kopf im Jahr 2012 von ausgewählten Ländern (Heinrich-Böll-Stiftung 2013).....	29
Abb. 15: Chemische Strukturformel und Konfigurationen von Ölsäure und Elaidinsäure (Hunter 2005, Winter 2013a, Winter 2013b)	45
Abb. 16: Chemische Strukturformel von Cholesterol (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	47
Abb. 17: Einwirkung von γ -Tocopherol auf die Lag-Phase einer Öl-in-Wasser-Emulsion (Damodaran <i>et al.</i> 2008)	67
Abb. 18: Startreaktion der Lipidperoxidation anhand von Linolsäure (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	68
Abb. 19: Reaktionsfreudige Methylengruppen in Linolsäure, Linolensäure und Arachidonsäure (Damodaran <i>et al.</i> 2008)	69
Abb. 20: Folgereaktion der Lipidperoxidation anhand von Linolsäure (Damodaran <i>et al.</i> 2008)	70
Abb. 21: Abbruchsreaktion der Lipidperoxidation in einer Umgebung mit reduziertem Sauerstoffgehalt am Beispiel Linolsäure (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	71

Abb. 22: Wirkung von Antioxidantien als Radikalfänger. AH: Antioxidans (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	76
Abb. 23: Wirkung eines Antioxidans auf die Haltbarkeit von Schmalz (Allen und Hamilton 1994).....	78
Abb. 24: Schutzwirkung von Nitrosylmyoglobin gegen Lipidperoxidation (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	80
Abb. 25: Chemische Strukturen von Ascorbinsäure und Ascorbylpalmitate (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	82
Abb. 26: Chemische Struktur von α -Tocopherol (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	83
Abb. 27: Entstehung von Hydroperoxid und α -Tocopheryl-Radikal durch die Reaktion von α -Tocopherol mit einem Peroxylradikal (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	84
Abb. 28: Extraktionsapparatur nach Soxhlet.....	94
Abb. 29: Chemische Reaktion von TBA mit MDA (Pokorny <i>et al.</i> 2001).....	95
Abb. 30: Einhängekühler mit Proben.....	100
Abb. 31: Bestimmung der TBA des 1. Versuchs.....	101
Abb. 32: Bestimmung der POZ des 1. Versuchs	102
Abb. 33: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 1. Versuchs.....	104
Abb. 34: Bestimmung der TBA des 2. Versuchs.....	106
Abb. 35: Bestimmung der POZ des 2. Versuchs	107
Abb. 36: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 2. Versuchs.....	108
Abb. 37: Bestimmung der TBA des 3. Versuchs.....	111
Abb. 38: Bestimmung der POZ des 3. Versuchs	112
Abb. 39: Bestimmung der TBA des 4. Versuchs.....	115
Abb. 40: Bestimmung der POZ des 4. Versuchs	116
Abb. 41: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 4. Versuchs.....	117
Abb. 42: Bestimmung der TBA des 5. Versuchs.....	119
Abb. 43: Bestimmung der POZ des 5. Versuchs	121

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Abtrennung von Chlorinfarbstoffen in mg/kg bei der Raffination von Rapsöl (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	4
Tab. 2: Abtrennung von Endrin und von Polycyclen in mg/kg bei der Raffination von Sojaöl ^a und Rapsöl ^b (Belitz <i>et al.</i> 2008)	5
Tab. 3: Weltweite Produktion in Millionen Tonnen von pflanzlichen Ölen (USDA 2013)	6
Tab. 4: Weltweiter Inlandsverbrauch in Millionen Tonnen von pflanzlichen Ölen (USDA 2013).....	7
Tab. 5: Produktion in Tausend Tonnen von pflanzlichen Ölen innerhalb der Europäischen Union (USDA 2013).....	7
Tab. 6: Inlandsverbrauch in Tausend Tonnen von pflanzlichen Ölen innerhalb der Europäischen Union (USDA 2013).....	8
Tab. 7: Industrieverbrauch in Tausend Tonnen von pflanzlichen Ölen innerhalb der Europäischen Union (USDA 2013).....	8
Tab. 8: Fettsäurezusammensetzung einiger Landtierfette in Gewichtsprozent (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	19
Tab. 9: Die weltweite Herstellung und Export von 2005 bis 2009 in Millionen Tonnen von verschiedenen Produkten, die aus tierischen Fetten bestehen (Gunstone 2012)	21
Tab. 10: Produktion von tierischen Fetten von 2006 bis 2010 in Tausend Tonnen innerhalb der Europäischen Union (Peters <i>et al.</i> 2011)	22
Tab. 11: Richtwerte für Speck (ÖLMB 2013)	24
Tab. 12: Nährwertangabe von Schweineschmalz (Senser <i>et al.</i> 2013).....	25
Tab. 13: Fleischproduktion von 2010 bis 2012 in Millionen Tonnen weltweit (FAO 2012)....	28
Tab. 14: Geschätzte Zusammensetzung in Gewichtsprozent von Muskel- und mageren Geweben verschiedener Tierarten (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	30
Tab. 15: Lipidzusammensetzung verschiedener Tierarten (Damodaran <i>et al.</i> 2008)	31
Tab. 16: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Tierarten als Prozent des Gesamtfettes (Damodaran <i>et al.</i> 2008).....	31
Tab. 17: Fettgehalt von verschiedenen Sorten Faschiertes (ÖLMB 2013)	32
Tab. 18: Strukturen der Hauptfettsäuren. Die Zählung der Kohlenstoffatome (C-Atome) erfolgt ausgehend von der COOH-Gruppe (Belitz <i>et al.</i> 2008)	34
Tab. 19: Gesättigte Fettsäuren (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	36
Tab. 20: Ungesättigte Fettsäuren (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	39
Tab. 21: Konjugierte Linolsäuren (CLA) in Lebensmitteln (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	46

Tab. 22: Cholesterolgehalt einiger Lebensmittel (Belitz <i>et al.</i> 2008).....	47
Tab. 23: Richtwerte für die Fettzufuhr in Prozent der Gesamtenergiezufuhr (DGE <i>et al.</i> 2008).....	50
Tab. 24: Empfohlene Zufuhr an essentiellen Fettsäuren (DGE <i>et al.</i> 2008).....	51
Tab. 25: AMDR-Werte für das Gesamtfett in Prozent der gesamten Energieaufnahme (NRC 2005).....	52
Tab. 26: AI-Werte von essentiellen Fettsäuren (NRC 2005)	53
Tab. 27: Tägliche Aufnahme von Fett bei Schulkindern nach Geschlecht und Alter (Elmadfa <i>et al.</i> 2012).....	55
Tab. 28: Tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Schulkindern nach Geschlecht und Alter (Elmadfa <i>et al.</i> 2012)	56
Tab. 29: Tägliche Aufnahme von Fett bei Erwachsenen nach Geschlecht und Alter (Elmadfa <i>et al.</i> 2012).....	58
Tab. 30: Tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Erwachsenen nach Geschlecht und Alter (Elmadfa <i>et al.</i> 2012)	59
Tab. 31: Tägliche Aufnahme von Fett bei Seniorinnen und Senioren nach Geschlecht (Elmadfa <i>et al.</i> 2012).....	61
Tab. 32: Tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Seniorinnen und Senioren nach Geschlecht (Elmadfa <i>et al.</i> 2012).....	62
Tab. 33: Einfluss von Rapsölzulage in der Mast auf die Zusammensetzung von Schweinefett (Weiler und Hofäcker 2006)	64
Tab. 34: Mageres Fleisch und Fettanteil von Simmentalern Bullen, kastrierten Stieren und Fäsern nach der Schlachtung (Čepin und Žgur 2003)	65
Tab. 35: Zutaten des 1. Versuchs	87
Tab. 36: Zutaten des 2. Versuchs	88
Tab. 37: Zutaten des 3. Versuchs	89
Tab. 38: Zutaten des 4. Versuchs	90
Tab. 39: Zutaten des 5. Versuchs	91
Tab. 40: Grenzwerte für Peroxidzahl (POZ) (Pardun 1969)	101
Tab. 41: Fettgehalte des 1. Versuchs	100
Tab. 42: Fettgehalte des 2. Versuchs	105
Tab. 43: Fettgehalte des 3. Versuchs	109
Tab. 44: Fettgehalte des 4. Versuchs	114
Tab. 45: Fettgehalte des 5. Versuchs	118

Anhangstabelle 1: Bestimmung der TBA (erster Versuch).....	135
Anhangstabelle 2: Bestimmung der POZ (erster Versuch)	135
Anhangstabelle 3: Bestimmung der TBA (zweiter Versuch)	136
Anhangstabelle 4: Bestimmung der POZ (zweiter Versuch)	137
Anhangstabelle 5: Bestimmung der TBA (dritter Versuch).....	138
Anhangstabelle 6: Bestimmung der POZ (dritter Versuch)	139
Anhangstabelle 7: Bestimmung der TBA (vierter Versuch)	140
Anhangstabelle 8: Bestimmung der POZ (vierter Versuch).....	141
Anhangstabelle 9: Bestimmung der TBA (fünfter Versuch).....	142
Anhangstabelle 10: Bestimmung der POZ (fünfter Versuch)	143
Anhangstabelle 11: Bestimmung der POZ (fünfter Versuch)	144
Anhangstabelle 12: Bestimmung der POZ (fünfter Versuch)	144
Anhangstabelle 13: Bestimmung der POZ (fünfter Versuch)	145

Abkürzungsverzeichnis

AHA	American Heart Association
AI	Adequate intake
ALS	Amyotrophic lateral sclerosis
AMDR	Acceptable macronutrient distribution ranges
C-Atome	Kohlenstoffatome
CLA	Conjugated linoleic acid
D-A-CH	Deutschland-Österreich-Schweiz
DHA	Docosahexaenoic acid
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.
DRI	Dietary Reference Intake
EFSA	European Food Safety Authority
EPA	Eicosapentaenoic acid
EU	Europäische Union
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDA	United States Food and Drug Administration
GISSI	Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto miocardico
HDL	High density lipoprotein
LDL	Low density lipoprotein
LEAR	Low euric acid rapeseed
MDA	Malondialdehyd
NAS	National academy of sciences
NRC	National Research Council
ÖGE	Österreichische Gesellschaft für Ernährung
ÖLMB	Österreichisches Lebensmittelbuch
POZ	Peroxidzahl
Rat	Rat der Europäischen Union
RDA	Recommended dietary allowances
SGE	Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung
SVE	Schweizerische Vereinigung für Ernährung
TBA	Thiobarbituric acid
UV	Ultraviolett
USDA	United States Department of Agriculture
WHO	World Health Organization

1. Einleitung und Fragestellung

Generell spielen Fette eine wichtige Rolle in der Ernährung des Menschen und sie sind nicht nur bedeutungsvoll, weil sie Geschmacksträger und Energielieferanten sind, sondern auch wegen ihres Gehalts an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, die unser Körper nicht selbst bilden kann, aber trotzdem benötigt (Schultz *et al.* 1962, National Research Council 2005). Außerdem erleichtern Fette die Aufnahme von Karotinoiden und der fettlöslichen Vitamine A, D, E und K; sie sind weiters Bestandteil unseres Nervengewebes und sie sind an der Entstehung mancher Hormone beteiligt (Leitzmann und Watzl 2005). Da Fett auch als Energiespeicher wirkt (Speicherfett), entsteht Körperfett auch aus Überschussenergie, welche nicht eliminiert wird und schließlich zur Entwicklung von Adipositas führen kann (National Research Council 2005). Leider gibt es weder eine AI, noch eine RDA in Bezug auf den Gesamtfettgehalt aber es gibt einen AMDR von 20 % bis 35 % der täglichen Energieaufnahme (44 – 77 g pro Tag bei einer Diät von 2000 kcal). Laut NAS steht der AMDR in Zusammenhang mit einem verminderten Risiko für chronische Krankheiten (Strunz und Jopp 2004, National Research Council 2005). Andererseits kann unser Körper eine ausreichende Menge von gesättigten Fettsäuren herstellen, die für physiologische Funktionen und strukturelle Eigenschaften benötigt werden. Diese Fettsäuren spielen aber keine Rolle, wenn es darum geht, chronischen Erkrankungen vorzubeugen und sie haben deswegen weder eine AI, noch eine RDA (National Research Council 2005). Allerdings zeigen laut dem österreichischen Ernährungsbericht 2012 alle untersuchten Personengruppen einen zu hohen Konsum an gesättigten Fettsäuren, besonders durch den Verzehr von Fleisch- und Wurstwaren (Elmadfa *et al.* 2012). Es ist sinnvoll anzumerken, dass gesättigte Fettsäuren keine Doppelbindungen besitzen, während ungesättigte Fettsäuren je nach Anzahl der Doppelbindungen in einfach ungesättigte Fettsäuren oder mehrfach ungesättigte Fettsäuren unterteilt werden (Leitzmann und Watzl 2005).

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob Rapsöl eine erfolgreiche Alternative für eine Fettreduktion, beziehungsweise eine Fettmodifikation während der Herstellung von Brühwurst sein kann.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, diese Frage im Rahmen von Laborversuchen an Modellwürsten zu untersuchen, wobei das Hauptaugenmerk auf die Fettoxidation und deren Vermeidung gelegt werden sollten. Eine Veränderung der Tierfütterung hin zu einem höheren Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist eine Methode, die zur Verfügung steht um diesem Ziel näher zu kommen, aber sie ist kostenintensiv und zeitaufwendig (Moran 1996). Die benutzte Methode für diese Masterarbeit umfasst die Verwendung von Rapsöl in verschiedenen Fleischproben, welche noch diverse Zutaten enthalten. Es ist jedoch bekannt, dass dieses

pflanzliche Öl aufgrund seiner chemischen Doppelbindungen oxidationsempfindlich ist und es ist deswegen sehr wichtig Ranzigkeit und Fettoxidation zu vermeiden und die Peroxidzahl klein zu behalten, sodass die Wurstwaren essbar und haltbar bleiben (Leitzmann und Watzl 2005). Rapsöl ist reich an Ölsäure und α -Linolensäure, ihr Gehalt an gesättigten Fettsäuren ist im Vergleich zu anderen bedeutenden Pflanzenölen (Baba *et al.* 1999) niedriger und daraus ergibt sich ein positiver Einfluss auf das Verhältnis von ω 6-Fettsäuren zu ω 3-Fettsäuren in Fleischerzeugnissen (Modzelewska-Kapituła *et al.* 2012).

2. Literaturüberblick

2.1. Pflanzliche Öle

2.1.1. Definition

Pflanzliche Öle sind Fette, die generell bei Raumtemperatur eine flüssige Konsistenz aufweisen. Pflanzliche Fette lassen sich in Fruchtfleisch- und Samenfette einteilen und obwohl nur zwei Fruchtfleischfette bedeutend sind (die Fruchtfleischfette der Oliven und der Früchte von Ölpalmen), ist die Menge der Samenfette größer (Belitz *et al.* 2008). Öle, die aus einer einzigen Pflanzenart stammen, wie zum Beispiel Rapsöl oder Mischungen wie Backöl, werden in den Verkehr gebracht (Belitz *et al.* 2008). Pflanzliche Öle setzen sich zusammen aus Triglyceriden, die aus Pflanzen stammen, und sie gehören seit Jahrtausenden zur menschlichen Nahrung. Der Archäologe Bob McCullough aus Indiana University-Purdue University Fort Wayne hat in einer 4000 Jahre alten „Küche“ in Indiana (Charlestown State Park) Felsbrocken gefunden, die als Werkzeuge für die Zerkleinerung und das Quetschen verschiedener Hülsenfrüchte benutzt wurden. Die Einheimischen haben diese danach in Wasser gekocht, um das Öl zu extrahieren (Associated Press 2006). Pflanzliche Öle sind in der Lage sich selbst vor verschiedenen prooxidativen Faktoren wie zum Beispiel Licht, Hitze und Sauerstoff zu schützen, aber abhängig von Lagerungszeit und Lagerbedingungen kann die natürliche Stabilität beeinträchtigt werden und es kommt zu Veränderungen in Geschmack und Aroma. Solche Änderungen können während der Herstellung, Verpackung, Verarbeitung, Lagerung oder beim Kochverfahren stattfinden (Schultz *et al.* 1962, Belitz *et al.* 2008).

2.1.2. Bearbeitung

In der Regel enthalten produzierte Rohöle je nach der Art des Öls, Behandlung und Gewinnungsprozess unerwünschte Begleitstoffe wie zum Beispiel Phospholipide, freie Fettsäuren, Geruchs- und Geschmacksstoffe, Farbstoffe oder Kontaminanten, die entfernt werden müssen, um die annehmbare Qualität des Öls zu garantieren. Solche Begleitstoffe würden das Öl nicht nur mit einem schlechten Geschmack, Fremdaromen oder Fremdpigmenten negativ beeinflussen, sondern die Haltbarkeit beeinträchtigen und die Gesundheit der Menschen durch Schwermetalle, Pestizide oder Aflatoxine gefährden (Dunford und Dunford 2004, Belitz *et al.* 2008). Bei der Raffination, die auf zwei Wegen alternativ zur

Anwendung kommt, nämlich chemische Raffination und physikalische Raffination, werden diese Bestandteile abgetrennt. Die chemische Raffination umfasst generell die Verfahrensschritte Entschleimung, Entsäuerung, Bleichung und Dämpfung (Kaltschmitt *et al.* 2009). Die Entschleimung entfernt Phospholipide, Glycolipide, freie Zucker, feinverteilte Proteine und Metallionen aus dem Öl. Durch die Entsäuerung werden freie Fettsäuren abgetrennt; durch Bleichung werden Farbstoffe (Chlorophyll, Carotinoide und andere), Reste von Schleimstoffen, Spurenmetalle, Seifen und Oxidationsprodukte entfernt. Die Entfernung von Geschmacks- und Geruchsbestandteilen findet durch die Wasserdampfdestillation bei der Dämpfung statt (Belitz *et al.* 2008, Kaltschmitt *et al.* 2009). Tabelle 1 zeigt am Beispiel eines Rapsöls, wie die Menge der Chlorinfarbstoffe abgetrennt wird und in Tabelle 2 ist die Abtrennung von Pestiziden und Polycyclen am Beispiel eines Sojaöls und Rapsöls bei der chemischen Raffination dargestellt.

Tab. 1: Abtrennung von Chlorinfarbstoffen in mg/kg bei der Raffination von Rapsöl (Belitz *et al.* 2008)

	Rohöl	Menge nach der		
		Entsäuerung	Bleichung	Dämpfung
Chlorophyll A	2,62	0,89	0,028	0,007
Chlorophyll B	2,92	0,08	0,059	0,023
Phäophytin A	35,6	31,5	0,235	0,108
Phäophytin B	4,99	6,85	0,071	0,036
Gesamtsumme	46,1	39,1	0,393	0,174

Tab. 2: Abtrennung von Endrin und von Polycyclen in mg/kg bei der Raffination von Sojaöl^a und Rapsöl^b (Belitz *et al.* 2008)

	Rohöl	Menge nach der		
		Entsäuerung	Bleichung	Dämpfung
Endrin	620 ^a	590	510	<30
Anthracen	10,1 ^b	5,8	4,0	0,4
Phenanthren	100 ^b	68	42	15
Benz(a)anthracen	14 ^b	7,8	5,0	3,1
Benz(a)pyren	2,5 ^b	1,6	1,0	0,9

Die physikalische Raffination ist technisch aufwendiger und umfasst nur zwei Verfahrensschritte. Das Öl wird zuerst entschleimt und dann findet die Bleichung statt. Im zweiten Schritt werden die Fettsäuren durch Destillation abgetrennt, welche mit dem Behandlungsschritt der Dämpfung vergleichbar ist (Dunford und Dunford 2004, Kaltschmitt *et al.* 2009). Diese Art von Raffination benötigt weniger Chemikalien und verursacht geringere Raffinationsverluste. Die weltweite verkaufte Menge an Samenölen wird meist raffiniert mit Ausnahmen von Olivenöl, welches in größeren Mengen als Jungferföl unraffiniert verkauft wird (Dunford und Dunford 2004).

2.1.3. Anwendung

Pflanzliche Öle spielen eine große Rolle in der Gastronomie, weil diese nicht nur eine krümelige Struktur des Gebäcks oder einen gewünschten Geschmack hervorrufen, sondern auch wegen ihrer Fähigkeit, verschiedene Zutaten weniger zu verkleben und Geschmacksrichtungen anderer Inhaltsstoffe zu übertragen. Außerdem ist es möglich mit erhitzten Ölen, wie zum Beispiel Sonnenblumenöl, zu kochen, zu frittieren oder zu braten (Gupta 2010). Diese Öle werden ebenfalls verschiedenen industriellen Verwendungen zugeführt. Seifen, Hautpflegeprodukte, Kerzen, Parfums und andere Produkte werden sehr oft mit pflanzlichen Ölen hergestellt (Salunke *et al.* 1992). Zusätzlich sind sie ideal für die Elektroindustrie als Isolierstoff, da sie biologisch abbaubar sind und einen höheren Flamm- und

Brennpunkt aufweisen; allerdings sind diese Öle chemisch wesentlich instabiler und werden deswegen in Verfahren verwendet, wo sie dem Sauerstoff nicht ausgesetzt sind. Da pflanzliche Öle schließlich chemisch abgebaut und ranzig werden, wird Mineralöl in der Regel bevorzugt (Salunke *et al.* 1992).

2.1.4. Produktion

Laut USDA war die Produktion und der Inlandsverbrauch von Palmöl, Sojaöl, Rapsöl und Sonnenblumenöl seit 2008 in Millionen Tonnen weltweit, wie in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt, am größten (USDA 2013).

Tab. 3: Weltweite Produktion in Millionen Tonnen von pflanzlichen Ölen (USDA 2013)

	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13 (März)
Palmöl	4402	45,87	4792	5070	5383
Sojaöl	3588	3882	4129	4240	4318
Rapsöl	2059	2255	2351	2429	2380
Sonnenblumenöl	1195	1212	1229	1508	1375
Palmkernöl	517	550	555	591	624
Erdnussöl	508	474	504	507	529
Baumwollsaamenöl	475	460	497	527	528
Kokosöl	354	363	383	356	352
Olivenöl	278	308	325	339	287

Tab. 4: Weltweiter Inlandsverbrauch in Millionen Tonnen von pflanzlichen Ölen (USDA 2013)

	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13 (März)
Palmöl	4471	4479	4677	4906	5238
Sojaöl	3617	3813	4076	4176	4335
Rapsöl	2029	2260	2349	2378	2380
Sonnenblumenöl	1068	1159	1155	1294	1342
Palmkernöl	490	506	525	563	575
Baumwollsaamenöl	474	460	477	515	526
Erdnussöl	494	488	504	507	525
Kokosöl	335	396	381	370	367
Olivenöl	291	296	302	307	309

Wie in Tabelle 5 ersichtlich ist, war seit 2008 innerhalb der Europäischen Union die Herstellung von Sojaöl, Sonnenblumenöl und Rapsöl am bedeutendsten (USDA 2013). Außerdem waren der Inlands- und der Industrieverbrauch seit 2008 von Sojaöl, Sonnenblumenöl, Palmöl und Rapsöl am höchsten, wie in Tabelle 6 und Tabelle 7 gezeigt wird (USDA 2013).

Tab. 5: Produktion in Tausend Tonnen von pflanzlichen Ölen innerhalb der Europäischen Union (USDA 2013)

	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13 (März)
Rapsöl	18999	21553	20754	19077	18800
Sonnenblumenöl	7121	6905	6896	8292	6950
Sojaöl	639	836	1090	1288	950
Sonstige	451	350	396	551	464

Tab. 6: Inlandsverbrauch in Tausend Tonnen von pflanzlichen Ölen innerhalb der Europäischen Union (USDA 2013)

	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13 (März)
Rapsöl	8679	9925	9657	9302	9255
Palmöl	5221	5210	4813	5530	5425
Sonnenblumenöl	3165	3453	3482	3653	3693
Sojaöl	2739	2407	2737	1980	2040
Sonstige	3435	3422	3448	3406	3489

Tab. 7: Industriebverbrauch in Tausend Tonnen von pflanzlichen Ölen innerhalb der Europäischen Union (USDA 2013)

	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13 (März)
Rapsöl	5931	7190	6972	7000	6880
Palmöl	2210	2183	2090	2410	2380
Sojaöl	1085	1030	1420	880	980
Sonnenblumenöl	270	300	220	230	250
Sonstige	460	444	493	478	480

Aufgrund der Tatsache, dass Sonnenblumenöl, Sojaöl, Palmöl und Rapsöl die wichtigsten Öle für den Inlands- und den Industriebverbrauch innerhalb der Europäischen Union darstellen, werden diese pflanzlichen Öle ausführlicher behandelt.

2.1.5. Sonnenblumenöl

2.1.5.1. Definition

Sonnenblumenöl ist ein nichtflüchtiges Öl, welches in den Samen der Sonnenblume (lateinisch *Helianthus annuus*) zu etwa 47 Gew.-% enthalten ist. Dieses Öl spielt eine wichtige Rolle in der Ernährung als Quelle für essentielle Fettsäuren, da Sonnenblumenöl reich an Linolsäure, einer mehrfach ungesättigten ω 6-Fettsäure und arm an gesättigten Fettsäuren ist (Gunstone 2011). Eine Menge von ca. 60 mg pro 100 g α -Tocopherol kann in diesem Öl auch nachgewiesen werden (Gunstone 2011, NSA 2013). Das Öl wird durch Pressen oder Extraktion der Samen gewonnen und es wird vor dem menschlichen Gebrauch raffiniert. Nach der Raffination ist das Öl leicht bernsteinfarbig und es hat einen leichten Fettgeruch (Gunstone 2008). Sonnenblumenöl ist hauptsächlich ein Triglycerid und es besteht in der Regel aus 4 bis 9 % Palmitinsäure, 1 bis 7 % Stearinsäure, 14 bis 40 % Ölsäure und 48 bis 74 % Linolsäure (Gunstone 2008). Die chemische Struktur ist in Abbildung 1 dargestellt.

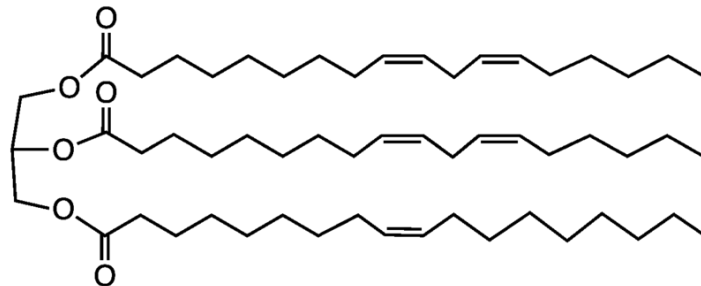


Abb. 1: Chemische Struktur von Sonnenblumenöl (Demir *et al.* 2012)

2.1.5.2. Anwendung

Sonnenblumenöl wird generell in der Gastronomie zum Braten benutzt. Sonnenblumenöl kann bei sehr hohen Temperaturen benutzt werden und es wird in Snacks, wie zum Beispiel Kartoffelchips, gebraucht (Gunstone 2011, NSA 2013). Da es ein geeignetes Feuchtigkeitsmittel für die Haut ist, wird dieses Öl von der Kosmetikindustrie genutzt. Sonnenblumenöl wirkt auch gegen nosokomiale Infektionen für Frühgeborene bei täglichem Gebrauch auf der Haut (Lancet 2013). Dieses Öl kann auch als Kraftstoff gebraucht, hydriert oder als Rohstoff für Backfette oder Margarine benutzt werden (Gunstone 2011).

2.1.5.3. Produktion

Die Sonnenblume kommt ursprünglich aus Nordamerika aber die größten Mengen an Öl werden heutzutage in Europa, vor allem in der Ukraine (3781 Tonnen von 2012 bis 2013) produziert. Innerhalb der Europäischen Union wurden 2679 Tonnen von 2012 bis 2013 hergestellt (USDA 2013). Abbildung 2 stellt die größten Produzenten von Sonnenblumenöl weltweit dar. Die Samen enthalten umso mehr Öl, je höher die Temperaturen im Sommer sind. Da es verschiedene Varietäten von dieser Pflanze gibt, kann die Fettsäurezusammensetzung des Öls etwas abweichen und deswegen gibt es auch Sonnenblumenöle mit 60 % oder über 70 % Linolsäure zum Kaufen (Gunstone 2008).

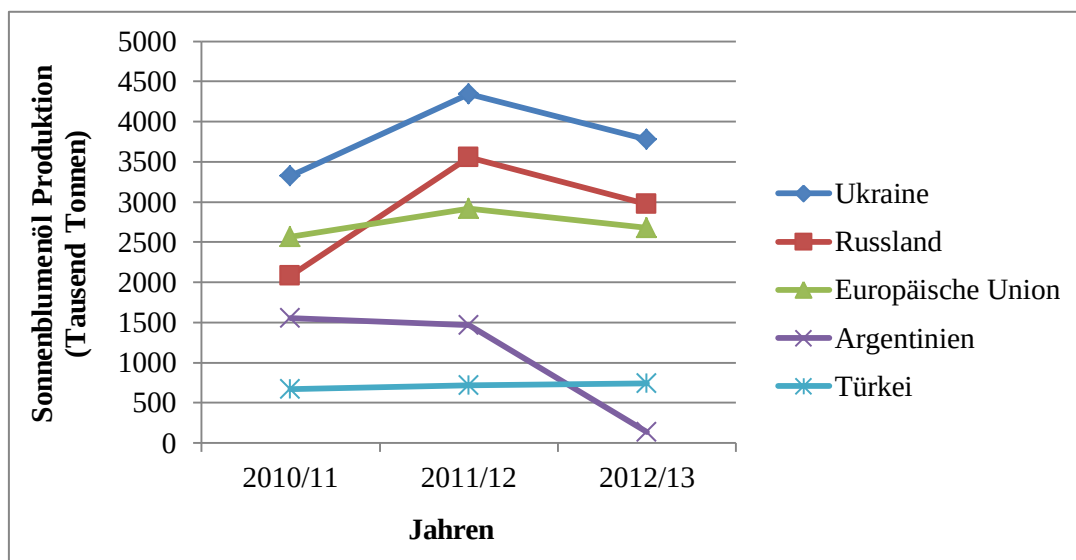


Abb. 2: Die größten Produzenten von Sonnenblumenöl weltweit (USDA 2013)

2.1.6. Sojaöl

2.1.6.1. Definition

Sojaöl wird aus Sojabohnen (lateinisch *Glycine max*) extrahiert und da es α -Linolensäure enthält, ist dieses Öl sauerstoffempfindlich mit Tendenz zur Polymerisation (trocknendes Öl). Trocknende Öle werden durch eine chemische Reaktion bei Exposition an der Luft zu einem festen Film ausgehärtet. Solche Öle spielen eine wichtige Rolle zum Beispiel bei der

Herstellung von Ölfarben (Poth 2001, Gunstone 2011). Die chemische Struktur eines Triglycerides in einem trocknenden Öl ist in Abbildung 3 dargestellt.

Sojabohnen bestehen aus ungefähr 50 mg Tocopherolen, 16 g gesättigten Fettsäuren, 23 g einfache ungesättigten Fettsäuren und 58 g mehrfach ungesättigte Fettsäuren je 100 g. Die hauptsächlichen ungesättigten Fettsäuren in Sojaöl Triglyceriden sind 7 bis 10 % α -Linolensäure, 51 % Linolsäure und 23 % Ölsäure. Zusätzlich enthält dieses Öl die gesättigte Fettsäure Palmitinsäure (10 %) und Stearinsäure (4 %) (Poth 2001, Gunstone 2011). Aufgrund seiner signifikanten Menge an Linolensäure, die prooxidativ wirkt, wird Sojaöl nicht unbedingt als Speiseöl zum Kochen oder Braten bevorzugt.

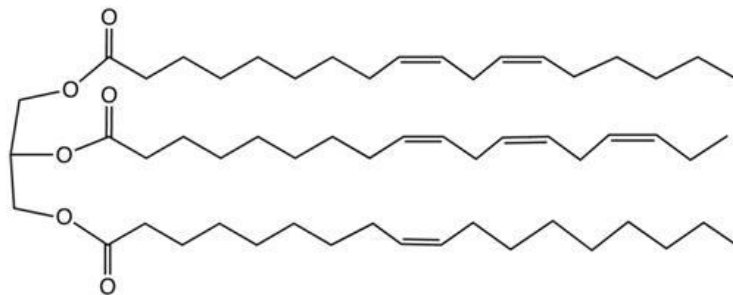


Abb. 3: Chemische Struktur eines Triglycerides in einem trocknenden Öl (ColArt International Holdings Ltd 2011)

2.1.6.2. Anwendung

Generell wird Sojaöl durch Pressung oder Lösungsmittlextraktion erhalten. Das Rohöl besitzt eine dunkle Farbe und es wird entweder raffiniert oder filtriert und gebleicht. Während der Fettgewinnung werden Rückstände erhalten und da diese proteinreich sind, werden sie als Futtermittel benutzt (Poth 2001). Sojaöl wird als Speiseöl verwendet und aufgrund seiner Zusammensetzung aus Phospholipiden, welche vorwiegend aus Lecithinen bestehen (1,5 bis 2,5 %), ist die Produktion von Mayonnaise und Salatdressings mit diesem pflanzlichen Öl möglich. Sojaöl kann auch hydriert und als Rohstoff für Margarine benutzt werden (Poth 2001). Als trocknendes Öl wird es zur Herstellung von Druckfarben oder Anstrichfarben verwendet. Im Übrigen werden circa 50 % der amerikanischen Zeitungen und etwa 15 % der europäischen Zeitungen mit solchen Druckfarben gedruckt (Krist *et al.* 2008). Außerdem sind die in Sojaöl enthaltenen Fettsäuren Wirkstoffträger für lipidlösliche Pflanzeninhaltsstoffe und Vitamine und werden deswegen von der Kosmetikindustrie benutzt (Barnard und Xue 2004).

2.1.6.3. Produktion

Die Sojabohnen kommen ursprünglich aus Ostasien und die größte Mengen an Öl werden heutzutage in China (11751 Tonnen von 2012 bis 2013) produziert (USDA 2013). An zweiter Stelle liegen die USA mit einer Produktion von 8607 Tonnen, gefolgt von Brasilien mit 7080 Tonnen von 2012 bis 2013. Innerhalb der Europäischen Union wurden 2156 Tonnen von 2012 bis 2013 hergestellt (USDA 2013). Abbildung 4 zeigt die größten Produzenten von Sojaöl weltweit. Das Öl wird entweder als pflanzliches Öl verkauft oder als Zutat für die Verarbeitung verschiedener Lebensmitteln verwendet (Gunstone 2011).

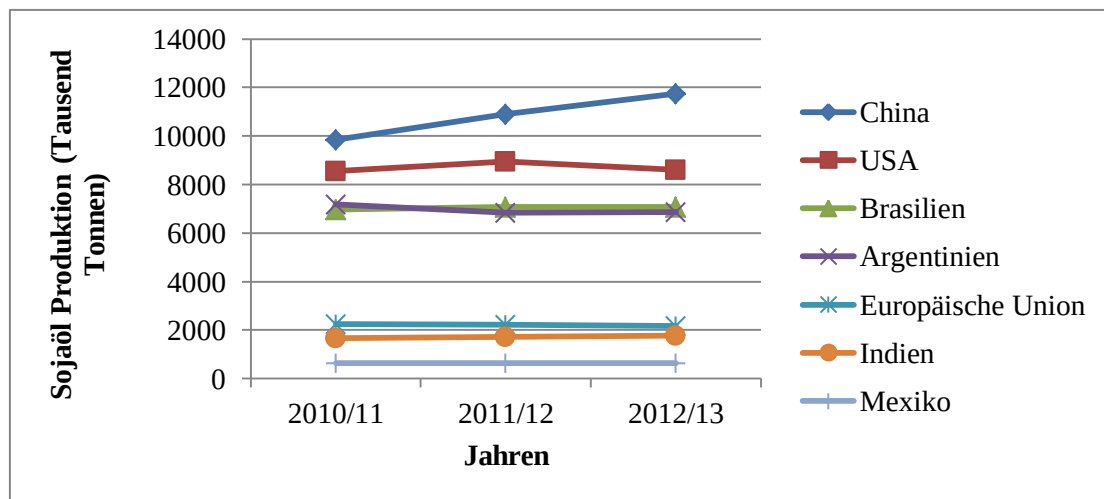


Abb. 4: Die größten Produzenten von Sojaöl weltweit (USDA 2013)

2.1.7. Palmöl

2.1.7.1. Definition

Die Früchte der Ölpalme aus Westafrika (lateinisch *Elaeis guinensis*), aus Amerika (lateinisch *Elaeis oleifera*) oder der Maripa Palm (lateinisch *Attalea maripa*) aus Südamerika und Trinidad und Tobago liefern Palmöl aus dem Fruchtfleisch (Poku 2002, Gunstone 2011). Das Fruchtfleisch besteht aus 35 bis 45 % Fett, wobei Ölsäure (39 %), Palmitinsäure (44 %) und Linolsäure (9 %) die Hauptfettsäuren sind. Die chemischen Strukturen von Palmitinsäure (eine gesättigte Fettsäure) und von Linolsäure (eine ungesättigte Fettsäure) sind in Abbildung 5

dargestellt. Außerdem sind je 100 g Palmöl α -Tocopherol (20 mg) und γ -Tocotrienol (22 bis 36 mg) anwesend (Gunstone 2011).

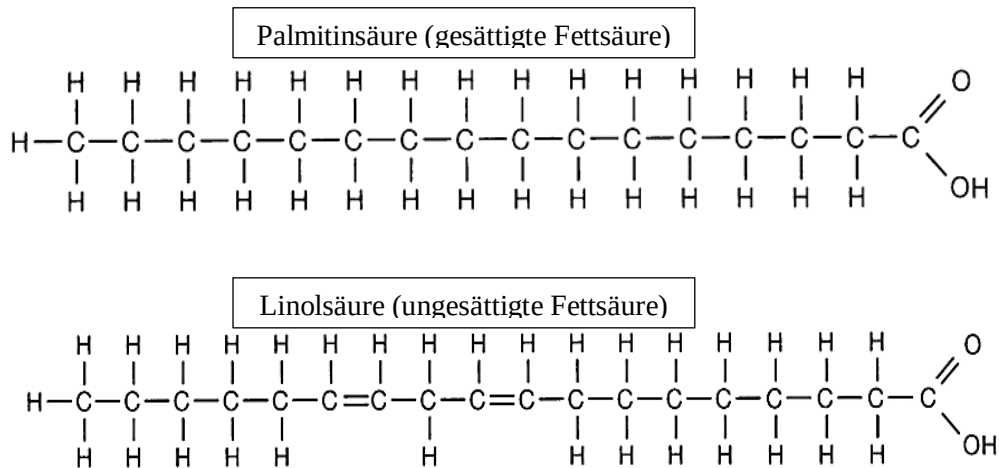


Abb. 5: Chemische Strukturen von Palmitinsäure, die keine Doppelbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen aufweist, und von Linolsäure (18:2) (Colebrook 2010)

Palmöl wird als weitgehend gesättigt beurteilt und ist bei Raumtemperatur halbfest. Durch seinen hohen Gehalt an gesättigten Fettsäuren erhöht dieses Öl den Spiegel des LDL- und HDL-Cholesterols (Vega-López *et al.* 2006). Während des Gewinnungsprozesses werden nicht nur das Fruchtfleisch und die Samen mit heißem Wasserdampf behandelt, sondern wird auch die Lipase deaktiviert (aufgrund der Lipaseaktivität ist das Rohöl leicht verderblich) (Belitz *et al.* 2008). Als Nächstes wird aus dem zerkleinerten Fruchtfleisch das Rohöl herausgepresst. Das gelb bis rot gefärbte Öl (durch das enthaltene beta-Carotin (50 bis 70 mg pro 100 g), wird dann zentrifugiert und damit geklärt. Bei der Raffination wird das Palmöl gebleicht und die freien Fettsäuren abgetrennt (Belitz *et al.* 2008, Gunstone 2011).

2.1.7.2. Anwendung

Palmöl ist eine häufige Zutat in Afrika, Südostasien und in einigen Teilen Brasiliens (USDA 2013). Da dieses Öl einen niedrigen Preis hat und es nach der Raffination oxidationsstabil ist, wird Palmöl weltweit vermarktet und sehr oft zum Braten benutzt (Bertrand 2007). Als die negativen Wirkungen von *trans*-Fettsäuren bekannt geworden waren, wurde Palmöl öfter als Ersatz eingesetzt. Dennoch ist das Öl keine gesunde Alternative, weil der Verzehr von

Lebensmitteln, die reich an Palmitinsäure (gesättigte Fettsäure) sind, zu einem erhöhten Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen führt (WHO/FAO 2003). Palmöl wird auch mit Antioxidantien stabilisiert und zum Beispiel für die Herstellung von Margarine und von Seifen genutzt (Gunstone 2011). In der Tat war dieses Öl zusammen mit Olivenöl von Caleb Johnson schon 1898 für die Produktion von Seifen verwendet worden, welche er Palmolive genannt hat. Da das Produkt ein riesiger Erfolg war, wurde der Name seiner Firma 1917 von B.J. Johnson Soap Co. in Palmolive umbenannt (Bellis 2013). Palmöl kann auch zur Herstellung von Biodiesel verwendet werden. Diesel aus Malaysia muss seit 2012 aus 5 % Palmöl und ab 2014 aus 10 % Palmöl bestehen (AFP 2010).

2.1.7.3. Produktion

Ölpalmen brauchen ein tropisches Wetter für ein optimales Pflanzenwachstum (Gunstone 2011). Die größten Mengen dieses Öls werden heutzutage in Indonesien (28000 Tonnen von 2012 bis 2013) produziert (USDA 2013). An zweiter Stelle liegt Malaysia mit einer Produktion von 19000 Tonnen von 2012 bis 2013. Malaysia ist tatsächlich einer der führenden Biokraftstoffhersteller der Welt (AFP 2010). Abbildung 6 stellt die größten Produzenten von Palmöl weltweit dar. Innerhalb der Europäischen Union wurden 5600 Tonnen von 2012 bis 2013 importiert (USDA 2013).

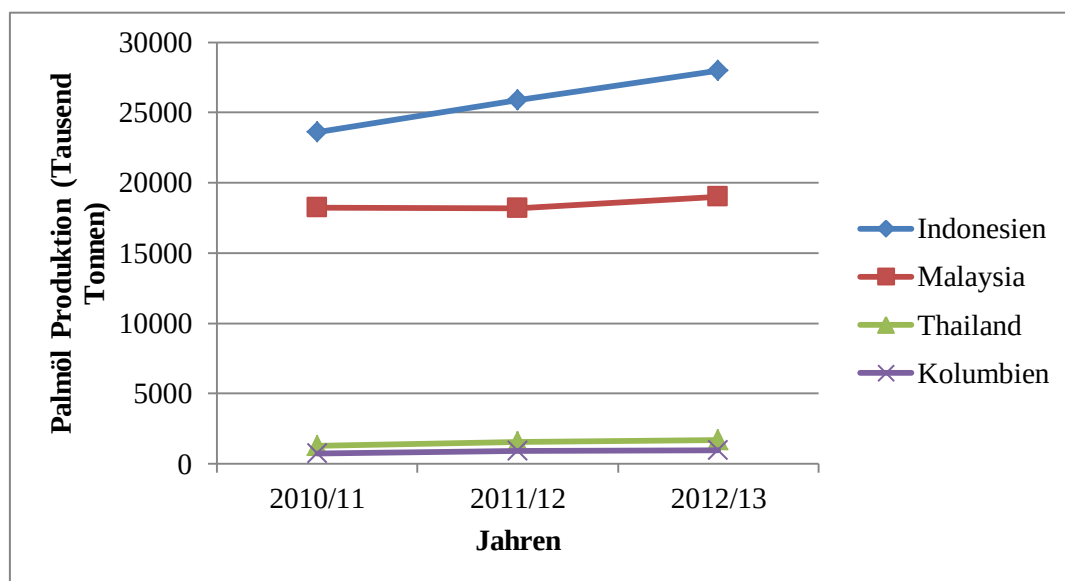


Abb. 6: Die größten Produzenten von Palmöl weltweit (USDA 2013)

2.1.8. Rapsöl

2.1.8.1. Definition

Rapsöl ist zu circa 40 % in den Samen von Raps (lateinisch *Brassica napus*) vorhanden, dessen Anbau seit 1578 in Westeuropa stattfindet (Baranyk und Fábry 2011). Raps gehört zur Familie der *Brassicaceae* und wird hauptsächlich wegen seiner ölreichen Saaten angebaut (Gunstone 2011). Eigentlich liegt Rapsöl an dritter Stelle der weltweit produzierten pflanzlichen Öle (USDA 2013). Dieses Öl enthält einen hohen Anteil an Senfölen und Erucasäure, die im Stoffwechsel nicht schnell metabolisiert wird und es so zu Herzmuskel-, Leber- und Nierenschäden durch Ablagerung von Fetten in diesen Organen bei Versuchstieren kommt (O'Brien 2009). Das unveränderte Rapsöl kann bis zum 50 % Erucasäure aufweisen und das Öl wird als Nahrungsmittel mit maximal einem Erucasäuregehalt von 2 Gewichtsprozent in der Europäische Union hergestellt (Gunstone 2004). Die chemische Struktur von Erucasäure ist in Abbildung 7 dargestellt. Außerdem können Senföle, wie in Tierversuchen gezeigt, die Schilddrüsenfunktion behindern und die Leistung von Tieren verringern (Brand *et al.* 2007).

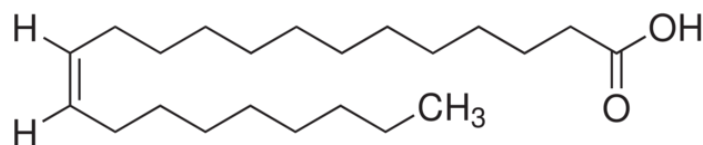


Abb. 7: Chemische Struktur von Erucasäure (PubChem 2009)

Rapsöl aus allen Sorten besteht aus circa 50 % Erucasäure, 21 % Ölsäure, 15 % Linolsäure, 8 % Linolsäure und 4 % Eicosensäure. Die neuen Arten von Rapsöl, die gelegentlich Canola genannt werden, umfassen etwa 56 % Ölsäure, 18 % Linolsäure (ω 6), 9 % α -Linolensäure (ω 3), 4 % Palmitinsäure, 2 % Stearinsäure, 0,7 % Arachinsäure und unter 1 % Erucasäure. α -Tocopherole (20 mg) und γ -Tocopherole (50 mg) sind auch im Rapsöl (je 100 g) enthalten. Die chemischen Strukturen von Ölsäure, Linolsäure und α -Linolensäure sind in Abbildung 8 dargestellt. Zusätzlich enthält Rapsöl die Phytosterine Sitostein, Stigmasterin, Campesterin, Brassicasterin und eine geringe Menge von gesättigten Fettsäuren (weniger als 10 %) (Gunstone 2011, Ebermann und Elmadfa 2011). Phytosterine verringern die Cholesterolaufnahme im Darm und damit können sie den Cholesterolgehalt um etwa 10 % senken (Quílez *et al.* 2003). Außerdem kann die hohe Anteil an einfach ungesättigter Ölsäure

(18:1) zur LDL-Cholesterol Reduktion und zur HDL-Cholesterol Erhöhung im Blut führen (Silva 2013). Darüber hinaus wirkt Vitamin E (α - und γ -Tocopherol) als Antioxidationsmittel, welches eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung der Integrität der Zellmembran, Schleimhäuten und der Haut spielt (Verhagen *et al.* 2006).

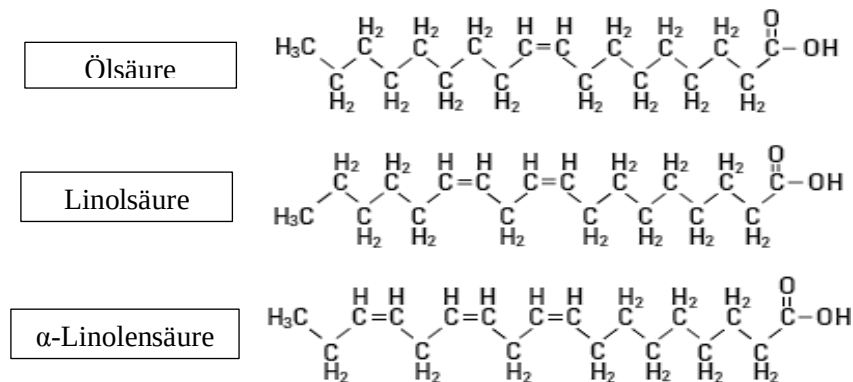


Abb. 8: Chemische Strukturen von Ölsäure, Linolsäure und α -Linolensäure (WebMD 2009)

Rapsöl wird durch Pressen oder Extraktion der Saaten erhalten. Die Farbe vom Rohöl ist aufgrund seines Chlorophyll- oder Phäophytin Gehalts ein typisches Grün und Rapsöl ist durch seine Menge an α -Linolensäure ein oxidationsempfindliches und trocknendes Öl. Bei der Raffination werden Chlorophyll und Phäophytin abgetrennt (Belitz *et al.* 2008). Es gibt mehrere Varietäten von Rapsöl, die gezielt hergestellt werden können und sogar einen geringen Gehalt an Erucasäure (unter 1%) und Senföl enthalten. Beispiele sind Rapsöl 00 und LEAR Öl (FDA 2012).

2.1.8.2. Anwendung

Während der Herstellung von Rapsöl wird das Nebenprodukt von Raps, welches proteinreich ist, als Tierfutter verwendet; dennoch wird Raps auch zu diesem Zweck angebaut. Das Futter hat einen niedrigen Gehalt an Glucosinolaten und wird für die Fütterung von Rindern, Schweinen und Hühnern verwendet (EU Oil and Proteinmeal Industry 2013). Rapsöl wird auch als Speiseöl für die menschliche Ernährung eingesetzt und nach Hydrierung als Rohstoff für die Margarineherstellung benutzt. Da dieses Öl einen hohen Rauchpunkt besitzt, ist Rapsöl nicht nur für Salatsoßen geeignet, sondern auch zum Frittieren, weil es auf hohe Temperaturen (bis zum circa 218 Grad Celcius) erwärmt werden kann (Gunstone 2011, SteelSmith 2011). Weiters wird Rapsöl bei der Produktion von Seifen genutzt, da es ein geeignetes Gleitmittel ist und weil

es nur eine geringe Augen- und Hautreizung verursacht (Applewhite 1993). Rapsöl wird auch als alternativer Rohstoff für Biodiesel verwendet, wobei das Öl mit Erdöldestillaten gemischt wird, so zum Beispiel für den Antrieb der Kraftfahrzeuge (Gunstone 2011).

2.1.8.3. Produktion

Raps wächst im gemäßigten Klima, das heißt, diese Pflanze braucht kein warmes Wetter um eine hohe Ölproduktion zu erzielen (Gunstone 2011). Die größten Mengen dieses Öls werden heutzutage innerhalb der Europäischen Union (18800 Tonnen von 2012 bis 2013) produziert (USDA 2013). An zweiter Stelle liegt China mit einer Produktion von 13500 Tonnen, gefolgt von Kanada mit 13310 Tonnen von 2012 bis 2013. Kanada ist weltweit der größte Exporteur von Rapsöl mit 7150 Tonnen von 2012 bis 2013 (USDA 2013). Abbildung 9 sind die größten Produzenten von Palmöl weltweit dargestellt.

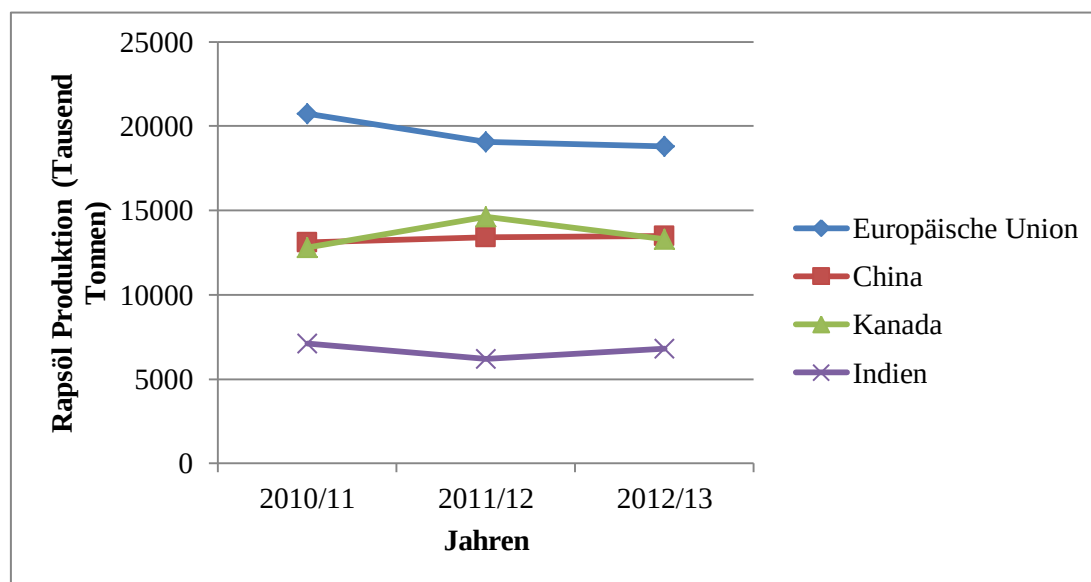


Abb. 9: Die größten Produzenten von Rapsöl weltweit (USDA 2013)

2.2. Tierische Fette

2.2.1. Definition

Tierisches Fett ist bei Raumtemperatur fest wie beispielsweise Fett aus Rind- und Schweinefleisch, Butter und Milchfett. Einige Nahrungsmittel, die gesättigte Fettsäure tierischen Ursprungs enthalten, sind Wurstwaren, Speck oder Rinderhackfleisch (Belitz *et al.* 2008). Die Fettsäurezusammensetzung von Nichtwiederkäuern wie Geflügel, Schweine und Fische ist wesentlich abhängig vom Verdauungssystem und zum Teil von der Fettsäurezusammensetzung des Futters. Dadurch wird zum Beispiel Schweineschmalz des iberischen Schinkens einen hohen Gehalt an Ölsäure aufweisen, da diese Schweine ein kontrolliertes Fütterungsregime haben (Damodaran *et al.* 2008). Andererseits werden die konsumierten Fettsäuren von Rindern durch mikrobielle Enzyme im Pansen durch Biohydrierung gesteuert, was zur Folge hat, dass die ungesättigten Fettsäuren in gesättigte Fettsäuren umgewandelt werden. Zusätzlich wird die Produktion von Fettsäuren mit konjugierten Doppelbindungen wie konjugierte Linolsäure (CLA) durch diesen Prozess ermöglicht. Tierisches Fett aus Wiederkäuern besteht in der Regel aus hohen Konzentrationen von Stearinsäure (Damodaran *et al.* 2008).

Tierische Rohstoffe für die Fettherstellung umfassen Depot- und Organfette von Landtieren wie Rind und Schwein, welche hauptsächlich aus den Fettsäuren Öl-, Stearin- und Palmitinsäure bestehen. Die wesentliche Fettsäurezusammensetzung von einigen Landtierfetten ist in Tabelle 8 dargestellt. Anzumerken bleibt, dass die Tierart, die Tierrasse und das Futter bei diesen Fetten einen hohen Einfluss haben (Damodaran *et al.* 2008). Cholesterin ist das wesentliche Sterin in tierischen Fetten, welches in die Zellmembran eindringen kann, um die Zellmembranstruktur zu stabilisieren. Obwohl Cholesterin als Vorstufe für die Gallensäuresynthese und für die Herstellung von Vitamin D bei UV-Bestrahlung auf die Haut benötigt wird, steigert eine hohe Menge an Cholesterin im Blut, besonders LDL-Cholesterin, das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Damodaran *et al.* 2008).

Tab. 8: Fettsäurezusammensetzung einiger Landtierefette in Gewichstprozent (Damodaran *et al.* 2008)

	Myristin- säure	Palmitin- säure	Palmitolein- säure	Stearin- säure	Öl- säure	Linol- säure
Butterfett	11,7	26,2	1,9	12,5	28,2	2,9
Rinderfett	3,3	25,5	3,4	21,6	38,7	2,2
Schweinefett	1,5	24,8	3,1	12,3	45,1	9,9
Hühnerfett	1,3	23,2	6,5	6,4	41,6	18,9
Atlantischer Lachs	5,0	15,9	6,3	2,5	21,4	1,1

2.2.2. Bearbeitung

Wie zuvor erwähnt sind beispielsweise Depot- und Organfette vom Rind und Schwein tierische Rohstoffe für die Fettherstellung, jedoch könnten tierische Fette auch von inneren Organen, Knochen oder Köpfen gewonnen werden. Deswegen gehören diese Fette zu der Gruppe von tierischen-Nebenprodukten (Peters *et al.* 2011). Vor und nach der Schlachtung müssen die Tiere bzw. die Schlachtkörper von Tierärzten untersucht werden, um für den menschlichen Verbrauch als geeignet – genusstauglich - eingestuft zu werden und damit auch die tierischen Fette. In der Tat sind nur Tiere, die keinerlei Krankheitsanzeichen aufweisen, für den menschliche Konsum geeignet (Peters *et al.* 2011). Um die tierischen Fette aus dem Gewebe abzutrennen, genügt die Anwärmung des Fettgewebes. Auf diese Weise dehnt sich das Fett sich aus, was die Zerstörung der Zellmembranen verursacht und so wird das Fett schließlich herausfließen (Belitz *et al.* 2008). Die nächsten Schritte hin zur weiteren Abtrennung des Fettes sind in der nachfolgenden Abbildung 10 aufgezeigt:

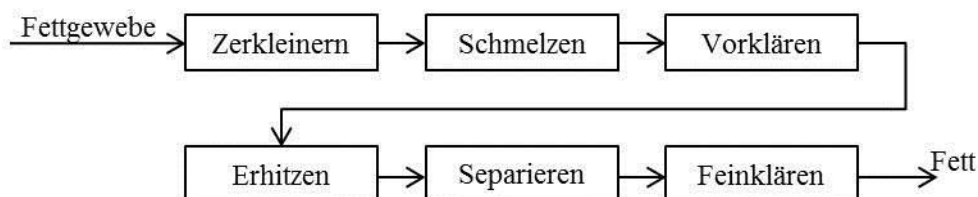


Abb. 10: Verfahrensablauf bei der Fettabtrennung (Belitz *et al.* 2008)

2.2.3. Anwendung

Tierische Fette werden nicht nur als Lebensmittel, sondern auch in der Waschmittelindustrie für die Herstellung von Tensiden verwendet. Außerdem werden sie für biogene Schmierstoffe und in der Pharma- und Textilindustrie benutzt (FNR 2007). Seife aus tierischem Fett wird generell aus Schmalz hergestellt (Poth 2001). Biodiesel kann auch mit Fleisch-Nebenprodukten, wie zum Beispiel Fett, hergestellt werden und dieser Kraftstoff weist ähnliche Motorleistung und Motoremissionen wie Biodiesel aus pflanzlichem Öl (Sanimax und NRA 2008) auf. In Abbildung 11 ist die Verwendung von tierischen Fetten von 2006 bis 2010 je nach Art der Nutzung innerhalb der Europäischen Union dargestellt. Allgemein haben sich die Anteile an tierischem Fett für das Tierfutter, das Haustierfutter und den Biodiesel (410000 Tonnen) gesteigert (Peters *et al.* 2011). Wie im gleichen Bild dargestellt, ist die Anwendung von tierischen Fetten für Tierfutter in 2010 an erster Stelle gestanden, gefolgt von der oleochemischen Produktion und Bio-Energie (Peters *et al.* 2011).

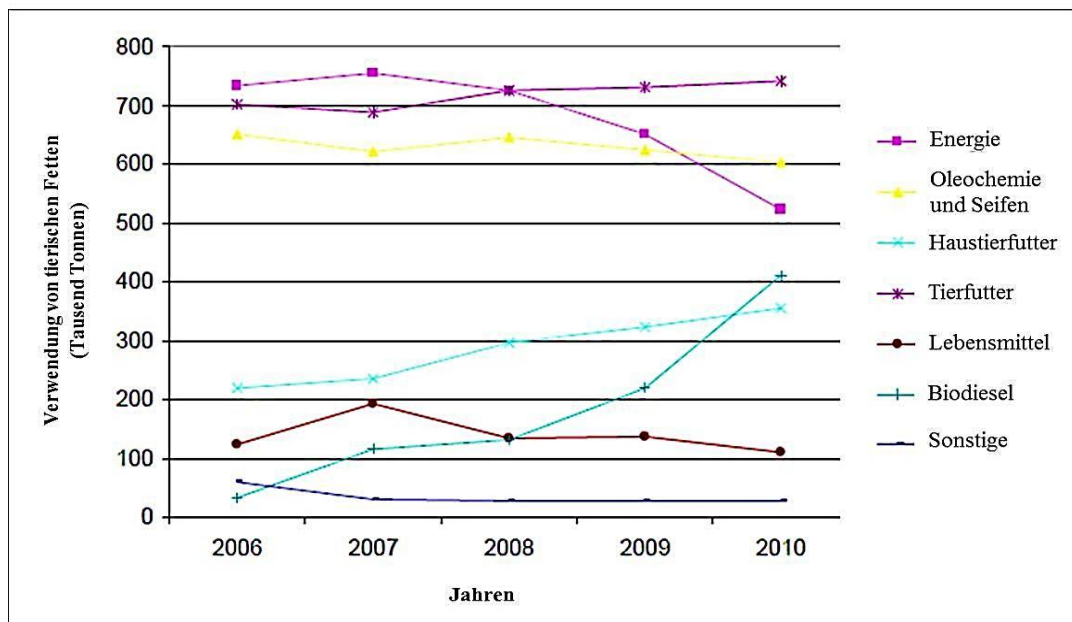


Abb. 11: Verwendung von tierischen Fetten von 2006 bis 2010 je nach Art der Nutzung innerhalb der Europäischen Union (Peters *et al.* 2011)

2.2.4. Produktion

Die weltweite Herstellung und die Exporte von 2005 bis 2009 in Millionen Tonnen von verschiedenen Produkten, die aus tierischen Fetten bestehen, sind in Tabelle 9 ersichtlich. Die Produktion von Fischöl findet hauptsächlich in Südamerika (Peru und Chile), Japan und in Europa (Norwegen, Dänemark und Island) statt (Gunstone 2012). Wie dargestellt, hat sich die Produktion vom Talg, Schmalz und von der Butter gesteigert. Dennoch ist der Export von Schmalz sehr niedrig, was die Vermutung nahe legt, dass dieses Produkt vorwiegend im Ursprungsland konsumiert wird (Gunstone 2012). Wichtige Produzenten von Butter sind Indien, die Europäische Union (insbesondere in Deutschland und Frankreich), die USA und Pakistan. Schmalz wird vor allem in China, in der Europäischen Union, in den USA, Brasilien und Russland hergestellt, während die größte Produktion von Talg in den USA, in der Europäischen Union, China, Brasilien und Australien stattfindet (Gunstone 2012).

Tab. 9: Die weltweite Herstellung und Export von 2005 bis 2009 in Millionen Tonnen von verschiedenen Produkten, die aus tierischen Fetten bestehen (Gunstone 2012)

	Produktion				Exporte
	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	
Talg	8,46	8,52	8,58	8,46	2,21-2,35
Schmalz	7,65	7,63	7,73	7,78	0,11-0,14
Butter	6,73	6,87	7,04	7,15	0,65-0,75
Fischöl	1,00	1,04	1,06	1,02	0,67-0,76

Die Produktion von tierischen Fetten von 2006 bis 2010 innerhalb der Europäischen Union ist in Tabelle 10 dargestellt. Wie gezeigt, ist der größte Hersteller Deutschland, gefolgt von Spanien und Frankreich (Peters *et al.* 2011). Diese tierischen Fette stammen hauptsächlich aus Schweinen (62 %). An zweiter Stelle liegt Fett aus Rindern und Schafen (34 %) und an dritter Stelle aus Fischen (4 %) (Peters *et al.* 2011). Deutschland, Spanien, Polen und Italien sind die größten Produzenten von Schweinefett. Rinderfett wird vorwiegend in Frankreich, im

Vereinigten Königreich, Deutschland und in den Niederlanden hergestellt, während die Produktion von Fischöl in Dänemark am höchsten ist (Peters *et al.* 2011).

Tab. 10: Produktion von tierischen Fetten von 2006 bis 2010 in Tausend Tonnen innerhalb der Europäischen Union (Peters *et al.* 2011)

	2006	2007	2008	2009	2010
Deutschland	6,00	637	652	669	689
Spanien	3,76	402	396	371	381
Frankreich	3,46	345	345	323	333
Italien	2,82	289	287	283	290
Polen	3,25	328	300	258	279
Holland	2,10	206	208	215	224
Vereinigtes Königreich	1,47	152	151	147	155
Dänemark	1,51	154	147	139	144
Belgien und Luxemburg	1,20	126	125	126	132
Österreich	1,07	108	108	108	109
Rumänien	86	92	84	86	89
Irland	75	75	70	67	73
Ungarn	48	50	46	41	45
andere EU- Mitgliedsländern	2,28	247	244	222	224

Aufgrund der Tatsache, dass Schweinespeck und Schweineschmalz für die Vorbereitung einiger Fleischproben verbraucht wurden, wird der Zusammenhang zwischen diesen tierischen Fetten ausführlicher behandelt.

2.2.5. Schweinespeck

2.2.5.1. Definition

Schweinespeck wird in der Regel als Fettgewebe bezeichnet, welches zwischen Haut und Muskeln entnommen wird. Es gibt verschiedene Arten von Speck, die auch eigene Bezeichnungen tragen. Auf diese Weise wird Rückenspeck oder fetter Speck aus reinem Fettgewebe erzeugt und Bauchspeck oder durchwachsener Speck aus Fettgewebe mit Muskelfleisch durchwachsenem Schweinebauch hergestellt (Kaufmann 2013). Abbildung 12 zeigt jene Bereiche, wo Rückenspeck und Bauchspeck herkommen. Schweinespeck besteht aus ca. 40 % gesättigten Fettsäuren. Diese Fettsäuren spielen für den Genuss und die Haltbarkeit des Fettes eine wichtige Rolle, da ungesättigte Fettsäuren dem Fett eine weiche Textur verleihen (Schmid 2011). Rückenspeck mit vielen ungesättigten Fettsäuren, ist oft schmierig und oxidativ empfindlicher als Speck mit gesättigten Fettsäuren (Weiler und Hofäcker, 1996). Obwohl Fett vom Schwein viele gesättigte Fettsäuren enthält, besteht es per se auch aus ca. 45,1 % Ölsäure, welche eine ungesättigte Fettsäure ist und zur Gruppe der ω 9-Fettsäuren gehört. Ölsäure ist auch im Olivenöl und Mandeln (Damodaran *et al.* 2008).

Um die verschiedenen Arten von Speck zu differenzieren, sind der Kollagenwert, das Wasser : Eiweiß Verhältnis, und der Fettgehalt zu berücksichtigen was in Tabelle 11 ersichtlich ist. Die angeführten Richtwerte für die Unterscheidung von Speck I mit 90 % Fett (Rückenspeck ohne Schwarte) und Speck II mit 80 % Fett (Speck ohne Rückenspeck und ohne Schwarte) sind im Rahmen der Verarbeitung zu betrachten (ÖLMB 2013).

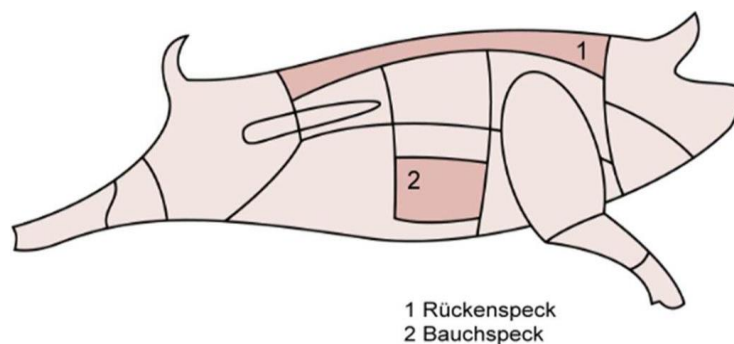


Abb. 12: Bereiche, wo Rückenspeck und Bauchspeck im Schwein herkommen (Z.k.M. 2013)

Tab. 11: Richtwerte für Speck (ÖLMB 2013)

	Speck I	Speck II
Wasser (%)	7,9	15,8
Fett (%)	90,0	80,0
Asche (%)	0,1	0,2
Eiweiß (%)	2,0	4,0
Kollagen (%)	1,6	2,0
Wasser : Eiweiß	4,0	4,0
kollagenfreies Eiweiß (%)	0,4	2,0
Kollagenwert	80	50

2.2.5.2. Anwendung

Schweinespeck ist ein optimaler Geschmacksträger und er wird deswegen in der Gastronomie beispielsweise bei der Herstellung von Braten- und Salatsoßen verwendet. In Europa wird Schweinespeck wegen seines Geschmacks vorwiegend in Würfeln als Zutat in der Küche und als Hauptfett benutzt. Er wird aber auch gewürfelt oder gemahlen in vielen Würsten oder zur Herstellung von Schmalz verwendet (McLagan 2008). Würste werden in der Regel mit zerkleinertem Muskelfleisch und Fettgewebe (vor allem Speck), Kochsalz, Gewürzen und andere Zutaten als Zusatzstoffe produziert (ÖLMB 2013).

2.2.6. Schweineschmalz

2.2.6.1. Definition

Schweineschmalz stammt aus dem Fettgewebe der Bauchwand und anderen Körperteilen des Schweines. Neben Talg und Butter ist Schmalz eine der am häufigsten verwendeten tierischen Speisefette. Schmalz ist bei Raumtemperatur weich und wird im Kühlschrank fest; es hat eine salbenartige bis körnige Textur, die von der Rasse des Schweines und von der Fütterung

abhängt (Belitz *et al.* 2008, ÖLMB 2012). Es gibt mehrere Handelssorten von Schmalz, die als Hausschmalz, Liesenschmalz und Dampfschmalz bezeichnet werden. Hausschmalz wird aus frischem Rückenspeck oder Bauchwandfett hergestellt und besitzt die beste Qualität. Dieses Schmalz hat einen milden Geschmack und eine Säurezahl nicht höher als 0,8. Liesenschmalz stammt aus Liesen und Rückenspeck und ist mit Dampf ausgeschmolzen. Seine Säurezahl ist nicht größer als 1,0. Das Dampfschmalz wird durch Dampfschmelzen im Autoklaven (120 bis 130 °C) aus allen Fettgewebeteilen isoliert. Die Säurezahl darf 1,5 nicht übersteigen (Belitz *et al.* 2008, ÖLMB 2012).

Laut ÖLMB darf der Ausdruck „Schmalz“ nur für die Bezeichnung von Schweinefett mit Ausnahme von Gänseschmalz, Margarineschmalz und Butterschmalz genutzt werden. Es wird lediglich durch Ausschmelzen des Schweinefettgewebes produziert und es hinterlässt beim Schmelzen keinen Bodensatz (ÖLMB 2012). Schweineschmalz enthält in etwa 85 mg Cholesterol und ca. 900 Kalorien pro 100 g und es weist keine Eiweiße, Kohlenhydrate, Wasser oder Ballaststoffe auf, was in Tabelle 12 ersichtlich ist (Senser *et al.* 2013).

Tab. 12: Nährwertangabe von Schweineschmalz (Senser *et al.* 2013)

	Schweineschmalz (je 100 g)
Energie (kcal)	900
Wasser (g)	0,00
Fett (g)	100
Cholesterol (mg)	85
Eiweiß (g)	0,00
Kohlenhydrate (g)	0,00
Ballaststoffe (g)	0,00

2.2.6.2. Anwendung

Schmalz wird oft in der Industrie als eine Mischung von hochwertigem Schweinefett und Fett mit geringerer Qualität hergestellt. Zusätzlich wird Schmalz häufig hydriert, um die Stabilität bei Raumtemperatur zu verbessern. Dieses Schmalz hat in der Regel weniger als 0,5 g *trans*-Fettsäuren pro 100 g (Kimball 2004). Schweineschmalz wird als Brotaufstrich (alleine oder mit Gewürzen) genutzt aber auch für das Kochen von Gemüse, oder zum Beispiel zum Backen und Frittieren verwendet (McLagan 2008). Aufgrund seines hohen Rauchpunkts und seiner Leistungsfähigkeit als Geschmacksträger wird Schmalz als Backfett für Kekse oder auch Pommes frites genutzt, die durch Schmalz eine knusprige Konsistenz erhalten. Viele Köche verwenden Schmalz und Butter, um die Eigenschaften von Schweineschmalz und den Geschmack von Butter zu erreichen (Kimball 2004). Die Anwendung von Schweinefett ist jedoch wegen seines Gehalts an gesättigten Fettsäuren und Cholesterol verringert worden (Lopez-Bote *et al.* 1997). Laut der Amerikanischen Herz-Vereinigung sind gesättigte Fettsäuren und Cholesterol für die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen verantwortlich. Schweinefett hat jedoch weniger gesättigte Fettsäuren und Cholesterol als eine gleiche Menge von Butter (AHA 2010).

2.2.7. Rind- und Schweinefleisch

2.2.7.1. Definition

Der Verbrauch von Fleisch von verschiedenen Tieren hat schon seit vielen Jahren eine große Bedeutung für die Ernährung des Menschen. In der Tat wurden bereits vor mehr als 7000 Jahre vor Christus Schafe und vor mehr als 5000 Jahren vor Christus Rinder und Schweine domestiziert (Belitz *et al.* 2008). Der Verzehr von warmblütigen Tieren für die Ernährung umfasst nicht nur die Skelettmuskulatur, sondern auch andere Teile wie zum Beispiel das Fettgewebe, Innereien und Blut. Laut *Codex Alimentarius Austriacus* wird Fleisch verstanden als „...alle für den menschlichen Genuss verwendbaren Teile geschlachteter oder erlegter warmblütiger Tiere, die sich zum menschlichen Genuss eignen...“ (ÖLMB 2013). Teile wie Hufe, Haare, Federn oder die nicht genießbaren Teile der Gebärmutter oder der Nabelbeutel des Schweines sind als nicht geeignete Teile zum menschlichen Genuss zu verstehen (ÖLMB 2013). Fleisch enthält Proteine mit hoher biologischer Wertigkeit sowie Vitamine A, B₁, B₆, B₁₂

und Niacin. Die Versorgung mit Eisen, Phosphor, Kalium, Natrium, Zink und Selen wird ebenso durch Fleisch und Fleischprodukte (Elmadfa *et al.* 2012) gewährleistet.

Rindfleisch ist in verschiedene Gruppen kategorisiert, wobei die wichtigsten Kategorien Jungbullenfleisch, Kuhfleisch und Färsenfleisch sind. Jungbullenfleisch ist feinfaserig, marmoriert und stammt aus ausgewachsenen Tieren (18 bis 22 Monate mit einem Lebendgewicht höher als 300 kg). Kuhfleisch ist mittelfein bis grobfaserig, marmoriert, mittelrot bis braunrot, es besitzt ein gelbes Fett und stammt von Tieren, die gekalbt haben und mindestens 2 Jahre alt sind. Färsenfleisch ist rot, feinfaserig, es enthält weißes Fett und stammt aus jungen ausgewachsenen weiblichen Rindern, die 15 bis 24 Monate alt sind (Belitz *et al.* 2008). In der Regel sollte Rindfleisch, welches als Suppenfleisch gebraucht wird, 4 bis 8 Tage vor der Verwendung abhängen. Rindfleisch, welches für Bratenfleisch vorgesehen ist, lässt man 10 bis 14 Tage vor der Anwendung abhängen (Belitz *et al.* 2008). Schweinefleisch stammt von Spanferkeln oder Tieren mit einem Alter von 5 bis 7 Monaten. Dieses Fleisch ist weich, feinfaserig, es besitzt eine blassrosa bis weißlich graue Farbe. Beim Kochen wird Schweinefleisch grauweiß und es sollte vor der Verwendung 3 bis 4 Tage abhängen (Belitz *et al.* 2008).

2.2.7.2. Produktion und Verbrauch

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Fleischproduktion von 2010 bis 2012 weltweit und die Abbildungen 13 und 14 zeigen den Fleischverbrauch (Rind- und Schweinefleisch) pro Kopf im Jahre 2012 von einigen ausgewählten Ländern. Während die USA der weltgrößte Rindfleischerzeuger ist, hat die Europäische Union seit dem Jahre 1960 eine niedrigere Produktion, da die Milcherzeugung eine viel wichtigere Rolle spielt und deswegen die Regierungen keine höheren Förderungen für die Rindfleischproduktion vorsahen (FAO 2012). Durch die strengen veterinärmedizinischen Maßnahmen im Zusammenhang mit der öffentlichen Gesundheit und der Tiergesundheit, ist die Schweinefleischerzeugung in der Europäischen Union auch niedriger als in den USA (FAO 2012). Im Jahr 2012 wurden mehr als 300 Millionen Tonnen Fleisch weltweit produziert und der Verbrauch (pro Kopf und Jahr) lag etwa bei 42,5 kg. Im Jahr 2006 hat eine Durchschnittsperson eines Entwicklungslandes circa 30,7 kg Fleisch verzehrt und im Jahr 2012 hat sich der Verbrauch auf 32,7 kg erhöht. Eine Durchschnittsperson eines Industrielandes hat hingegen im Jahr 2006 etwa 81 kg konsumiert und im Jahr 2012 hat sich der Verzehr auf 79 kg reduziert (Heinrich-Böll-Stiftung 2013).

Tab. 13: Fleischproduktion von 2010 bis 2012 in Millionen Tonnen weltweit (FAO 2012)

	2010	2011	2012
Schweinefleisch	109,3	108,8	110,8
Hühnerfleisch	98,9	102,3	104,8
Rindfleisch	66,7	66,6	66,8
Schaffleisch	13,7	13,8	13,9
Sonstige	5,6	5,6	5,5

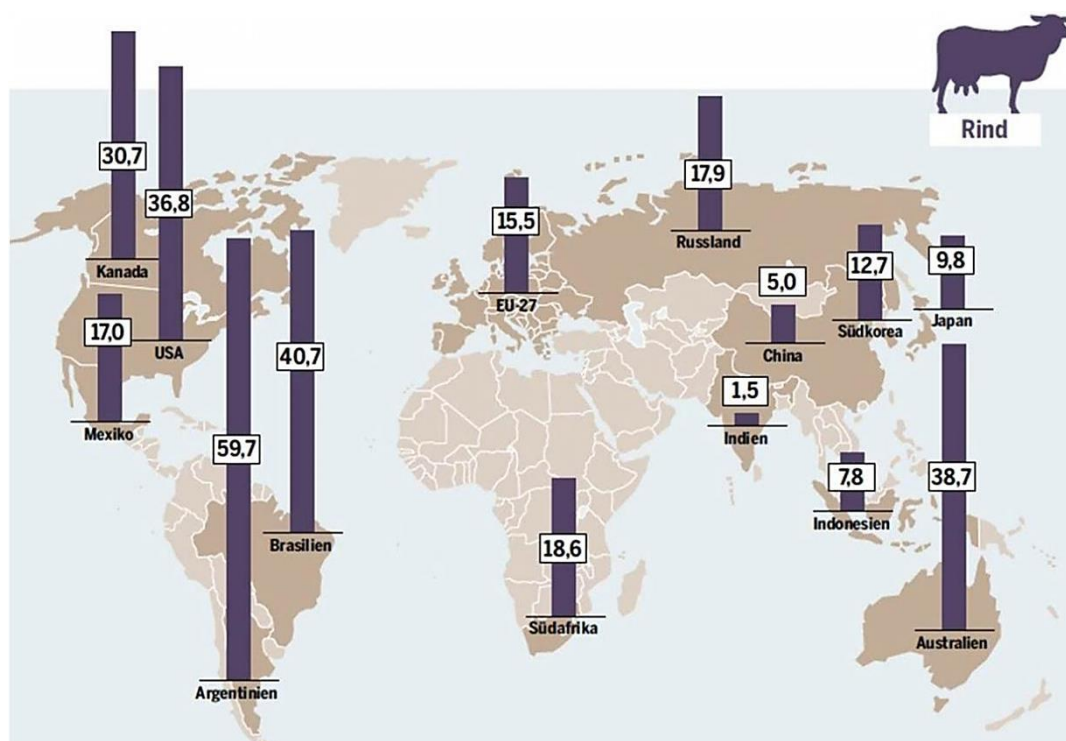


Abb. 13: Rindfleisch Verbrauch in kg pro Kopf im Jahr 2012 von ausgewählten Ländern (Heinrich-Böll-Stiftung 2013)

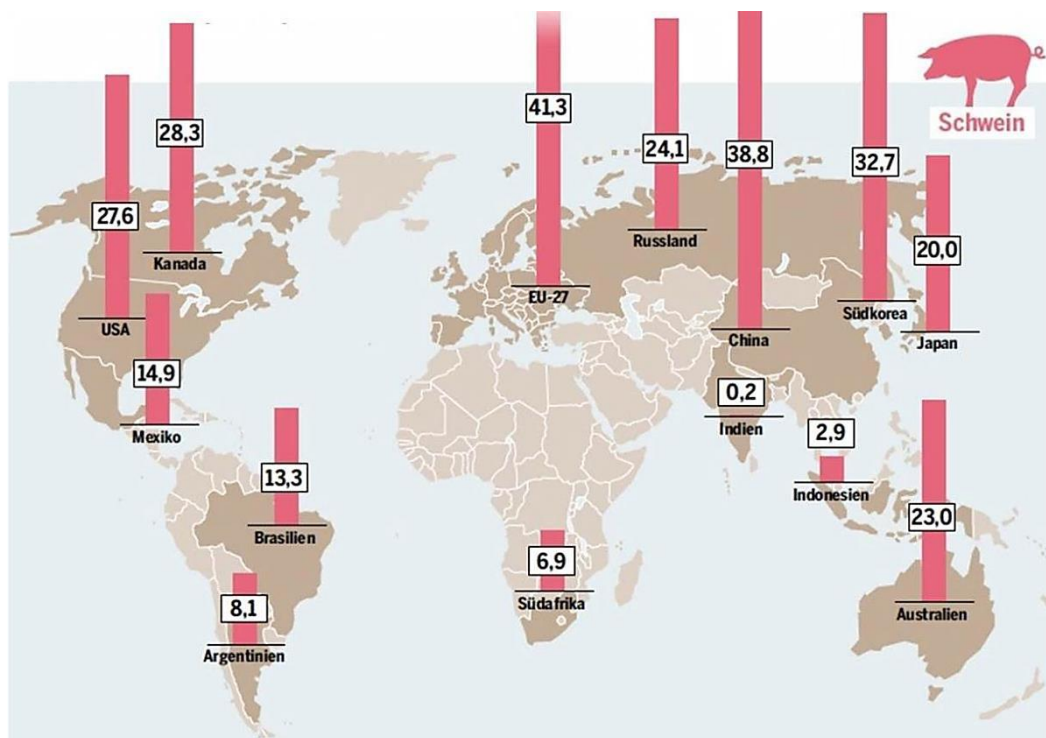


Abb. 14: Schweinefleisch Verbrauch in kg pro Kopf im Jahr 2012 von ausgewählten Ländern (Heinrich-Böll-Stiftung 2013)

2.2.7.3. Fettgehalt

Die Fleischzusammensetzung wird in der Regel nur geschätzt, denn diese hängt von mehreren Faktoren wie der Tierart, Rasse, Ernährung, körperlicher Aktivität, Geschlecht und Alter ab (Damodaran *et al.* 2008). Außerdem hat die Fleischverarbeitung nach der Schlachtung, Lagerung und dem Kochen ebenso Auswirkungen auf das Fleisch. So enthalten beispielsweise Muskel- und mageres Gewebe von Rindern und Schweinen etwa 70 % Wasser und circa 6 % Lipide wie in Tabelle 14 ersichtlich (Damodaran *et al.* 2008). Jedoch können die Lipidkonzentration und –zusammensetzung in Muskel- und Fettgewebe sehr unterschiedlich sein. Wie aus der Tabelle 15 zu entnehmen ist, weist das Fleisch einen höheren Prozentsatz an Phospholipiden auf, wenn der Gehalt an Fettgewebe niedrig ist. Die Lipidzusammensetzung in Fleisch besteht zum Großteil aus Triglyceriden (neutrale Lipide), die aus Zellmembranen und Cholesterol in der Plasmamembran und im Nervengewebe stammen (Damodaran *et al.* 2008). Fettsäuren, die sich im neutralen Lipidanteil befinden, sind normalerweise hochgesättigter als

die im Phospholipidanteil. Tatsächlich besitzen Phospholipide eine größere Menge an ungesättigten Fettsäuren, sodass die Zellmembran bei physiologischer Temperatur flüssig bleiben kann. Gesättigte Fettsäuren haben einen höheren Schmelzpunkt und sind deshalb für die Integrität des Fettgewebes notwendig (Damodaran *et al.* 2008). Wie in Tabelle 16 dargestellt, variiert die Lipidzusammensetzung je nach Tierart. Rindfleisch und Schweinefleisch haben generell eine höhere Menge gesättigter Fettsäuren und der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist kleiner als zum Beispiel der von Thunfisch und Hühnerfleisch (Damodaran *et al.* 2008). Allerdings wird dieses Fett nicht gleichmäßig eingelagert. Es gibt tatsächlich mehrere Fettdepots, die auch verschiedene Namen tragen. Das Organfett spielt nämlich eine Schutzfunktion für die inneren Organe, das subkutane Fett ist unter der Haut eingelagert, das intermuskuläre Fett befindet sich zwischen den Muskeln und das intramuskuläre Fett, welches die Zartheit und Saftigkeit des Fleisches positiv beeinflusst, ist als feine Marmorierung auf den Muskeln erkennbar (Weiler und Hofäcker 2006). Außerdem gibt es Unterschiede zwischen den Teilstücken des Schlachtkörpers. Im Schwein weist zum Beispiel die Muskulatur im Halsbereich eine höhere Menge (das 2- bis 3-fache) von intramuskulärem Fett als das Kotelet auf. Auf diese Weise verliert ein mageres Kotelet die Saftigkeit schneller als ein Stück gebratener Schweinekamm, welches weniger trocken und selten zäh ist (Weiler und Hofäcker 2006).

Tab. 14: Geschätzte Zusammensetzung in Gewichtsprozent von Muskel- und mageren Geweben verschiedener Tierarten (Damodaran *et al.* 2008)

	Rindfleisch	Schweinefleisch	Hühnerfleisch	Thunfisch
Wassergehalt	70,62	72,34	74,76	68,09
Proteingehalt	20,78	21,07	23,09	23,33
Lipidgehalt	6,16	5,88	1,24	4,90
Mineralgehalt	1,02	1,04	1,02	1,18

Tab. 15: Lipidzusammensetzung verschiedener Tierarten (Damodaran *et al.* 2008)

	Muskel	Lipide (%)	Neutrale Lipide (%)	Phospholipide (%)
Rindfleisch	<i>Lattissimus dorsi</i>	2,6	78	22
Schweinefleisch	<i>Lattissimus dorsi</i>	4,6	79	21
Hühnerfleisch	weiß	1,0	52	48
	rot	2,5	79	21
Fisch	weiß	1,5	76	2
	rot	6,2	93	7

Tab. 16: Fettsäurezusammensetzung verschiedener Tierarten als Prozent des Gesamtfettes (Damodaran *et al.* 2008)

	Rindfleisch	Schweinefleisch	Hühnerfleisch	Thunfisch
Gesättigte Fettsäuren	37,66	34,52	26,61	25,65
14:0	2,76	1,19	0,81	2,84
16:0	22,73	21,94	16,94	16,53
18:0	11,85	10,88	8,06	6,27
Einfach ungesättigte Fettsäuren	42,37	45,24	24,19	32,65
16:1	3,73	3,23	2,42	3,31
18:1	38,31	41,16	20,16	18,86
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	3,90	10,71	22,58	29,24
18:2	3,08	8,67	13,71	1,08
18:3	0,32	0,34	0,81	0,00
20:4	0,49	1,19	3,23	0,88

Frisches Fleisch, welches keine Zusätze oder Zusatzstoffe außer Schutzgase in der Verpackung aufweist, wird entweder in Teilstücken oder als Hackfleisch verkauft. Die meisten Frischfleischstücke enthalten weniger als 10 % Fett und es gibt keine versteckten Fette, da ein Gehalt von circa 2 % Fett mit dem Auge erkennbar ist. Außerdem ist der Gehalt an *trans*-Fettsäuren kleiner als 2 % pro Teilstück und der Gehalt an Cholesterol liegt zwischen 40 und 75 mg pro 100 g, aber diese Menge hängt kaum vom Fettgehalt ab (Bauer und Honikel 2007). Laut *Codex Alimentarius Austriacus* ist das Wurstfleisch vom Rind und vom Schwein in verschiedene Sorten eingeteilt. Dadurch wird Rindfleisch I als Knöpfel ohne Wadschinken, Beiried, Dicke Schulter, jeweils von den groben Sehnen befreit und mit 8 % Fett kategorisiert. Rindfleisch II hat 17 % Fett und besteht aus Schulter ohne Dicke Schuler und Wadschinken. Dieses Fleisch umfasst auch Rindfleisch, welches aus Hals, hinterem Ausgelöstem sowie Rostbraten oder ausgebeinten ganzen Tieren ohne Schale, oder ganzem Vorderviertel, jeweils von den groben Sehnen befreit, stammt. Rindfleisch III wird als bindegewebsreiches Fleisch, wie Platte, Wadschinken, Spitz und Brust, Schlund ohne Schleimhaut, Knochenputz sowie Kopffleisch kategorisiert. Diese Sorte hat 25 % Fett (ÖLMB 2013). Ebenso wie Rindfleisch ist Schweinefleisch in die Sorten I, II und III eingeteilt. Schweinefleisch I hat 10 % Fett und besteht aus Muskelfleisch von Schlögel, Schulter, Karree und Schopfbraten grob entseht ohne Stelzenfleisch. Schweinefleisch II besitzt 20 % Fett und wird als mittelfette Abschnitte, Stelzenfleisch gut entseht kategorisiert. Schweinefleisch III stammt aus fetten Abschnitten, mageren Bauchabschnitten und hat 30 % Fett (ÖLMB 2013). Der Fettgehalt von Hackfleisch (Faschiertes) ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tab. 17: Fettgehalt von verschiedenen Sorten Faschiertes (ÖLMB 2013)

Art des Faschiertes	Fettgehalt in %
mageres Faschiertes	≤ 7
reines Rinderfaschiertes	≤ 20
Faschiertes mit Schweinefleischanteil („gemischtes Faschiertes“, „Faschiertes gemischt“)	≤ 30

2.3. Fett und Ernährung

2.3.1. Nahrungsfettzufuhr und Bioaktivität von Fettsäuren

Die Nahrungsfettzufuhr hat schon seit dem Paläolithikum stattgefunden. In diesen Zeiten bestand die Ernährung aus pflanzlichen (50 bis 69 %) und tierischen (35 bis 50 %) Lebensmitteln. Obwohl die Einwohner eine große Menge von tierischen Produkten verzehrt haben, war die Gesamtfettzufuhr relativ niedrig, da das typische gegessene Fleisch (Hirsch-, Pferd- oder Mammutfleisch) weniger Fett enthalten hat. Wissenschaftler schätzen, dass die durchschnittliche Fettaufnahme bei 71,3 g pro Tag lag (Kiefer und Kunze 1999). Später, während der landwirtschaftlichen Revolution (vor ungefähr 10.000 Jahren), wurden pflanzliche Lebensmittel in größeren Mengen konsumiert und deckten circa 90 % der Gesamtaufnahme. Mit der Industrialisierung hatte sich die Nahrungsaufnahme wieder verändert und tierische Produkte wurden öfter und mehr verbraucht. Dadurch wurde die Fettzufuhr gesteigert (Kiefer und Kunze 1999).

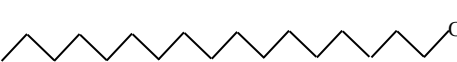
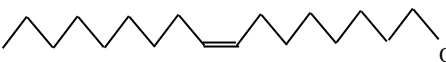
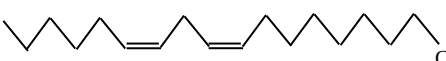
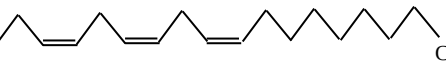
Fette verbessern die Qualität von Lebensmitteln, da sie zum Beispiel Konsistenz, Geschmack und eine Vielzahl von Geruchsstoffen mitbringen. Generell wird Fett einen entscheidenden Einfluss auf das Aroma, das Aussehen und das Mundgefühl haben und es bringt einen angenehm sahnigen oder öligfettigen Geschmack mit, jedoch sind Nahrungsmittel mit geringeren Mengen an Gesamtfettgehalt, gesättigten Fettsäuren und *trans*-Fettsäuren meistens erwünscht, da eine hohe Fettzufuhr eine positive Energiebilanz verursachen kann (Kiefer und Kunze 1999, Damodaran *et al.* 2008, Belitz *et al.* 2008). Außerdem erhöht Fett die Energiedichte der Nahrung und so wird die Magenentleerung langsamer. Eine fettreiche Ernährung kann auch zu verschiedenen Krebserkrankungen und zur Entwicklung arteriosklerotischer Läsionen führen. Es muss aber hervorgehoben werden, dass nicht nur die Menge sondern auch die Art der Fette zu beachten ist (Kiefer und Kunze 1999).

Lipide, die eine hohe Energiedichte aufweisen (Triacylglyceride haben einen Brennwert von 9 kcal/g beziehungsweise 37 kJ/g), sind seit ein paar Jahren als ungesund klassifiziert, da Adipositas mit vielen Erkrankungen wie Diabetes und Herzkrankheiten in Beziehung steht. Aufgrund der Tatsache, dass gesättigte Fettsäuren die Fähigkeit haben LDL-Cholesterin zu steigern und da ungesättigte Fettsäuren das LDL-Cholesterin reduzieren, sind manche Fettsäuren als günstig einzustufen (Damodaran *et al.* 2008, Belitz *et al.* 2008). Eine Ernährung mit einem niedrigen Gehalt an gesättigten Fettsäuren (weniger als 7 % der täglichen Energieaufnahme) und Cholesterin (weniger als 200 mg pro Tag) zusammen mit dem Verzehr von löslichen Ballaststoffen (10 bis 25 g pro Tag), wird beispielsweise heutzutage empfohlen,

um die Entwicklung von Herzkrankheiten zu vermeiden (Damodaran *et al.* 2008). Lösliche Ballaststoffe machen satt, verlangsamen die Verdauung und beeinträchtigen die Aufnahme des Nahrungscholesterols, sodass weniger Cholesterol aus der Nahrung ins Blut gelangt (Zelman und Nazario 2013).

Fettsäuren sind nach dem Vorkommen zusätzlicher funktioneller Gruppen, ihrer Verteilung in Lebensmitteln, Essentialität (essentielle oder nicht essentielle Fettsäuren), sowie der Länge der Acylkette (kurz- oder langkettige Fettsäuren), Anzahl, Position und Konfiguration der Doppelbindungen (gesättigte oder ungesättigte Fettsäuren, ω 3-Fettsäuren, ω 6-Fettsäuren oder ω 9-Fettsäuren) geordnet (Belitz *et al.* 2008). Tabelle 18 gibt einen Überblick über die dominierenden Fettsäuren. Wie dargestellt, treten Palmitinsäure, Ölsäure und Linolsäure öfter und in großer Menge auf. Myristinsäure, Stearinsäure und Linolensäure sind aber auch weit verbreitet. Fettsäuren werden häufig mit einem Kürzel bezeichnet, zum Beispiel 18:1 oder 18:1 (9) für Ölsäure, aus dem die Kohlenstoffanzahl, Position und Konfiguration der Doppelbindungen hervorgeht. Doppelbindungen sind generell als *cis*-konfiguriert zu berücksichtigen, da *trans*-Doppelbindungen mit dem Zusatz „tr“ gekennzeichnet sind (Belitz *et al.* 2008).

Tab. 18: Strukturen der Hauptfettsäuren. Die Zählung der Kohlenstoffatomen (C-Atome) erfolgt ausgehend von der COOH-Gruppe (Belitz *et al.* 2008)

Kurzschreibweise	Struktur	Trivialname	Anteil (%)
14:0		Myristinsäure	2
16:0		Palmitinsäure	11
18:0		Stearinsäure	4
18:1 (9)		Ölsäure	34
18:2 (9,12)		Linolsäure	34
18:3 (9,12,15)		Linolensäure	5

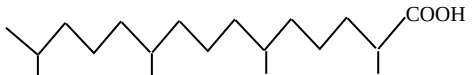
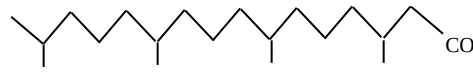
2.3.2. Gesättigte Fettsäuren

Gesättigtes Fett setzt sich zusammen aus Triglyceriden, die nur gesättigte Fettsäuren enthalten und es befindet sich hauptsächlich in tierischen Lebensmitteln wie Fleisch oder Milch und in manchen pflanzlichen Nahrungsmitteln wie zum Beispiel im Palmöl und in der Kakaobutter (AHA 2010). Gesättigte Fettsäuren weisen keine Doppelbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen der Fettsäurekette auf. Auf diese Weise sind diese Fettsäuren stabiler (nicht leicht oxidierbar), denn die Kohlenstoffe können sich nicht leicht mit Sauerstoff verbinden, da sie mit Wasserstoffatomen gesättigt sind (Gossauer 2006). Es gibt mehrere Arten von gesättigten Fettsäuren, welche sich durch die Anzahl der Kohlenstoffatome unterscheiden lassen, was aus Tabelle 19 ersichtlich ist. Dadurch hat beispielsweise Myristinsäure (14:0) 14 Kohlenstoffatome und Palmitinsäure (16:0) 16 Kohlenstoffatome. Die unverzweigten Verbindungen mit geradzahligem Kohlenstoffgerüst sind die häufigsten gesättigten Fettsäuren in den Lipiden (Gossauer 2006, Belitz *et al.* 2008). Gesättigte Fettsäuren mit weniger als 14 C-Atomen sind lediglich im Milchfett, Kokosfett und Palmkernfett enthalten. Diese niedermolekularen Fettsäuren wirken als Aromastoffe und können entweder in freier Form oder verestert mit niedermolekularen Alkoholen in niedrigen Konzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln oder in Lebensmitteln, die mit Hilfe von Mikroorganismen hergestellt werden, auftreten (Belitz *et al.* 2008). Einige hochmolekulare Fettsäuren, die mehr als 18 C-Atome besitzen, wurden in Leguminosen entdeckt und unverzweigte Verbindungen mit ungeradzahligem Kohlenstoffgerüst, wie Pentadecansäure (15:0) und Heptadecansäure (17:0), wurden lediglich in Spuren in Nahrungsmitteln wie zum Beispiel im Milchfett und in mehreren pflanzlichen Fetten nachgewiesen. Außerdem wurden zwei Isoprenoidsäuren im Milchfett mit den verzweigten Fettsäuren Pristansäure und Phytansäure aufgefunden. Diese entstehen aus dem Abbau der Phytylseitenkette des Chlorophylls (Belitz *et al.* 2008).

Der hohe Konsum von gesättigten Fettsäuren wird mit verschiedenen Erkrankungen in Verbindung gebracht, da diese Fettsäuren das Gesamtcholesterol und LDL-Cholesterol im Blut erhöhen und den Gehalt des HDL-Chosterols verringern. Damit wird das Risiko für koronare Herzerkrankungen gesteigert (WHO/FAO 2003, AHA 2012). LDL transportiert Cholesterol von der Leber zu den Geweben und zu der Gefäßwand, was die Entwicklung von Plaque und Arteriosklerose verursachen kann. Plaque kann sich ablösen und so zum Gefäßverschluss und zu Thrombosen führen. Dies bedeutet, dass im Anschluss daran ein Herzinfarkt, ein Schlaganfall oder periphere vaskuläre Erkrankungen erfolgen können (Gossauer 2006, AHA 2012). Andererseits kann HDL das Cholesterol aus der Gefäßwand entnehmen und dieses zurück in die Leber transportieren. Das Cholesterol wird auf diese Weise entweder

ausgeschieden oder wiederverwendet. Personen mit einem hohen HDL-Cholesterolspiegel leiden generell an weniger Herz-Kreislauf-Erkrankungen und die mit einem niedrigen HDL-Cholesterolspiegel (weniger als 40 mg/dl) weisen ein größeres Risiko für Herzkrankheiten auf (Toth 2005).

Tab. 19: Gesättigte Fettsäuren (Belitz *et al.* 2008)

Kruzschreibweise	Struktur	Systematischer Name	Trivialname
Geradzahlige unverzweigte Fettsäuren			
4:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Butansäure	Buttersäure
6:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Hexansäure	Capronsäure
8:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Octansäure	Caprylsäure
10:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	Decansäure	Caprinsäure
12:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Dodecansäure	Laurinsäure
14:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Tetradecansäure	Myristinsäure
16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Hexadecansäure	Palmitinsäure
18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Octadecansäure	Stearinsäure
20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	Eicosansäure	Arachinsäure
22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	Docosansäure	Behensäure
24:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	Tetracosansäure	Lignocerinsäure
26:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24}\text{COOH}$	Hexacosansäure	Cerotinsäure
Ungeradzahlige unverzweigte Fettsäuren			
5:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Pentansäure	Valeriansäure
7:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	Heptansäure	Önanthsäure
9:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Nonansäure	Pelargonsäure
15:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	Pentadecansäure	kein Trivialname
17:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}$	Heptadecansäure	Margarinsäure
Verzweigte Fettsäuren			
		2,6,10,14-Tetramethylpentadecansäure	Pristansäure
		3,7,11,15-Tetramethylhexadecansäure	Phytansäure

2.3.3. Ungesättigte Fettsäuren

Ungesättigte Fettsäuren besitzen mindestens eine Doppelbindung in der Fettsäurekette. Wenn die Kette nur eine Doppelbindung aufweist, wird die Fettsäure einfach ungesättigte Fettsäure genannt. Falls die Kette mehr als eine Doppelbindung enthält, wird die Fettsäure als mehrfach ungesättigte Fettsäure bezeichnet. Man bezeichnet daher Fettsäuren mit 18 Kohlenstoffatomen als 18:1, 18:2 und 18:3, wobei erstere eine (Ölsäure 18:1), die folgende zwei (Linolsäure 18:2) und letztere drei (Linolensäure 18:3) Doppelbindungen aufweisen. Je höher die Menge an Doppelbindungen in der Fettsäurekette ist, umso wichtiger ist die Nutzung von Antioxidantien, da die Fettsäurekette anfälliger für Lipidperoxidation und Ranzigkeit wird (Weiler und Hofäcker 2006). Ungesättigte Fettsäuren finden sich prinzipiell in mehreren Arten von Fischen, Nüssen, Samen und in pflanzlichen Ölen. Lachs, Forelle, Avocados, Oliven, Walnüsse und Sonnenblumenöl sind einige Nahrungsmittel, die solche Fettsäuren enthalten. Die Anzahl und Position der Doppelbindungen in der Fettsäurekette bestimmen ihre potentielle gesundheitliche Bedeutung (NutriPro Food 2007). Ungesättigte Fettsäuren können den Cholesterolspiegel senken, mit Ausnahme von *trans*-Fettsäuren, die das LDL-Cholesterol erhöhen können (AHA 2010). Die verschiedenen Arten von ungesättigten Fettsäuren sind in der Tabelle 20 dargestellt. Der Ort der Doppelbindung wird in der Fettsäurekette durch die Zählung der Kohlenstoffatome angegeben, welche ausgehend von der Carbonsäure-Gruppe erfolgt. Auf diese Weise wird zum Beispiel Ölsäure als 18:1 (9) kennzeichnet, denn sie weist 18 Kohlenstoffatome und 1 Doppelbindung am neunten C-Atom auf (Damodaran *et al.* 2008). Jedoch ist es auch möglich, dass Ölsäure als ω 9- oder n9-Fettsäure bezeichnet wird, da sie zur ω 9-Familie gehört. Die Position der Doppelbindung wird in diesem Fall durch die Zählung der Kohlenstoffatome ausgehend von der Methyl-Endgruppe erfolgen (Damodaran *et al.* 2008). Wenn der Ort der Doppelbindung vom Methylende der Fettsäurekette ausgehend angegeben wird, entstehen die 3 Fettsäure-Familien, nämlich die ω 3-, ω 6- und ω 9-Familien. Diese Familien haben generell eine häufiger vorkommende C₁₈-Fettsäure Struktureinheit mit kaum auftretenden höhermolekularen Verbindungen. So treten die Erucasäure (ω 9) nur in Ölen aus *Brassicaceen*, die Arachidonsäure (ω 6) im Fleisch, der Leber, im Schweineschmalz und in den Lipiden des Hühnereis und die ω 3-Eicosanpentaensäure (EPA) und ω 3-Docosanhexaensäure (DHA) in den Fischlipiden auf (Belitz *et al.* 2008). Die Fettsäuren der ω 6-Familie gelten als essentielle Fettsäuren, da Linolsäure von Menschen nicht synthetisiert werden kann. γ -Linolensäure und Arachidonsäure werden in Säugetieren aus Linolsäure synthetisiert. Diese Fettsäuren werden für den Aufbau biologisch aktiver Membranen benötigt. Die ω 3-Fettsäuren besitzen wichtige biologische Funktionen und sind ebenfalls essentiell, weil α -Linolensäure, genauso wie

Linolsäure nur von Pflanzen synthetisiert wird. EPA und DHA werden durch Kettenverlängerung und Desaturierung der α -Linolensäure erhalten. Jedoch sind ω 9-Fettsäuren nicht essentiell, da sie im menschlichen Körper produziert werden können (Weiler und Hofäcker 2006, Belitz *et al.* 2008).

Doppelbindungen haben ebenso einen Einfluss auf den Schmelzpunkt der Fettsäuren. Ungesättigte Fettsäuren weisen normalerweise keine lineare Struktur auf, da das Molekül durch die Doppelbindungen eine *cis*-Konfiguration besitzt, was zu einem gebogenen Molekül führt (Damodaran *et al.* 2008). Diese Fettsäuren werden sich deswegen nicht einfach anhäufen und aufgrund der Tatsache, dass die Van-der-Waals-Wechselwirkungen relativ schwach sind, werden ungesättigte Fettsäuren in der Regel bei Raumtemperatur eine flüssige Konsistenz aufweisen. Das bedeutet, dass sie einen ziemlich niedrigen Schmelzpunkt besitzen und je mehr Doppelbindungen anwesend sind und desto gebogener das Molekül ist, umso schwächer werden die Van-der-Waals-Wechselwirkungen und umso niedriger ist der Schmelzpunkt (Damodaran *et al.* 2008). Gemäß verschiedenen Untersuchungen ist das Risiko für Arteriosklerose nicht nur von einem hohen LDL-Cholesterolspiegel abhängig, sondern auch von den Ablagerungen in den Blutgefäßen, die in Verbindung mit einem Mangel an Antioxidantien wie Vitamin E und dem hohen Konsum von ungesättigten Fettsäuren festgestellt werden. Antioxidantien verhindern die Fettoxidation von ungesättigten Fettsäuren und schützen den Körper vor chemischen Reaktionen, die die Blutgefäße schädigen könnten (Weiler und Hofäcker 2006).

Tab. 20: Ungesättigte Fettsäuren (Belitz *et al.* 2008)

Kurzschreibweise	Struktur	Trivialname
Fettsäuren mit nichtkonjugierten <i>cis</i> -Doppelbindungen		
16:1 (9)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	Palmitoleinsäure
14:1 (9)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	Myristoleinsäure
ω 9-Familie		
18:1 (9)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	Ölsäure
22:1 (13)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$	Erucasäure
24:1 (15)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$	Nervonsäure
ω 6-Familie		
18:2 (9,12)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	Linolsäure
18:3 (6, 9,12)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_3-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$	γ -Linolensäure
20:4 (5, 8,11,14)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_4-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$	Arachidonsäure
ω 3-Familie		
18:3 (9,12,15)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_3-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	α -Linolensäure
20:5 (5, 8,11,14,17)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_5-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$	EPA
22:6 (4, 7, 10, 13, 16, 19)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_6-\text{CH}_2-\text{COOH}$	DHA
Fettsäuren mit nichtkonjugierten <i>trans</i> -Doppelbindungen		
18:1 (tr9)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Elaidinsäure
18:2 (tr9, tr12)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Linolelaidinsäure
Fettsäuren mit konjugierten Doppelbindungen		
18:2 (9, tr11)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-\text{CH}^{\text{c}}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	kein Trivialname
18:3 (9, tr11, tr13)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-\text{CH}^{\text{c}}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	α -Eleostearinsäure
18:3 (tr9, tr11, tr13)	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-\text{CH}^{\text{tr}}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	β -Eleostearinsäure
18:4 (9, 11, 13, 15) ^(*)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-(\text{CH}=\text{CH})_4-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Parinarsäure

^(*) Geometrie der Doppelbindungen unbekannt.

2.3.3.1. Einfach ungesättigte Fettsäuren

Einfach ungesättigte Fettsäuren weisen, wie vorher erwähnt, nur eine Doppelbindung in der Fettsäurekette auf und sie sind bei Raumtemperatur flüssig. Sie werden fester bei Kühlschranktemperatur (NutriPro Food 2007). Einfach ungesättigte Fettsäuren befinden sich im Fleisch, Vollmilchprodukte, Nüsse und fettreiches Obst wie Avocados und Oliven. Die wichtigste einfach ungesättigte Fettsäure in der Ernährung ist Ölsäure, welche in Olivenöl, Rapsöl und Nüssen hauptsächlich vorkommt (WHO/FAO 2003). Olivenöl besteht aus circa 75 % einfach ungesättigtem Fett während Rapsöl und Cashewnüsse etwa 58 % einfach ungesättigtes Fett enthalten. Zusätzlich besitzen Talg und Schmalz circa 50 % beziehungsweise 40 % einfach ungesättigte Fettsäuren. Nussöl, Traubenkernöl, Weizenvollkorn, Haferflocken und Erdnussöl sind einige Lebensmittel, die ebenfalls aus einfach ungesättigtem Fett bestehen (NU 2002).

Es ist wohl bekannt, dass Personen aus den Mittelmeerländern mehr Fett als die Menschen aus den nordeuropäischen Ländern verzehren. Jedoch besteht dieses Fett hauptsächlich aus einfachen ungesättigten Fettsäuren und ω 3-Fettsäuren. In der mediterranen Ernährung sind Produkte wie Olivenöl und Fisch bevorzugt und gesättigte Fettsäuren werden weniger konsumiert, was eine Schutzwirkung vor koronaren Herzkrankheiten bietet (Zelman 2013). Tatsache ist, dass eine Studie der Universität Vermont und der Universität Duke aufgezeigt, dass einfach ungesättigte Fettsäuren in Beziehung mit einer Steigerung der körperlichen Aktivität im Alltag und mit einem erhöhten Grundumsatz stehen. Personen, die eine Ernährung mit einem höheren Anteil an Ölsäure als Palmitinsäure konsumieren, waren in der Regel körperlich aktiver und hatten ein besseres Stimmungsbild (Kien *et al.* 2013). Außerdem hat die Rivas-Vaciamadrid Querschnittstudie festgestellt, dass sechsjährige Kinder, die einen höheren Verzehr an einfach ungesättigten Fettsäuren hatten, gesündere Lipidprofile aufwiesen. Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass Kinder mit einem hohen Konsum an diesen Fettsäuren, einen hohen HDL-Cholesteroll-(56,5 mg/dl), einen niedrigen LDL-Cholesteroll- (93,1 mg/dl) und einen geringeren Gesamtcholesterolspiegel (133,2 mg/dl) zeigten als Kinder, die weniger einfach ungesättigten Fettsäuren konsumierten (Sanchez-Bayle *et al.* 2007).

Manche einfache ungesättigte Fettsäuren gehören zur ω 9-Familie, welche die Doppelbindung am neunten Kohlenstoffatom (ausgehend vom Methylende der Fettsäurekette) besitzen und oft in tierischen Fetten und pflanzlichen Ölen vorkommen. Ölsäure und Erucasäure sind die wichtigsten ω 9-Fettsäuren in der Industrie. Wie bereits erwähnt, befindet sich Ölsäure grundsätzlich im Olivenöl und Erucasäure kommt im Raps, in den Samen des Goldlackes und

in den Senfkörnern vor. Da der menschliche Körper ω 9-Fettsäuren selber synthetisiert, sind diese Fettsäuren nicht als essentiell eingestuft (Belitz *et al.* 2008, Gillingham *et al.* 2011). ω 9-Fettsäuren schützen den Körper vor dem metabolischen Syndrom und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, da diese Fettsäuren das HDL-Cholesterol steigern, das Gesamt- und LDL-Cholesterol sinken und sie unterstützen die Beseitigung von Plaque in den Arterien, die Schlaganfälle oder Herzinfarkte verursachen kann (Gillingham *et al.* 2011).

2.3.3.2. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren weisen mindestens zwei Doppelbindung in der Fettsäurekette auf. Deswegen sind sie in der Regel anfälliger für Lipidperoxidation als einfach ungesättigte Fettsäuren. Das bedeutet, dass mehrfach ungesättigte Fette schnell ranzig werden könnten. (NutriPro Food 2007). Diese Fettsäuren sind bei Raumtemperatur flüssig und umfassen zum Beispiel Nüsse, Samen, Sojabohnen, Sonnenblumenöl, Fisch, Algen, Blattgemüse und Krill. Da mehrfach ungesättigte Fettsäuren den LDL-Cholesterol- und eventuell den HDL-Cholesterolspiegel reduzieren können, sollte ihr Konsum nicht mehr als 10 % der täglichen Energieaufnahme übersteigen (NU 2002, ÖGE 2011a).

Die gesundheitliche Vorteile von mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind bei mehreren Studien festgelegt. Eine zehnjährige Langezeitbeobachtung zeigte zum Beispiel, dass Frauen, die keine Diabetes, keine Herz-Kreislauf-Erkrankung oder keinen Krebs zu Beginn der Studie hatten, wiesen ein niedrigeres Risiko für Diabetes Typ II auf, wenn sie eine Ernährung reich an Linolsäure konsumierten. Im Übrigen war das Risiko um 40 % niedriger, wenn 2 % der Energieaufnahme von *trans*-Fettsäuren durch mehrfach ungesättigte Fettsäuren ersetzt wurde und um 35 % niedriger, wenn 5 % der Energieaufnahme von gesättigten Fettsäuren durch mehrfach ungesättigte Fettsäuren ersetzt wurde (Salmerón *et al.* 2001). Andere Studien haben auch gezeigt, dass der Verzehr von mehrfach ungesättigten Pflanzenölen in Zusammenhang mit einem niedrigeren Konsum von *trans*-Fettsäuren und gesättigten Fettsäuren, das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankung senken könnte (WHO/FAO 2003). Außerdem hat eine Studie in den Niederlanden herausgefunden, dass die Aufnahme von mehrfach ungesättigten Fettsäuren zusammen mit Vitamin E das Risiko für amyotrophe Lateralsklerose (ALS) verringert wurde. Patienten mit ALS oder Personen mit vermutlicher Erkrankung haben an der Studie teilgenommen. Die Ergebnisse zeigten, dass das Risiko um 50 % bis 60 % geringer wurde und, dass der Vitamin E eine besondere Rolle als Antioxidationsmittel gegen Lipidperoxidation gespielt hatte (Veldink *et al.* 2007).

Manche mehrfache ungesättigte Fettsäuren gehören zur ω 3-Familie, welche die erste Doppelbindung an den dritten Kohlenstoff (ausgehend vom Methylende der Fettsäurekette) besitzen und andere zur ω 6-Familie, die die erste Doppelbindung an den sechsten Kohlenstoff aufweisen (Belitz *et al.* 2008). α -Linolensäure (ω 3) und Linolsäure (ω 6) sind essentielle Fettsäure, da der menschliche Körper diese mehrfache ungesättigte Fettsäuren nicht produzieren kann. Ihre Aufnahme sollte durch die Ernährung stattfinden, denn sie sind wichtig bei der Bildung und Struktur von Zellmembranen, bei der Entwicklung des Zentralnervensystems (Gehirn und Netzhaut), und zur Herstellung hormonähnlichen Molekülen (NutriPro Food 2007). Pflanzenölen wie Sonnenblumeöl, Rapsöl und Sojaöl, Fleisch, Eier und Fisch bestehen aus ω 3- und ω 6-Fettsäuren. Laut dem Österreichische Gesellschaft für Ernährung sollte das Verhältnis von ω 6-Fettsäuren zu ω 3-Fettsäuren beziehungsweise das Verhältnis von Linolsäure zu α -Linolensäure nicht 5:1 überschreiten. Ein solches Verhältnis ist bei einer fisch-, blattgemüse- und rapsölreiche Ernährung zu erreichen (NutriPro Food 2007, ÖGE 2011a).

Die wichtigste ω 3-Fettsäuren sind Eicosapentaensäure, Docosahexaensäure und α -Linolensäure. EPA und DHA befinden sich in fettigen Fischen während pflanzliche Öle α -Linolensäure enthalten. ω 3-Fettsäuren weisen verschiedene Wirkungen auf, die die Gesundheit positiv beeinflussen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei den Lipiden und Lipoproteinen, dem Blutdruck, der Herzfunktion, der arteriellen Elastizität und der entzündungshemmenden Wirkung (WHO/FAO 2003, Weiler und Hofäcker 2006). Wegen des Mangels an vorgeformten EPA und DHA bei veganer Ernährung sind hohen Dosierungen von α -Linolensäure notwendig um zumindestens begrenzte Mengen von Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure zu erreichen (Bain 2010). Langkettige ω 3-Fettsäuren (EPA und DHA) senken die Bildung von Triglyceriden in der Leber aber sie können den LDL-Cholesterol erhöhen. Aus diesem Grund ist es behauptet, dass die Schutzwirkung dieser Fettsäuren vor koronaren Herzkrankheiten, über andere Wege als Serum-Cholesterol vermittelt ist. Eine Studie in Italien mit Patienten, die einen Myokardinfarkt überlebten und Fischöl konsumierten zeigte, dass nach 3,5 Jahren das Risiko für Gesamtsterblichkeit sich um 20 % reduziert hat, das Risiko für kardiovaskulären Tod sich um 30 % vermindert hat und das Risiko für plötzlichen Tod sich um 45 % verringert hat (GISSI-Prevenzione investigators 1999).

Eine Dosierung von ungefähr 73 mg pro Tag von EPA und DHA wurde bei der Women's Healthy Eating and Living Studie einen reduzierten Risiko von Brustkrebs vorgeschlagen. Die Studie dauerte 11 Jahren und 3081 Brustkrebsüberlebende hatten teilgenommen. Während dieses Zeitraums wurden Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure in Form von Fisch und Nahrungsergänzungsmitteln aufgenommen. Frauen, die keine zusätzliche Brustkrebs erlebten,

hatten eine höhere Menge von marinen Fettsäuren von Nahrungsmitteln konsumiert. In der Tat hatte sich das Risiko für zusätzliche Brustkrebs um 25 % reduziert (Patterson *et al.* 2011). Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass ω 3-Fettsäuren eine essentielle Rolle bei der Schwangerschaft spielen, da sie sehr wichtig für die fetale Entwicklung sind. Diese Fettsäuren bilden in der Pränatalzeit Synapsen und Zellmembranen, welche essentiell für das Zentralnervensystem sind. DHA ist eigentlich notwendig für die graue Substanz des Gehirns, die Stimulation der Netzhaut und die Neurotransmission (Bain 2010).

Die wichtigste ω 6-Fettsäure ist Linoläure, welche hauptsächlich im Sojaöl, Sonnenblumenöl, Rapsöl, Erdnussöl und Safloröl vorkommt. Arachidonsäure und γ -Linolensäure gehören ebenfalls zur ω 6-Familie und sie befinden sich vorwiegend im roten Fleisch, Geflügel, Butter, Eier beziehungsweise im Nachtkerzenöl und Borretschöl (WHO/FAO 2003, ÖGE 2011a). Linolsäure wird im Körper zur γ -Linolensäure umgewandelt und dann wird es weiter in Arachidonsäure umgebaut. Einfach ungesättigte Fettsäuren und ω 6-Fettsäuren senken den LDL-Cholesterolspiegel und dadurch das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankung, aber mehrfach ungesättigte Fettsäure sind anscheinend wirksamer (WHO/FAO 2003, Ehrlich 2011). In der Tat ist die angemessene Zufuhr von ω 6-Fettsäuren und ω 3-Fettsäuren wichtig für die Gesundheit und um das Risiko für koronare Herzerkrankung und Diabetes Typ II zu reduzieren (Simopoulos 2008). Auf diese Weise könnten ω 6- und ω 3-Fettsäuren im Verhältnis 2 bis 3 zu 1 die Entzündung von Patienten mit rheumatoiden Arthritis vermindern. Zusätzlich wurden sich die Todesfälle durch Herz-Kreislauf-Erkrankung um 70 % verkleinern, wenn das Verhältnis von ω 6- und ω 3-Fettsäuren 4 zu 1 war. Patienten mit Dickdarmkrebs zeigten eine Reduktion der rektalen Zellproliferation bei einem Verhältnis von 2,5 zu 1. Ein Verhältnis von 5 zu 1 steigerte die Wirksamkeit der Behandlung von Patienten mit Asthma aber ein Verhältnis von 10 zu 1 verursachte Atemnotsyndrom (Simopoulos 2008).

ω 6-Fettsäuren sind essentiell beim frühkindlichen Wachstum, da große Mengen von Arachidonsäure und DHA im Zentralnervensystem und in der Retina deponiert werden. ω 6-Fettsäuren spielen eine wichtige Rolle bei Gehirnfunktionen, normalen Wachstum und der Entwicklung des Kindes. Sie stimulieren das Haarwuchs und Hautwachstum, sie behalten die Knochengesundheit, erhalten die Reproduktionsfähigkeit und regulieren den Stoffwechsel (Ehrlich 2011). Eine Studie zeigte, dass Tamoxifen wirksamer bei Frauen mit Brustkrebs, die γ -Linolensäure verzehrten, war als bei Frauen, die nur Tamoxifen aufgenommen hatten. Jedoch zeigte diese Studie, dass höhere Mengen an Linolsäure das Risiko für Metastase steigern könnte, denn diese Fettsäure möglicherweise die Zellteilung stimulieren und damit die zirkulierende Tumorzellen im Blut zunehmen. Es ist auch möglich, dass ω 6-Fettsäure diese Wirkung mitbringt, da sie leicht oxidierbar sind (Venere 2009, Ehrlich 2011). Eine andere

Studie mit Frauen älter als 65 Jahren, welche EPA und γ -Linolensäure verbrauchten, zeigte sie hatten einen geringeren Knochenabbau für 3 Jahren und bei vielen dieser Frauen wurden ebenfalls eine signifikante Zunahme der Knochendichte nachgewiesen (Ehrlich 2011).

2.3.3.3. *Trans*-Fettsäuren

Trans-Fett besteht aus ungesättigtes Fett, welches *trans*-Fettsäuren besitzt. Da ungesättigte Fettsäuren Doppelbindungen aufweisen, sind Fettsäuren mit der *trans*-Konfiguration keine gesättigte Fettsäuren (Martin *et al.* 2007). Durch die Doppelbindungen der Kohlenstoffatomen gibt es weniger Wasserstoffatome in der Fettsäurekette der ungesättigten Fettsäuren. Wasserstoffatome könnten aber an jedem Kohlenstoffatom, der über eine Doppelbindung mit einem anderen Kohlenstoffatom verknüpft ist, hinzugefügt werden. Wenn dieses Verfahren stattfindet, wird die *cis*-Konfiguration oder die *trans*-Konfiguration auftreten. Während die Wasserstoffatome sich in der *cis*-Konfiguration auf derselben Seite der Doppelbindungen befinden, was ein gewinkeltes Molekül auslöst, sind die Wasserstoffatome in der *trans*-Konfiguration an der gegenüberliegenden Seiten der Doppelbindungen und das Molekül ist gerade (Akoh und Min 2002, Stender *et al.* 2006, AHA 2010). Diese Konfigurationen sind in Abbildung 15 dargestellt. Ölsäure und Elaidinsäure sind zum Beispiel ungesättigte Fettsäuren mit der chemischen Formel $C_{18}H_{34}O_2$ und beide weisen eine Doppelbindung am neunten Kohlenstoffatom, jedoch hat Ölsäure eine *cis*-Konfiguration und Elaidinsäure eine *trans*-Konfiguration. Außerdem besitzt Elaidinsäure andere chemische und physikalische Eigenschaften als Ölsäure. Diese *trans*-Fettsäure hat einen höheren Schmelzpunkt, da die *trans*-Moleküle fest bei der menschlichen Körpertemperatur sind (Alonso *et al.* 1999, Belitz *et al.* 2008).

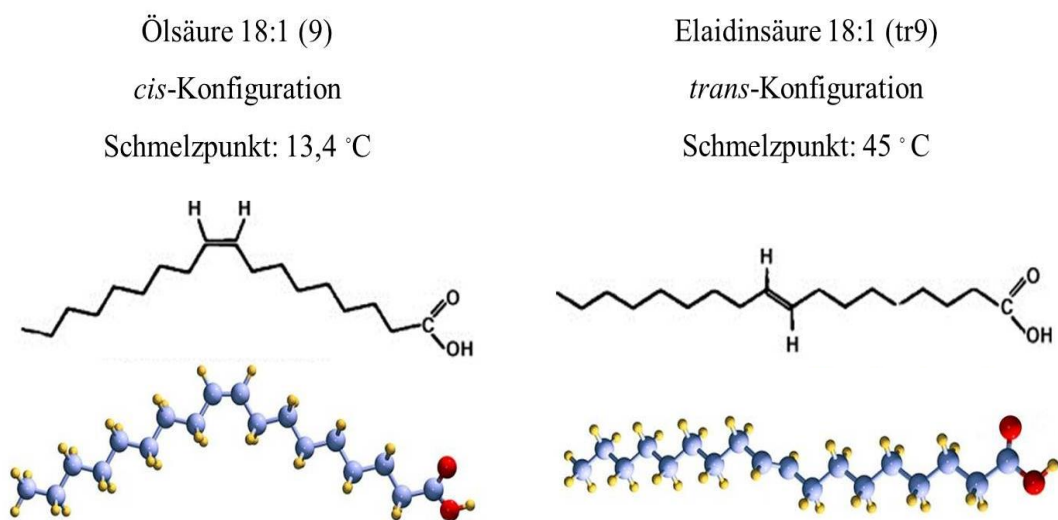


Abb. 15: Chemische Strukturformel und Konfigurationen von Ölsäure und Elaidinsäure (Hunter 2005, Winter 2013a, Winter 2013b)

Trans-Fettsäuren sind ungesättigte Fettsäure mit einer besonderen Konfiguration. Diese Fettsäuren kommen in verschiedenen Formen in der Ernährung vor. Sie sind in niedrigen Mengen in den Milchprodukten und Wiederkäuererzeugnissen anwesend und die meisten *trans*-Fettsäuren befinden sich in Lebensmitteln, die teilweise hydriert sind, wie zum Beispiel in der Margarine oder in Backwaren (Kekse, Biskotten und ähnlichen Erzeugnissen), Snacks und Fertigsuppen (NutriPro Food 2007). Teilweise hydrierte Produkte sind häufig hergestellt, da sie fest bei Raumtemperatur sind und beim Verzehr schmelzen. Außerdem kommen *trans*-Fettsäuren in Erzeugnisse, die bei hoher Temperatur mit Öl erhitzt und frittiert werden, wie Pommes frites vor. Das Hydrierungsverfahren produziert Konsistenzänderungen der Fettsäure und verbessert ihre Stabilität. Auf diese Weise wird das Produkt weniger anfällig für Ranzigkeit (Stender *et al.* 2006, NutriPro Food 2007). Der Hydrierungsprozess erfolgt im Pansen der Wiederkäuer (Biohydrogenierung im Magen) und in der Industrie (Härtung von pflanzlichen Ölen) und wird wie bereits erwähnt zur Änderungen der physikalischen Eigenschaften der Fette und Öle führen. Die hergestellten Fette besitzen verschiedene Härtegrade und ihr übermäßiger Konsum führt, genauso wie bei gesättigten Fettsäuren zur Veränderungen des LDL- und des HDL-Cholesterols (Kiefer und Kunze 1999). Ein natürliches *trans*-Fett aus dem Pansen ist die konjugierte Linolsäure (CLA), die zwei Doppelbindungen besitzt, eine mit *cis*-Konfiguration und andere mit *trans*-Konfiguration. Ihnen wird eine anticancerogene

Wirkung zugeschrieben und deren Vorkommen in Lebensmitteln ist in der Tabelle 21 gezeigt (Belitz *et al.* 2008).

Trans-Fettsäuren werden im Zusammenhang mit verschiedenen Erkrankungen in Verbindung gebracht, da sie das Gesamt- und LDL-Cholesterol im Blut steigern und der HDL-Cholesterolspiegel sinken. Auf diese Weise wird das Risiko einer Herzkrankgefäßerkrankung erhöht (NutriPro Food 2007). Außerdem wurde festgestellt, dass *trans*-Fette die Leistungen des Gedächtnisses und die Lernfähigkeit des Gehirns von Ratten im mittleren Lebensalter beeinträchtigen, weil das Gehirn weniger essentielle Aminosäure für eine gesunde neurologische Funktion hat (Granholm *et al.* 2008, Phivilay *et al.* 2009). Eine andere Untersuchung entdeckte, dass ein hoher Verzehr von *trans*-Fettsäuren ein erhöhtes Risiko für Brustkrebs (bei 75%) gezeigt hatte (Chajès *et al.* 2008).

Tab. 21: Konjugierte Linolsäuren (CLA) in Lebensmitteln (Belitz *et al.* 2008)

	Gesamt CLA (g/kg Fett)
Milch	2 – 30
Butter	9,4 – 11,9
Käse	0,6 – 7,1
Rindfleisch, gebraten	3,1 – 9,9
Pflanzliche Öle, Seetieröle	0,2 – 0,5

2.3.4. Fettbegleitstoff: Cholesterol

Cholesterol ist das wichtigste Steroid der Säugetiere (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008). Der Cholesterolgehalt von bestimmten Lebensmitteln ist in Tabelle 22 dargestellt. Das Cholesterolmolekül besitzt eine Hydroxylgruppe, woraus eine aktive Oberfläche resultiert. Auf diese Weise kann Cholesterol in die Zellmembranen eindringen und die Membranstruktur stabilisieren. Abbildung 16 zeigt seine chemische Struktur. Außerdem ist Cholesterol ein wesentlicher Ausgangsstoff für die Produktion von Gallensäuren und Sexualhormonen wie Progesteron. 7-Dehydrocholesterol ist ebenfalls ein essentieller Stoff für die Vitamin-D-Synthese durch UV-Strahlung in der Haut (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008). Da mehrere Studien zeigen, dass hohe Gesamtcholesterol- und LDL-Cholesterolspiegel das Risiko

für Herz-Kreislauf-Erkrankung steigern können, sind reduzierte Mengen von Cholesterol in der Ernährung erwünscht. Dieses Ziel kann durch niedrigeren Verzehr an tierischen Fetten erreicht werden (Damodaran *et al.* 2008). Produkte wie Innereien, Eidotter oder Butter enthalten hohe Cholesterolmengen (ÖGE 2011a).

Tab. 22: Cholesterolgehalt einiger Lebensmittel (Belitz *et al.* 2008)

	Menge (mg/100 g)
Eidotter	1010
Schweinenieren	410
Schweineleber	340
Butter	215 – 330
Heilbutt	50

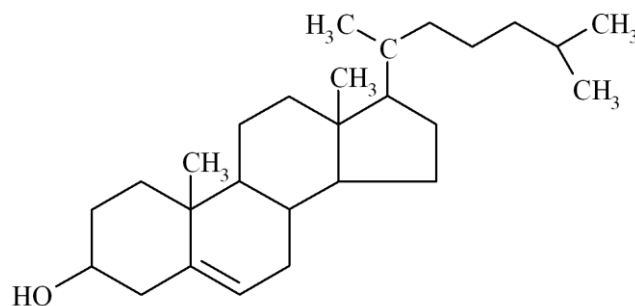


Abb. 16: Chemische Strukturformel von Cholesterol (Belitz *et al.* 2008)

Der Transport von Cholesterol im Blut findet durch Lipoproteine statt. Wie vorher erwähnt wird Cholesterol von der Leber zu den Geweben, extrahepatischen Zellen und zu der Gefäßwand mit Hilfe des LDL transportiert und es wird aus der Gefäßwand entnommen und durch das HDL zurück in die Leber transportiert, wo es abgebaut werden kann (Toth 2005, Gossauer 2006, AHA 2012). Erhöhte LDL-Cholesterolwerte in Verbindung mit niedrigen HDL-Cholesterolwerten können zur Hypercholesterolämie führen, die eine wesentliche Ursache für koronare Herzkrankheiten und Schlaganfälle darstellt. Jedoch wird Cholesterol auch im menschlichen Körper (in der Leber) produziert und das bedeutet, dass die Wirkung von Nahrungscholesterol personenabhängig ist (NutriPro Food 2007, ÖGE 2011a). In der Tat

werden etwa 800 mg Cholesterol pro Tag im Stoffwechsel gebraucht und Nahrungscholesterol deckt nur etwa ein Viertel des täglichen Bedarfs. Die Rest wird von der Leber selbst neu synthetisiert. Deswegen ist es möglich einem Überangebot aus der Nahrung durch verminderte Resorption und Verringerung der endogenen Synthese entgegenzuwirken (Weiler und Hofäcker 2006).

Zusätzlich besitzen einige Leute einen genetisch bedingten Defekt in den LDL-Rezeptoren, was bewirkt, dass das Cholesterol nicht über diesen Rezeptoren in die Zellen eindringen kann. Diese Zellen produzieren dann das Cholesterol zusätzlich, um es zur Verfügung stellen zu können und dies verursacht daher ein Überangebot. Dieser Überschuss an Cholesterol führt zu Ablagerungen in den Blutgefäßen und das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöht sich (Weiler und Hofäcker 2006). Da der überwiegende Anteil des Cholesterols im Körper selbst hergestellt wird, hat die Vermeidung von Nahrungscholesterol nur einen begrenzenden Effekt auf den Cholesterolspiegel. Der Cholesterolgehalt von Schweinefleisch ist ungefähr 70 mg per 100g und der von Rindfleisch circa 80 mg pro 100 g. Von diesem Cholesterol aus der Nahrung werden etwa 50 % resorbiert und müssen dann in Relation zur körpereigenen Produktion von circa 800 mg pro Tag gesehen werden. Die Zusammensetzung (Fettsäuremuster) des Lebensmittels ist deswegen besonders wichtig für das Gleichgewicht zwischen LDL- und HDL-Cholesterol und für die Menge des Cholesterols im Blut (Weiler und Hofäcker 2006).

2.3.5. Richtwerte für Fette und essentielle Fettsäuren

Es ist allgemein bekannt, dass eine ausgewogene Ernährung den menschlichen Organismus mit notwendigen Nährstoffen versorgt und dass jeder Nährstoff lebenswichtige Funktionen im Körper erfüllt. Da Fett zu diesen Nährstoffen gehört und aus ernährungsphysiologischer Sicht eine wichtige Rolle spielt, ist es essentiell eine angemessene Menge an Fetten aufzunehmen. Auf Grund der Tatsache, dass kein durchschnittlicher Bedarf für Fette ermittelt werden kann, hat die Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (DGE), die Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), die Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE) und die Schweizerische Vereinigung für Ernährung (SVE) gemeinsame Richtwerte als Orientierungshilfen für diese Nährstoffzufuhr angegeben und in der D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr veröffentlicht (ÖGE 2011b). Richtwerte gewährleisten die Zufuhr der entsprechenden Substanz innerhalb bestimmter Bereiche. Dadurch werden Richtwerte für Fett und Cholesterol und eine Limitierung nach oben angegeben um die Basis für eine vollwertige

Ernährung zu bilden (DGE 2009). Tabelle 23 zeigt die Richtwerte für die Fettzufuhr und in Tabelle 24 ist die empfohlene Zufuhr an essentiellen Fettsäuren dargestellt. Schwangere und Stillende sollten mindestens 200 mg DHA pro Tag aufnehmen, während der Schätzwert zur Zufuhr der DHA und EPA zur primären Prävention der koronaren Herkerkrankungen bei 250 mg pro Tag liegt (DGE 2009). Wichtig zu erwähnen ist, dass bei einem Energiebedarf von 2000 kcal ein Fettanteil von 30 % ungefähr 65 g Fett entspricht und dass sichtbare Fett wie zum Beispiel Streichfett maximal 40 g pro Tag ausmachen sollte. 5 g Karotten, 10 g Pflanzenöl, 12 g Butter oder Margarine, 16 g Nüsse, 29 g Obers, 30 g Pommes oder Chips, 36 g Leberkäse, 40 g Extrawurst, 45 g Gouda oder 250 g Putenschinken enthalten 10 g Fett (ÖGE 2011a).

Das wesentliche Ziel von den D-A-CH-Referenzwerten ist die Erhaltung und Förderung der Gesundheit, um eine ausreichende Versorgung sicher zu stellen. Außerdem sollte die Begrenzung der Fettzufuhr eine niedrigere Energiezufuhr und Energiedichte erreichen um eine Reduktion des Adipositasrisikos, eine Verminderung der Zufuhr von gesättigten Fettsäuren und eine angemessen hohe Zufuhr von pflanzlichen Nahrungsmitteln zu verfolgen und zu realisieren (ÖGE 2011b, DGE 2011).

Tab. 23: Richtwerte für die Fettzufuhr in Prozent der Gesamtenergiezufuhr (DGE *et al.* 2008)

Säuglinge	
0 bis 4 Monate	40 – 45
4 bis unter 12 Monate	35 – 45
Kinder	
1 bis unter 4 Jahre	30 – 40
4 bis unter 7 Jahre	30 – 35
7 bis unter 10 Jahre	30 – 35
10 bis unter 13 Jahre	30 – 35
13 bis unter 15 Jahre	30 – 35
Jugendliche und Erwachsene	
15 bis unter 19 Jahre	30
19 bis unter 25 Jahre	30
25 bis unter 51 Jahre	30
51 bis unter 65 Jahre	30
65 Jahren und älter	30
Schwangere ab dem vierten Monat	30 - 35
Stillende	30 - 35
Davon sollten (bei Erwachsenen)	
Gesättigte Fettsäuren	1/3 der Fettzufuhr; max. 10 % der Energiezufuhr pro Tag
Einfach ungesättigte Fettsäuren	1/3 der Fettzufuhr; min. 10 % der Energiezufuhr pro Tag
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	1/3 der Fettzufuhr; 7-10 % der Energiezufuhr pro Tag
<i>Trans</i> -Fettsäuren	weniger als 1 % der Energiezufuhr pro Tag
Cholesterol	300 mg pro Tag

Tab. 24: Empfohlene Zufuhr an essentiellen Fettsäuren (DGE *et al.* 2008)

Alter	Essentielle Fettsäuren in Prozent der Energie	
	Linolsäure ($\omega 6$)	α -Linolensäure ($\omega 3$) ^(*)
Säuglinge		
0 bis 4 Monate	4,0	0,5
4 bis unter 12 Monate	3,5	0,5
Kinder		
1 bis unter 4 Jahre	3,0	0,5
4 bis unter 7 Jahre	2,5	0,5
7 bis unter 10 Jahre	2,5	0,5
10 bis unter 13 Jahre	2,5	0,5
13 bis unter 15 Jahre	2,5	0,5
Jugendliche und Erwachsene		
15 bis unter 19 Jahre	2,5	0,5
19 bis unter 25 Jahre	2,5	0,5
25 bis unter 51 Jahre	2,5	0,5
51 bis unter 65 Jahre	2,5	0,5
65 Jahre und älter	2,5	0,5
Schwangere	2,5	0,5
Stillende	2,5	0,5

^(*) Hierbei handelt es sich um Schätzwerte, die auf experimentellen Untersuchungen basierend.

Das Institute of Medicine von der USA National Academy of Sciences hat ebenfalls Ernährungsempfehlungen veröffentlicht. Dieses Dokument heißt Dietary Reference Intake (DRI) und es wird in den USA und Kanada in der breiten Öffentlichkeit und von medizinischem Personal benutzt. Laut DRI besitzt das Gesamtfett einen AMDR-Wert von 20 % bis 35 % der gesamten Energieaufnahme (44 bis 77 g pro Tag bei einer Diät von 2000 kcal).

Der AMDR umfasst den erwünschten Anteil des Energieverbrauchs von jedem Makronährstoff (NRC 2005). Die AMDR-Werte für das Gesamtfett sind in Tabelle 25 dargestellt. Außerdem gibt es einen AI-Wert für das Gesamtfett nur für Säuglinge im Alter von 0 bis 6 Monaten von 31 g pro Tag und für die im Alter von 7 bis 12 Monaten von 30 g pro Tag (NRC 2005). Tabelle 26 zeigt die AI-Werte für Linolsäure und α -Linolensäure. Die AI-Werte basieren auf Näherungen, die durch Beobachtungen oder Versuche der Nährstoffaufnahme in Gruppen von gesunden Menschen festgelegt wurden (NRC 2005).

Tab. 25: AMDR-Werte für das Gesamtfett in Prozent der gesamten Energieaufnahme (NRC 2005)

Alter	AMDR	Alter	AMDR
1 bis 3	30 - 40	4 bis 8	25 - 35
Männer	AMDR	Frauen	AMDR
9 bis 13	25 - 35	9 bis 13	25 - 35
14 bis 18	25 - 35	14 bis 18	25 - 35
19 bis 30	20 - 35	19 bis 30	20 - 35
31 bis 50	20 - 35	31 bis 50	20 - 35
51 bis 70	20 - 35	51 bis 70	20 - 35
Älter als 70	20 - 35	Älter als 70	20 - 35
Schwangere	AMDR	Stillende	AMDR
≤ 18	20 - 35	≤ 18	20 - 35
19 bis 30	20 - 35	19 bis 30	20 - 35
31 bis 50	20 - 35	31 bis 50	20 - 35

Tab. 26: AI-Werte von essentiellen Fettsäuren (NRC 2005)

Essentielle Fettsäuren in Gramm pro Tag							
Linolsäure (ω6)				α-Linolensäure (ω3)			
Alter	AI	Alter	AI	Alter	AI	Alter	AI
1 bis 3	7	4 bis 8	10	1 bis 3	0,7	4 bis 8	0,9
Jungen	AI	Mädchen	AI	Jungen	AI	Mädchen	AI
9 bis 13	12	9 bis 13	10	9 bis 13	1,2	9 bis 13	1,0
14 bis 18	16	14 bis 18	11	14 bis 18	1,6	14 bis 18	1,1
Männer	AI	Frauen	AI	Männer	AI	Frauen	AI
19 bis 30	17	19 bis 30	12	19 bis 30	1,6	19 bis 30	1,1
31 bis 50	17	31 bis 50	12	31 bis 50	1,6	31 bis 50	1,1
51 bis 70	14	51 bis 70	11	51 bis 70	1,6	51 bis 70	1,1
Älter als 70	14	Älter als 70	11	Älter als 70	1,6	Älter als 70	1,1
Schwangere	AI	Stillende	AI	Schwangere	AI	Stillende	AI
14 bis 18	13	14 bis 18	13	14 bis 18	1,4	14 bis 18	1,3
19 bis 30	13	19 bis 30	13	19 bis 30	1,4	19 bis 30	1,3
31 bis 50	13	31 bis 50	13	31 bis 50	1,4	31 bis 50	1,3

2.3.6. Fettaufnahme in Österreich

Die Qualität von Fetten und Ölen in der Ernährung muss berücksichtigt werden um eine optimale Zufuhr zu erzielen. Tatsächlich geht es nicht nur um die Quantität der Nahrungsmittel. Es gibt verschiedene Methoden zur Erfassung des Konsums und Verbrauchs an Lebensmitteln auf Bevölkerungsebene, welche spezifische Stärken und Limitierungen aufweisen. Die direkte Ermittlung des tatsächlichen Verzehrs auf individueller Ebene, Agrarstatistiken und die Ermittlung der Lebensmittelverfügbarkeit auf Haushaltsebene, ausgehend von Konsumerhebungen der nationalen Statistikämter sind alles bekannte Methoden, die allerdings nicht direkt miteinander vergleichbar sind (Elmadfa *et al.* 2012). Die Daten im Österreichischen Ernährungsbericht 2012, welche in diesem Zusammenhang berücksichtigt

sind, wurden regelmäßig im Rahmen der Österreichischen Studie zum Ernährungsstatus (ÖSES) erhoben. Das untersuchte Kollektiv entspricht einer Quotenstichprobe einer Querschnittsstudie, die nach Geschlecht, Altersgruppen und Regionen in Österreich stratifiziert wurde. Die Anpassung an die Gesamtbevölkerung wurde durch Verwendung weiterer Gewichtungsfaktoren durchgeführt. Die Angaben zur Nahrungsaufnahme wurden durch zwei 24-Stunden-Erinnerungsprotokolle bei Erwachsenen und durch 3-Tage-Schätzprotokolle bei Kindern erhoben (Elmadfa *et al.* 2012).

2.3.6.1. Schulkinder

Eine ausreichende Aufnahme an Energie, insbesondere bei Kindern während des Wachstums, ist entscheidend für die Aufrechterhaltung der Grundfunktionen des Körpers, die Neubildung von Körpergewebe und andere Funktionen des menschlichen Körpers. Fette, Kohlenhydrate und Proteine spielen eine Rolle als Energielieferanten, um eine ausreichende Versorgung zu gewährleisten. Fette stellen ebenfalls essentiellen Fettsäuren zur Verfügung, die der menschliche Körper nicht selbst synthetisieren kann (Elmadfa und Leitzmann 2004). Deswegen ist die Aufnahme von Fetten über die Nahrung für die Aufrechterhaltung des Gesundheitszustands sehr wichtig.

Laut Österreichischem Ernährungsbericht 2012 lag der Verbrauch von Fett bei Mädchen und Buben im Alter von 7 bis 12 Jahren im Bereich des D-A-CH-Richtwerts von 30 % bis 35 % der Gesamtenergiezufuhr, aber die Mädchen und Buben im Alter von 13 bis 14 Jahren hatten diesen Bereich überschritten. Die Fettzusammensetzung des aufgenommenen Fettes bestand im Wesentlichen aus zu viel gesättigten Fettsäuren durch den erhöhten Konsum von tierischen Lebensmitteln (Elmadfa *et al.* 2012). Der Verzehr von einfach ungesättigten Fettsäuren lag zwischen 11 % und 12 % der Gesamtenergiezufuhr und der von mehrfach ungesättigten Fettsäuren unter 11 % der Gesamtenergiezufuhr. Außerdem lag die Aufnahme von Cholesterol unter 300 mg pro Tag, was dem Richtwert für die Cholesterolaufnahme von Erwachsenen entsprechen würde. Allerdings war der Konsum von Cholesterol bei allen Kindern zu hoch (Elmadfa *et al.* 2012). Die tägliche Aufnahme von Fett bei Schulkindern nach Geschlecht und Alter ist in Tabelle 27 ersichtlich. Der Verzehr von Linolsäure lag über dem Referenzwerte von 2,5 Energieprozent und der Konsum von α -Linolensäure war ebenfalls ausreichend. Das Verhältnis der Aufnahme von diesen essentiellen Fettsäuren lag bei 9 zu 1. Da das erwünschte Verhältnis bei 5 zu 1 liegt, könnte eine vermehrte Aufnahme von ω 3-Fettsäuren diesen Zustand verbessern. Zusätzlich lag die Summe des Konsums an EPA und DHA zwischen 133 und 258 mg pro Tag. Laut FAO-Referenzwerte, liegt die tägliche Aufnahme von diesen ω 3-

Fettsäuren zwischen 200 und 250 mg (FAO 2008, Elmadfa *et al.* 2012). Die tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Schulkindern nach Geschlecht und Alter ist in Tabelle 28 dargestellt.

Tab. 27: Tägliche Aufnahme von Fett bei Schulkindern nach Geschlecht und Alter (Elmadfa *et al.* 2012)

	Mädchen			
	7 bis 9 Jahren	10 bis 12 Jahren	13 bis 14 Jahren	D-A-CH-2012
Fett (Energieprozent)	34	33	37	30 - 35
Davon gesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	15	15	16	Max. 10
Davon einfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	11	11	12	Keine Angabe
Davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	6	5	6	11 ^(*)
Cholesterol (mg)	264	231	255	Keine Angabe
	Buben			
	7 bis 9 Jahren	10 bis 12 Jahren	13 bis 14 Jahren	D-A-CH-2012
Fett (Energieprozent)	34	34	36	30 - 35
Davon gesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	16	14	15	Max. 10
Davon einfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	11	11	12	Keine Angabe
Davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	5	6	7	11 ^(*)
Cholesterol (mg)	259	278	277	Keine Angabe

^(*) Referenzwert nach FAO (FAO 2008).

Tab. 28: Tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Schulkindern nach Geschlecht und Alter (Elmadfa *et al.* 2012)

	Mädchen			
	7 bis 9 Jahren	10 bis 12 Jahren	13 bis 14 Jahren	D-A-CH-2012
Linolsäure (Energieprozent)	4,7	4,6	5,2	2,5
α -Linolensäure (Energieprozent)	0,6	0,5	0,6	0,5
Arachidonsäure (mg)	170	154	171	Keine Angabe
Eicosapentaensäure (mg)	61	53	41	Keine Angabe
Docosahexaensäure (mg)	119	109	92	Keine Angabe
EPA + DHA (mg)	180	162	133	200 - 250 ^(*)
	Buben			
	7 bis 9 Jahren	10 bis 12 Jahren	13 bis 14 Jahren	D-A-CH-2012
Linolsäure (Energieprozent)	4,5	5,0	5,6	2,5
α -Linolensäure (Energieprozent)	0,5	0,5	0,7	0,5
Arachidonsäure (mg)	152	189	198	Keine Angabe
Eicosapentaensäure (mg)	76	65	92	Keine Angabe
Docosahexaensäure (mg)	122	129	166	Keine Angabe
EPA + DHA (mg)	198	194	258	200 - 250 ^(*)

^(*) Referenzwert nach FAO (FAO 2008).

2.3.6.2. Erwachsene

Die Fettaufnahme lag bei allen Altersgruppen und bei beiden Geschlechtern mit Werten zwischen 34 % und 37 % der Gesamtenergiezufuhr über den Empfehlungen des D-A-CH-Richtwerts (Elmadfa *et al.* 2012). Wie bereits erwähnt, steht eine gesteigerte Fettaufnahme in Verbindung mit einem größeren Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und es ist daher wichtig diese Fettaufnahmewerte zu reduzieren. Außerdem lag der Konsum von gesättigten Fettsäuren ebenfalls über dem Richtwert, was in Österreich mit erhöhtem Verzehr von Fleisch- und Milchprodukten in Verbindung gebracht werden kann (Elmadfa *et al.* 2012). Obwohl die Nahrungsaufnahme von einfach ungesättigten Fettsäuren im Bereich der Empfehlungen lag, befand sich der Verzehr der mehrfach ungesättigten Fettsäuren bei den jüngeren und älteren Frauen im Bereich der Richtwerte. Zusätzlich war der tägliche Konsum von Cholesterol bei Männern höher als der von Frauen und mit 338 mg über dem D-A-CH-Richtwert (Elmadfa *et al.* 2012). Dieser Wert sollte unbedingt gesenkt werden. Die tägliche Aufnahme von Fett bei Erwachsenen nach Geschlecht und Alter ist in Tabelle 29 ersichtlich. Der Nahrungsverzehr der Fettsäuren Linolsäure und α -Linolensäure befand sich im Bereich der Empfehlungen. Es ist wichtig, herauszustreichen, dass Frauen eine höhere Menge von Linolsäure und α -Linolensäure als Männer aufnahmen. Das Verhältnis der Aufnahme von diesen essentiellen Fettsäuren lag bei Frauen bei 10 zu 1. Männer hatten ein Verhältnis von Linolsäure zu α -Linolensäure von ebenfalls 10 zu 1. Da das optimale Verhältnis zwischen ω 6- und ω 3-Fettsäuren bei 5 zu 1 liegt, könnte eine vermehrte Aufnahme von α -Linolensäure diesen Zustand verbessern (Elmadfa *et al.* 2012). Die Summe des täglichen Konsums von EPA und DHA bei Frauen und Männern lag zwischen 132 mg beziehungsweise 325 mg. Nur Frauen im Alter von 51 bis 64 Jahren und Männer im Alter von 18 bis 24 Jahren hatten den Referenzwert von 250 mg pro Tag nach FAO getroffen. Außerdem lag die Aufnahme an Arachidonsäure zwischen 129 mg pro Tag und 210 mg pro Tag bei Frauen beziehungsweise Männern (FAO 2008, Elmadfa *et al.* 2012). Der Nahrungskonsum von Arachidonsäure ist bei Erwachsenen nicht essentiell, wenn ein ausreichender Verzehr von Linolsäure mit Werten höher als 2,5 % der Gesamtenergiezufuhr gegeben ist (FAO 2008). Die tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Erwachsenen nach Geschlecht und Alter ist in Tabelle 30 dargestellt.

Tab. 29: Tägliche Aufnahme von Fett bei Erwachsenen nach Geschlecht und Alter (Elmadfa *et al.* 2012)

	Frauen			
	18 bis 24 Jahren	25 bis 50 Jahren	51 bis 64 Jahren	D-A-CH- 2012
Fett (Energieprozent)	36	36	36	Max. 30
Davon gesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	15	15	15	Max. 10
Davon einfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	12	12	11	10 – 13
Davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	7	6	7	7 – 10
Cholesterol (mg)	252	269	254	Max. 300
	Männer			
	18 bis 24 Jahren	25 bis 50 Jahren	51 bis 64 Jahren	D-A-CH- 2012
Fett (Energieprozent)	34	37	37	Max. 30
Davon gesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	14	16	16	Max. 10
Davon einfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	11	12	12	10 – 13
Davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	6	6	6	7 – 10
Cholesterol (mg)	388	322	348	Max. 300

Tab. 30: Tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Erwachsenen nach Geschlecht und Alter (Elmadfa *et al.* 2012)

	Frauen			
	18 bis 24 Jahren	25 bis 50 Jahren	51 bis 64 Jahren	D-A-CH- 2012
Linolsäure (Energieprozent)	6,5	5,5	6,4	2,5
α -Linolensäure (Energieprozent)	0,6	0,5	0,6	0,5
Arachidonsäure (mg)	139	143	129	Keine Angabe
Eicosapentaensäure (mg)	100	95	42	Keine Angabe
Docosahexaensäure (mg)	167	176	90	Keine Angabe
EPA + DHA (mg)	267	271	132	250 ^(*)
	Männer			
	18 bis 24 Jahren	25 bis 50 Jahren	51 bis 64 Jahren	D-A-CH- 2012
Linolsäure (Energieprozent)	5,4	5,2	5,2	2,5
α -Linolensäure (Energieprozent)	0,6	0,5	0,5	0,5
Arachidonsäure (mg)	167	186	210	Keine Angabe
Eicosapentaensäure (mg)	62	107	119	Keine Angabe
Docosahexaensäure (mg)	142	187	206	Keine Angabe
EPA + DHA (mg)	204	294	325	250 ^(*)

^(*) Referenzwert nach FAO (FAO 2008).

2.3.6.3. Seniorinnen und Senioren

Aufgrund der Tatsache, dass mit fortschreitendem Alter erhöhte Cholesterolspiegel und koronare Herzerkrankungen zu Gesundheitsproblemen werden, ist es entscheidend auf die Fettqualität zu achten, um solchen gesundheitlichen Problemen vorzubeugen beziehungsweise diese zu vermeiden (Elmadfa und Leitzmann 2004).

Die Nahrungsfettaufnahme lag bei beiden Geschlechtern über dem Richtwert von 30 % der Gesamtenergiezufuhr. Da Seniorinnen einen Fettverzehr von 37 % der Gesamtenergiezufuhr besaßen, nahmen sie mehr Fett als Senioren (35 % der Gesamtenergiezufuhr) auf. Außerdem war der Konsum von gesättigten Fettsäuren bei Seniorinnen und Senioren mit 15 % bis 16 % höher als der D-A-CH Richtwert. Obwohl die Aufnahme von einfach ungesättigten Fettsäuren im Bereich der Richtwerte lag, befand sich der Konsum von mehrfach ungesättigten Fettsäuren bei den Seniorinnen im unteren Bereich der Richtwerte und bei den Senioren unter dem Richtwertbereich (Elmadfa *et al.* 2012). Der Nahrungsverzehr von mehrfach ungesättigten Fettsäuren könnte zum Beispiel durch die Aufnahme von ω 6-Fettsäuren in Form von Sojaöl oder Sonnenblumenöl und durch den Konsum von ω 3-Fettsäuren in Form von Rapsöl oder Leinöl verbessert werden (Elmadfa 2009). Zusätzlich befand sich der Nahrungsverzehr von Cholesterol bei den Seniorinnen über dem Richtwert und bei den Senioren unter dem Richtwert. Die tägliche Aufnahme von Fett bei Seniorinnen und Senioren nach Geschlecht ist in Tabelle 31 ersichtlich. Der Verzehr von Linolsäure und α -Linolensäure lag bei Seniorinnen und Senioren im Bereich der Empfehlungen, aber das Verhältnis von diesen essentiellen Fettsäuren war bei den Seniorinnen 9 zu 1 und bei den Senioren 10 zu 1. Da das empfohlene Verhältnis 5 zu 1 ist und, weil ein zu hoher Konsum von Linolsäure die Herstellung von EPA behindert, ist eine Verbesserung dieses Verhältnisses erwünscht (Elmadfa 2009, Elmadfa *et al.* 2012). Zusätzlich lag die Summe der Aufnahme an EPA und DHA über dem FAO-Referenzwert von 250 mg pro Tag und der tägliche Verzehr von Arachidonsäure lag bei den Seniorinnen bei 173 mg und bei den Senioren bei 203 mg (Elmadfa *et al.* 2012). Die tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Seniorinnen und Senioren nach Geschlecht ist in Tabelle 32 dargestellt.

Tab. 31: Tägliche Aufnahme von Fett bei Seniorinnen und Senioren nach Geschlecht (Elmadfa *et al.* 2012)

	Seniorinnen	
	65 bis 80 Jahren	D-A-CH-2012
Fett (Energieprozent)	37	Max. 30
Davon gesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	16	Max. 10
Davon einfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	12	10 - 13
Davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	7	7 - 10
Cholesterol (mg)	305	Max. 300
	Senioren	
	65 bis 80 Jahren	D-A-CH-2012
Fett (Energieprozent)	35	Max. 30
Davon gesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	15	Max. 10
Davon einfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	11	10 - 13
Davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Energieprozent)	6	7 - 10
Cholesterol (mg)	272	Max. 300

Tab. 32: Tägliche Aufnahme von essentiellen Fettsäuren bei Seniorinnen und Senioren nach Geschlecht (Elmadfa *et al.* 2012)

	Seniorinnen	
	65 bis 80 Jahren	D-A-CH-2012
Linolsäure (Energieprozent)	5,6	2,5
α -Linolensäure (Energieprozent)	0,6	0,5
Arachidonsäure (mg)	173	Keine Angabe
Eicosapentaensäure (mg)	87	Keine Angabe
Docosahexaensäure (mg)	175	Keine Angabe
EPA + DHA (mg)	262	250 ^(*)
	Senioren	
	65 bis 80 Jahren	D-A-CH-2012
Linolsäure (Energieprozent)	5,2	2,5
α -Linolensäure (Energieprozent)	0,5	0,5
Arachidonsäure (mg)	203	Keine Angabe
Eicosapentaensäure (mg)	134	Keine Angabe
Docosahexaensäure (mg)	231	Keine Angabe
EPA + DHA (mg)	365	250 ^(*)

^(*) Referenzwert nach FAO (FAO 2008).

2.3.7. Möglichkeiten der Fettreduktion und Fettmodifikation

Der Konsum von Lebensmitteln mit hohem Fett- und Energieanteil, insbesondere gesättigte Fettsäuren, in Zusammenhang mit einer sitzenden Lebensweise, verursacht in der Regel chronische nicht übertragbare Krankheiten wie zum Beispiel Adipositas, Diabetes mellitus, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hypertonie, Schlaganfälle und einigen Krebsarten. Diese Krankheiten sind verantwortlich für Körperbehinderung und vorzeitigen Tod (WHO/FAO 2003). Durch den Austausch von tierischen Fetten gegen pflanzliche Öle könnte den Verzehr von gesättigten Fettsäuren und der Konsum von Cholesterol reduziert werden. Tierische Fette, mit Ausnahme von Fischölen, umfassen hohe Mengen an gesättigten Fettsäuren. Pflanzliche Öle, mit Ausnahme von Kokosfett und Palmöl, enthalten eine große Menge an einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren. In der Tat stellen Olivenöl und Rapsöl gute Quellen für einfach ungesättigte Fettsäuren dar, während Sojaöl und Sonnenblumenöl wichtige Lieferanten für mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind (Elmadfa *et al.* 2012). ω 3-Fettsäure in Form von α -Linolensäure, die eine essentielle Fettsäure ist, findet sich in Rapsöl, Leinöl und Sojaöl (Elmadfa und Leitzmann 2004). Es ist selbstverständlich, dass ein Austausch von gesättigten Fettsäuren gegen mehrfach ungesättigte Fettsäuren bzw. einfach ungesättigte Fettsäuren den LDL-Cholesterolspiegel im Blut senken kann, da diese ungesättigten Fettsäuren eine protektive Wirkung vor Atherosklerose und Herz-Kreislauf-Erkrankungen besitzen (Elmadfa 2009). Aus diesem Grund ist ein gesundheitsförderliches Essverhalten in Verbindung mit physikalischer Aktivität sehr wichtig, um Erkrankungen zu vermeiden (Elmadfa *et al.* 2012). Empfehlungen umfassen den geringeren Konsum von energiereichen Lebensmitteln, die Berücksichtigung der Qualität des Fetts, der Konsum von gesunden Ölen und die Vermeidung sichtbaren Fetts im Fleisch (FAO/WHO 2003).

Es gibt allerdings noch andere Möglichkeiten der Fettreduktion und Fettmodifikation in tierischen Nahrungsmitteln. Verschiedene Studien zeigen zum Beispiel, dass die Fütterung Einflüsse auf die Qualität des Fetts besitzt. Eine Untersuchung der Universität Hohenheim und der Laborärztlichen Gemeinschaftspraxis Ludwigsburg in Deutschland fand heraus, dass das Fettmuster im Körperfett beim Schwein durch das Fütterungsniveau verändert werden kann (Weiler und Hofäcker 2006). In der Tat führen Futtermittel mit Rapsöl zu einer erhöhten Einlagerung von ungesättigten Fettsäuren in das Fett, was in Tabelle 33 dargestellt ist. Jedoch werden insbesondere Stearinsäure und Ölsäure hergestellt, falls das Schwein Fettsäuren neu synthetisiert. Aufgrund der Tatsache, dass Konsumenten weiches Fleisch als nicht angenehm empfinden und die Verderblichkeit des Fleisches zunimmt, wird die Menge von mehrfach

ungesättigten Fettsäuren bei mehreren Qualitätsfleischprogrammen auf 18 g pro kg Futter limitiert (Weiler und Hofäcker 2006).

Tab. 33: Einfluss von Rapsözulage in der Mast auf die Zusammensetzung von Schweinefett (Weiler und Hofäcker 2006)

Fütterung	gesättigte Fettsäuren (%)	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (%)
Kontrollration (ohne Rapsözulage)	41	5
Zusatz von 5 % Rapsöl	31	14
Zusatz von 11 % Rapsöl	22	20

Eine andere Studie in Serbien zeigte, dass durch die Fütterung von Schweinen mit Raps sich der Anteil an Stearinsäure vermindert, während die Gehalte an Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure in der Rückenspeckdicke sich erhöhten. Ebenso hat die Verwendung von Leinsamen und Fischöl in der Fütterung von Rindern gezeigt, dass die Menge von Linolsäure gesteigert werden konnte. Allerdings kann eine Erhöhung an ungesättigten Fettsäuren zur Peroxidation führen und deswegen ist der Einsatz von Antioxidationsmitteln notwendig (Čepin und Žgur 2003). Ein Versuch in Polen hat ebenfalls Rapsöl benutzt und bei dessen Verfütterung an Rinder wurde herausgefunden, dass die Qualität von Fleisch sich dadurch verbessert hat. Auch wenn die konsumierten Fettsäuren von Rindern durch mikrobielle Enzyme im Pansen durch Biohydrierung umgewandelt werden, konnte ein Teil der aufgenommenen Fette diesen Prozess umgehen und wurde unverändert in das Gewebe eingebaut (Zymon und Strzetelski 2007). Eine Untersuchung der Universität Guelph in Canada schlug vor, dass Hyperplasie von Fettzellen durch genetische Faktoren geregelt wird, während die Hypertrophie von Fettzellen durch die Ernährung reguliert wird. Auf diese Weise könnte die Anzahl der Fettzellen durch angemessene Futtermittel schon früh im Leben kontrolliert werden, sodass Tiere weniger Ablagerungen von Fett in finalen Stadien des Wachstums besitzen, wie beispielsweise bei Rindern mit doppelter Bemuskelung (Swatland 1998). Ein Versuch der Universität Auburn in den USA zeigte, dass landwirtschaftliche Nutztiere sich in ihrem Fettmuster durch die Fütterung, Verdauung des Fettes und de-novo-Fettsäure-Synthese unterscheiden. Trotzdem ist die Erhöhung von mehrfach ungesättigten Fettsäuren durch die Fütterung kostenintensiv, zeitaufwendig und es entsteht die Gefahr der Lipidperoxidation wie vorher erwähnt (Moran 1996).

Da der Fettzuwachs von der Geburt bis zur Schlachtung schneller als der Muskelaufbau ist und in etwa 200 % höher bis Ende der Mastdauer als das Muskelwachstum wird, ist die Schlachtung von Jungtieren bereits bei einem geringeren Gewicht auch eine Möglichkeit der Fettreduktion. Auf diese Weise kann der intramuskuläre Fettanteil reduziert werden. Gleichwohl wird die Bestimmung des Fettanteils zum Zeitpunkt der Schlachtung meistens durch eine subjektive Einschätzung erfolgen, was nicht zuverlässig ist. Eine objektive Einschätzung durch geeignete Instrumente und Ultraschallaufnahmen ist selbstverständlich möglich, aber das ist sehr teuer (Čepin und Žgur 2003). Außerdem beeinflusst das Geschlecht ebenfalls den Fettanteil von Tieren. In der Tat werden nicht kastrierte männlichen Tiere, im Vergleich zu weiblichen Tieren, weniger Fett besitzen, obwohl diese die gleiche Fütterung hatten und zu derselben Rasse gehören, was in Tabelle 34 dargestellt ist. Kastrierte männliche Rinder und Färsen weisen ungefähr 29 % beziehungsweise 73 % mehr Fett als nicht kastrierte männliche Tiere auf (Čepin und Žgur 2003).

Tab. 34: Mageres Fleisch und Fettanteil von Simmentalern Bullen, kastrierten Stieren und Färsen nach der Schlachtung (Čepin und Žgur 2003)

	Simmentaler Bullen	Kastrierte Stiere	Färsen
Mageres Fleisch (%)	74,1	71,9	68,7
Fettanteil (%)	8,5	11,0	14,7

Eine andere Möglichkeit der Fettmodifikation ist die Züchtung von Tieren mit geringem Fettanteil. Es gibt Rinderrassen, die einen hohen Prozentsatz an Fett besitzen, wie zum Beispiel die Rasse Angus (21,5 % Fett) oder Kreuzungen dieser Rasse mit Hereford-Rindern (20, 9 % Fett). Im Unterschied dazu hat die italienische Chianine-Rasse im Schlachtkörper circa 12,3 % Fettanteil während die französischen Limousin- und Charolais-Rindern etwa 2 % beziehungsweise 3,6 % mehr Fettanteil im Schlachtkörper als die Chianine-Rasse aufweisen. Verschiedene Schweine- und Schafrassen enthalten ebenfalls unterschiedliche Fettanteile im Schlachtkörper (Čepin und Žgur 2003). Fettreduktion ist auch durch die passive Immunisierung des tierischen Fleisches mit Antikörpern erzielbar. Diese Antikörper wirken gegen die Membranen der Fettzellen und reduzieren perirenales und subkutanes Fett von Lämmern. Zu diesem Zweck bedarf es 3 mal täglich intraperitonealer Injektionen, was das Muskelwachstum bei Schweinen verstärkt hat (Swatland 1998). Die Entfernung von Cholesterol aus tierischen

Fetten könnte durch Extraktion mit überkritischen Kohlendioxid oder Molekulardestillation stattfinden (Damodaran *et al.* 2008).

Technologische Möglichkeiten der Fettreduktion in Fleischerzeugnissen sind in vielen Studien publiziert worden. Eine Veränderung der Fettsäuremuster und einen höheren Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren bei Brüh- und Kochwurstprodukten ist durch den Einsatz von pflanzlichen Ölen wie Olivenöl oder Rapsöl möglich (Bauer und Honikel 2012). Eine Studie der Universität Warmia und Mazury in Polen fand heraus, dass der partielle Ersatz des Rückenspecks durch Rapsöl in zerkleinerten Fleischprodukten eine gute Möglichkeit der Fettreduktion und Fettmodifikation sein könnte. Diese Fleischerzeugnisse besaßen weniger Cholesterol, ein gutes Verhältnis von $\omega 6$ - zu $\omega 3$ -Fettsäuren und ein angemessenes Verhältnis zwischen mehrfach ungesättigten Fettsäuren, einfach ungesättigten Fettsäuren und gesättigten Fettsäuren (Modzelewska-Kapituła *et al.* 2012). Die Kontrollprobe in dieser Untersuchung bestand aus Schweinefleisch ohne Rapsöl und die anderen Fleischproben aus ebenfalls Schweinefleisch mit 5 % Rapsöl, 10 % Rapsöl und 15 % Rapsöl. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kontrollprobe eine höhere Menge von Fett enthielt und dass die Fleischprobe mit 15 % Rapsöl viel weicher als die andere Proben war (Modzelewska-Kapituła *et al.* 2012). Die Fettoxidation wurde jedoch nicht evaluiert.

2.4. Mechanismen der Fettoxidation

2.4.1. Oxidation der Lipide

Triglyceride sind die wichtigste Lipidklasse, welche man in den Fettspeicherzellen bei Pflanzen und Tieren und in Phospholipiden vorfindet. Sie sind allerdings oxidationsempfindlich. Da Fette während der Erzeugung vielen Lebensmitteln beigefügt werden und da diese hauptsächlich aus Triglyceriden bestehen, werden solche Nahrungsmittel gegenüber Oxidation auch empfindlich sein, was schädliche Geschmacksfehler verursachen kann (Pokorny *et al.* 2001). Pflanzliche und tierische Lebensmittel besitzen Phospholipide in allen biologischen Membranen, was ebenfalls zur Lipidperoxidation führen kann. Lipidperoxidation wird in der Regel als eine komplexe Abfolge chemischer Prozesse bezeichnet, die das Ergebnis der Interaktion von Lipiden und Sauerstoff ist. Aufgrund der Tatsache, dass Triglyceride und Phospholipide nur geringe Flüchtigkeit besitzen, zeigen sie deshalb keine direkten Auswirkungen auf das Aroma von Nahrungsmitteln, es können aber Geschmacksfehler durch Lipidoxidationsreaktionen eintreten, wobei flüchtige Moleküle, wie beispielsweise Aldehyde,

entstehen. Diese Moleküle reduzieren die Lebensmittelqualität durch die oxidative Ranzidität (Damodaran *et al.* 2008).

Freie Radikale spielen eine wichtige Rolle bei Lipidoxidationsreaktionen. Diese sind Moleküle oder Atome mit unpaarigen Elektronen auf verschiedenen Energieebenen. Das Hydroxylradikal ($\bullet\text{OH}$) hat zum Beispiel sehr hohe Energie und es kann Wasserstoffabstraktion verursachen, wodurch Moleküle oxidiert werden können (Damodaran *et al.* 2008). Die Oxidationskurve besitzt eine Lag-Phase, in der Ranzigkeit nicht ermittelt wird und die Lebensmittel eine hohe Qualität aufweisen. Während der exponentiellen Phase erfolgt schnell die Lipidperoxidation und die Entwicklung von Geschmacksfehlern (bewertet als ranzig, fischig, metallisch, kartonartig oder als Altgeschmack). Einige flüchtige Verbindungen sind allerdings erwünscht, wie das Aroma von frittierten Lebensmitteln oder Käse (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008). Die Länge der Lag-Phase kann bei abnehmender Temperatur, niedrigen Sauerstoffkonzentrationen, geringem Grad der ungesättigten Fettsäuren, schwacher prooxidativer Aktivität und bei zunehmender antioxidativer Aktivität ansteigen (Damodaran *et al.* 2008). Abbildung 17 zeigt, wie γ -Tocopherol (Antioxidationsmittel) die Lag-Phase einer Öl-in-Wasser-Emulsion vergrößern kann.

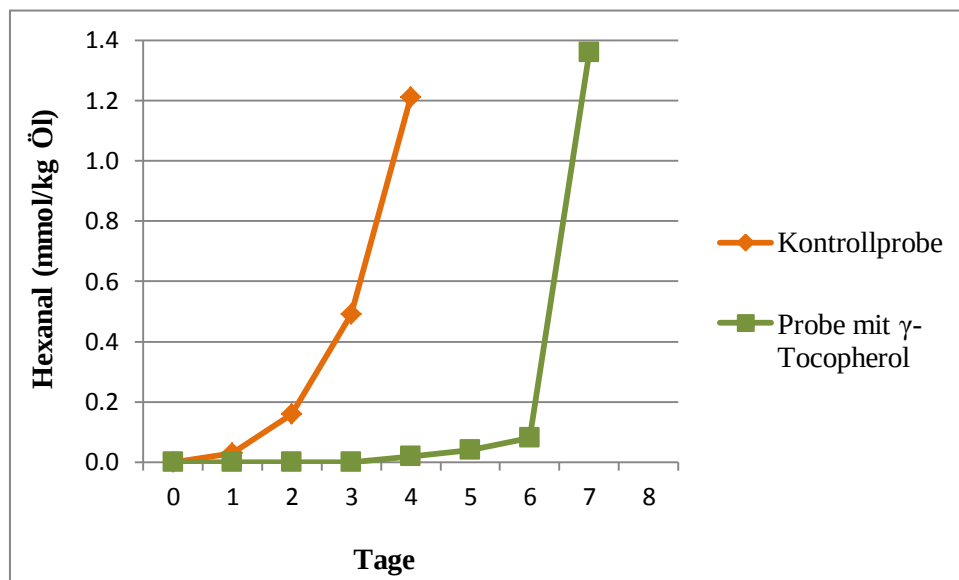


Abb. 17: Einwirkung von γ -Tocopherol auf die Lag-Phase einer Öl-in-Wasser-Emulsion (Damodaran *et al.* 2008)

Oxidation entsteht in drei Schritten: Startreaktion, Folgereaktion und Abbruchreaktion. Während der Startreaktion werden besonders aktivierte Wasserstoffatome von einer Fettsäure entnommen. Dieser Prozess bildet das Alkylradikal ($L\bullet$), welches die Verschiebung der Doppelbindung durch die Einführung des freien Radikals in der Doppelbindung(en) bewirkt. In mehrfach ungesättigten Fettsäuren wird die Bildung konjugierter Doppelbindungen solche Verschiebungen hervorrufen. Auf diese Weise werden Doppelbindungen entweder in der *cis*- oder *trans*-Konfiguration entstehen. Je stärker ungesättigt die Fettsäuren sind, desto einfacher wird die Bildung von Fettsäure-Radikalen. Aus diesem Grund ist Linolsäure (18:2) etwa 10 bis 40 mal anfälliger für Oxidation als Ölsäure (18:1) (Damodaran *et al.* 2008). In Abbildung 18 ist die Startreaktion anhand von Linolsäure dargestellt. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Wasserstoffabstraktion an der Methylengruppen der Kohlenstoffkette stattfindet. So weisen Linolsäure (18:2) einen, Linolensäure (18:3) zwei und Arachidonsäure (20:4) drei reaktionsfreudige Methylengruppen auf, die jeweils von Doppelbindungen flankiert werden was, in Abbildung 19 ersichtlich ist. Die Peroxidation von ungesättigten Fettsäuren wird zum Beispiel durch Schwermetallionen oder Häm(in)verbindungen begünstigt (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008).

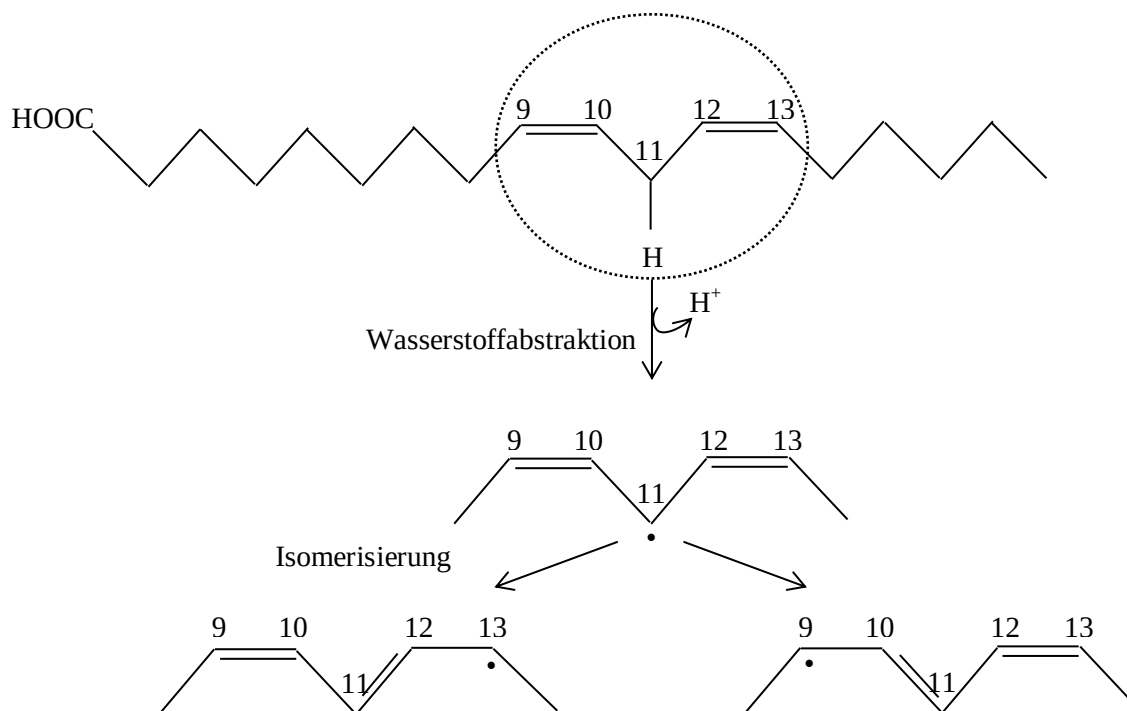


Abb. 18: Startreaktion der Lipidperoxidation anhand von Linolsäure (Damodaran *et al.* 2008)

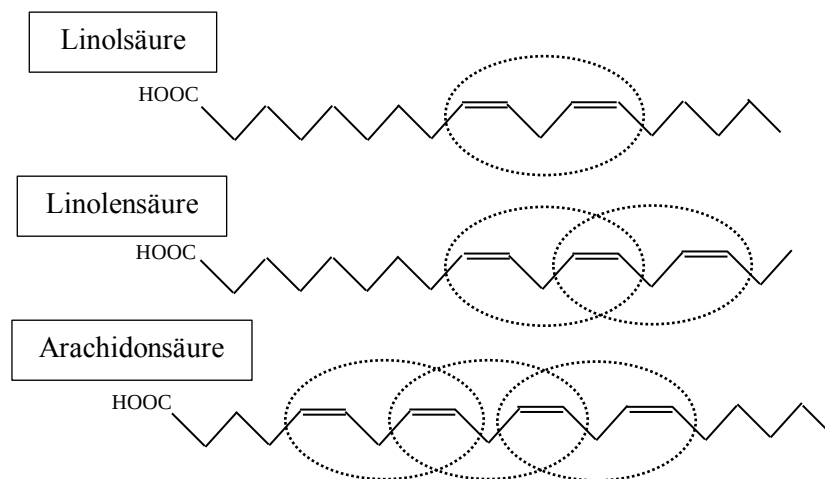


Abb. 19: Reaktionsfreudige Methylengruppen in Linolsäure, Linolensäure und Arachidonsäure (Damodaran *et al.* 2008)

Während der Folgereaktion wird Sauerstoff dem Alkylradikal hinzugefügt, was sehr schnell bei normalem atmosphärischen Druck des Sauerstoffs stattfindet (Pokorny *et al.* 2001). Da die freien Radikale des Triplett-Sauerstoffs einen geringen Energiegehalt besitzen, werden diese keine direkte Wasserstoffabstraktion verursachen. Wenn das Alkylradikal mit einem der Radikale des Triplett-Sauerstoffs in Verbindung tritt, wird eine kovalente Bindung gebildet. Das andere Radikal bleibt frei. Das hierdurch entstehende Radikal wird als Peroxylradikal ($\text{LOO}\cdot$) bezeichnet, was einen hohen Energiegehalt aufweist. Peroxylradikale sind in der Lage die Wasserstoffabstraktion an einem anderen Molekül hervorzurufen. Aufgrund der Tatsache, dass die kovalente Bindung der ungesättigten Fettsäuren zwischen dem Kohlenstoffatom und dem Wasserstoffatom der Methylengruppe schwach ist, sind diese Fettsäuren empfindlich für den Angriff von Peroxylradikalen (Damodaran *et al.* 2008). Die benachbarten Doppelbindungen schwächen die kovalente Bindung zwischen dem Kohlenstoffatom und dem Wasserstoffatom, sodass die Wasserstoffabstraktion von der Methylengruppe, sich rasant entwickelt (Pokorny *et al.* 2001). Wenn das Wasserstoffatom sich an das Peroxylradikal anfügt, entsteht ein Fettsäure-Hydroperoxid (LOOH) und es bildet sich gleichzeitig ein neues Alkylradikal in einem anderen Fettsäuremolekül. Auf diese Weise wird die Reaktion von einem Fettsäuremolekül auf ein anderes übertragen. Die Folgereaktion erfolgt schneller als die Startreaktion aufgrund der geringen Enthalpie (Pokorny *et al.* 2001, Damodaran *et al.* 2008). In Abbildung 20 ist diese Folgereaktion anhand von Linolsäure dargestellt.

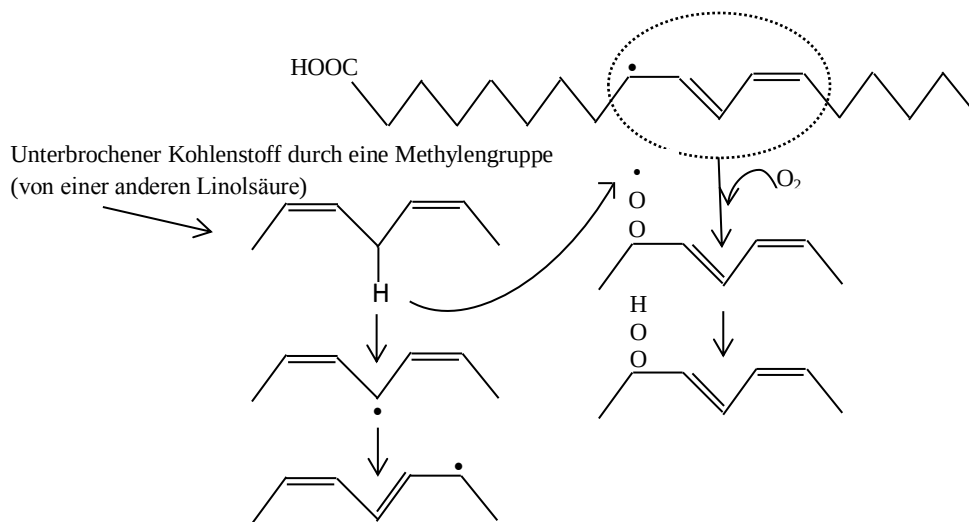


Abb. 20: Folgereaktion der Lipidperoxidation anhand von Linolsäure (Damodaran *et al.* 2008)

Bei der Abbruchsreaktion dimerisieren zwei Radikale zu einer nichtradikalen Spezies. In Gegenwart von Sauerstoff wird das Alkylradikal hauptsächlich vorkommen, da Sauerstoff laufend in Alkylradikale eingebaut wird. In einer an Sauerstoff reduzierten Umgebung wie zum Beispiel im Frittieröl, ist es möglich, dass Abbruchreaktionen zwischen Alkylradikalen stattfinden um Dimerfettsäuren zu bilden, was die Viskosität des Öles erhöht. In der Tat wurden Fettsäure-Polymere als Indikator zur Qualitätsbestimmung von Frittieröl benutzt (Pokorny *et al.* 2001, Damodaran *et al.* 2008). In Abbildung 21 ist die Abbruchsreaktion in einer Umgebung mit reduziertem Sauerstoffgehalt anhand von Linolsäure dargestellt.

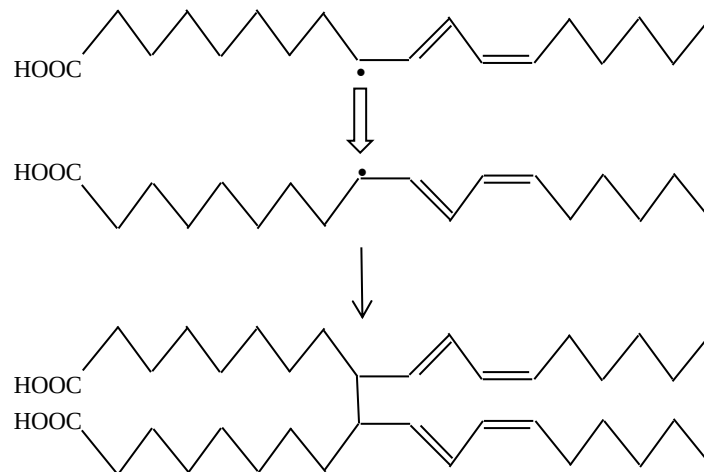


Abb. 21: Abbruchsreaktion der Lipidperoxidation in einer Umgebung mit reduziertem Sauerstoffgehalt am Beispiel Linolsäure (Damodaran *et al.* 2008)

2.4.2. Das Oxidationsverfahren im Lebensmittel Fleisch

Das Fettgewebe im Fleisch enthält Lipide, die in kleinen Zellen mit einem Durchmesser von etwa 1 μm eingebaut sind. Diese Zellen bestehen aus Bindegewebe, welches eine Wabenstruktur aufweist. Die Zellwände enthalten hauptsächlich Kollagen zusammen mit anderen Proteinen und sie enthalten ungefähr 75 % Wasser. Da das Eindringen von Stoffen in die Lipide durch die Zellstruktur verhindert wird, müssen Substanzen, die normalerweise nicht vorhanden sind, von außen durch die Zellwände in das Fettgewebe transportiert werden. Obwohl dieser Prozess in der wässrigen Phase stattfindet, werden die chemischen Reaktionen mit den Lipiden entweder in der Fettphase oder an der Schnittstelle zwischen wässriger Phase und Fettphase auftreten (Allen und Hamilton 1994). Bei der Herstellung verschiedener Fleischerzeugnisse wird das Fleisch zerkleinert oder zerkleinert. Dieser Vorgang zerstört das Zellgewebe, sodass die Lipide empfindlich für einen chemischen Angriff werden und jedes in der Fettzelle vorhandene natürliches Antioxidans inaktiviert wird (Allen und Hamilton 1994). Außerdem wird das Muskelgewebe genauso zerstört, was bedeutet, dass sich ihre Zellinhaltsstoffe mit Sauerstoff vermischen können und ihre Bestandteile für chemische oder mikrobiologische Wechselwirkungen zur Verfügung stehen. Daher wird Ranzigkeit, die einen chemischen Umwandlungsprozess darstellt, schneller und mit erhöhter Wahrscheinlichkeit im Hackfleisch und Hackfleischprodukten auftreten (Allen und Hamilton 1994, Pokorny *et al.*

2001). Der Grad der Verarbeitung, die Zubereitungsart, Kochzeit und Lagerung von Fleisch, die Temperatur während der Herstellung beziehungsweise Lagerung, die eingesetzten Verpackungssysteme oder die Verwendung von Antioxidationsmitteln können ebenfalls die oxidative Stabilität von Fleischerzeugnissen beeinflussen. In der Regel ist Rindfleisch stabiler als Schweinefleisch, Hühnerfleisch, Putenfleisch und Fisch. Ein Oxidationsmittel wird für den Eintritt des Oxidationsverfahrens benötigt und Sauerstoff ist das am meisten verbreitete Oxidationsmittel (Allen und Hamilton 1994, Pokorny *et al.* 2001). Wie schon erwähnt, je mehr Doppelbindungen eine Fettsäure besitzt, desto ungesättigter und empfindlicher für Oxidation ist das Fett. Daher wird Ranzigkeit am schnellsten im Fischöl auftreten, gefolgt von dem relativ ungesättigten Fett des Schweine- und Hühnerfleisches und dem Fett von Rindfleisch (Allen und Hamilton 1994).

Myoglobin ist ein einkettiges lösliches Protein mit einer Hämgruppe, das eine wichtige Rolle bei der Farbe des Fleisches spielt, da es Sauerstoff aus der Blutbahn in die Muskeln transportiert. Deshalb hat frisches Fleisch eine intensive leuchtend rote Farbe. Myoglobin kann aber nur Sauerstoff transportieren, wenn das Eisenatom als Fe-(II) anwesend ist (Allen und Hamilton 1994). Die typische leuchtend rote Farbe von frischem Fleisch entsteht durch die reversible Verbindung von Myoglobin mit einem Sauerstoffmolekül (Oxymyoglobin). In Abwesenheit von Sauerstoff, nimmt das Fleisch eine dunkle purpurrote Farbe an. Wenn das zweitwertige Eisenatom oxidiert wird, wandelt es sich in Fe-(III) um, welches eine braune Farbe hervorruft. Durch diesen Prozess, der bei niedrigem Sauerstoffgehalt stattfindet, kann Sauerstoff nicht mehr an Myoglobin gebunden werden und dieses Myoglobin wird dann als Metmyoglobin bezeichnet, was zur Bildung von reaktiven Sauerstoffatomen wie zum Beispiel Wasserstoffperoxid führen kann (Allen und Hamilton 1994). In der Tat stehen die Oxidation von Lipiden und Myoglobin in engem Zusammenhang. Wenn Oxymyoglobin oxidiert wird, treten Metmyoglobin, Wasserstoffperoxid und Hydroperoxide auf, die eine prooxidative Wirkung aufweisen. Zusätzlich werden sekundäre Produkte aus der Lipidoxidation, wie zum Beispiel Aldehyde, die Redoxstabilität des Myoglobins abwandeln (Chan *et al.* 1997, Chaijan 2008).

2.4.3. Ernährungsaspekte von Ranzigkeit

Oxidative Ranzidität kann Nährstoffe zerstören und ist verantwortlich für die Entstehung von unerwünschten Aromen und toxischen Bestandteilen. Die toxischen Produkte umfassen beispielsweise Lipidperoxide, Hydroxyfettsäuren, Fettsäuredimere und -polymere, und

oxidierte Sterole. Lipidperoxide ähneln biochemischen Botenstoffen der mehrfach ungesättigten Fettsäuren, zerstören fettlösliche Vitamine wie die Vitamine A und E, verringern die Konzentration schwefelhaltiger Aminosäuren in den Lebensmitteln und können Arteriosklerose verursachen. Zusätzlich erzeugen Lipidperoxide freie Radikale, welche Gewebläsionen hervorrufen können. Hydroxyfettsäuren führen generell zu Durchfall und Fettsäurepolymere können die Resorption der fettlöslichen Vitamine reduzieren (Allen und Hamilton 1994). Oxidierte Sterole, insbesondere Cholesterol, können hormonähnliche Aktivität aufweisen, das arterielle Endothel zerstören und chronische Krankheiten hervorrufen (Schroepfer 2000). Außerdem enthalten die meisten pflanzlichen Öle wie Rapsöl oder Sojaöl einen hohen Anteil an Linolsäure (mehrfach ungesättigte Fettsäure). Daher müssen diesen raffinierten Ölen erhebliche Mengen an Vitamin E zugesetzt werden, um oxidative Ranzidität zu vermeiden.

2.4.4. Prooxidantien

2.4.4.1. Definition

Prooxidantien befinden sich in fast allen Lebensmittelsystemen und beschleunigen die Oxidation der Lipide. Wenn Prooxidantien in direkter Interaktion mit ungesättigten Fettsäuren stehen, ist die Bildung von Lipidhydroperoxiden möglich. Außerdem können Prooxidantien die Oxidation der Lipide durch die Förderung der Bildung von freien Radikalen ebenfalls beschleunigen, was beispielsweise durch Übergangsmetalle oder beim Hydroperoxid-Abbau durch UV-Licht erfolgen kann (Damodaran *et al.* 2008). In der Regel werden freie Radikale beim Stoffwechsel (innerhalb der Mitochondrien) durch Xanthinoxidase, Peroxisomen, Entzündungsprozesse, Phagozytose, Ischämie und körperliche Bewegung produziert. Jedoch können unkontrollierte oxidative Reaktionen die Zellen schädigen. Externe Faktoren wie Rauchen, Drogen, Pestizide, Strahlung, Umweltschadstoffe, industriell eingesetzte Lösungsmitteln und Ozon führen auch zur Bildung von freien Radikalen (Carocho und Ferreira 2013). Die Behandlung von Lebensmitteln mit ionisierender Strahlung kann das Hydroxylradikal hervorbringen, das die Wasserstoffabstraktion von Lipiden, Proteinen und DNA bedingt (Damodaran *et al.* 2008). Prooxidative Wirkungen können aber auch positive Auswirkungen haben, da bei leichtem oxidativen Stress eine Stärkung der antioxidativen Mechanismen und eine Erhöhung der fremdstoffmetabolisierenden Enzyme eintritt (Halliwell 2008).

Singulett-Sauerstoff entsteht normalerweise durch Photosensibilisierung. Chlorophyll, Riboflavin und Myoglobin sind Photosensibilisatoren, die in den Lebensmitteln vorkommen und die Energie des Lichtes aufnehmen können. Auf diese Weise wird der Singulett-Sauerstoff in einen angeregten Triplett-Zustand umwandelt und kann dadurch direkt mit ungesättigten Fettsäuren reagieren. Die Wasserstoffabstraktion und die Startreaktion der Lipidperoxidation sind dann die Folge (Damodaran *et al.* 2008).

2.4.4.2. Natriumchlorid (Kochsalz)

Natriumchlorid wird weithin als Lebensmittelzusatz aus technologischen und geschmacklichen Gründen aber wegen der Verlängerung der Haltbarkeit verwendet (Damodaran *et al.* 2008, Belitz *et al.* 2008).

Obwohl Kochsalz eine wichtige Rolle in der Fleischproduktion spielt, kann dieser Lebensmittelzusatz, je nach Menge, die Qualität von Fleisch beeinträchtigen, da es die Lipidperoxidation beschleunigen kann, besonders wenn gesalzenes Fleisch eingefroren wird (Allen und Hamilton 1994). Auf diese Weise kann Natriumchlorid oxidative Ranzidität hervorrufen und die Haltbarkeit von Fleischerzeugnissen verringern. Die Zunahme und das Ausmaß der Fettoxidation werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Bei Kochsalz ist der Einfluss der Reinheit sehr wichtig, denn metallische Verunreinigungen wie Kupfer oder Eisen können die Lipidperoxidation begünstigen (St Angelo 1996). Natriumchlorid in Kombination mit Eisen besitzt eine höhere Oxidationswirkung als Kupfer in Fisch, Putenfleisch, Hühnerfleisch, Schweinefleisch, Rindfleisch und Lammfleisch (Tichivangana und Morrissey 1985). Eine Studie hat die Lipidperoxidation von Fleisch bei der Verwendung von Kochsalz zusammen mit Eisen durch die Bestimmung der Thiobarbitursäurezahl (TBA) gemessen und herausgefunden, dass Natriumchlorid in Kombination mit Eisen tatsächlich eine höhere Oxidationswirkung aufweist (Farouk *et al.* 1991). Außerdem hat eine andere Untersuchung gezeigt, dass Kochsalz eine prooxidative Wirkung hervorruft, weil das Natriumkation die Eisen-Ionen in den Häm pigmenten des Muskelgewebes verdrängt (Kanner und Rosenthal 1992).

2.4.5. Antioxidantien

2.4.5.1. Definition

Die Lipidperoxidation kann durch verschiedene Faktoren gehemmt werden. Sauerstoff kann durch eine Vakuumverpackung oder Schutzatmosphärenverpackung entfernt werden, bei Schutzatmosphärenverpackungen nur dann, wenn die Gasmischung aus eine Mischung von Kohlendioxid und Stickstoff besteht (Allen und Hamilton 1994, Belitz *et al.* 2008). Dem Verbraucher wird verpacktes Fleisch allerdings entweder umhüllt mit einer sauerstoffdurchlässigen Folie oder in einer Schutzgasverpackung mit Sauerstoff und Kohlendioxid (80/20 oder 70/30) angeboten, um die attraktive leuchtend rote Farbe zu erhalten. Eine andere Möglichkeit, um die Lipidperoxidation zu hemmen, ist die Lagerung bei tiefer Temperatur in der Dunkelheit, da die Geschwindigkeit der Oxidation dadurch verringert wird, oder der Zusatz von Antioxidationsmitteln, die Peroxylradikale abfangen können. Ein Antioxidationsmolekül kann durch die Bildung relativ stabiler Produkte sogar zwei Radikalketten terminieren, was die Lipidperoxidation hemmt (Belitz *et al.* 2008). Die Wirkung von Antioxidantien als Radikalfänger ist in Abbildung 22 dargestellt. Antioxidationsmittel sollten in der Regel unbedenklich und bei niedrigen Konzentrationen wirksam sein. Außerdem sollten sie einfach angewendet werden können, den Kochvorgang überstehen, keine Gerüche, Aromen oder Farbe hervorrufen und kostengünstig verfügbar sein. Nicht alle Antioxidantien erfüllen jedoch die genannten Kriterien (Allen und Hamilton 1994).

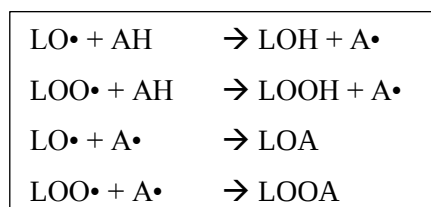


Abb. 22: Wirkung von Antioxidantien als Radikalfänger. AH: Antioxidans (Belitz *et al.* 2008)

Antioxidationsmittel verlängern die Haltbarkeit von Nahrungsmitteln, reduzieren Abfall und Nährstoffverlust (Vitamin A ist zum Beispiel empfindlich für Oxidation) und bieten eine weite Auswahl an Fetten während der Nahrungsproduktion in der Lebensmitteltechnologie (Allen und Hamilton 1994). Durch die Verwendung von Antioxidantien ist es möglich, andere Öle und Fette so zu benutzen, dass eine gesunde Wahl möglich ist. Da die Lag-Phase der

Oxidationskurve durch Antioxidantien sich verlängern kann, wird das Lebensmittel eine verbesserte Qualität aufweisen (Allen und Hamilton 1994, Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008). Abbildung 23 zeigt die Wirkung eines Antioxidans anhand von Schmalz. Obwohl biologisches Gewebe normalerweise endogene Systeme von Antioxidantien enthalten, können diese durch mehrere Kochvorgänge entfernt werden. Daher ist die Beimischung von Antioxidantien in verarbeiteten Nahrungsmitteln durchaus üblich (Damodaran *et al.* 2008). Nutztiere können mit Antioxiationsmitteln wie Tocopherylacetat gefüttert werden, um den Tocopherolgehalt im Muskelfleisch des Rindes zu steigern. Der Zusatz von Tocopherol direkt zum Fleisch wird ebenfalls eine Verbesserung der oxidativen Stabilität bewirken (Pokorny *et al.* 2001). Die antioxidative Aktivität von Antioxiationsmitteln hängt von ihrer chemischen Reaktivität, Struktur, Konzentration, der Temperatur, Sauerstoffexposition, den Lichtverhältnissen, Substrat, dem physikalischen Zustand des Systems und den anwesenden Prooxidantien ab. Die Wirksamkeit von α -Tocopherol ist in den Triacylglycerolen des Schmalzes zum Beispiel bei 100 °C größer als bei Raumtemperatur (Pokorny *et al.* 2001). Antioxiationsmittel können in synthetische und natürliche Antioxidantien eingeteilt werden. Die Herstellung von synthetischen Antioxidantien begann in den 1940er Jahren. Beispiele sind die Stoffe Butylhydroxyanisol (BHA), Butylhydroxytoluol (BHT), Propylgallat (PG) und tertiär-Butylhydrochinon (TBHQ) (Charalambous 1993, Damodaran *et al.* 2008).

Da verschiedene Studien zeigten, dass synthetische Antioxiationsmittel toxikologisch nicht unbedenklich sind, werden natürliche Antioxidantien, die als sicherer gelten, bevorzugt. Obwohl synthetische Antioxidantien innerhalb gesetzlicher Beschränkungen verwendet werden, sind diese durch natürliche Antioxiationsmittel nach Möglichkeit ersetzt worden (Valenzuela und Nieto 1996). Natürliche Antioxidantien, die hauptsächlich in pflanzlichen Nahrungsmitteln vorkommen, umfassen zum Beispiel Carotinoide, Polyphenole, Ascorbinsäure, Tocopherole und Kräuter (Mukhopadhyay 2006). Antioxidantien sollten in der Regel chemisch stabil sein, was bedeutet, dass sie durch übliche Prozesse in der Lebensmitteltechnologie nicht verändert werden können (Belitz *et al.* 2008). Die Antioxiationsmittel, die in dieser Arbeit eingesetzt werden sind Nitritpökelsalz, Ascorbinsäure, Vitamin E, Petersilie und Majoran sowie Phosphat als indirektes Antioxidans.

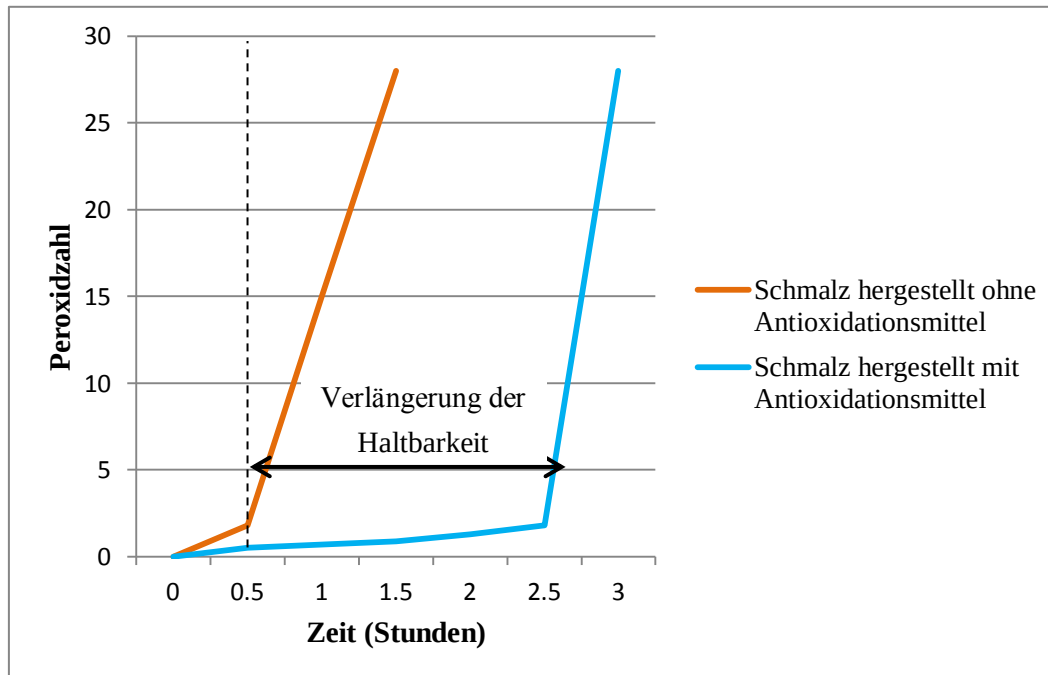


Abb. 23: Wirkung eines Antioxidans auf die Haltbarkeit von Schmalz (Allen und Hamilton 1994)

2.4.5.2. Nitrit und Nitrat

Nitrit und Nitrat werden zum Pökeln von Fleischprodukten verwendet. Wegen seiner Giftigkeit darf es in der Fleischverarbeitung nur als Nitritpökelsalz gehandelt werden, das besteht aus Kochsalz und Natriumnitrit (0,4 % bis 0,6 %). Wird Nitrat verwendet, entsteht erst nach bakterieller Reduktion Nitrit. Die Pökung spielt in der Fleischtechnologie eine wichtige Rolle zur Stabilisierung der Farbe (hitze stabil) und wegen seiner antimikrobiellen, antioxidativen und aromagebenden Wirkung. Während der Pökung oxidiert Nitrit das Myoglobin (Mb) zu Metmyoglobin (MMb^+), dann bildet das entstehende Stickstoffmonoxid (NO) mit Mb und MMb^+ die stabilen Komplexe Nitrosylmyoglobin (MbNO) und Nitrosylmetmyoglobin (MMb^+NO) von leuchtend roter Farbe (Umrötung). Danach beschleunigen Reduktionsmittel wie Ascorbinsäure die Umrötung durch Reduktion von Nitrit zu NO und von MMb^+ zu Mb. Auf diese Weise entsteht MbNO, das in Abwesenheit von Sauerstoff sehr stabil ist. Durch die Bildung von Nitrosylmyoglobin kommt es nicht zur Oxidation von Oximyoglobin zu Metmyoglobin, dadurch auch nicht zur Bildung von Wasserstoffperoxid und Ferrylmyoglobin und somit auch nicht zur hämkatalysierten Peroxidation. Nitrosylmyoglobin wirkt auch

antioxidativ, da MbNO Fettsäureperoxylradikale (LOO•) unter Bildung von Mb und Nitrit abfängt, was aus Abbildung 24 ersichtlich ist (Belitz *et al.* 2008).

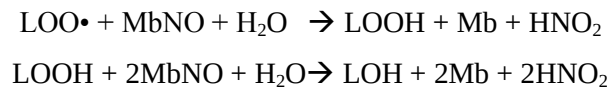


Abb. 24: Schutzwirkung von Nitrosylmyoglobin gegen Lipidperoxidation (Belitz *et al.* 2008)

2.4.5.3. Ascorbinsäure

Ascorbinsäure ist eine organische Verbindung mit antioxidativen Eigenschaften und gehört zu den natürlichen Antioxidationsmitteln; das weiße Pulver Ascorbinsäure ist die chemische Bezeichnung für Vitamin C und vermindert die Bildung von freien Radikalen. Im menschlichen Organismus ist Vitamin C für die Entwicklung von Bindegewebe, Knochen und Knorpeln notwendig. Es stimuliert das Immunsystem und steigert die Aufnahme von Eisen aus den Lebensmitteln. Ascorbinsäure gilt als unbedenklich, sie ist wasserlöslich und reagiert in der Regel mit reaktiven Sauerstoffspezies wie zum Beispiel Hydroxylradikalen, die aus dem Wasserstoffperoxid entstehen. Diese Radikale können mit Nukleinsäuren, Proteinen und Lipiden reagieren und daher Tiere und Pflanzen auf molekularer Ebene zerstören (Davies *et al.* 1991). Ascorbinsäure kann darüber hinaus eine synergistische Wirkung mit Tocopherolen und anderen phenolischen Antioxidantien entfalten. Auf diese Weise werden die antioxidative Eigenschaften von Tocopherolen regeneriert. Sie wird ebenfalls als Radikalfänger gegen Superoxid, Peroxylradikale und Singulett-Sauerstoff eingesetzt. Daher schützt Ascorbinsäure auch die Lipide vor Lipidperoxidation (Pokorny *et al.* 2001).

Ascorbinsäure wird häufig für die industrielle Produktion verestert, um ihre Löslichkeit in Fetten und Ölen zu verbessern. Zuerst wird sie mit Schwefelsäure verestert und dann mit Palmitinsäure wiederverestert. Die konjugierte Verbindung von Ascorbinsäure und Palmitinsäure ist ein effektives Antioxidans in Ölen und Emulsionen. Ascorbylpalmitat wird im Magen-Darm-Trakt zu Ascorbinsäure und Palmitinsäure hydrolysiert (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008). Die chemischen Strukturen von Ascorbinsäure und Ascorbylpalmitat sind in Abbildung 25 dargestellt.

Die Anwendung von Ascorbinsäure in Lebensmitteln ist ohne Höchstmengenbeschränkung (*quantum satis*) zugelassen. Das bedeutet, dass nur soviel eingesetzt werden darf, wie für die gewünschte Wirkung notwendig ist. *Quantum satis* bedeutet auf Deutsch in etwa ausreichende

Menge (Verordnung (EU) 1129/2011). Produkte wie Fruchtsäfte, Marmelade, Brot, Bier, Fleisch und Wurstwaren enthalten Ascorbinsäure.

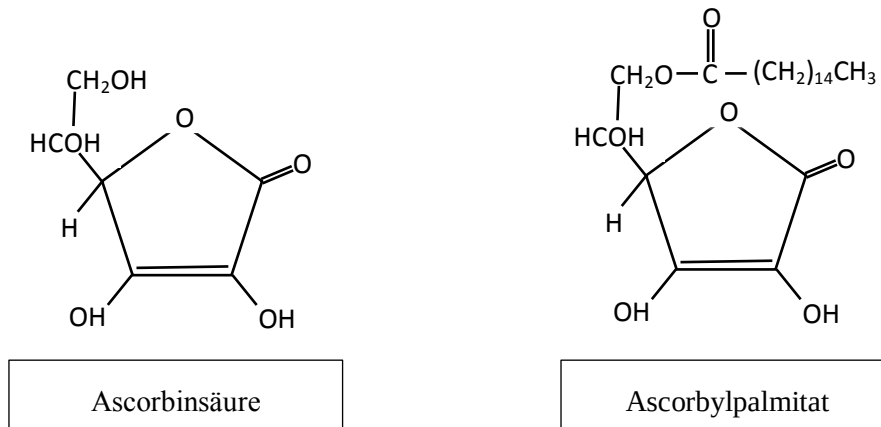


Abb. 25: Chemische Strukturen von Ascorbinsäure und Ascorbylpalmitate (Damodaran *et al.* 2008)

2.4.5.4. Vitamin E

Vitamin E ist ein lebenswichtiger Nährstoff und das wichtigste fettlösliche Antioxidationsmittel. Nüsse, Ölsamen und Getreide sind die Hauptquellen für dieses Vitamin. Obwohl Vitamin E α -, β -, γ -, δ -Tocopherol, α -, β -, γ - und δ -Tocotrienol umfasst, wird α -Tocopherol für 90 % der endogenen Aktivität des Vitamins im Menschen verantwortlich gemacht. Die chemische Struktur von α -Tocopherol ist in Abbildung 26 ersichtlich. Da alle Tocopherole und Tocotrienole eine hydroxylgruppenhaltige aromatische Ringstruktur besitzen, können sie an freie Radikale Wasserstoff abgeben und so als biologische Antioxidantien wirken (Pokorny *et al.* 2001). Daher spielen natürlich vorkommende Tocopherole eine entscheidende Rolle für die Stabilität von hoch ungesättigten Pflanzenölen. Wie Abbildung 27 zeigt, kann α -Tocopherol mit einem Peroxylradikal (oder mit anderen freien Radikalen) reagieren, um ein Hydroperoxid und ein α -Tocopheryl-Radikal zu bilden. Aufgrund der ungepaarten Elektronenresonanz über das phenolische Ringsystem wird das α -Tocopheryl-Radikal ein reaktionsträges Radikal, welches durch Ascorbinsäure leicht wieder reduziert werden kann (Damodaran *et al.* 2008).

Tocopherol ist darüber hinaus hitzestabil, empfindlich gegen Licht und schützt Fette, Vitamine und einige natürliche Farbstoffe vor der Oxidation. Es gilt als unbedenklich und ist ohne Höchstmengenbeschränkung (*quantum satis*) für zum Beispiel Speisefette, Speiseöle,

Backfette, Bratfette, Kaugummi und Dressings zugelassen (Verordnung (EU) 1129/2011). Tocopherole verlängern die Haltbarkeit fetthaltiger Nahrungsmitteln und von den in den Ölsamen vorkommenden Tocopherolen, überstehen ungefähr 60 % bis 70 % die Raffination (Belizt *et al.* 2008).

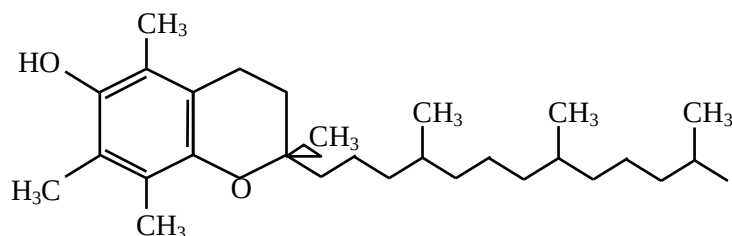


Abb. 26: Chemische Struktur von α -Tocopherol (Damodaran *et al.* 2008)

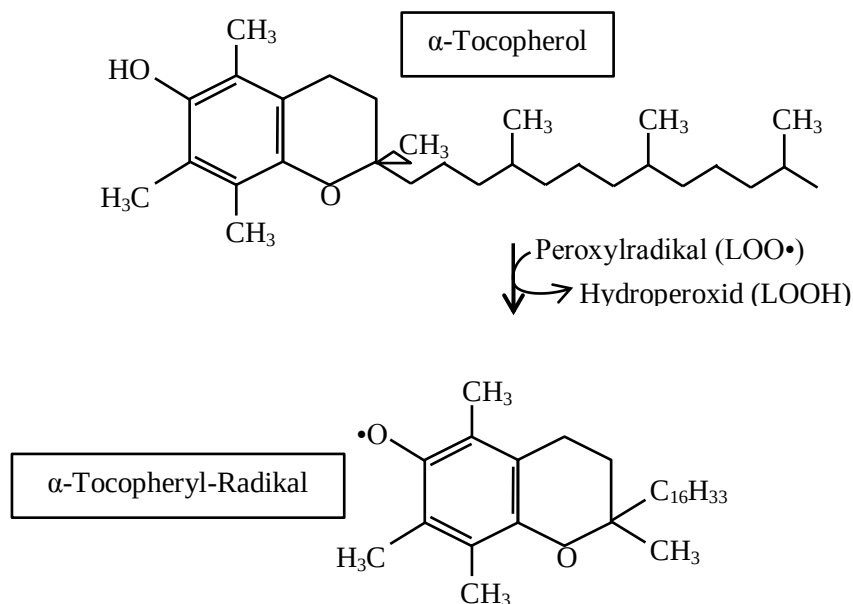


Abb. 27: Entstehung von Hydroperoxid und α -Tocopheryl-Radikal durch die Reaktion von α -Tocopherol mit einem Peroxyradikal (Damodaran *et al.* 2008)

2.4.5.5. Kräuter

Kräuter, Gewürze und Teemischungen sind sehr wichtige Quellen für natürliche Antioxidationsmittel. Seit den prähistorischen Zeiten werden diese Lebensmittel nicht nur wegen ihres Geschmacks verwendet, sondern auch wegen ihren antiseptischen und medizinischen Eigenschaften (Pokorny *et al.* 2001). Mehrere Studien zeigen seit Jahren, dass Obst und Gemüse reichhaltige Quellen für Antioxidantien sind. Die Nutzung von Kräutern zum Schutz vor Oxidation nimmt jedoch heutzutage immer mehr an Bedeutung zu. Kräuter stammen normalerweise aus Pflanzenblättern und enthalten Phytochemikalien, insbesondere phenolische Verbindungen, die als starke Antioxidationsmittel (Radikalfänger) gelten (Zheng und Wang 2002). In der Tat haben Pflanzen eine vielfältige Gruppe von phenolischen Verbindungen wie Phenole, Phenolsäuren, Anthocyanen, Hydroxyzimtsäurederivate und Flavonoide, die sich in Obst, Gewürzen, Teemischungen, Kaffee, Samen, Getreide und Kräutern finden (Damodaran *et al.* 2008). Daher sollten Kräuter nicht unterschätzt werden und ein Teil der menschlichen Nahrung sein. Kräuter müssen nicht unbedingt frisch konsumiert werden, da das Trocknungsverfahren die Menge von Antioxidantien nicht signifikant zerstört (Carlsen *et al.* 2010). Außerdem enthalten Kräuter und Gewürze antimikrobielle und antimykotische Wirkstoffe, welche das Wachstum von gram-positiven Bakterien, gram-negativen Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen hemmen können. Daher werden sie zum Beispiel zusammen mit Brot, Reis und Fleischerzeugnissen benutzt. Der Gebrauch von Kräutern in Snacks und Fleischprodukten ist ebenfalls wichtig, um Fehlgerüche zu verhindern (Snyder 1997). Es ist wichtig festzuhalten, dass der Einsatz natürlicher Antioxidantien von den Konsumenten eher akzeptiert wird, als die Anwendung synthetischer Antioxidationsmittel. Da Majoran und Petersilie für diese Arbeit verwendet wurden, werden sie in den nächsten zwei Kapiteln näher erläutert.

2.4.5.5.1. Majoran

Majoran (lateinisch *Origanum majorana*) gehört zur Familie der *Lamiaceae* und ist ein beständiges Kraut. Majoran kommt ursprünglich aus der Türkei und aus Zypern und wächst bis zu einer Höhe von 61 cm an. Dieses Kraut besitzt süße Kiefer- und Zitrusaromen und wurde jahrhundertlang in der mediterranen Küche verwendet. Die Blätter werden frisch oder getrocknet zusammen mit Gemüse, Hülsenfrüchten, Soßen und Fleisch benutzt und enthalten günstige Stoffe wie beispielsweise Ascorbinsäure, β -Carotin, Eugenol, Ballaststoffe, Polyphenole und Stigmasterin (WebMD 2013). Tee aus den Blättern oder Blumen wird gegen

Schnupfen, Husten und Erkältungen angewendet. Außerdem wird der Tee gegen Lebererkrankungen, Gallensteine, Blähungen und Magenkrämpfe eingesetzt (WebMD 2013). Eine Studie zeigte, dass der Extrakt von Majoran mit Methanol eine mikrobiozide Wirkung gegen *Aspergillus niger*, *Fusarium solani* und *Bacillus subtilis* (Leeja und Thoppil 2007) hatte. Der Extrakt von Majoran mit Ethanol war andererseits wirksam gegen Brustkrebs (Al Dhaheri *et al.* 2013). Andere Untersuchungen fanden heraus, dass das ätherische Öl antibakterielle Aktivität aufweist, während die Blätter eine antimikrobielle Wirkung gegen *Bacillus anthracis*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella stanley*, *Salmonella newport*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus guneus* und *Aspergillus fumigatus* zeigen (Ben *et. al* 2001, Farooqi und Sreeramu 2004). Getrockneter Majoran besitzt ebenfalls eine antioxidative Wirkung in Fleisch, wobei das Kraut die Haltbarkeit verlängert und die Malondialdehydkonzentration erniedrigt (El-Alim *et al.* 1999).

2.4.5.5.2. Petersilie

Petersilie (lateinisch *Petroselinum crispum*) gehört zur Familie der *Apiaceae*, kommt ursprünglich aus Süditalien, Algerien und Tunesien und ist ein einjähriges Kraut. Petersilie wird häufig mit Kartoffeln, Reis, Fisch, Backhuhn, Steaks oder Gemüse gekocht (Fortin 1996). Sie weist antioxidative Wirkungen auf, da diese Pflanze Folsäure, Vitamin C und Vitamin A enthält. Durch ihren Gehalt an Flavonoiden, kann Petersilie vor LDL-Oxidation und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, wie zum Beispiel Atherosklerose, schützen (Hirano *et al.* 2001). Außerdem enthält Petersilie andere günstige Stoffe wie zum Beispiel α -Tocopherol, Calcium, Ballaststoffe, Riboflavin, Thymol und Vitamin B6. Daher wirkt sie auch entzündungshemmend und stärkt die Abwehrkräfte (USDA 2011). Petersilie enthält ungefähr 5,5 mg Eisen je 100 g, was effektiv gegen Anämie wirkt. Da Petersilie auch Vitamin C enthält, wird das Eisen vom Körper gut aufgenommen. Zusätzlich wird diese Pflanze zur Behandlung von Magenproblemen und als Diuretikum benutzt. Der hohe Anteil an Chlorophyll bekämpft Bakterien, Pilze und andere Organismen (Moffat 2013). Eine Studie hat gezeigt, dass das ätherische Öl Myristicin, das in der Petersilie gefunden wird, die Tumorentwicklung in Mäusen hemmt, insbesondere in den Lungen. In der Tat wurde durch Myristicin die Benzo(a)pyren induzierten Tumore in weiblichen Mäusen bis zum 65 % gehemmt (Zheng *et al.* 1992). Eine andere Untersuchung fand heraus, dass Petersilie den Blutzucker von diabetischen Ratten senkt und eine hepatoschützende Aktivität zeigt (Bolkent *et al.* 2004).

2.4.5.6. Phosphat

Phosphat ist ein Nahrungsmittelzusatzstoff mit indirekten antioxidativen Eigenschaften, das in der fleischverarbeitenden Industrie wegen der Erhöhung der Fähigkeit zur Wasserbindung weit verbreitet und als Zusatzstoff zugelassen ist (VO (EU) 1129/2011). Zusätzlich bindet Phosphat Metallionen wie Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} und andere, und verringert so indirekt die Fettoxidation (Feiner 2006).

3. Material und Methoden

3.1. Herstellung der Modellwürsten

Erster Versuch

Tab. 35: Zutaten des 1. Versuchs

Erste Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil	
Milcheiweiß	29 g
Kochsalz	29 g
Stärke Maizena Reg. Marke	29 g
Speck	270 g
Rindfleisch	1080 g
Zweite Rezeptur: Rindfleisch + 5 % Rapsölanteil + 15 % Speckanteil	
Stärke Maizena Reg. Marke	29 g
Milcheiweiß	29 g
Kochsalz	29 g
Rapsöl Rapso®	67 g
Speck	200 g
Rindfleisch	1080 g

Zweiter Versuch

Tab. 36: Zutaten des 2. Versuchs

Erste Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil	
Kochsalz	27,6 g
Speck	285 g
Rindfleisch	1140 g
Zweite Rezeptur: Rindfleisch + 10 % Speckanteil + 10 % Rapsölanteil	
Kochsalz	24 g
Speck	120 g
Rapsöl Rapso®	120 g
Rindfleisch	960 g
Dritte Rezeptur: Rindfleisch + 5 % Speckanteil + 15 % Rapsölanteil	
Kochsalz	24 g
Speck	60 g
Rapsöl Rapso®	180 g
Rindfleisch	960 g
Vierte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil	
Kochsalz	23 g
Rapsöl Rapso®	232 g
Rindfleisch	927 g

Dritter Versuch

Tab. 37: Zutaten des 3. Versuchs

Erste Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil	
Kochsalz	37,10 g
Rapsöl Rapso®	378 g
Rindfleisch	1475 g
Zweite Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure	
Ascorbinsäure	0,74 g
Kochsalz	37,10 g
Rapsöl Rapso®	378 g
Rindfleisch	1475 g
Dritte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	
Ascorbinsäure	0,74 g
Phosphat	7,40 g
Kochsalz	37,10 g
Rapsöl Rapso®	378 g
Rindfleisch	1475 g
Vierte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	
Ascorbinsäure	0,74 g
Phosphat	7,40 g
Nitritpökelsalz	37,10 g
Rapsöl Rapso®	378 g
Rindfleisch	1475 g

Vierter Versuch

Tab. 38: Zutaten des 4. Versuchs

Erste Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Kochsalzanteil	
Kochsalz	35,3 g
Schmalz	352 g
Rindfleisch	1375 g
Zweite Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil	
Kochsalz	35,3 g
Rapsöl Rapso®	352 g
Rindfleisch	1375 g
Dritte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	
Ascorbinsäure	0,68 g
Phosphat	6,80 g
Nitritpökelsalz	35,30 g
Schmalz	352 g
Rindfleisch	1375 g
Vierte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	
Ascorbinsäure	0,68 g
Phosphat	6,80 g
Nitritpökelsalz	35,30 g
Rapsöl Rapso®	352 g
Rindfleisch	1375 g

Fünfter Versuch

Tab. 39: Zutaten des 5. Versuchs

Erste Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil	
Kochsalz	28 g
Rapsöl Rapso®	276 g
Rindfleisch	1075 g
Zweite Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,1 % Majorananteil	
Kochsalz	26,88 g
getrockneter Majoran Kotányi	1,35 g
Rapsöl Rapso®	269 g
Rindfleisch	1075 g
Dritte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,2 % Majorananteil	
Kochsalz	26,88 g
getrockneter Majoran Kotányi	2,69 g
Rapsöl Rapso®	269 g
Rindfleisch	1075 g
Vierte Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 1 % Petersilienanteil	
Kochsalz	26,94 g
getrocknete Petersilie Kotányi	13,6 g
Rapsöl Rapso®	272 g
Rindfleisch	1075 g

3.1.1. Geräte und Hilfsmittel

Präzisionswaage AND Electronic Balance Typ FX 2000

Kutter MADDO® - MTK 66

Kältebadthermostat Typ K 25 – 1

Handelsübliche Haushaltsfolie

Vakuumbbeutel

Vakuumpackungsmaschine LASKA Super Vac.

3.1.2. Durchführung

Als Ausgangsmaterial für die Herstellung der Modellwürsten diente frisches Rindfleisch, das mit dem Kutter am Institut für Fleischhygiene (Veterinärmedizinische Universität Wien) zerkleinert und je nach Rezeptur mit verschiedenen Zutaten homogenisiert wurde. Der Kutter hatte ein Thermometer, der die Temperatur während der Zerkleinerung des Fleisches anzeigte. Zu den Fleischproben wurden Rapsöl, Schweinespeck und Schweineschmalz hinzugefügt. Synthetische und natürliche Antioxidantien, wie Phosphat, Nitritpökelsalz, Ascorbinsäure, Majoran, Petersilie und das im Rapsöl natürlich vorkommende Vitamin E wurden verwendet. Die Fleischmischung von allen Rezepturen wurde jeweils in 3 Packungen eingeteilt, vakuumverpackt und bei 80 °C 1 Stunde lang gekocht. Danach wurden die Packungen in kaltes Wasser hineingestellt und später wurden sie wieder mit dem Kutter zerkleinert. Nachher wurde die Wurst von allen Rezepturen noch einmal in 3 Portionen eingeteilt, mit Plastikfolie verpackt (jeweils ca. 1 cm dick) und im Kühlschrank bei 5 °C gelagert. Dadurch ergab sich eine Packung von jeder Fleischmischung für Tag 0, Tag 7 und Tag 14. Die Fleischproben für Tag 0 wurden vakuumverpackt und an nächsten Tag analysiert.

3.2. Fettbestimmung – Methode nach Soxhlet (Matissek *et al.* 2010)

3.2.1. Prinzip und Definition

Durch die Fettbestimmung wird der freie Fettanteil der Fleischproben (Würste) zur nachfolgenden Charakterisierung festgestellt. Die direkte Extraktion des freien Fettgehalts von Lebensmitteln findet mit Hilfe von lipophilen Lösungsmitteln wie Diethylether statt. Während der Extraktion nach dem Soxhlet-Prinzip wird das Lösungsmittel verdampft, kondensiert und im Soxhlet-Glasgefäß gesammelt. Da in Diethylether geringe Anteile von Wasser gelöst werden, ist es bei der Fettextraktion sehr wichtig, dass das Probenmaterial wasserfrei ist. Daher werden die Fleischproben zuerst im Trockenschrank vollständig ausgetrocknet. Die Probe wird mit Diethylether extrahiert und danach wird der lösungsmittelfreie, trockene Extraktionsrückstand gravimetrisch bestimmt (Matissek *et al.* 2010).

3.2.2. Chemikalien

Diethylether

3.2.3. Geräte und Hilfsmittel

Waage Mettler FX 2000

Glasfritte

Trockenschrank

Exsikkator

Extraktionsapparatur nach Soxhlet

Rundkolben 250 ml

Rückflusskühler

3.2.4. Durchführung

Die Glasfritten wurden eingewogen, danach wurden 10 g (auf 0,01 Gramm genau) von jeder Wurstpackung entnommen und in die Glasfritten übergeführt. Das Gewicht vor und nach dem Einwiegen wurde festgestellt. Die Glasfritten wurden als Nächstes über Nacht bei 103 °C in den Trockenschrank gestellt. Am nächsten Tag wurden die Glasfritten mit den getrockneten Proben in den Exsikkator gelegt und nach dem Abkühlen noch einmal ausgewogen. Dann wurden die vorgetrockneten Proben in das Mittelstück der Extraktionsapparatur nach Soxhlet und 120 ml Diethylether im Aufsatz eingebracht. Die leeren Rundkolben wurden ausgewogen und diese ebenfalls auf die Extraktionsapparatur nach Soxhlet mit Rückflusskühler für 6 Stunden platziert. Abbildung 28 zeigt die Extraktionsapparatur. Diethylether wurde verdampft, am Kühler kondensiert und bei geschlossenem Ventil im Extraktionsgefäß gesammelt. Auf diese Weise wurde das Fett der Wurst aus der Glasfritte extrahiert. Anschließend wurden die Rundkolben mit dem Fett für 1 Stunde bei 103 °C in den Trockenschrank gestellt, sodass Lösungsmittelresten befreit wurden. Die Kolben wurden nach dem Abkühlen im Exsikkator noch einmal ausgewogen.



Abb. 28: Extraktionsapparatur nach Soxhlet

3.2.5. Berechnung

$$\text{Fettbestimmung (\%)} = \frac{(F - L) * 100}{m}$$

F = Masse des Rundkolbens mit extrahierten Fett nach der Trocknung in g

L = Masse des leeren Rundkolbens in g

m = Wurst-Einwaage in g

3.3. Bestimmung der Thiobarbitursäurezahl (TBA) (Witte *et al.* 1970, modifiziert)

3.3.1. Prinzip und Definition

Die Thiobarbitursäurezahl ist ein Mass für die Oxidation eines Lebensmittels durch Hydroperoxide. Bei der Oxidation entstehen Stoffe wie Malondialdehyd, die mit Thiobarbitursäure gefärbte Reaktionsprodukte ergeben, die dann spektrophotometrisch ausgewertet werden. TBA reagiert in essigsaurer Lösung spezifisch mit Malondialdehyd (MDA), was eine rote Färbung ergibt, die spektrophotometrisch gemessen werden kann (Allen und Hamilton 1994, Pokorny *et al.* 2001). Diese Reaktion ist in Abbildung 29 ersichtlich. MDA ist eine geruchslose Verbindung, die in Lebensmitteln Proteine durch zweifache Kondensation vernetzen kann. Die produzierte Menge dieses Dialdehyds hängt von der Fettsäurezusammensetzung der oxidierten Lipide ab. Je mehr ungesättigte Fettsäuren anwesend sind, desto mehr MDA wird produziert (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008). Dieses Verfahren kann mit ganzen Proben, Probenextrakten oder Destillaten und über einen breiten Bereich von Temperaturen und Zeiträumen durchgeführt werden (Damodaran *et al.* 2008). Die Thiobarbitursäurezahl wird in Milligramm Malondialdehyd pro Kilogramm Probe definiert. Das Verfahren wird zur Messung der Ranzidität in pflanzlichen Ölen, Schmalz, Kochfett und Fleisch (Allen und Hamilton 1994) angewandt.

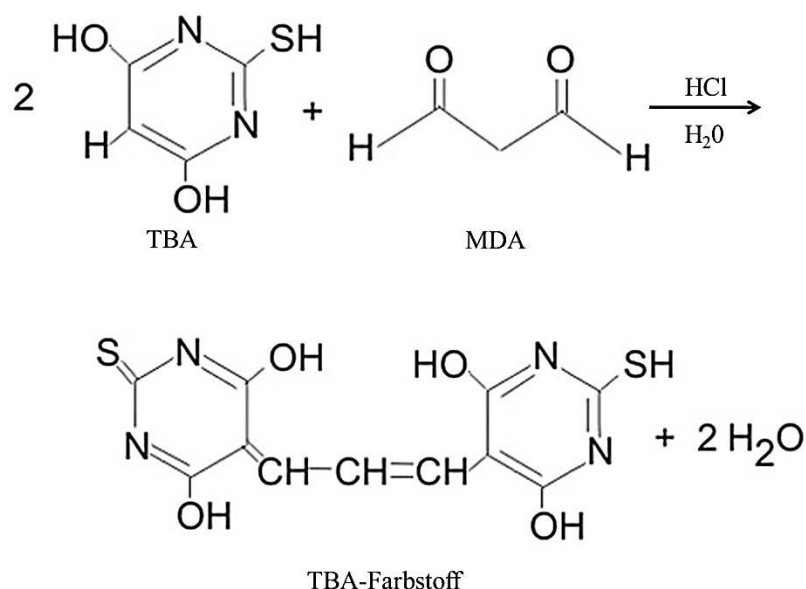


Abb. 29: Chemische Reaktion von TBA mit MDA (Pokorny *et al.* 2001)

3.3.2. Chemikalien

10 % Trichloressigsäure

0,04 M Thiobarbitursäure

3.3.3. Geräte und Hilfsmittel

Meßkolben 50 ml

Pipette 10 ml

Erlenmeyerkolben 100 ml

Bechergläser 200 ml

Trichter

Zeitschaltuhr

Reagenzgläser

Wasserbad Polystat cc1 FA. Huber

Homogenisator Ultra-Turrax T 25

Waage Mettler FX 2000

Hitachi U-1100 Spektrophotometer

Faltenfilter Machery-Nagel

Küvetten Schichtdicke 1 cm

Analysenwaage Sartorius analytic A200S

Ultraschallbad Bandelin Sonorex RK 102 P

3.3.4. Durchführung

Von jeder Wurstpackung wurden 10 g (auf 0,01 Gramm genau) entnommen und in ein Becherglas mit 90 ml 10%iger eiskalter Trichloressigsäure gegossen. Danach wurde die Probe für ungefähr 1 Minute mit dem Ultra Turrax homogenisiert und anschließend die Mischung in einen anderen Erlenmeyerkolben durch einen Faltenfilter filtriert. In der Zwischenzeit wurden 0,288 g TBA mit der Analysenwaage ausgewogen, in 50 ml destilliertem Wasser (Meßkolben) aufgelöst und ins Ultraschallbad hineingestellt, damit gut durchgemischt wird. Später wurden 3 ml von der filtrierten Probe mit einer Pipette zusammen mit 3 ml TBA Lösung in zwei Reagenzgläser überführt. Zusätzlich wurden zwei neue Reagenzgläser mit 3 ml Wasser und 3ml TBA Lösung vorbereitet. Eine der beiden Proben wurde dann im Wasserbad für 5 Minuten und die andere für 30 Minuten zusammen mit den Reagenzgläsern mit 3 ml Wasser und 3 ml

TBA Lösung bei 70 °C vorgeheizt und anschließend wurden sie in kaltem Wasser abgekühlt. Die Probe wurde in eine 1cm dicke Küvette überführt und die Absorption bei 530 nm mit Hilfe eines Spektrometers gemessen. Die Wasserprobe mit TBA Lösung diente als Standardprobe.

3.3.5. Berechnung

$$C = \frac{E * MG * 2}{\varepsilon * EW}$$

E = gemessene Extinktion

ε = Extinktionskoeffizient ($1,35 * 10^5 * \text{mol/l}^{-1} * \text{cm}^{-1}$)

MG = Molekulargewicht von Malondialdehyd (72,06)

C = Konzentration Malondialdehyd in mg/kg

EW = Einwaage in g

3.4. Bestimmung der Peroxidzahl (POZ) – Verfahren nach Sully (BVL 1991)

3.4.1. Prinzip und Definition

Dieses Verfahren ist die gebräuchlichste chemische Methode zur Messung des oxidationsbedingten Verderbs von Ölen und Fetten (Pokorny *et al.* 2001). Die Peroxidzahl dient als Maß für die Menge eines Fettes oder Öles an peroxidisch gebundenem O₂, speziell an Hydroperoxiden, infolge von Oxidationsvorgängen. Daher gibt dieses Verfahren Hinweise auf den Oxidationsgrad der Probe und eine Einschätzung, inwieweit das vorliegende Fett verdorben ist. Mit Hilfe der POZ wird die nachweisbare Menge an aktivem Sauerstoff gemessen, der in 1 kg Probe enthalten ist, was in 1/8 mmol/kg angegeben wird. Die Milligramm aktiven Sauerstoffs je Kilogramm Probe kann durch Multiplikation der Peroxidzahl mit der Äquivalentmasse des Sauerstoffs (= 8) erhalten werden (Matissek *et al.* 2010). Während der Bestimmung der POZ wird die Probe in einem Eisessig-Chloroformgemisch im Verhältnis 1:1 gelöst und mit einer Kaliumjodid-Lösung versetzt. Durch Titration mit Natriumthiosulfat-Maßlösung wird danach die durch Reaktion mit den Peroxidgruppen freigesetzte Jodmenge bestimmt (Matissek *et al.* 2010). Die Höhe der Peroxidkonzentration besitzt dennoch keine Beziehung zu einem bereits vorhandenen oder erwarteten ranzigen Aromafehler, weil der

Abbau der Hydroperoxide zu den flüchtigen Verbindungen von verschiedenen Faktoren abhängt (Belitz *et al.* 2008).

3.4.2. Chemikalien

n-Hexan

96%ige Essigsäure (Eisessig)

Chloroform

Kaliumjodid

Natriumsulfat (wasserfrei)

0,01 mol Natriumthiosulfat

Stärkelösung

3.4.3. Geräte und Hilfsmittel

Meßzylinder 50 ml

Meßzylinder 100 ml

Erlenmeyerkolben 100 ml

Rundkolben 100 ml

Rundkolben 500 ml

Bechergläser 800 ml

Waage Mettler FX 2000

Glasstab

Aluminiumpapier

Trichter

Faltenfilter Machery-Nagel

Mikrobechergläser 1,5 ml

Pipette 2 ml

Korkring

Titration 702 SM Titration

Stopfen

Rotationsverdampfer BÜCHI R-144

Wasserbad BÜCHI B-480

Parafilm®

Siedesteine

Aufsatz mit Schliff NS 29 und Einhängenkühler

0,01 mol Natriumthiosulfat - Maßlösung

Heizhauben Pilz V 220 200W

Zeitschaltuhr

3.4.4. Durchführung

Die einzelnen Proben wurden in ein Becherglas überführt, mit n-Hexan bedeckt, mit einem Glasstab vermischt und mit Aluminiumpapier abgedeckt. Nach 2 Stunden wurde die Flüssigkeit in einen Rundkolben durch einen Faltenfilter mit Natriumsulfat filtriert. Das hinzugefügte Natriumsulfat auf dem Faltenfilter soll das überschüssige Wasser aufnehmen. Als Nächstes wurden 3 g (auf 0,01 Gramm genau) des extrahierten Fettes auf ein Mikrobecherglas eingewogen und mit Parafilm® bedeckt; außerdem wurden 90 ml Essigsäure und 90 ml Chloroform (Verhältnis 1:1) in einen Erlenmeyerkolben gemessen und in einem anderen Erlenmeyerkolben 6 g Kaliumjodid in 7,8 g Wasser aufgelöst. Die Kaliumjodidlösung ist lichtempfindlich, deswegen musste der Kolben mit Aluminiumpapier abgedeckt werden. In einem sauberen Rundkolben wurde das 20 ml Eisessig- Chloroformgemisch mit einigen Siedesteinen versetzt und danach wurde der Kolben auf den Einhängenkühler platziert, was in Abbildung 30 dargestellt ist. Nach 2 Minuten (nach dem Sieden) wurde das Lösungsmittelgemisch entlüftet und mit Hilfe einer Pipette 1,55 ml Kaliumjodidlösung durch den Kühler langsam hinzugeführt, sodass das Sieden nicht unterbrochen wurde. Nach 2 Minuten wurde der Kühler angehoben und das Mikrobecherglas (ohne Parafilm®) durch den schräg gehaltenen Aufsatz in den Kolben eingeführt. Nach 3 Minuten wurde der Rundkolben vom Kühler entfernt, 50 ml Wasser hinzugefügt und danach mit einem Stopfen abgedeckt und auf Raumtemperatur gebracht. Anschließend wurde etwa 1 ml Stärkelösung als Indikator in den Kolben hineingegeben und das ausgetretene Jod mit Natriumthiosulfat-Maßlösung bis zur vollständigen Entfärbung titriert.



Abb. 30: Einhängenkühler mit Proben

3.4.5. Berechnung

$$\text{POZ} = \frac{a * c * 1000}{m}$$

a = Verbrauch an Natriumthiosulfatmaßlösung in ml

c = Konzentration der Natriumthiosulfatmaßlösung in mol/l

m = Einwaage in g

3.4.6. Grenzwerte

Tab. 40: Grenzwerte für Peroxidzahl (POZ) (Pardun 1969)

Peroxidzahl	Bewertung
<3	Normal
3	= 3 Millimol O ₂ /kg = 6 Milliäquivalent O ₂ /kg
5	Warngrenze
6 – 7	Nicht lagerfähig
8 – 10	Kurz vor dem Umschlagen
10	verdorben

3.5. Statistik

Die Analyse der Unterschiede im Fettgehalt zwischen den Rezepturen wurde mittels einer Varianzanalyse in jedem Versuch durchgeführt. Außerdem wurde der Unterschied innerhalb der POZ- und TBA-Werte hinsichtlich ihrer Veränderung über die Zeitpunkte (Tag 0, Tag 7 und Tag 14) für jede Rezeptur mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen analysiert. Die POZ- und TBA-Werte zwischen den verschiedenen Rezepturen in jedem Versuch wurden ebenfalls durch eine Varianzanalyse für Messwiederholungen hinsichtlich ihrer Veränderung über Tag 0, Tag 7 und Tag 14 überprüft. Fehlerbalken zeigen das 95 % Konfidenzintervall (KI) des Mittelwertes an. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ festgelegt und als Testgröße wurde der p-Wert benutzt. Falls der p-Wert größer ($p > 0,05$) oder gleich ($p = 0,05$) dem Signifikanzniveau berechnet wurde, bestand zum Konfidenzniveau von 0,95 kein statistisch signifikanter Unterschied. Alle Berechnungen wurden mit dem Programm IBM SPSS Statistics 21 durchgeführt.

4. Ergebnisse und Diskussion

Im Zuge der chemischen Analyse wurden in allen Versuchsdurchgängen jeweils die Ausgangswerte (Tag 0), die Werte nach 7-tägiger Lagerung (Tag 7) und die Werte nach 14-tägiger Lagerung (Tag 14) erhoben. Die Lagerung der verpackten Wurst erfolgte in einem Kühlschrank bei 5 °C. Die Oxidationsvorgänge von allen Proben wurden durch die Bestimmung der TBA (siehe Kapitel 3.3.) und der POZ (siehe Kapitel 3.4.) dargestellt. Es hat einen Unterschied zwischen der Menge an MDA pro kg Fleischprobe nach 5 Minuten und nach 30 Minuten gegeben (ca. 6 % mehr MDA mg/kg nach 30 Minuten als nach 5 Minuten). Jedoch wurde die Bestimmung der Thiobarbitursäurezahl nur für die Werte nach 5 Minuten berücksichtigt, da die Proben durch die längere Erhitzung keine eindeutigen Ergebnisse für die TBA-Bestimmung zeigten. Wie bereits erwähnt (siehe Kapitel 2.4.1. und Kapitel 2.4.2.), begünstigen hohe Temperaturen die Lipidperoxidation sowieso (Allen und Hamilton 1994, Damodaran *et al.* 2008) und die Sauerstoffaufnahme (durch das Kochen) erhöht sich. In der Regel ist die Produktion von MDA umso größer, je länger die Erhitzungszeit und Sauerstoffaufnahme sind (Misík *et al.* 1994, Marina und Škute 2010). Außerdem wurde die Fettbestimmung (siehe Kapitel 3.2.) von allen Würsten mit verschiedenen Rezepturen durchgeführt. Die Würste für die Versuche wurden in Form von Fleischpackungen (jeweils ca. 1 cm dick) nach Rezepturen sortiert, die in je 3 Einzelproben pro Rezeptur aufgeteilt wurden. Da Rapsöl reich an Ölsäure, Linolsäure und α -Linolensäure ist, ergibt sich ein positiver Einfluss auf das Verhältnis von ω 6-Fettsäuren zu ω 3-Fettsäuren in Fleischerzeugnissen und da der Gehalt an gesättigten Fettsäuren in Rapsöl im Vergleich zu anderen bedeutenden Pflanzenölen niedriger ist (Baba *et al.* 1999, Modzelewska-Kapituła *et al.* 2012), wurden die Würste mit Rapsöl hergestellt. Darüber hinaus enthalten Pflanzenöle Sterole, was die Aufnahme von Cholesterol in den menschlichen Körper verringert (Gylling und Wiettinen 2005).

4.1. Erster Versuch

Von jeder Einzelprobe wurden Dreifachbestimmungen für Tag 0 und Vierfachbestimmungen für Tag 7 und Tag 14 durchgeführt.

4.1.1. Fettgehalte

Bei der Fettbestimmung war bei der ersten Rezeptur der höchste (16,83 %) und bei der zweiten Rezeptur der geringste (16,51 %) Wert zu messen. Dieser Befund stimmt mit Untersuchungen von Modzelewska-Kapitula *et al.* (2012) überein. Nach dem partiellen Ersatz des Rückenspecks durch Rapsöl in zerkleinerten Fleischprodukten haben sie herausgefunden, dass die Fleischproben mit Speck eine höhere Menge von Fett hatten und dass die mit Rapsöl hergestellten Fleischproben einen geringeren Fettanteil aufwiesen. Die Fettmodifikation bzw. Fettreduktion durch die direkte Anwendung von Pflanzenölen während der Herstellung von Wurst wurde ebenfalls bei anderen Wissenschaftler wie Dzudie *et al.* (2004) und Jiménez-Colmenero (2007) durchgeführt, um gesündere Produkte zu erreichen. Tatsächlich gibt es mehrere Patente für fettreduzierte Fleischerzeugnisse. Solche Erzeugnisse (Würste, Faschiertes) werden mit verschiedenen pflanzlichen Öle wie Rapsöl, Olivenöl oder Sonnenblumenöl hergestellt, ohne ihre sensorischen Eigenschaften zu beeinträchtigen (Steigerwald 2006, Kim *et al.* 2010, Ju und Il 2012, Brackenridge *et al.* 2012). Diese Produkte bieten eine Alternative um den übermäßigen Verzehr von Fett zu reduzieren. Steigerwald (2006) hat außerdem herausgefunden, dass durch die partielle Fettmodifikation von Brühwurst mit Rapsöl, die Wurst höchstens 20 % Gesamtfettgehalt enthielt. Die Ergebnisse der Fettbestimmung in dieser Masterarbeit stimmen mit diesen Aussagen überein.

Tab. 41: Fettgehalte des 1. Versuchs

Fettbestimmung (%)	
Erster Versuch	
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil	16,83
2. Rezeptur: Rindfleisch + 5 % Rapsölanteil + 15 % Speckanteil	16,51

4.1.2. TBARS

Die in Abbildung 31 dargestellten Werte sind jeweils die Mittelwerte der je Rezeptur ermittelten Einzelergebnisse. Diese Werte zeigen, dass die Menge an MDA pro kg Wurst bei der ersten Rezeptur am Tag 14 (6,52) und am Tag 0 (0,46) am höchsten war. Allerdings unterschieden sich die Mittelwerte nicht signifikant zwischen beiden Rezepturen am Tag 0. Die TBA-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen beiden Rezepturen am Tag 7 und 14. Generell waren die TBA-Werte für die zweite Rezeptur am niedrigsten. Diese Werte legen nahe, dass die Ranzidität in den Fleischproben nach sieben Tagen (etwa 8 mal größer bei der ersten Rezeptur und ca. 4,6 mal größer bei der zweiten Rezeptur) stärker erhöht war als nach vierzehn Tagen (etwa 14 mal größer bei der ersten Rezeptur und ca. 6 mal größer bei der zweiten Rezeptur). Außerdem hatten die Würste mit größerem Speckanteil die höchsten TBA-Werte. Wie die Versuche von Bhattacharya *et al.* (1988), Brewer und Wu (1993) und Delgado-Pando *et al.* (2011) zeigten, stiegen die TBA-Werte mit zunehmenden Tagen an, wie auch aus der Abbildung 31 ersichtlich ist. Zusätzlich unterschieden sich die TBA-Mittelwerte signifikant zwischen den Tagen in beiden Rezepturen. Eine Beurteilung im Hinblick auf die Bildung von Thiobarbitursäure reaktiven Substanzen ist an dieser Stelle nicht möglich, da es derzeit keine allgemein verbindlichen Grenzwerte gibt.

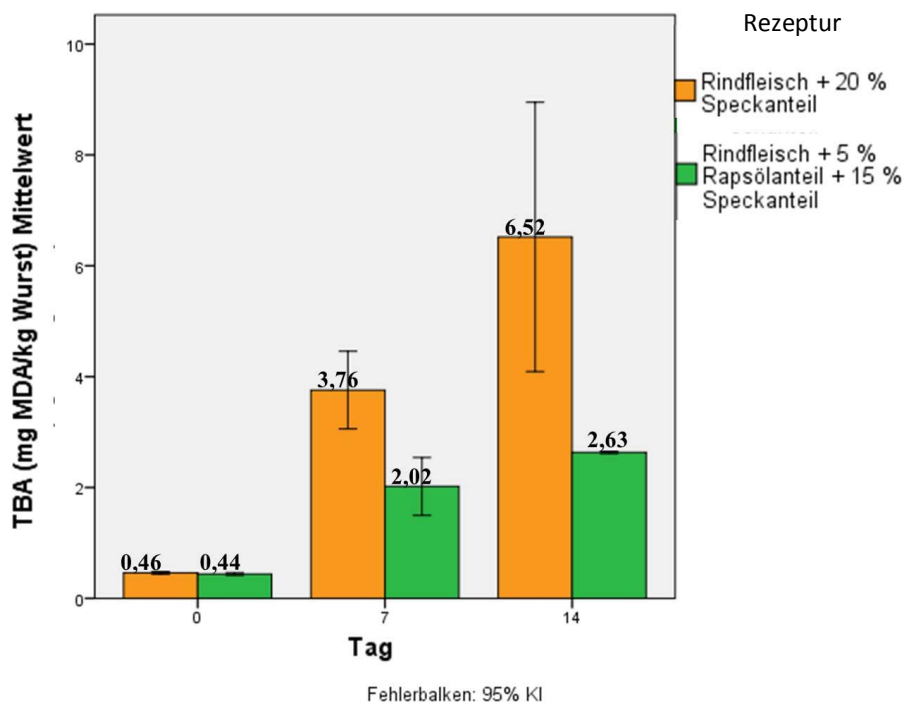


Abb. 31: Bestimmung der TBA des 1. Versuchs

4.1.3. Peroxidzahl

Die Mittelwerte pro Rezeptur bei der Bestimmung der POZ sind in Abbildung 32 ersichtlich. Dieses Bild zeigt, dass nach 14-tägiger Lagerung die Wurst bei der ersten Rezeptur den höchsten POZ-Wert (10,50) hatte. Die Wurst bei der zweiten Rezeptur hatte am Tag 0 den höchsten POZ-Wert (2,92). Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen beiden Rezepturen am Tag 0 und 14. Am Tag 7 war der POZ-Wert bei der ersten Rezeptur (4,30) höher als bei der zweiten Rezeptur (4,15) aber diese Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant zwischen beiden Rezepturen. Generell waren die POZ-Werte für das zweite Rezeptur nach 7- und 14-tägiger Lagerung am niedrigsten. Der Oxidationsgrad in den Fleischproben mit größerem Speckanteil war mit Ausnahme des ersten Tages am höchsten. Die Tatsache, dass der POZ-Mittelwert bei der zweiten Rezeptur am Tag 0 am höchsten war, könnte zum Beispiel das Ergebnis einer längeren Sauerstoffexposition während der Zerkleinerung des Fleisches sein. Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen den Tagen in beiden Rezepturen. Laut den Grenzwerten nach Pardun (siehe Kapitel 3.4.6.) war die POZ am Tag 14 bei der ersten Rezeptur sehr hoch (10,50), was darauf hindeutete, dass die Wurst an diesem Tag schon verdorben war. Bei der zweiten Rezeptur war die POZ am Tag 14 hoch (7,95), was darauf hindeutete, dass nach 14-tägiger Lagerung die Wurst bald verdorben sein wird.

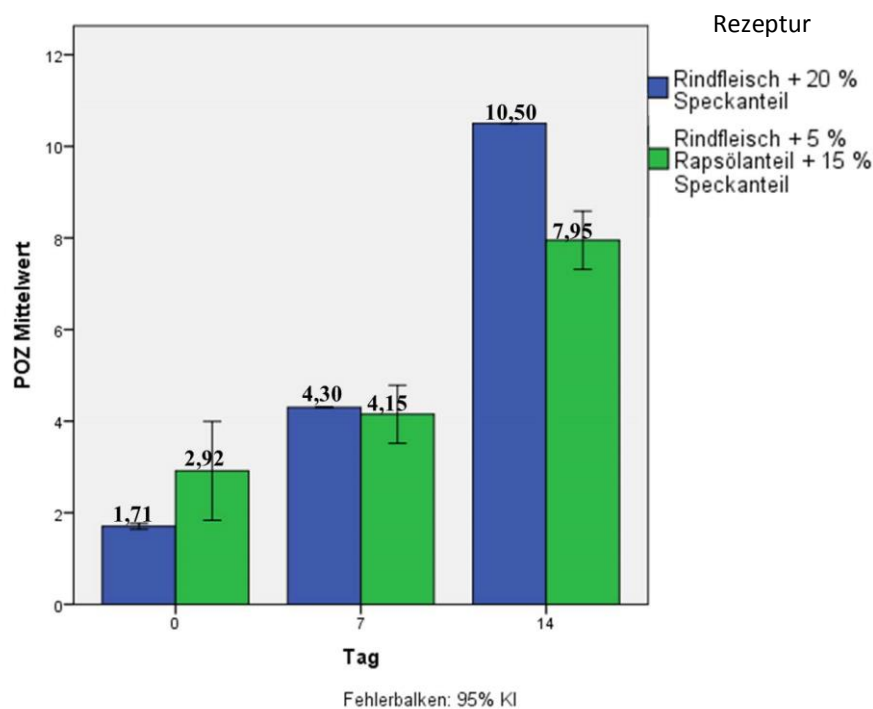


Abb. 32: Bestimmung der POZ des 1. Versuchs

Aufgrund der antioxidativen Wirkung von verschiedenen Komponenten im Rapsöl, wurde in den Würsten eine geringere Lipidoxidation nachgewiesen. Dieses Ergebnis stimmt mit Hinweisen aus der Literatur überein. So stellten Bishop *et al.* (1993) und Bloukas *et al.* (1997) fest, dass das natürliche Vorkommen von mehreren Antioxidantien in Pflanzenölen (wie Tocopherole und phenolische Verbindungen), die Lipidperoxidation von Fleischerzeugnissen, die mit pflanzlichen Fetten hergestellt wurden, reduzieren kann. Das für diese Masterarbeit verwendete Rapsöl enthielt 30 mg Vitamin E pro 100 g Öl als Zusatzstoff. Wie vorher erwähnt (siehe Kapitel 2.4.5.4.), besitzen alle Tocopherole und Tocotrienole eine hydroxylgruppenhaltige aromatische Ringstruktur. Daher können sie an die freien Radikale Wasserstoff abgeben und so als biologische Antioxidantien wirken. Vitamin E ist hitzestabil und schützt Fette vor der Oxidation (Pokorny *et al.* 2001). Koski *et al.* (2003) führten Untersuchungen durch, in denen sich herausstellte, dass Rapsöl einen sehr großen Anteil an phenolische Verbindungen besaß. Durch ihre Versuche haben sie herausgefunden, dass Rapsöl 236 mg Sinapinsäure und 5,6 mg Ferulasäure pro 100 g Öl enthielt. Vuorela *et al.* (2004) bestätigten die antioxidativen Eigenschaften von phenolischen Verbindungen im Rapsöl, die etwa 60 % der DPPH-Radikale (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazin) einfangen können und die Bildung von Hexanal (über 90%) und Hydroperoxiden (über 80%) hemmen können. Durch die Decarboxylierung von Sinapinsäure entsteht außerdem noch Canolol, was eine antioxidative Wirkung aufweist (Koski *et al.* 2003) und die DNA, Fette und Proteine vor Oxidation schützt (Kuwahara *et al.* 2004).

4.1.4. Vergleich TBA/POZ

Bei dem Vergleich der berechneten TBA- und POZ-Werte des ersten Versuchs zeigte sich ein eindeutiger Trend, dass beide Werte sich über die Tagen gesteigert hatten. Außerdem war die Steigerung nach 7-tägiger Lagerung generell höher als nach 14 Tagen. Da POZ auf Fett bezogen ist und MDA auf Gesamtmasse, wurde diese Tendenz anhand der Bestimmung der TBA bezogen auf Fett nachgewiesen. Wie in Abbildung 33 dargestellt, stimmt die Tendenz POZ und TBA überein. Die Modellbrühwürste mit höherem Speckanteil zeigten prinzipiell die höchsten TBA- und POZ-Werte. Das bedeutet, dass der Oxidationsgrad bei diesen Proben größer ist, als bei den Proben mit dem Rapsölanteil. Diese Ergebnisse weisen hin, dass dieses pflanzliche Öl zur antioxidativen Stabilität von Brühwürsten beiträgt.

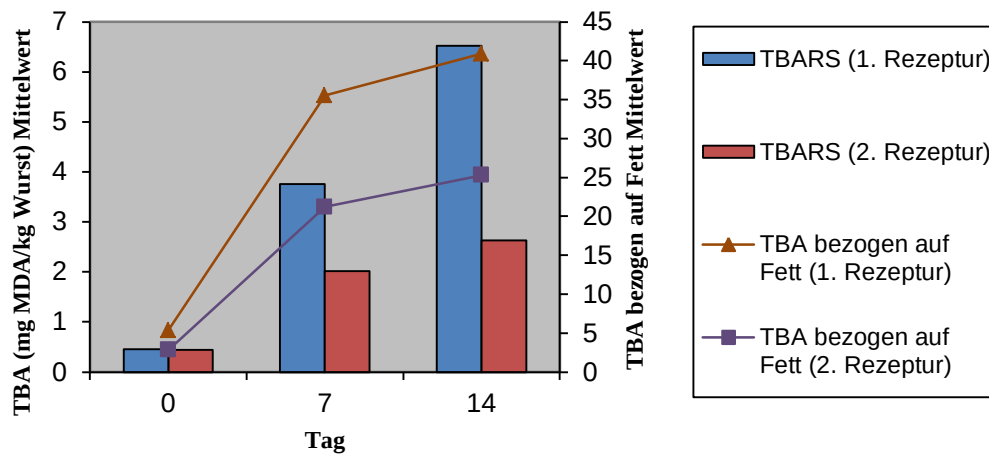


Abb. 33: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 1. Versuchs

4.2. Zweiter Versuch

Von jeder Einzelprobe wurden Vierfachbestimmungen für Tag 0 und Fünffachbestimmungen für Tag 7 und Tag 14 durchgeführt.

4.2.1. Fettgehalte

Bei der Fettbestimmung war bei der ersten Rezeptur der höchste (19,74 %) und bei der vierten Rezeptur der geringste (15,05 %) Wert zu messen. Die Werte im zweiten und dritten Rezeptur lagen bei 19,34 % und 17,90 %. Diese Ergebnisse unterschieden sich signifikant von allen Rezepturen. Die Würste mit größerem Speckanteil besaßen den höchsten Gehalt an Fett (zur Erklärung siehe 4.1.1.). Auffällig ist weiters, dass die Würste vom zweiten, dritten und vierten Rezeptur eindeutig weicher als die Wurst von der ersten Rezeptur waren. Durch die Fettmodifikation wurde die Festigkeit des Fleisches auf folgende Weise reduziert: je höher der Anteil an Rapsöl desto weicher wird die Wurst. Dieses Ergebnis stimmt überein mit Versuchen von Dzudie *et al.* (2004), Youssef und Barbut (2009) und Modzelewska-Kapituła *et al.* (2012). In der Tat besitzt tierisches Fett bessere Bindungseigenschaften als pflanzliche Öle (Youssef und Barbut 2009). Eine weiche Konsistenz bei Würsten ist weniger erwünscht.

Tab. 42: Fettgehalte des 2. Versuchs

Fettbestimmung (%)	
Zweiter Versuch	
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil	19,74
2. Rezeptur: Rindfleisch +10 % Speckanteil + 10 % Rapsölanteil	19,34
3. Rezeptur: Rindfleisch +5 % Speckanteil + 15 % Rapsölanteil	17,90
4. Rezeptur: Rindfleisch +20 % Rapsölanteil	15,05

4.2.2. TBARS

Die in Abbildung 34 dargestellten Werte sind jeweils die Mittelwerte der je Rezeptur ermittelten Einzelergebnisse. Diese Werte zeigen, dass die Menge an MDA pro kg Wurst bei der ersten Rezeptur am Tag 14 (8,07) und am Tag 0 (1,05) am höchsten war. Die TBA-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen allen Rezepturen am Tag 0, 7 und 14. Generell waren die TBA-Werte für die vierte Rezeptur am niedrigsten. Diese Werte legen nahe, dass die Ranzidität in den Fleischproben nach sieben Tagen (etwa 7 mal größer bei der ersten Rezeptur und ca. 5 mal größer bei der vierten Rezeptur) mehr erhöht war als nach vierzehn Tagen (etwa 1,2 mal größer bei der ersten Rezeptur und ebenso bei der vierten Rezeptur). Außerdem hatten die Würste mit größerem Speckanteil die höchsten TBA-Werte. Wie die Versuche von Bhattacharya *et al.* (1988), Brewer und Wu (1993), und Delgado-Pando *et al.* (2011) zeigten, stiegen die TBA-Werte mit zunehmenden Tagen an, wie aus der Abbildung 34 ersichtlich ist. Zusätzlich unterschieden sich die TBA-Mittelwerte signifikant zwischen den Tagen in allen Rezepturen. Eine Beurteilung im Hinblick auf die Bildung von

Thiobarbitursäure reaktiven Substanzen ist an dieser Stelle nicht möglich, da es derzeit keine publizierte allgemeinen und wiederholbaren Grenzwerte gibt.

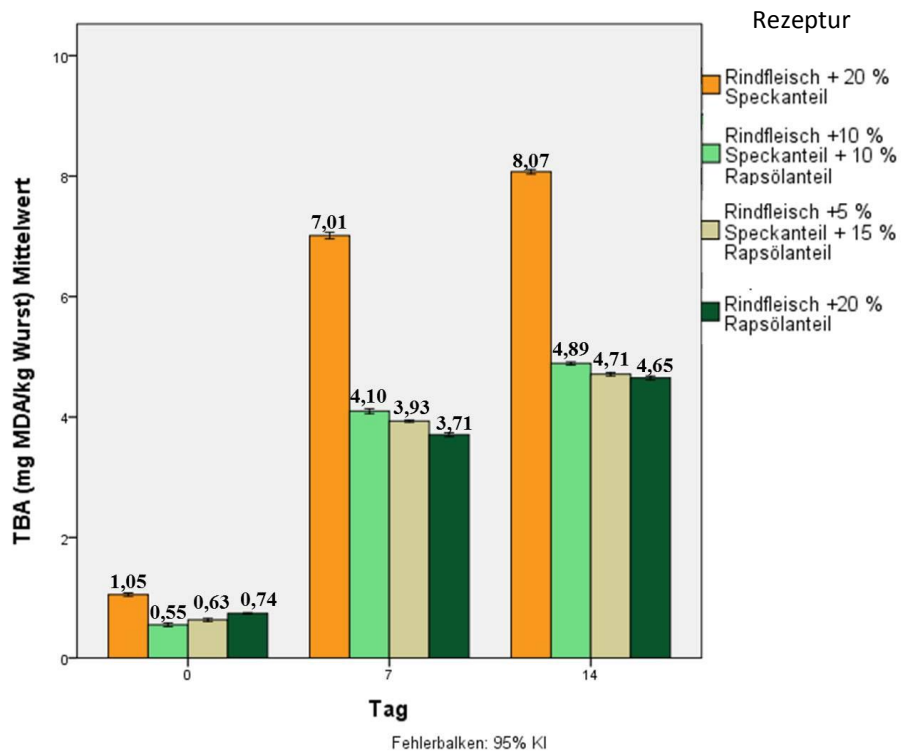


Abb. 34: Bestimmung der TBA des 2. Versuchs

4.2.3. Peroxidzahl

Die Mittelwerte pro Rezeptur bei der Bestimmung der POZ sind in Abbildung 35 ersichtlich. Dieses Bild zeigt, dass nach 14-tägiger Lagerung die Wurst des ersten Rezepts den höchsten POZ-Wert (105,88) hatte. Die Wurst der vierten Rezeptur hatte am Tag 0 den höchsten POZ-Wert (2,76). Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen allen Rezepturen am Tag 0, 7 und 14. Generell waren die POZ-Werte für die zweite Rezeptur nach 7- und 14-tägiger Lagerung am niedrigsten. Wie aus der Abbildung 35 ersichtlich ist, sind die POZ-Werte von der ersten Rezeptur am Tag 7 (65,05) und Tag 14 (105,88) extrem hoch. Der Grund dafür ist leider unklar.

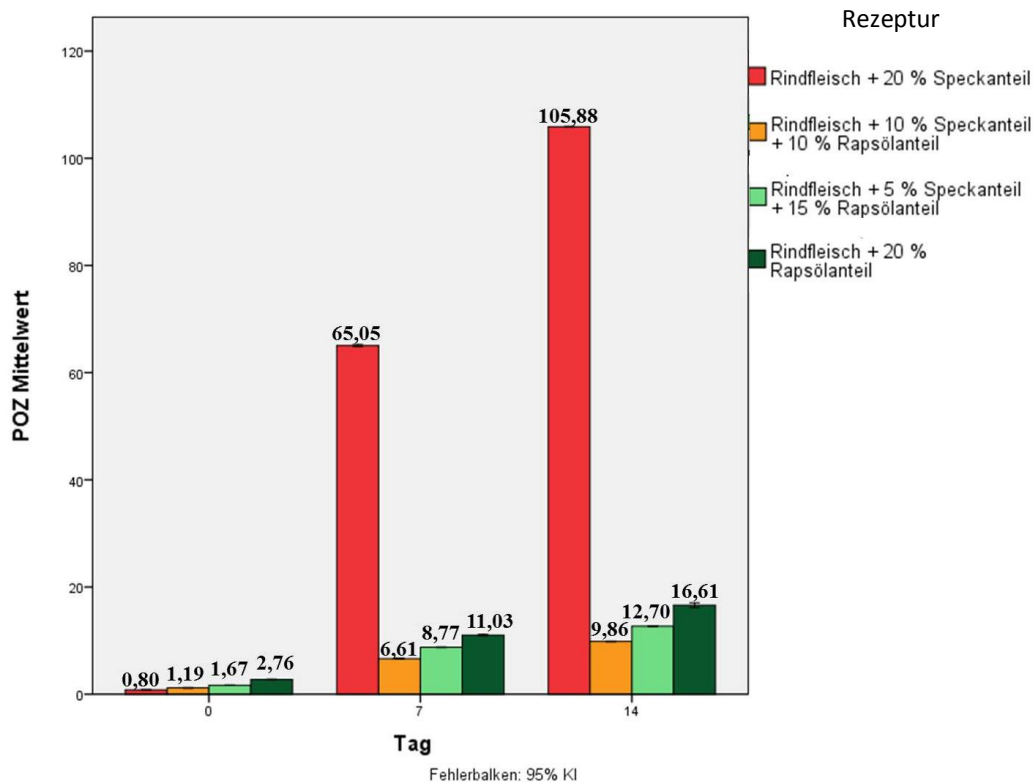


Abb. 35: Bestimmung der POZ des 2. Versuchs

Wie die Versuche von Kowalski *et al.* (1998) zeigten, hatten die mit dem höchsten Anteil an pflanzlichen Ölen hergestellten Würste den größten POZ-Wert gleich nach der Produktion und ab ungefähr einer Woche, was in Abbildung 35 ebenfalls dargestellt ist (wenn die erste Rezeptur nicht berücksichtigt wird). Da die POZ-Werte der zweiten Rezeptur am niedrigsten waren, legen diese Ergebnisse nahe, dass durch die partielle Fettmodifikation von Brühwurst mit 15 % Rapsöl bzw. durch die Fettmodifikation mit 20% Rapsöl, die Proben eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Lipidperoxidation aufwiesen. Dies erklärt sich aus dem Umstand, dass ein höherer Anteil an Rapsöl eine größere Menge von ungesättigten Fettsäuren nach sich zieht. Da diese Fettsäuren Doppelbindungen besitzen, sind sie empfindlicher gegenüber den Angriffen von Peroxylradikalen (Damodaran *et al.* 2008).

4.2.4. Vergleich TBA/POZ

Bei dem Vergleich der berechneten TBA- und POZ-Werte des zweiten Versuchs zeigte sich ein Trend, dass die POZ- und TBA-Werte sich über die Tage gesteigert hatten. Diese Tendenz wurde anhand der Bestimmung der TBA bezogen auf Fett nachgewiesen. Die Modellwürste,

hergestellt mit 10 % Rapsöl- und Speckanteil zeigten die niedrigste POZ- und TBA-Werte (bezogen auf Fett). Wie in Abbildung 36 dargestellt, stimmt die Tendenz POZ und TBA überein. Bei der Messung der TBARS war allerdings ein sehr geringfügiger Abfall mit steigenden Rapsölanteil zu beobachten, was mit dem erhöhten Anteil an Vitamin E zu erklären ist. Zusätzlich war die Steigerung der TBA- und POZ-Werte nach 7-tägiger Lagerung immer höher als nach 14 Tagen. Die Erhöhung der TBA- und POZ-Mittelwerte nach 14-tägiger Lagerung ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Rezepturen. Die Modellbrühwürste mit höherem Speckanteil zeigten den höchsten TBA-Werten. Im Gegensatz zu den TBA-Werten sind die POZ-Werte bei der dritten und vierten Rezeptur höher als bei der zweiten Rezeptur. In diesem Fall wäre eine Vertauschung den Proben die einzig mögliche Begründung. Die extreme Höhe der POZ bei der ersten Rezeptur war aber nicht zu erwarten. Die Gründe dafür konnten nicht gefunden werden, jedenfalls lag es nicht an der Methode, weil eine Wiederholung zu den selben Werten führte.

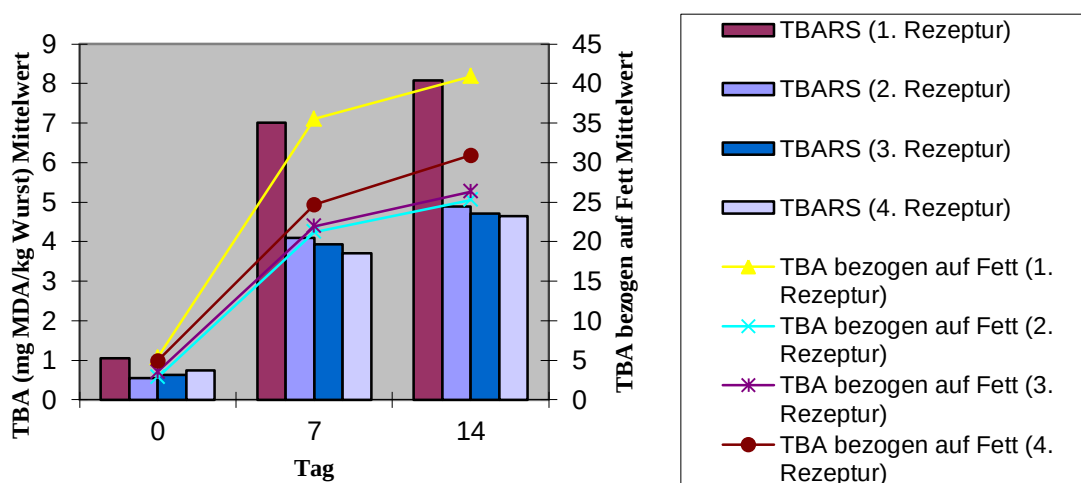


Abb. 36: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 2. Versuchs

4.3. Dritter Versuch

Von jeder Einzelprobe wurden Vierfachbestimmungen für Tag 0 und Fünffachbestimmungen für Tag 7 und Tag 14 durchgeführt.

4.3.1. Fettgehalte

Bei der Fettbestimmung war bei der ersten Rezeptur der höchste (20,10 %) und bei der vierten Rezeptur der geringste (18,30 %) Wert zu messen. Die Werte der zweiten und dritten Rezepturen lagen bei 19,60 % und 19,10 %. Auffällig ist weiters, dass die Würste der dritten und vierten Rezeptur eindeutig fester als die Würste der ersten und zweiten Rezeptur waren. In der Tat wurde die Festigkeit des Fleisches durch die Zugabe von Phosphat erhöht. Phosphat führt zu Proteinextraktion in Fleischerzeugnissen, was eine stabile Emulsion produziert und die Bindungsstärke steigt an (Long *et al.* 2011). Wie die Versuche von Lee *et al.* (1998), Puolanne *et al.* (2001), Lampila und Godber (2002), und Knipe (2003) zeigten, sind Phosphate entscheidend für den Anstieg des Wasserbindevermögens bei Fleischerzeugnissen. Auf diese Weise erhält das Fleisch eine verbesserte Textur.

Tab. 43: Fettgehalte des 3. Versuchs

Fettbestimmung (%)	
Dritter Versuch	
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil	20,10
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure	19,60
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	19,10
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	18,30

4.3.2. TBARS

Die in Abbildung 37 dargestellten Werte sind jeweils die Mittelwerte der je Rezeptur ermittelten Einzelergebnisse. Diese Werte zeigen, dass die Menge an MDA pro kg Wurst bei der ersten Rezeptur am Tag 14 (1,55) und am Tag 0 (0,35) am höchsten war. Allerdings

unterschieden sich die TBA-Mittelwerte nicht signifikant zwischen den dritten und vierten Rezepturen am Tag 0. Generell waren die TBA-Werte für die dritte Rezeptur am niedrigsten. Außerdem hatten sich die Werte der dritten und vierten Rezeptur am Tag 7 und am Tag 14 verkleinert. Die Ranzidität in den Fleischproben war nach sieben Tagen (etwa 3 mal größer bei der ersten Rezeptur und ca. 2 mal größer bei der zweiten Rezeptur) stärker erhöht als nach vierzehn Tagen (etwa 1,5 mal größer bei der ersten Rezeptur und bei der zweiten Rezeptur). Wie die Versuche von Bhattacharya *et al.* (1988), Brewer und Wu (1993), und Delgado-Pando *et al.* (2011) zeigten, stiegen die TBA-Werte mit zunehmenden Tagen an, wie aus der Abbildung 37 ersichtlich ist. Zusätzlich unterschieden sich die TBA-Mittelwerte signifikant zwischen den Tagen in den ersten und zweiten Rezepturen. Die TBA-Werte unterschieden sich nicht signifikant zwischen der vierten und fünften Rezeptur zwischen Tag 7 und Tag 14 bzw. Tag 0 und Tag 7. Die Tatsache, dass die TBA-Mittelwerte bei den dritten und vierten Rezepturen sich erniedrigt haben, könnte durch die Zugabe von Phosphat und Ascorbinsäure erklärt werden. Phosphat ist ein Nahrungsmittelzusatzstoff mit antioxidativen Eigenschaften (Long *et al.* 2011), wie bereits in Kapitel 2.4.5.6. erwähnt. Zusätzlich zeigten Versuche von Marquez *et al.* (1989), dass Phosphate und Ascorbinsäure eine eindeutige antioxidative Wirkung in Fleischerzeugnissen aufweisen. Die Ergebnisse in Abbildung 37 zeigen, dass die TBA-Werte bei der zweiten Rezeptur, welches Ascorbinsäure enthält, viel kleiner als die TBA-Werte bei der ersten Rezeptur sind. Außerdem reagiert Ascorbinsäure gegen reaktive Sauerstoffspezies wie zum Beispiel Hydroxylradikale (Davies *et al.* 1991). Zusätzlich enthält die Wurst beim vierten Rezeptur Nitritpökelsalz, welches, wie bereits in Kapitel 2.4.5.2. erwähnt, das Fleisch gegen bakteriellen Verderb, Oxidation und Bräunung schützt. Daher besaß die Wurst nicht nur kleinere TBA-Werten, sondern auch eine rötliche Farbe (Pokorny *et al.* 2001, Damodaran *et al.* 2008). Verschiedene Versuche wie die von Marquez *et al.* (1989) und Jiménez-Colmenero (2007) stimmen mit dieser Aussage überein. Eine Beurteilung im Hinblick auf die Bildung von Thiobarbitursäure reaktiven Substanzen ist an dieser Stelle nicht möglich, da es derzeit keine allgemein gültigen Grenzwerte gibt.

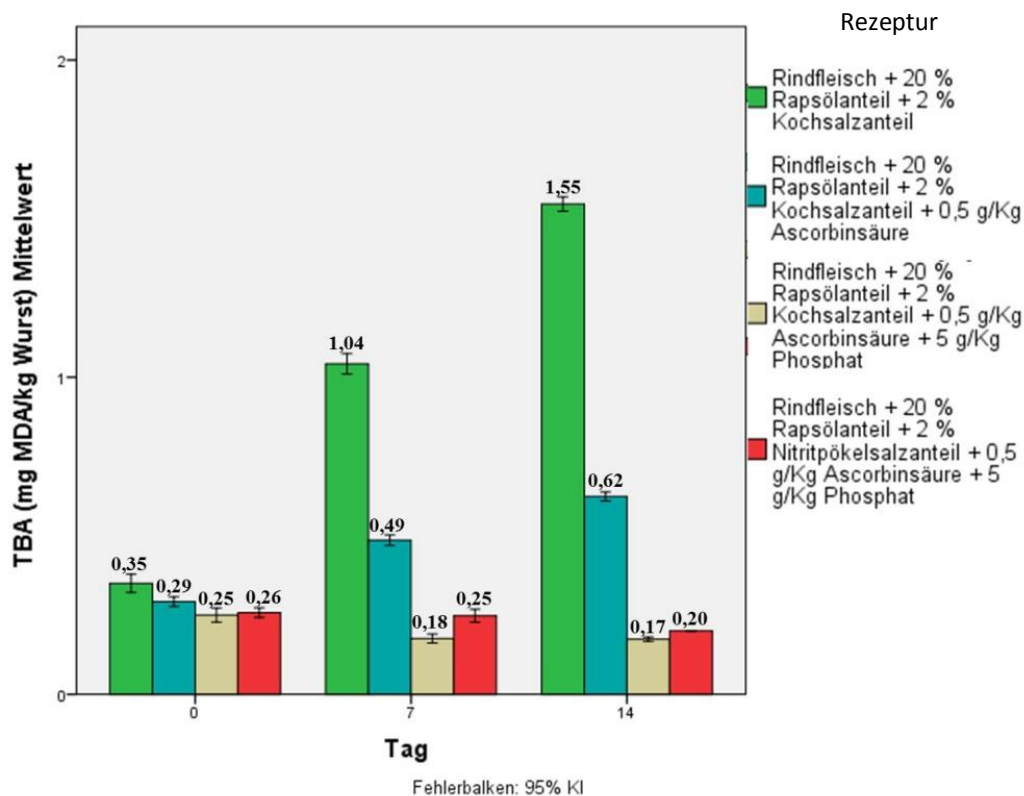


Abb. 37: Bestimmung der TBA des 3. Versuchs

4.3.3. Peroxidzahl

Die Mittelwerte pro Rezeptur bei der Bestimmung der POZ sind in Abbildung 38 ersichtlich. Dieses Bild zeigt, dass nach 14-tägiger Lagerung die Wurst der ersten Rezeptur den höchsten POZ-Wert hatte (1,67). Die Wurst der vierten Rezeptur hatte am Tag 0 den höchsten POZ-Wert (0,86). Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen allen Rezepturen am Tag 0, 7 und 14. Generell waren die POZ-Werte für die dritte Rezeptur nach 7- und 14-tägiger Lagerung am niedrigsten. Diese Werte legen zeigen, dass der Oxidationsgrad in den mit Ascorbinsäure und Phosphat hergestellten Fleischproben am niedrigsten war. In der Tat bindet Phosphat an Metallionen (siehe Kapitel 2.4.5.6.), was oxidative Ranzidität verringern kann (Feiner 2006). Außerdem wird Ascorbinsäure (siehe Kapitel 2.4.5.3.) als Radikalfänger gegen Superoxid, Peroxylradikale und Singulett-Sauerstoff eingesetzt. Daher schützt Ascorbinsäure die Lipide vor Lipidperoxidation (Pokorny *et al.* 2001). Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen den Tagen in den ersten und vierten Rezepturen. Die POZ-Werte unterschieden sich nicht signifikant bei der zweiten und dritten Rezeptur zwischen Tag 7 und 14 bzw. Tag 0 und 7, und Tag 7 und 14. Laut den Grenzwerten nach Pardun (siehe Kapitel

3.4.6.) waren die POZ bei allen Rezepturen sehr niedrig, was darauf hindeutete, dass die Würste in diesen Tagen genießbar waren.

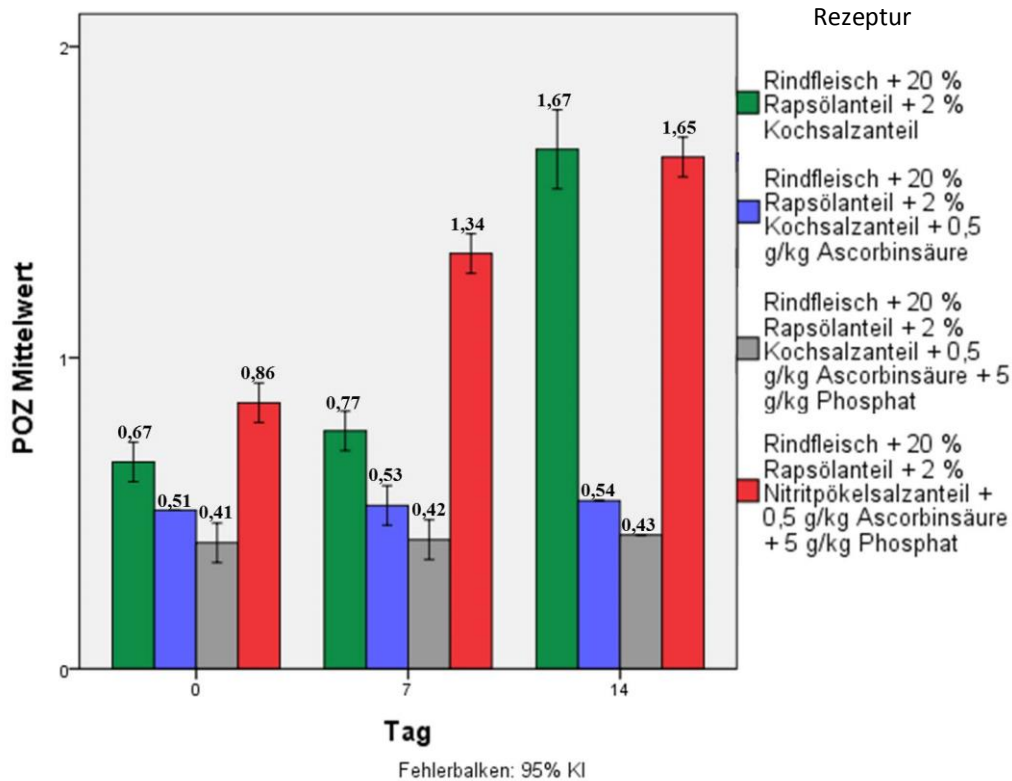


Abb. 38: Bestimmung der POZ des 3. Versuchs

Wie aus der Abbildung 38 ersichtlich ist, sind die POZ-Werte der vierten Rezeptur höher als die der zweiten und dritten Rezeptur, obwohl die Wurst zusätzlich gepökelt war und somit zu erwarten gewesen wäre, dass der Zusatz von Nitrit zu einer zusätzlichen Verminderung der Oxidation führt. Laut Studien von Cassens *et al.* (1979), Carballo *et al.* (1991), und EFSA (2003) kann sich das in Fleischerzeugnissen zugesetzte Nitrit erschöpfen, da es sich mit Proteinen oder Lipiden vom Fleisch binden kann. Außerdem erklären Cassens (1997) und EFSA (2003), dass der Verlust von Nitrit von verschiedenen Faktoren abhängt, wie zum Beispiel dem angewandten Erhitzungsverfahren, der Lagertemperatur oder dem Zusatz von Ascorbinsäure.

4.3.4. Vergleich TBA/POZ

Bei dem Vergleich der berechneten TBA- und POZ-Werte des dritten Versuchs zeigte sich ein Trend, dass die POZ-Werten sich über die Tage gesteigert hatten. Die TBA-Werte der dritten

und vierten Rezeptur hatten sich über die Tage verkleinert. In diesem Versuch hatten alle Rezepturen 20 % Rapsölanteil. Eine Veränderung der POZ- und TBA-Werte bezogen auf Fett ist nicht zu erwarten. Die Haltbarkeit der Würste sollte sich in diesem Fall mit Hilfe von Antioxidationsmitteln verlängern lassen. Die Modellbrühwürste mit Antioxidantien zeigten den niedrigsten TBA- und POZ-Werte (mit Ausnahme der vierten Rezeptur, welche Nitrit enthielt). Diese Steigerung ist mit dem möglichen Verlust von Nitrit zu erklären (siehe Kapitel 4.3.3.). Diese Ergebnisse zeigten, dass die verwendeten Antioxidantien eine effektive Wirkung gegen Lipidperoxidation aufwiesen. Außerdem war bei der Messung der TBARS ein sehr geringfügiger Abfall bei der vierten und fünften Rezeptur nach 7- und 14-tägiger Lagerung zu beobachten, was mit der Zugabe von zusätzliche Antioxidantien zu begründen ist.

4.4. Vierter Versuch

Von jeder Einzelprobe wurden Vierfachbestimmungen für Tag 0 und Fünffachbestimmungen für Tag 7 und Tag 14 durchgeführt. Der Grund für die Verwendung von Schmalz statt Schweinespeck waren der exorbitant hohen Fettkennzahlen bei der Lagerung der mit Speck hergestellten Modellwurst.

4.4.1. Fettgehalte

Bei der Fettbestimmung war bei der ersten Rezeptur der höchste (19,40 %) und bei der vierten Rezeptur der geringste (16,50 %) Wert zu messen. Die Werte in den zweiten und dritten Rezepturen lagen bei 18,20 % und 19,20 %. Die Würste der ersten und dritten Rezeptur (hergestellt mit Schmalz) waren fester als die Würste der zweiten und vierten Rezeptur (hergestellt mit Rapsöl). Wie bereits in Kapitel 4.3.1. erwähnt, besitzt tierisches Fett bessere Bindungseigenschaften als pflanzliche Öle (Youssef und Barbut 2009). Eine weiche Konsistenz bei Würsten ist aufgrund der schwachen Bindungscharakteristik weniger erwünscht.

Tab. 44: Fettgehalte des 4. Versuchs

Fettbestimmung (%)	
Vierter Versuch	
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Kochsalzanteil	19,40
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil	18,20
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	19,20
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat	16,50

4.4.2. TBARS

Die in Abbildung 39 dargestellten Werte sind jeweils die Mittelwerte der je Rezeptur ermittelten Einzelergebnisse. Diese Werte zeigen, dass die Menge an MDA pro kg Wurst bei der dritten Rezeptur an allen Lagertagen am höchsten war. Die TBA-Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant zwischen dem ersten und dem zweiten Rezepturen am Tag 0. Generell waren die TBA-Werte für die vierte Rezeptur am niedrigsten. Die Ranzidität in den Fleischproben beim dritten Rezeptur war nach sieben Tagen (etwa 8 mal größer) mehr erhöht als nach vierzehn Tagen (ca. 1,15 mal größer). Die Tatsache, dass die TBA-Mittelwerte bei der vierten Rezeptur am niedrigsten waren, kann durch die Zugabe von Phosphat, Ascorbinsäure und Nitritpökelsalz zusätzlich zu dem im Öl vorhandenen Tocopherol erklärt werden (siehe Kapitel 4.3.2.). Die Ergebnisse in Abbildung 39 zeigen, dass die TBA-Werte bei der dritten Rezeptur am höchsten waren, obwohl diese Rezeptur ebenfalls die Antioxidantien Ascorbinsäure, Phosphat und Nitritpökelsalz enthalten hat. Dass die TBA-Werte in den Fleischproben bei der zweiten und vierten Rezeptur (hergestellt mit Rapsöl) kleiner als bei der ersten und dritten Rezepturen (hergestellt mit Schmalz) waren, ist mit dem zugesetzten

Tocopherol erklärbar. Aus diesem Grund ist auch zu erwarten, dass die mit Schmalz hergestellten Proben höhere TBA-Werte haben. Nicht erklärbar ist aber die hohen Werte bei Probe 3 im Gegensatz zur ersten Rezeptur. Eine Vertauschung kann fast ausgeschlossen werden, sich die Proben in der Farbe unterschieden haben, widrigenfalls wäre das Ergebnis stimmig. Die TBA-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen den Tagen in allen Rezepturen.

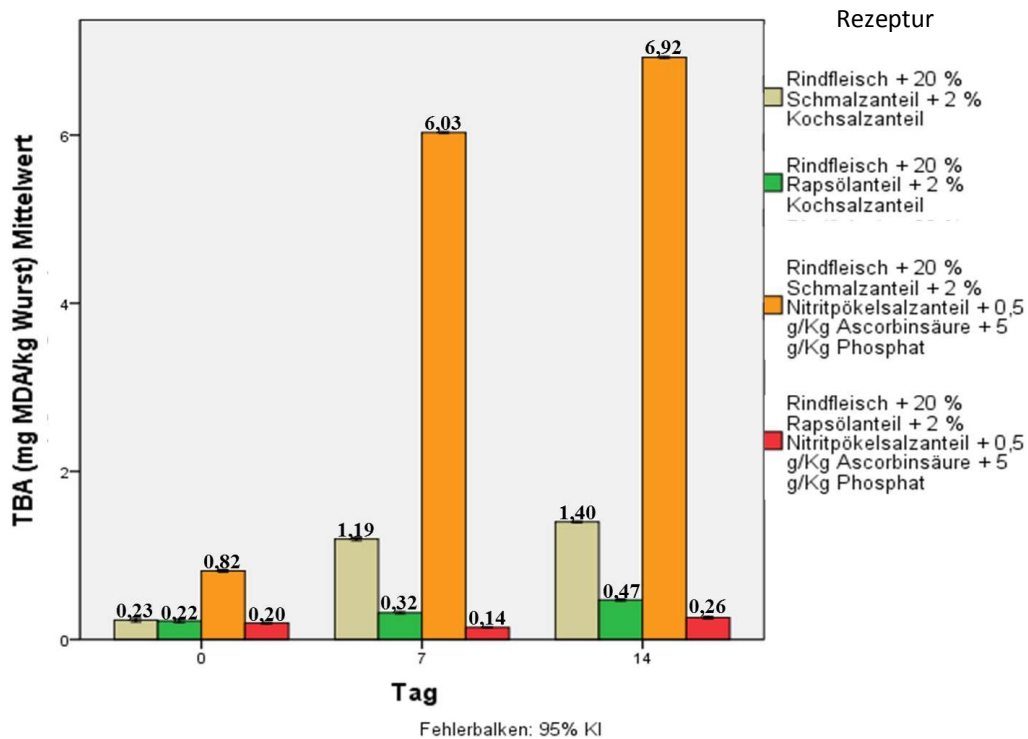


Abb. 39: Bestimmung der TBA des 4. Versuchs

4.4.3. Peroxidzahl

Die Mittelwerte pro Rezeptur bei der Bestimmung der POZ sind in Abbildung 40 ersichtlich. Dieses Bild zeigt, dass nach 14-tägiger Lagerung die Wurst der dritten Rezeptur den höchsten POZ-Wert (101,53) hatte. Die Wurst der dritten Rezeptur hatte ebenso am Tag 0 den höchsten POZ-Wert (2,79). Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant zwischen der ersten und vierten Rezeptur am Tag 0 und zwischen der ersten und vierten Rezeptur am Tag 7. Der POZ-Wert für die vierte Rezeptur war nach 14-tägiger Lagerung am niedrigsten (1,23). Dieser Wert war sogar der einzige, der sich erniedrigt hatte (etwa 1,02 mal kleiner als die Werte am Tag 0 und am Tag 7). Das kann durch die Zugabe von Phosphat, Ascorbinsäure und Nitritpökelsalz erklärt werden (siehe Kapitel 4.3.3.), wie oben erwähnt. Die dritte Rezeptur

enthielt ebenfalls diese Antioxidantien, aber die Würste waren mit Schmalz (tierischem Fett) statt Rapsöl (enthält signifikante Menge von Vitamin E) hergestellt worden. Daher waren zwar nach den bisherigen Ergebnissen höhere Werte erwartet worden, jedoch ist diese Zunahme nicht einmal erklärbar, wenn der Probe nicht diese Zusatzstoffe zugegeben worden wären.

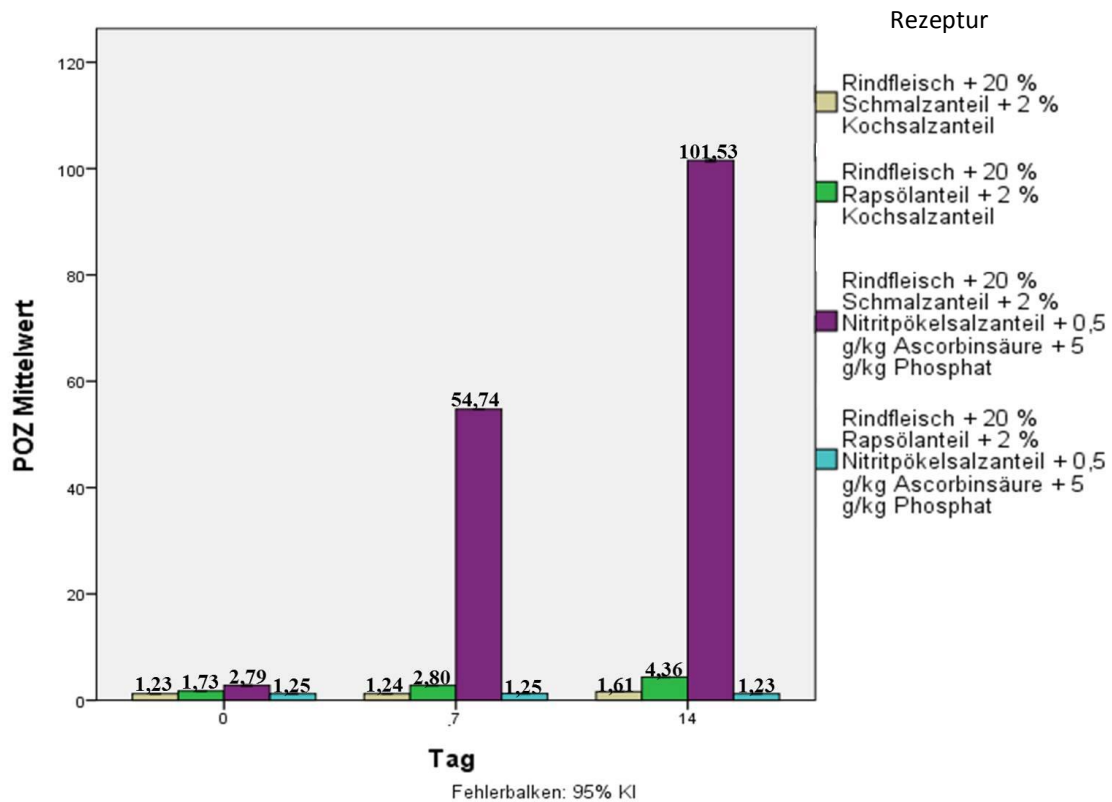


Abb. 40: Bestimmung der POZ des 4. Versuchs

4.4.4. Vergleich TBA/POZ

Bei dem Vergleich der berechneten TBA- und POZ-Werte des vierten Versuchs zeigte sich, dass die TBA-Werte der mit Schmalz hergestellten Modellwürste höher waren als jene Würste mit Rapsöl. Abbildung 41 zeigt, dass die TBA-Werte bezogen auf Fett ebenfalls kleiner für die zweite und vierte Rezeptur sind. Das ist mit der Zugabe von Vitamin E in Rapsöl und dem höheren Fettanteil in Schmalz zu erklären. Im Gegensatz zu den TBA-Werten sind die POZ-Werte bei der zweiten Rezeptur höher als bei der ersten Rezeptur. Auch in diesem Fall wäre ebenfalls eine Vertauschung der Proben 1 und 2 die einzig mögliche Begründung. Die extreme Höhe der POZ bei der dritten Rezeptur war aber wie im zweiten Versuch nicht zu erwarten. Die Gründe dafür konnten nicht gefunden werden, jedenfalls lag es nicht an der Methode, weil eine Wiederholung zu den selben Werten führte. Bei der zweiten und vierten Rezeptur war ein

Abfall der TBA- und POZ-Werte zu beobachten, welches mit der Zugabe von Antioxidantien zu erklären ist. Bei der ersten und dritten Rezeptur erhöhten sich die TBA- und POZ-Werte, was nicht zu erwarten war. Jedoch kann eine Verwechslung fast ausgeschlossen werden, da die Proben sich in der Farbe unterschieden haben. Diese Ergebnisse zeigten, dass die verwendeten Antioxidantien in den mit Rapsöl hergestellten Modellwürsten eine effektive Wirkung gegen Lipidperoxidation aufwiesen.

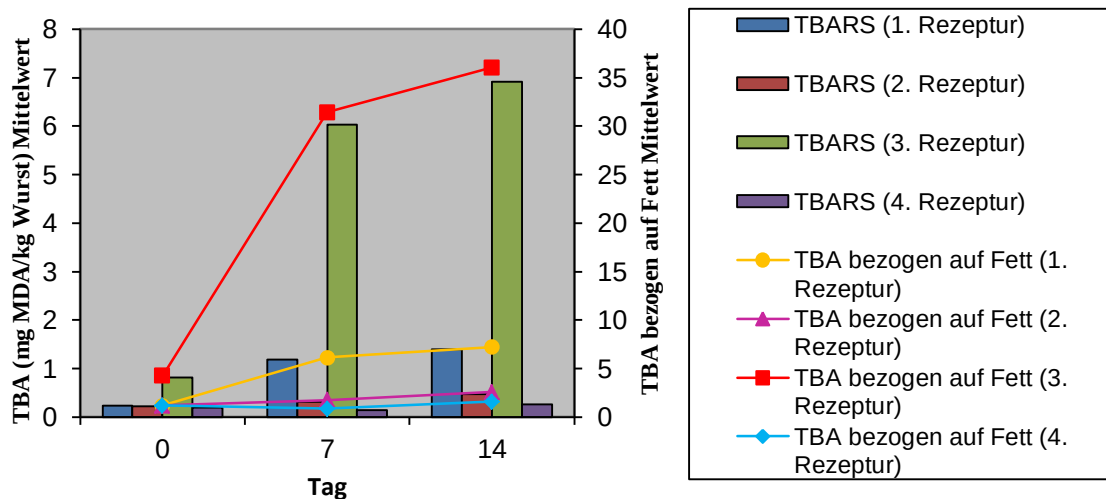


Abb. 41: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 4. Versuchs

4.5. Fünfter Versuch

Von jeder Einzelprobe wurden Vierfachbestimmungen für Tag 0 und Fünffachbestimmungen für Tag 7 und Tag 14 durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde die Modellwürste mit Majoran und Petersilie hergestellt. Majoran ist ein übliche Gewürzzusatz bei nicht gepökelten Bratwürsten, Petersilie bei Weißwürsten.

4.5.1. Fettgehalte

Bei der Fettbestimmung war bei der ersten Rezeptur der höchste (19,30 %) und bei dem dritten Rezeptur der geringste (18,60 %) Wert zu messen. Die Werte der zweiten und vierten Rezepturen lagen bei 18,70 % und 18,90 %. Diese Ergebnisse unterschieden sich signifikant zwischen allen Rezepturen. Auffällig ist weiters, dass die Wurst der vierten Rezeptur fester als die Würste der ersten, zweiten und dritten Rezeptur war. In der Tat wird die Festigkeit des Produktes durch die Zugabe einer größeren Menge an Kräutern erhöht. Getrockneter Majoran

enthält etwa 40 g Ballaststoffe pro 100 g Kräutersubstanz und getrocknete Petersilie ca. 27 g Ballaststoffe pro 100 g Kräutersubstanz (Gasser 2013). Auf diese Weise erhält das Fleisch eine verbesserte Textur. Dieses Ergebnis stimmt mit Versuchen von Schuh (2013) überein, in denen die Wurstproben eine festere Konsistenz durch das gute Quellvermögen der hinzugefügten Ballaststoffe (stärkere Wasserbindung) aufwiesen.

Tab. 45: Fettgehalte des 5. Versuchs

Fettbestimmung (%)	
Fünfter Versuch	
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil	19,30
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,1 % Majorananteil	18,70
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,2 % Majorananteil	18,60
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 1 % Petersilienanteil	18,90

4.5.2. TBARS

Die in Abbildung 42 dargestellten Werte sind jeweils die Mittelwerte der je Rezeptur ermittelten Einzelergebnisse. Diese Werte zeigen, dass die Menge an MDA pro kg Wurst bei der ersten Rezeptur am Tag 14 (3,18) am höchsten war. Die TBA-Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant zwischen dem zweiten und dritten Rezepturen am Tag 0 und zwischen dem zweiten und vierten Rezeptur am Tag 7. Die Ranzigkeit war in den Fleischproben bei der ersten Rezeptur nach sieben Tagen (etwa 5 mal größer) mehr erhöht als nach vierzehn Tagen (ca. 1,2 mal größer). Die Werte in den Würsten bei der zweiten und dritten Rezeptur haben sich auch erhöht. Wie die Versuche von Bhattacharya *et al.* (1988), Brewer und Wu (1993), und

Delgado-Pando *et al.* (2011) zeigten, stiegen die TBA-Werte generell mit zunehmenden Tagen an, wie aus der Abbildung 42 ersichtlich ist. Der TBA-Wert der vierten Rezeptur hat sich am Tag 14 aber verkleinert; wahrscheinlich aufgrund der höheren Menge an Kräutern, die antioxidativ wirken (siehe Kapitel 2.4.5.5). Die Tatsache, dass die TBA-Mittelwerte bei der zweiten, dritten und vierten Rezeptur niedriger als der TBA-Wert bei der ersten Rezeptur waren, könnte durch die Zugabe von Majoran und Petersilie erklärt werden, die zu den natürlichen Antioxidationsmitteln gehören (siehe Kapitel 2.4.5.5.1. und Kapitel 2.4.5.5.2.). Die Ergebnisse stimmen mit Untersuchungen von El-Alim *et al.* (1999) überein. Diese Wissenschaftler stellten fest, dass sich die Menge von MDA in den mit Kräutern hergestellten Fleischproben mit zunehmenden Tagen sich erhöht. Außerdem waren die TBA-Werte bei den mit Majoran produzierten Würsten etwa 50 % kleiner im Vergleich zu den TBA-Werten von Würsten ohne Kräuterzusatz. Wie aus der Abbildung 42 ersichtlich ist, sind die TBA-Werte bei den zweiten und dritten Rezepturen ebenfalls kleiner als 50 % der TBA-Werte bei der ersten Rezeptur. Zusätzlich unterschieden sich die TBA-Mittelwerte signifikant zwischen den Tagen in allen Rezepturen.

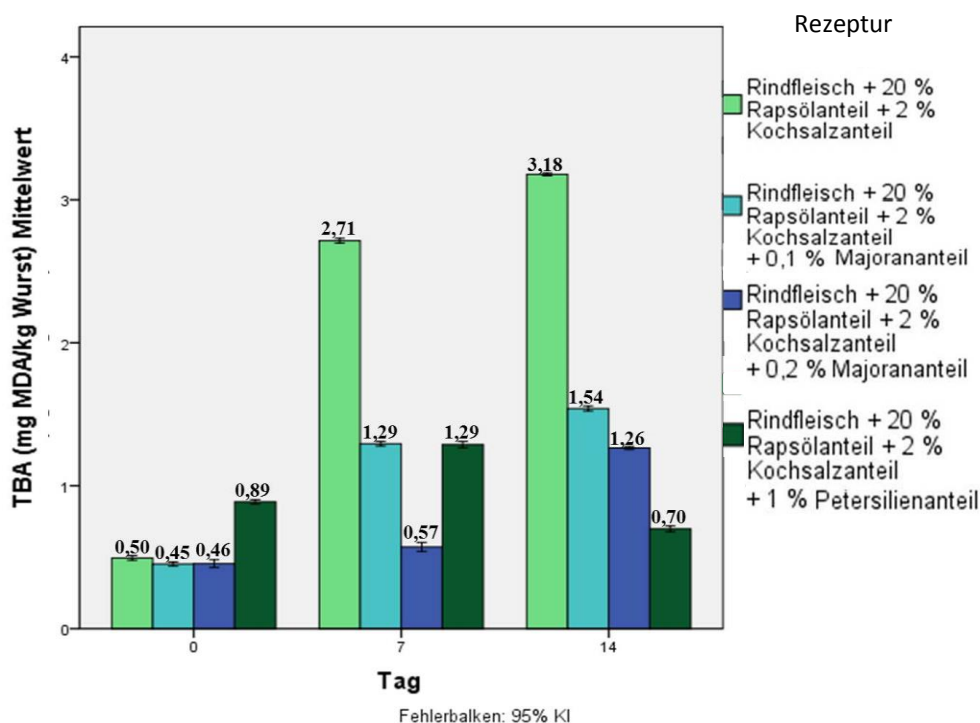


Abb. 42: Bestimmung der TBA des 5. Versuchs

4.5.3. Peroxidzahl

Die Mittelwerte pro Rezeptur bei der Bestimmung der POZ sind in Abbildung 43 ersichtlich. Dieses Bild zeigt, dass nach 14-tägiger Lagerung die Wurst bei der zweiten Rezeptur den höchsten POZ-Wert (6,96) hat. Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant zwischen der zweiten und dritten Rezeptur am Tag 0. Der POZ-Wert für die dritte Rezeptur war nach 14-tägiger Lagerung am niedrigsten (2,54). Das kann durch die Zugabe einer größeren Menge des natürlichen Antioxidationsmittel Majoran erklärt werden (siehe Kapitel 2.4.5.5.1.). Das zweite Rezeptur enthielt eine kleinere Menge dieses Krautes (0,1 % Majorananteil), daher die höheren Werte. Die Tatsache, dass die POZ-Werte bei der vierten Rezeptur (hergestellt mit 1 % Petersilieanteil) höher als bei der dritten Rezeptur sind (hergestellt mit 0,2 % Majorananteil), könnte durch die Zugabe eines größeren Anteils an Petersilie und daher einer größeren Menge an Chlorophyll, das prooxidativ wirkt (Belitz *et al.* 2008, Damodaran *et al.* 2008) erklärt werden. Laut Versuchen von Gerhardt und Schröter (1983) und El-Alim *et al.* (1999) verhindert die Zugabe von verschiedenen getrockneten Kräuter die Lipidperoxidation in Fleischerzeugnissen, wobei Majoran die stärkste antioxidative Wirkung aufwies. Die POZ-Mittelwerte unterschieden sich signifikant zwischen den Tagen in allen Rezepturen. Laut den Grenzwerten nach Pardun (siehe Kapitel 3.4.6.) war die POZ am Tag 14 bei der ersten und zweiten Rezeptur hoch, was darauf hindeutete, dass die Wurst ab diesem Tag nicht mehr lagerfähig war. Bei den dritten und vierten Rezepturen waren die POZ-Werte sehr niedrig. Daraus wird ersichtlich, dass die Würste in diesen Tagen genießbar waren.

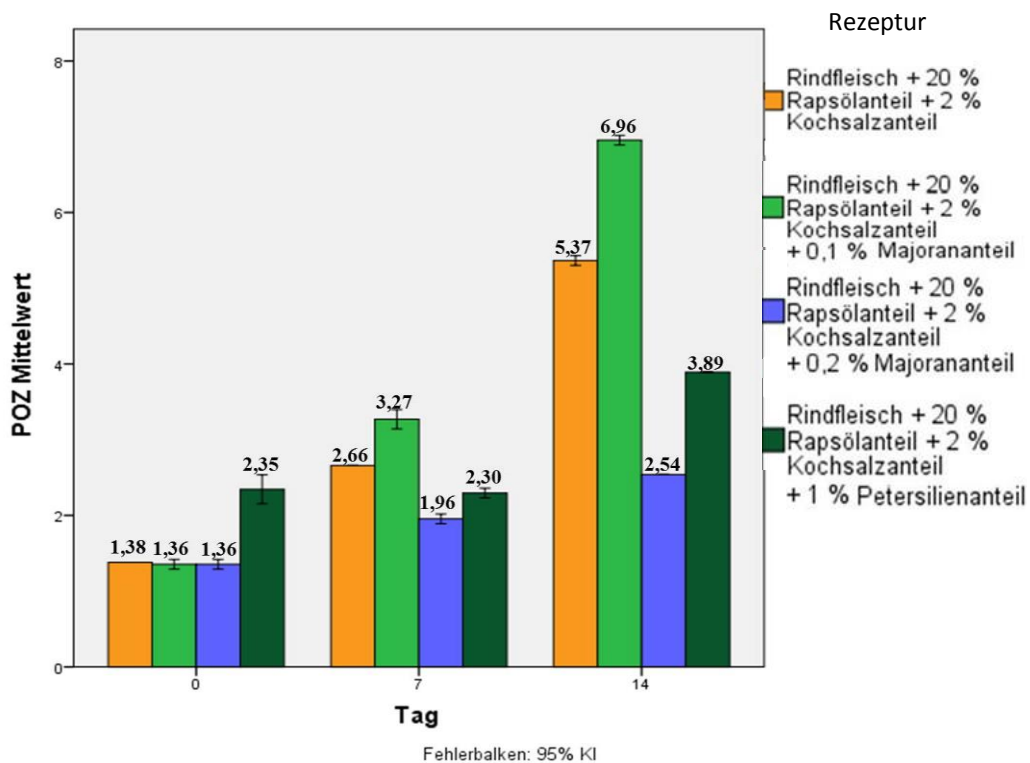


Abb. 43: Bestimmung der POZ des 5. Versuchs

4.5.4. Vergleich TBA/POZ

Bei dem Vergleich der berechneten TBA- und POZ-Werte des fünften Versuchs zeigte sich, dass die TBA-Werte bei der mit Kräutern hergestellten Modellwürste generell kleiner waren, da Kräuter antioxidativ wirken. In diesem Versuch hatten alle Rezepturen 20 % Rapsölanteil. Eine Veränderung der POZ- und TBA-Werte bezogen auf Fett ist nicht zu erwarten. Die Haltbarkeit der Würste sollte sich in diesem Fall anhand von Kräutern verlängern lassen. Im Gegensatz zu den TBA-Werten sind die POZ-Werte der zweiten Rezeptur höher als bei der ersten Rezeptur. Eine Vertauschung der Proben kann allerdings fast ausgeschlossen werden, da die Proben sich in der Farbe unterschieden haben. Bei der dritten und zum Teil bei der vierten Rezeptur war ein Abfall der TBA- und POZ-Werte zu beobachten, welches mit der Zugabe von höheren Mengen an Kräutern zu erklären ist. Die TBA- und POZ-Werte der dritten Rezeptur waren am niedrigsten, das mit einer höheren Zugabe von Majoran zu erklären ist. Diese Ergebnisse zeigten, dass Majoran eine effektive Wirkung gegen Lipidperoxidation in Modellbrühwürsten mit Rapsöl aufwiesen.

5. Schlussbetrachtung

Aufgrund der praktischen Durchführungen dieser Masterarbeit ist es möglich folgende Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Würste mit höherem Speckanteil beziehungsweise die Würste mit Schmalzanteil wiesen höhere TBA- und POZ-Werte ($p < 0,05$) auf. Da Rapsöl eine signifikante Menge an Vitamin E beinhaltet (Allen und Hamilton 1994, Morissey *et al.* 1998), ist die oxidative Stabilität mit diesem pflanzlichen Öl hergestellten Brühwürsten höher, gegenüber den Brühwürsten mit tierischen Fettanteil ($p < 0,05$). Durch die Zugabe von Ascorbinsäure, Phosphat, Nitritpökelsalz und Kräutern erniedrigte sich die Fettoxidation ($p < 0,05$), da diese Zutaten eine antioxidative Wirkung in Fleischerzeugnissen aufweisen (Long *et al.* 2011, Pokorny *et al.* 2001). Während der Fettbestimmung wiesen die Würste mit höherem Speckanteil und die Würste mit Schmalz den höchsten Gehalt an Fett auf ($p < 0,05$). Hingegen besaßen die mit Rapsöl hergestellten Würste bei allen Rezepturen einen geringeren Gesamtfettanteil, der höchstens bei 20 % lag ($p < 0,05$). Da die Bindungscharakteristik von fettmodifizierten Würsten niedriger war, stellte Phosphat eine effiziente Lösung und erhöhte die Festigkeit des Fleisches. Auf der Grundlage der vorgelegten Versuchsergebnisse kann festgestellt werden, dass die Fettmodifikation mit Rapsöl hergestellten Brühwürsten im Hinblick auf den Fettverderb problemlos durchgeführt werden kann. Dadurch kann ein Beitrag zur vermehrten Aufnahme von ungesättigten Fettsäuren in der menschlichen Ernährung geleistet werden ohne dass die Charakteristik der Produkte leidet.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Masterarbeit war es im Rahmen von Laborversuchen an Modellbrühwürsten herauszufinden, ob Rapsöl eine erfolgreiche Alternative für eine Fettmodifikation bei der Herstellung von Brühwurst sein könnte. Das Hauptaugenmerk sollte auf die Fettoxidation und deren Vermeidung gelegt werden. Rapsöl enthält nicht nur wichtige ungesättigte Fettsäuren, sondern auch wirksame Antioxidantien (Vitamin E), welche der Wurst positive Eigenschaften im Hinblick auf die menschliche Gesundheit bei wirtschaftlichem Nutzen verleihen. Die benutzten Methoden für diese Masterarbeit waren die Bestimmung der Thiobarbitursäurezahl (TBARS), der Peroxidzahl (POZ) und die Fettbetimmung in verschiedenen Rindfleischproben hergestellt mit Rapsöl oder Schweinefett (Speck, Schmalz), welche noch diverse Zutaten enthielten. Um die Oxidation zu verhindern, wurden die Wirkung verschiedener Zutaten mit antioxidativer Wirkung eingesetzt und mit entsprechenden Kontrollen ohne diese Zusätze verglichen. Insgesamt wurden fünf Versuche durchgeführt und jeder Versuch bestand aus verschiedenen Rezepturen. Bei dem ersten Versuch wurden zwei Rezepturen erprobt. Die restlichen Versuche bestanden jeweils aus vier Rezepturen. Bei den ersten und zweiten Versuchen wurde die Auswirkung verschiedener Mengen von Schweinespeck- und Rapsölanteilen analysiert. Bei dem dritten Versuch wurde der Effekt von Ascorbinsäure, Phosphat und Nitritpökelsalz, beim vierten Versuch wurden Proben mit Schweineschmalz und Rapsöl jeweils, mit und ohne Ascorbinsäure, Phosphat und Nitritpökelsalz, beim fünften Versuch wurde der Effekt von Majoran und Petersilie untersucht. Brühwürste hergestellt mit Rapsöl waren durch das vorhandene Tocopherol immer oxidativ stabiler als die Vergleichsproben mit Schweinefett. Der Zusatz von Ascorbinsäure, Phosphat, Nitrit und Majoran wirkte sich zusätzlich auf die Verringerung der Lipidperoxidation auf. Die Ergebnisse zeigten, dass es möglich ist durch die Verwendung von Rapsöl den Fettgehalt in Brühwurst im Hinblick auf den Fettverderb problemlos zu modifizieren. Tatsächlich wiesen die Modellbrühwürste mit Rapsöl immer eine geringe Neigung zur Fettoxidation auf.

7. Summary

The aim of the present master thesis was to investigate whether rapeseed oil could be considered as an effective alternative for fat modification in cooked sausages. In order to answer this question, several laboratory evaluations were performed, taking special consideration to fat oxidation and its proper prevention. Rapeseed oil counts with both, important unsaturated fatty acids and antioxidants (vitamin E) that provide the sausage with healthy properties and positive applications in the industry. The employed methods in this thesis included the TBA analysis, peroxide value and fat content determination in several meat samples produced with rapeseed oil or pork fat (bacon fat, lard), which included distinct ingredients. Different antioxidants were additionally used in order to prevent oxidation, and these were compared with control samples that did not contain them. There were a total of five laboratory tests in which distinct recipes were elaborated. The first test consisted of two recipes and each of the other tests included four recipes. In the first and second tests, the effect of different amounts of bacon fat and rapeseed oil were analyzed. In the third test, the impact of ascorbic acid, phosphate and nitrite salting mix was evaluated. In the fourth test, samples with lard and rapeseed oil, with and without ascorbic acid, phosphate and nitrite salting mix were investigated. Finally, the effects of marjoram and parsley were studied in the fifth test. Overall, the cooked sausages containing rapeseed oil had a higher oxidative stability than those prepared with pork fat due to the available Tocopherol. The addition of ascorbic acid, phosphate, nitrite salting mix and marjoram showed as well an effect on the reduction of lipid peroxidation. The results indicated that it is possible to modify the amount of fat in cooking sausage through the application of rapeseed oil while controlling fat degradation. Indeed, these samples always revealed a smaller tendency for fat oxidation.

8. Literaturverzeichnis

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

AFP (Agence France-Presse): Malaysia to switch to biofuel next year. AFP GMBH, 2010. Internet:

<http://www.google.com/hostednews/afp/article/ALeqM5jUgTW4wEfngntUCR5lOgxa4Bthww> (18.03.13)

AHA (American Heart Association): Good vs. bad cholesterol. 2012. Internet: http://www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Cholesterol/AboutCholesterol/Good-vs-Bad-Cholesterol_UCM_305561_Article.jsp (6.04.13)

AHA (American Heart Association): Knowing your fats, 2010. Internet: http://www.heart.org/HEARTORG/GettingHealthy/NutritionCenter/Knowing-Your-Fats_UCM_305976_Article.jsp (25.03.13)

Akoh CC, Min DB: Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology. Marcel Dekker Inc., New York, 2002

Al Dhaheiri Y, Eid A, AbuQamar A, Attoub S, Khasawneh M, Aiche G, Hisaindee S, Iratni R: Mitotic arrest and apoptosis in breast cancer cells induced by *Origanum majorana* extract: upregulation of TNF- α and downregulation of survivin and mutant p53. PloS ONE 8 (2), 1–14, 2013

Allen JC, Hamilton RJ: Rancidity in foods. Black Academic and Professional, Bishopbriggs, 3. Auflage, 1994

Alonso L, Fontecha J, Lozada L, Fraga MJ, Juárez M: Fatty acid composition of caprine milk: major, branched-chain, and trans fatty acids. J Dairy Sci 82 (5), 878–884, 1999

Applewhite TH: Proceeding of the world conference on oilseed technology and utilization. AOCS Publishing, Illinois, 1993

Associated Press: Prehistoric “kitchen” found in Indiana. USA Today, Charlestown, 2006. Internet: http://usatoday30.usatoday.com/tech/science/discoveries/2006-01-16-ancient-kitchen_x.htm (14.03.13)

Baba NH, Antoniadou K, Habal Z: Effects of dietary rape-seed, olive and linolenic acid enriches olive oils on plasma lipids, lipid peroxidation and lipoprotein lipase activity in rats. Nutr Res 19, 601–612, 1999

Bain S: Achieving optimal ome-3 fatty acid status in the vegan population. Biochemistry Program, Beloit, 2010

Baranyk P, Fábry A: History of the rapeseed (*Brassica napus* L.) growing and breeding from middle age Europe to Canberra. Czech University of Agriculture, Prague, 2011

Barnard DR, Xue R-D: Laboratory evaluation of mosquito repellent against *Aedes albopictus*, *Culex nigripalpus*, and *Ochlerotatus triseriatus* (Diptera: Culicidae). J Med Ent 41 (4), 726–735, 2004

- Bauer F, Honikel K-O: Fette in Fleischerzeugnissen, deren Zusammensetzung sowie Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion an Gesamtfett und der Modifikation der Fettsäuremuster. Internationaler Metzgermeister-Verband (IMV), Brüssel, 2012
- Bauer F, Honikel K-O: Nährstoffdichtes Lebensmittel Fleisch. Fleischwirtschaft 11, 68–73, 2007
- Belitz HD, Grosch W, Schieberle P: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer Verlag, Berlin, 6. Auflage, 2008
- Bellis M: The history of soaps and detergents. About.com, 2013. Internet: <http://inventors.about.com/library/inventors/blsoap.htm> (18.03.13)
- Ben HEN, Abdelkefi MM, Aissa RB, Chabouni MM: Antibacterial screening of Origanum majorana L. oil from Tunisia. J Ess Oil Res 13, 295–297, 2001
- Bertrand M: Use of palm oil for frying in comparison with other high-stability oils. Eu J Lip Sci and Tech 109 (4), 400–409, 2007
- Bhattacharya M, Hanna MA, Mandigo RW: Lipid oxidation in ground beef patties as affected by time-temperature and product packaging parameters. J Food Sci 53 (3), 714–717, 1988
- Bishop DJ, Olson DG, Knipe CL: Pre-emulsified corn oil, pork fat, or added moisture affect quality of reduced fat bologna quality. J Food Sci 58, 484–487, 1993
- Bloukas JG, Paneras ED, Fournitzis GC: Effect of replacing pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. Meat Sci, 45, 133–144, 1997
- Bolkent S, Yanardag R, Ozsoy-Sacan O, Karabulut-Bulan O: Effects of parsley (Petroselinum crispum) on the liver of diabetic rats: a morphological and biochemical study. Phytother Res, 18 (12), 996–999, 2004
- Brackenridge AW, Katen TR, Klemaszewski JL, Moss DA: Meat product. World Intellectual Property Organization. Internationale Patentklassifikation: A23B 4/00, 2012
- Brand TS, Smith N, Hoffman LC: Anti-nutritional factors in canola produced in the western and southern cape areas of South Africa. S Afr J Anim Sci 37 (1), 45–50, 2007
- Brewer MS, Wu SY: Display, packaging, and meat block location effects on color and lipid oxidation of frozen lean ground-beef. J Food Sci 58 (6), 1219–1223, 1993
- Büchi Labortechnik: Extraction Solutions. Büchi Labortechnik GmbH, Nürnberg, 2013
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit): Bestimmung der Peroxidzahl in Fetten und Ölen. Verfahren nach SULLY. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LMGB L 13.00 – 6, Beuth Verlag, Berlin Köln, 1991
- Carballo J, Cavestany M, Jiménez-Colmenero F: Effect of light on color and reaction of nitrite in sliced pork bologna under different chilled storage temperatures. Meat Sci 30 (3), 235–244, 1991
- Carlsen MH, Halvorsen BL, Holte K, Bøhn SK, Dragland S, Sampson L, Willey C, Senoo H, Umezono Y, Sanada C, Barikmo I, Berhe N, Willett WC, Phillips KM, Jacobs DR, Blomhoff R: The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. Nut J 9 (3), 1–11, 2010
- Carocho M, Ferreira ICFR: A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. Food and Chem Tox 51, 15–25, 2013

- Cassens RG: Residual nitrite in cured meat. *Food Technol* 51 (2), 53–55, 1997
- Cassens RG, Greaser ML, Ito T, Lee M: Reactions of nitrite in meat. *Food Technol* 33 (7), 46–57, 1979
- Chaijan M: Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. *Songklanakarin J Sci Technol* 30 (1), 47–53, 2008
- Chajès V, Thiébaud CM, Rotival M, Gauthier E, Maillard V, Boutron-Ruault MC, Joulin V, Lenoir GM, Clavel-Chapelon F: Association between serum trans-monounsaturated fatty acids and breast cancer risk in the E3N-EPIC study. *Am J Epidemiol* 167 (11), 1312–1320, 2008
- Chan WKM, Faustmann C, Yin M, Decker EA: Lipid oxidation induces by oxymyoglobin and metmyoglobin with involvement of H₂O₂ and superoxide anion. *Meat Sci* 46, 181–190, 1997
- Charalambous G: Shelf life studies of foods and beverages: chemical, biological, physical and nutritional aspects. Elsevier Science Limited, New York, 1993
- ColArt International Holdings Ltd: Understanding the drying times for oil paint. Winsor & Newton, 2011. Internet: <http://www.winsornewton.com/resource-centre/product-articles/article-drying-times-for-oil-paint/> (17.03.13)
- Colebrook M: Life chemistry. John Hunt Publishing, Hampshire, 2010
- Čepin S, Žgur S: Meat production technologies with reduced fat and cholesterol contents in meat. *Institut zu higijenu I tehnologiju mesa* 44 (4), 117–130, 2003
- Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR: Fennema's food chemistry. CRC Press, Boca Raton, 4. Auflage, 2008
- Davies MB, Austin J, Partridge DA: Vitamin C: its chemistry and biochemistry. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1991
- Delgado-Pando G, Cofrades S, Ruiz-Capillas C, Solas MT, Triki M, Jiménez-Colmenero F: Low-fat frankfurters formulated with a healthier lipid combination as functional ingredient: microstructure, lipid oxidation, nitrite content, microbiological changes and biogenic amine formation. *Meat Sci* 89 (1), 65–71, 2011
- Demir E, Marcos R, Kaya B: Genotoxicity studies in the ST cross of the *Drosophila* wing spot test of sunflower and soybean oils before and after frying and boiling procedures. *Food and Chem Tox* 50 (10), 3619–3624, 2012
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.): D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, 2009. Internet: <http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=920> (12.04.13)
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.): Richtwerte für die Energiezufuhr aus Kohlenhydraten und Fett. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Bonn, 2011
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.), ÖGE (Österreichische Gesellschaft für Ernährung), SGE (Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung), SVE (Schweizerische Vereinigung für Ernährung): D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau Verlag, Frankfurt, 2. Auflage, 2008
- Dunford NT, Dunford HB: Nutritionally enhanced edible oil processing. AOCS Publishing, Illinois, 2004
- Dzudie T, Kouebou CP, Essia-Ngang JJ, Mbofung CMF: Lipid sources and essential oils effects on quality and stability of beef patties. *J Food Enginier* 65 (1), 67–72, 2004.

- Ebermann R, Elmadfa I: Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung. Springer Verlag, Wien, 2. Auflage, 2011
- EFSA (European Food Safety Authority): The effects of nitrites/nitrates on the microbiological safety of meat products. The EFSA Journal 14, 1–31, 2003
- Ehrlich SD: Omega-6 fatty acids. University of Maryland Medical Center (UMMC), 2011. Internet: <http://www.umm.edu/altmed/articles/omega-6-000317.htm> (11.04.13)
- El-Alim SSLA, Lugasi A, Hóyári J, Dworschák E: Culinary herbs inhibit lipid oxidation in raw and cooked minced meat patties during storage. J Sci Food Agric 79, 277–285, 1999
- Elmadfa I: Ernährungslehre. Eugen Ulmer, Stuttgart, 2. Auflage, 2009
- Elmadfa I, Hasenegger V, Wagner K, Putz P, Weidl M-M, Wottawa D, Kuen T, Seiringer G, Meyer A, Sturtzel B, Kiefer I, Zilberzac A, Sgarabottolo V, Meidlinger B, Rieder A: Österreichischer Ernährungsbericht 2012. Bundesministerium für Gesundheit, Wien, 1. Auflage, 2012
- Elmadfa I, Leitzmann C: Ernährung des Menschen. Eugen Ulmer, Stuttgart, 4. Auflage, 2004
- EU Oil and Protein meal Industry: Rapeseed Fact. Soyatecg, 2013
Internet: http://www.soyatech.com/rapeseed_facts.htm (18.03.13)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. FAO Food and nutrition paper, Geneva, 2008
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): Food outlook – global market analysis. Global information and early warning system on food and agriculture, Rome, 2012
- Farooqi AA, Sreeramu BS: Cultivation of medicinal and aromatic crops. Universities Press, Andhra Pradesh, 2004
- Farouk M, Price J, Salih A: Effect of Fe^{2+} , salt, cooking and shredded coffi^R on thiobarbituric acid (TBA) numbers in ground beef. J Food Sci 56, 172–174, 1991
- FDA (U.S. Food and Drug Administration): Direct food substances affirmed as generally recognized as safe – Rapeseed oil. Code of Federal Regulations, 21 (3), 2012. Internet: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1555> (18.03.2013)
- Feiner G: Meat products handbook - practical science and technology. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe): Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Rostock, 1. Auflage, 2007
- Fortin F: The visual foods encyclopedia. Macmillan, New York, 1996
- Gasser S: Nährwerte von Lebensmitteln. Lebensmittel die Ballaststoffe beinhalten (2013). Internet: <http://www.naehrwert-kalorien.de/suchen/ballaststoffe.php> (18.07.13)
- Gerhardt U, Schröter A: Antioxidative Wirkung von Gewürzen. Gordian 9, 171–176, 1983
- GISSI (Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto miocardico) – Prevenzione investigators: Dietary supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction: results of the 91 GISSI-Prevenzione trial. Lancet, 354, 447–455, 1999
- Gossauer A: Struktur und Reaktivität der Biomoleküle. Verlag Helvetica Chimica Acta, Zürich, 2006

Granhölm A, Bimonte-Nelson HA, Moore AB, Nelson ME, Freeman LR, Sambamurti K: Effects of a saturated fat and high cholesterol diet on memory and hippocampal morphology in the middle-age rat. *J Alz dis* 14 (2), 133–145, 2008

Gunstone FD: Oils and fats in the food industry. Blackwell Publishing, Oxford, 2008

Gunstone FD: Oils and fats in the market place. AOCS Publishing, Illinois, 2012

Gunstone FD: Rapeseed and canola oil. Blackwell Publishing, Oxford, 2004

Gunstone FD: Vegetable oils in food technology – composition, properties and uses. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, 2. Auflage, 2011

Gupta MK: Practical guide for vegetable oil processing. AOCS Publishing, Illinois, 2010

Gylling H, Miettinen TA: Cholesterol absorption: influence of body weight and the role of plant sterols. *Curr Atherosclerosis Rep* 7, 466–471, 2005

Halliwell B: Are polyphenols antioxidants or pro-oxidants? What do we learn from cell culture and *in vivo* studies?. *Arch Biochem Biophys* 476, 107–112, 2008

Heinrich-Böll-Stiftung: Fleischatlas: Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel. Bund für Umwelt- und Naturschutz und Le Monde Diplomatie, Berlin, 2013

Hirano R, Sasamoto W, Matsumoto A, Itakura H, Igarashi O, Kondo K: Antioxidant ability of various flavonoids against DPPH radicals and LDL oxidation. *J Nutr Sci Vitaminol*, 47 (5), 357–362, 2001

Hunter JE: Dietary levels of trans-fatty acids: basis for health concerns and industry efforts to limit use. *Nutrition Research* 25 (5), 499–513, 2005

Jiménez-Colmenero F: Healthier lipid formulation approaches in meat based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends Food Sci Technol* 18, 567–578, 2007

Ju KH, Il LJ: Low fat sausages process replaced animal fat with plant oil. Repub Korean Kongkae Taeho Kongbo, 2012

Kaltschmitt M, Hartmann H, Hofbauer H: Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage, 2009

Kanner J, Rosenthal I: An assessment of lipid oxidation in foods. *Pure & Appl Chem* 64, 1959–1964, 1992

Kaufmann: Schweinefleisch ABC. Die Fleischteilstücke und deren Verwendung beim Kochen und Braten. Metzgerei Kaufmann GmbH, 2013. Internet: http://www.metzgerei-kaufmann.de/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=184 (12.07.13)

Kiefer I, Kunze M: Epidemiologie des Nahrungsfettverzehr. *J Ernährungsmedizin* 1, 7–11, 1999

Kien CL, Bunn JY, Tompkins CL, Duma JA, Crain KI, Ebenstein DB, Koves TR, Muoio DM: Substituting dietary monounsaturated fat for saturated fat is associated with increased daily physical activity and resting energy expenditure and with changes in mood. *Am J Clin Nutr* 97 (4), 686–697, 2013

Kim CJ, Jeong JY, Choi JH, Choi YS, Han DJ, Kim HY, Lee MA, An KI, Kim HW, Kim TH: Manufacturing method of low-fat sausages using vegetable oil and rice brain fiber. Repub Korean Kongkae Taeho Kongbo, 2010

Kimball C: Is lard an acceptable shortening? *Cook's Illustrated*, Harlan, 2004

- Knipe L*: Phosphates as meat emulsion stabilizers. In: Benjamin C (Herausgeber), Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, Academic Press, Oxford, 2003
- Koski A, Pekkarinen S, Oski A, Pekkarinen S, Hopia A, Wähälä K, Heinonen M*: Processing of rapeseed oil: Effects on sinapic acid derivative content and oxidative stability. *Eur Food Res Technol* 217, 110–114, 2003
- Kowalski R, Pyrcz J, Pietrończyk K*: Partial substitution of animal fat with plant origin oil in the production of finely comminuted sausages. *Food Sci and Technol* 1 (1), 1–7, 1998
- Krist S, Buchbauer G, Klausberger C, König J, Biladt S, Ellinger B, Wall M, Strugger S*: Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle. Springer Verlag, Wien, 2008
- Kuwahara H, Kanazawa A, Wakamatu D, Morimura S, Kida K, Akaike T, Maeda H*: Antioxidative and antimutagenic activities of 4-vinyl-2,6-dimethoxyphenol (canolol) isolated from canola oil. *J Agric Food Chem* 52, 4380–4387, 2004
- Lampila LE, Godber JP*: Food phosphates. In: Branen AL, Davidson PM, Salminen S, Thorngate JH (Herausgeber), Food Additives, Marcel Dekker Inc., New York, 2. Auflage, 2002
- Lancet*: Sunflower oil may help reduce nosocomial infections in preterm infants. *Medscape Medical News*, 2005. Internet: <http://www.medscape.org/viewarticle/501077> (17.03.13)
- Lee BJ, Hendricks DG, Cornforth DP*: Effect of sodium phytate, sodium pyrophosphate and sodium tripolyphosphate on physicochemical characteristics of restructured beef. *Meat Sci* 50, 273–283, 1998
- Leeja L, Thoppil JE*: antimicrobial activity of methanol extract of *Origanum majorana* L. (sweet marjoram). *J Environ Biol* 28 (1), 145–146, 2007
- Leitzmann C, Watzl B*: Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln. Hippokrates Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, 2005
- Long NHBS, Gál R, Buňka F*: Use of phosphates in meat products. *African J Biotech* 10 (86), 19874–19882, 2011
- Lopez-Bote CJ, Sanz M, Perez de Ayala P, Flores A*: Effect of dietary lard on performance, fatty acid composition and susceptibility to lipid peroxidation in growing-finishing females and entire male pigs. *Can J Anim Sci* 77 (2), 301–306, 1997
- Marina S, Škute N*: Effects of high temperature on malondialdehyde content, superoxide production and growth changes in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Ekologija* 56 (1-2), 26–33, 2010
- Marquez EJ, Ahmed EM, West RL, Johnson DD*: Emulsion stability and sensory quality of beef frankfurters produced at different fat and peanut oil levels. *J Food Sci* 54 (4), 867–873, 1989
- Martin CA, Milinsk MC, Visentainer JV, Matsushita M, De-Souza NE*: Trans fatty acid-forming processes in foods: A review. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 79 (2), 343–350, 2007
- Matissek R, Steiner G, Fischer M*: Lebensmittelanalytik. Springer, Berlin, 4. Auflage, 2010
- McLagan J*: Fat: an appreciation of a misunderstood ingredient, with recipes. Ten Speed Press, Berkeley, 2008
- Misík V, Gergel' D, Alov P, Ondrias K*: An unusual temperature dependence of malondialdehyde formation in Fe²⁺/H₂O₂-initiated lipid peroxidation of phosphatidylcholine liposomes. *Physiol Res* 43 (3), 163–167, 1994

Modzelewska-Kapitula M, Ostoja H, Cierach M: Influence of rape-seed oil on sensory and textural properties of model comminuted meat products. *Nauka Przyr Technol* 6 (2), 1–10, 2012

Moffat DM: Natural health techniques. Medical Intuitive, Deary, 2013

Moran E: Fat modification of animal products for human consumption. *Anim Feed Sci and Tech* 58, 91–99, 1996

Morrissey PA, Sheehy PJA, Galvin K, Kerry JP, Buckley DJ: Lipid stability in meat and meat products. *Meat Sci* 49 (1), 73–86, 1998

Mukhopadhyay AK: Antioxidants – natural and synthetic. Amani International Publishers, Kiel, 2006

National Research Council: Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients). The National Academies Press, Washington DC, 2005

NRC (National Research Council): Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients). The National Academies Press, Washington, DC, 2005

NSA (National Sunflower Association): Health and nutrition. Mandan, 2013. Internet: <http://www.sunflowernsa.com/health/> (17.03.13)

NU (Northwestern University): Nutrition fact sheets: lipids. North Western Nutrition, Chicago, 2002. Internet:

<http://web.archive.org/web/20110720014201/nuinfo-proto4.northwestern.edu/nutrition/factsheets/lipids.html> (10.04.13)

NutriPro Food: Fat, oil and cholesterol. Nestlé professional nutrition magazine 3 (1), 2007

O'Brien, RD: Fats and oils: formulating and processing for applications. CRC Press, Boca Raton, 3. Auflage, 2009

ÖGE (Österreichische Gesellschaft für Ernährung): Fette. 2011a. Internet: <http://www.oege.at/php/current/content.php?c=2114> (11.04.13)

ÖGE (Österreichische Gesellschaft für Ernährung): Richtlinien für eine aufgewogene Ernährung. 2011b. Internet: <http://www.oege.at/php/current/content.php?l=de&a=2326> (12.04.13)

ÖLMB (Österreichisches Lebensmittelbuch): Fleisch und Fleischerzeugnisse. Bundesministerium für Gesundheit, 2013.

Internet:

http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/4/9/6/CH1252/CMS1167207128242/b_14_fleisch_und_fleischerzeugnisse.pdf (25.03.13)

ÖLMB (Österreichisches Lebensmittelbuch): Speisefette, Speiseöle, Streichfette und andere Fetterzeugnisse. Bundesministerium für Gesundheit, 2012.

Internet:

http://www.bmg.gv.at/cms/home/attachments/4/9/6/CH1252/CMS1167207128242/b_30_speisefette_speiseoele_fetterzeugnisse.pdf (25.03.13)

Pardun H: Nachweis und Bestimmung des Fettverderbens. In: Acker L, Bergner KG, Diemair W, Heimann W, Kiermeier F, Schormüller J, Souci SW (Herausgeber): Handbuch der Lebensmittelchemie, Springer Verlag, Berlin, 4. Auflage, 1969

Patterson RE, Flatt SW, Newman VA, Natarajan L, Rock CL, Thomson CA, Caan BJ, Parker BA, Pierce JP: Marine fatty acid intake is associated with breast cancer prognosis. *J Nutr* 141 (2), 201–206, 2011

Peters D, Koop K, Warmerdam J: Info sheet 10: animal fats 2011. ECOFYS, 2011. Internet: <http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Info%20sheet%20on%20animal%20fats.pdf> (19.03.13)

Phivilay A, Julien C, Tremblay C, Berthiaume L, Julien P, Giguere Y, Calon F: High dietary consumption of trans fatty acids decreases brain docosahexaenoic acid but does not alter amyloid-beta and tau pathologies in the 3xTg-AD model of Alzheimer's disease. *Neuroscience* 159 (1), 296–307, 2009

Pokorny J, Yanishlieva N, Gordon M: Antioxidants in food – practical applications. CRC Press, Boca Raton, 2001

Poku K: Origin of oil palm. *FAO Agricultural Services Bulletin*, Ghana, 2002

Poth U: Drying oils and related products. *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, 2001

Puolanne EJ, Ruusunen MH, Vainionpää JI: Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Sci* 58, 1–7, 2001

PubChem: Erucic acid – substance summary. U.S. National Library of Medicine, 2009. Internet: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?sid=24869150> (18.03.13)

Quílez J, García-Lorda P, Salas-Salvadó J: Potential uses and benefits of phytosterols in diet: present situation and future directions. *Clinical Nutrition* 22 (4), 343–351, 2003

Salmerón J, Hu FB, Manson AE, Stampfer MJ, Colditz GA, Rimm EB, Willet WC: Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. *Am J Clin Nutr* 73 (6), 1019–1026, 2001

Salunke DK, Chavan JK, Adsule RN, Kadam SS: World oilseeds – chemistry, technology, and utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992

Sanchez-Bayle M, Gonzales-Requejo A, Pelaez MJ, Morales MT, Asensio-Anton J, Anton-Pacheco E: A cross-sectional study of dietary habits and lipid profiles. The Rivas-Vaciamadrid study. *Eur J Pediatr* 167 (2), 149–154, 2007

Sanimax, NRA (National Renderers Association): Biofuel production from animal fats. Sanimax Energy, 2008. Internet: <http://worldrenderers.org/11.pdf> (19.03.13)

Schmid A: Nährwert von Fleisch und Fleischwaren. *Proviande Fleisch Information*, Bern, 2011

Schroepfer GJ: Oxysterols: modulators of cholesterol metabolism and other process. *Physiol rev* 80, 361–363, 2000

Schuh V: Auswirkungen der Fettsubstitution in Lebensmitteln. Dissertation. GRIN Verlag, München, 2013

Schultz HW, Day EA, Sinnhuber RO: Symposium on foods: lipids and their oxidation. The Avi Publishing Company, Westport, 1962

Senser F, Scherz H, Kirchhoff E: Souci-Fachmann-Kraut - Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen. Medpharm GmbH Scientific Publishers, Stuttgart, 2013

Silva LP: Oleic acid: dietary sources, functions and health benefits. Nova Biomedical, Brasilia, 3. Auflage, 2013

Simopoulos AP: The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med* 233 (6), 674–688, 2008

Snyder OP: Antimicrobial effects of spices and herbs. Hospitality Institute of Technology and Management, Minnesota, 1997

St Angelo AJ: Lipid oxidation in foods. Crit Rev Food Sci Nutr 36 (3), 175–224, 1996

Steelsmith L: Cooking oils are best used at specific temperatures. Steelsmith Natural Health Center, 2011.

Internet:
http://www.naturalchoicesforwomen.com/index.php?option=com_content&task=view&id=227&Itemid=56 (18.03.13)

Steigerwald V: Brühwurstprodukt. Bundesrepublik Deutschland. Deutsches Patent- und Markenamt. Internationale Patentklassifikation: A23L 1/317, 2006

Stender S, Dyerberg J, Bysted A, Leth T, Astrup A: A trans world journey. Atherosclerosis Supplement 7, 47–52, 2006

Strunz U, Jopp A: Fit mit Fett. Heyne Verlag, München, 3. Auflage, 2004

Swatland HJ: Fat – Reducing the fat content of meat. University of Guelph Department of Animal and Poultry Science, 1998. Internet: http://www.aps.uoguelph.ca/~swatland/ch2_4.htm (17.04.13)

Tichivangana JZ, Morrissey PA: Metmyoglobin and inorganic metals as pro-oxidants in raw and cooked muscle systems. Meat Sci 15, 107–116, 1985

Toth P: High-density lipoprotein. American Heart Association, 2005. Internet: <http://circ.ahajournals.org/content/111/5/e89.full> (6.04.13)

Winter MJ: Oleic acid, computer model. Fine Art America, 2013a. Internet: <http://fineartamerica.com/featured/2-oleic-acid-computer-model-dr-mark-j-winter.html> (9.04.13)

USDA (United States Department of Agriculture) Agricultural Research Service: Taxon: *Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss. Germplasm Resources Information Network, 2011. Internet: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?27448> (1.05.13)

USDA (United States Department of Agriculture) Foreign Agricultural Service: Oilseeds: world markets and trade. Circular Series Oilseeds FOP 13-03, 2013. Internet: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> (15.03.13)

Valenzuela A, Nieto S: Natural and synthetic antioxidants: food quality protectors. Grasas & Aceites 47, 186–196, 1996

Vega-López S, Ausman LM, Jalbert SM, Erkkilä AT, Lichtenstein A: Palm and partially hydrogenated soybean oils adversely alter lipoprotein profiles compared with soybean and canola oils in moderately hyperlipidemic subjects. Am J Clin Nutr 84 (1), 54–62, 2006

Veldink JH, Kalmijn S, Groeneveld G-J, Wunderink W, Koster A, de Vries JHM, van der Luyt J, Wokke JHJ, van den Berg LH: Intake of polyunsaturated fatty acids and vitamin E reduces the risk of developing amyotrophic lateral sclerosis. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 78 (4), 367–371, 2007

Venere E: New findings measure precise impact of fat on cancer spread. Purdue University, 2009. Internet: http://www.eurekalert.org/pub_releases/2009-02/pu-nfm022509.php (11.04.13)

Verhagen H, Buijsse B, Jansen E, Bueno-de-Mesquita B: The state of antioxidant affairs. Nutr Today 41, 244–250, 2006

Verordnung (EU) 1129/2011 der Kommission zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf eine Liste der Lebensmittelzusatzstoffe der Europäischen Union, 2011

Vuorela S, Meyer SA, Heinonen M: Impact of isolation method on the antioxidant activity of rapeseed meal phenolics. J Agric Food Chem 52, 8202–8207, 2004

WebMD: Liposyn III. RxList Inc, 2009. Internet: <http://www.rxlist.com/liposyn-iii-drug/patient-images-side-effects.htm> (18.03.13)

WebMD: Marjoram, 2013. Internet: <http://www.webmd.com/vitamins-supplements/ingredientmono-563-MARJORAM.aspx?activeIngredientId=563&activeIngredientName=MARJORAM> (1.05.13)

Weiler U, Hofäcker S: Schweinefett – Bedeutung für Genuss und Gesundheitswert. Universität Hohenheim und Laborärztliche Gemeinschaftspraxis Ludwigsburg, 2006

WHO/FAO (World Health Organization/ Food and Agriculture Organization of the United Nations): Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical Report Series, Geneva, 2003

Winter MJ: Elaidic acid, computer model. Fine Art America, 2013b. Internet: <http://fineartamerica.com/featured/2-elaidic-acid-computer-model-dr-mark-j-winter.html> (9.04.13)

Witte VC, Krause GF, Bailey ME: A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. J Food Sci 35, 582–585, 1970

Youssef MK, Barbut S: Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. Meat Sci 82, 228–233, 2009

Zelman KM: The Mediterranean diet- a total diet and lifestyle approach continues to be one of the best prescriptions for a long, healthy life. WebMD, 2013. Internet: <http://www.webmd.com/food-recipes/guide/the-mediterranean-diet> (10.04.13)

Zelman KM, Nazario B: Dietary fiber: insoluble vs. soluble. WebMD, 2013. Internet: <http://www.webmd.com/diet/fiber-health-benefits-11/insoluble-soluble-fiber> (6.04.13)

Zheng GQ, Kenney PM, Zhang J, Lam LK: Inhibition of benzo[a]pyrene-induced tumorigenesis by myristicin, a volatile aroma constituent of parsley leaf oil. Carcinogenesis, 13 (10), 1921–1923, 1992

Zheng W, Wang SY: Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. J Agric Food Chem 49, 5165–5170, 2002

Z.k.M. (Zehn kleine Metzgerlein): Speck – Schnellübersicht, 2013. Internet: <http://klickmal.com/zkm/index.php/speck> (25.03.13)

Zymon M, Strzetelski J: Chances of intramuscular fat modification in beef cattle. J Medycyna Weterynaryjna 63 (12), 1526–1529, 2007

9. Anhang

Anhangstabelle 1: Bestimmung der TBA (erster Versuch)

TBA (mg MDA/kg Wurst)			
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,46	3,46	8,81
	0,47	3,53	5,77
	0,45	4,41	5,76
	keine Angabe	3,63	5,74
Mittelwerte	0,46	3,76	6,52
2. Rezeptur: Rindfleisch + 5 % Rapsölanteil + 15 % Speckanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,44	1,80	2,62
	0,43	1,71	2,63
	0,45	2,42	2,63
	keine Angabe	2,15	2,65
Mittelwerte	0,44	2,02	2,63

Anhangstabelle 2: Bestimmung der POZ (erster Versuch)

1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,70	1,71
	1,71	
7	4,30	4,30
	4,30	
14	10,50	10,50
	10,50	
2. Rezeptur: Rindfleisch + 5 % Rapsölanteil + 15 % Speckanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	2,83	2,92
	3,00	
7	4,10	4,15
	4,20	
14	7,90	7,95
	8,00	

Anhangstabelle 3: Bestimmung der TBA (zweiter Versuch)

TBA (mg MDA/kg Wurst)			
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	1,06	7,05	8,11
	1,05	6,98	8,06
	1,03	7,07	8,09
	1,07	7,00	8,07
	keine Angabe	6,97	8,03
Mittelwerte	1,05	7,01	8,07
2. Rezeptur: Rindfleisch +10 % Speckanteil + 10 % Rapsölanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,56	4,08	4,91
	0,53	4,14	4,90
	0,57	4,12	4,90
	0,54	4,09	4,88
	keine Angabe	4,06	4,86
Mittelwerte	0,55	4,10	4,89
3. Rezeptur: Rindfleisch +5 % Speckanteil + 15 % Rapsölanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,64	3,94	4,74
	0,62	3,93	4,70
	0,65	3,95	4,73
	0,62	3,93	4,71
	keine Angabe	3,91	4,68
Mittelwerte	0,63	3,93	4,71
4. Rezeptur: Rindfleisch +20 % Rapsölanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,74	3,72	4,68
	0,75	3,70	4,67
	0,73	3,70	4,64
	0,74	3,74	4,64
	keine Angabe	3,67	4,62
Mittelwerte	0,74	3,71	4,65

Anhangstabelle 4: Bestimmung der POZ (zweiter Versuch)

1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	0,80	0,80
	0,79	
7	65,03	65,05
	65,06	
14	105,87	105,88
	105,88	
2. Rezeptur: Rindfleisch +10 % Speckanteil + 10 % Rapsölanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,18	1,19
	1,19	
7	6,61	6,61
	6,61	
14	9,85	9,86
	9,86	
3. Rezeptur: Rindfleisch +5 % Speckanteil + 15 % Rapsölanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,67	1,67
	1,67	
7	8,76	8,77
	8,77	
14	12,69	12,70
	12,70	
4. Rezeptur: Rindfleisch +20 % Rapsölanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	2,75	2,76
	2,76	
7	11,04	11,03
	11,02	
14	16,64	16,61
	16,57	

Anhangstabelle 5: Bestimmung der TBA (dritter Versuch)

TBA (mg MDA/kg Wurst)			
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,37	1,07	1,52
	0,33	1,02	1,54
	0,36	1,06	1,57
	0,34	1,05	1,55
	keine Angabe	1,01	1,55
Mittelwerte	0,35	1,04	1,55
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,30	0,47	0,62
	0,29	0,50	0,64
	0,30	0,48	0,62
	0,28	0,50	0,63
	keine Angabe	0,48	0,61
Mittelwerte	0,29	0,49	0,62
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,26	0,18	0,17
	0,25	0,19	0,18
	0,23	0,16	0,18
	0,26	0,17	0,17
	keine Angabe	0,18	0,17
Mittelwerte	0,25	0,16	0,17
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,25	0,26	0,20
	0,27	0,22	0,20
	0,26	0,25	0,20
	0,25	0,26	0,20
	keine Angabe	0,25	0,20
Mittelwerte	0,26	0,25	0,20

Anhangstabelle 6: Bestimmung der POZ (dritter Versuch)

1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	0,67	0,67
	0,66	
7	0,77	0,77
	0,76	
14	1,68	1,67
	1,66	
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	0,51	0,51
	0,51	
7	0,52	0,53
	0,53	
14	0,54	0,54
	0,54	
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	0,41	0,41
	0,40	
7	0,42	0,42
	0,41	
14	0,43	0,43
	0,43	
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	0,85	0,86
	0,86	
7	1,34	1,34
	1,33	
14	1,64	1,65
	1,65	

Anhangstabelle 7: Bestimmung der TBA (vierter Versuch)

TBA (mg MDA/kg Wurst)			
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Kochsalzanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,25	1,20	1,41
	0,22	1,17	1,39
	0,22	1,21	1,40
	0,23	1,20	1,39
	keine Angabe	1,19	1,40
Mittelwerte	0,23	1,19	1,40
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,23	0,32	0,46
	0,23	0,33	0,48
	0,21	0,32	0,46
	0,21	0,32	0,47
	keine Angabe	0,30	0,48
Mittelwerte	0,22	0,32	0,47
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,83	6,03	6,93
	0,81	6,02	6,92
	0,81	6,02	6,91
	0,81	6,04	6,93
	keine Angabe	6,04	6,93
Mittelwerte	0,82	6,03	6,92
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,19	0,14	0,28
	0,20	0,15	0,26
	0,19	0,14	0,26
	0,20	0,15	0,25
	keine Angabe	0,14	0,25
Mittelwerte	0,20	0,14	0,26

Anhangstabelle 8: Bestimmung der POZ (vierter Versuch)

1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Kochsalzanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,22	1,23
	1,23	
7	1,23	1,24
	1,24	
14	1,61	1,61
	1,61	
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,73	1,73
	1,73	
7	2,80	2,80
	2,79	
14	4,35	4,36
	4,36	
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	2,78	2,79
	2,80	
7	54,73	54,74
	54,74	
14	101,51	101,53
	101,55	
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,25	1,25
	1,24	
7	1,25	1,25
	1,25	
14	1,23	1,23
	1,23	

Anhangstabelle 9: Bestimmung der TBA (fünfter Versuch)

TBA (mg MDA/kg Wurst)			
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,48	2,70	3,18
	0,50	2,72	3,19
	0,50	2,70	3,18
	0,50	2,73	3,17
	keine Angabe	2,72	3,17
Mittelwerte	0,50	2,71	3,18
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,1 % Majorananteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,45	1,30	1,53
	0,46	1,28	1,55
	0,44	1,28	1,52
	0,46	1,30	1,55
	keine Angabe	1,31	1,55
Mittelwerte	0,45	1,29	1,54
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,2 % Majorananteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,46	0,58	1,26
	0,43	0,57	1,26
	0,46	0,59	1,26
	0,47	0,53	1,28
	keine Angabe	0,59	1,26
Mittelwerte	0,46	0,57	1,26
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 1 % Petersilienanteil			
	Tag 0	Tag 7	Tag 14
	0,88	1,26	0,71
	0,88	1,28	0,69
	0,89	1,30	0,69
	0,90	1,30	0,68
	keine Angabe	1,30	0,72
Mittelwerte	0,89	1,29	0,70

Anhangstabelle 10: Bestimmung der POZ (fünfter Versuch)

1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,38	1,38
	1,38	
7	2,66	2,66
	2,66	
14	5,37	5,37
	5,36	
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,1 % Majorananteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,36	1,36
	1,35	
7	3,26	3,27
	3,28	
14	6,95	6,96
	6,96	
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 0,2 % Majorananteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	1,36	1,36
	1,35	
7	1,96	1,96
	1,95	
14	2,54	2,54
	2,54	
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil + 1 % Petersilienanteil		
Tag	POZ	Mittelwerte
0	2,33	2,35
	2,36	
7	2,30	2,30
	2,29	
14	3,89	3,89
	3,89	

Anhangstabelle 11: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 1. Versuchs

TBA (mg MDA/kg Wurst)		
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
2,73	22,34	38,74
2. Rezeptur: Rindfleisch + 5 % Rapsölanteil + 15 % Speckanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
2,67	12,24	15,93

Anhangstabelle 12: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 2. Versuchs

TBA (mg MDA/kg Wurst)		
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Speckanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
5,32	35,51	40,88
2. Rezeptur: Rindfleisch +10 % Speckanteil + 10 % Rapsölanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
2,84	21,20	25,28
3. Rezeptur: Rindfleisch +5 % Speckanteil + 15 % Rapsölanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
3,52	21,96	26,31
4. Rezeptur: Rindfleisch +20 % Rapsölanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
4,92	24,65	30,90

Anhangstabelle 13: Bestimmung der TBA (bezogen auf Fett) des 4. Versuchs

TBA (mg MDA/kg Wurst)		
1. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Kochsalzanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
1,19	6,13	7,22
2. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Kochsalzanteil		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
1,21	1,76	2,58
3. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Schmalzanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
4,27	31,41	36,04
4. Rezeptur: Rindfleisch + 20 % Rapsölanteil + 2 % Nitritpökelsalzanteil + 0,5 g/kg Ascorbinsäure + 5 g/kg Phosphat		
Tag 0	Tag 7	Tag 14
1,21	0,85	1,58

10. Lebenslauf

Fanny C. Castaneda Rocha de Kopp

Berufserfahrung

05/2003-07/2003	Miami Dade College	Miami, USA
-----------------	--------------------	------------

Mathematik Tutor

08/2003-08/2005	Miami Dade College	Miami, USA
-----------------	--------------------	------------

Chemie Tutor

06/2004-04/2005	Miami Dade College	Miami, USA
-----------------	--------------------	------------

International Student Services Direktor Assistant

07/2011	LKH Knittelfeld	Steiermark
---------	-----------------	------------

Praktikum (Diätologie, Ernährungsberatung und Küche)

Ausbildung

1996-2000	Colegio de los Sagrados Corazones Belén	Lima, Peru
-----------	---	------------

High School

- Abschluss mit Auszeichnung, 2000

05/2002-04/2005	Miami Dade College	Miami, USA
-----------------	--------------------	------------

Pre-Medical Sciences - Associate in Arts Degree

- Dean's List (Dekansliste), 2002-2005
- Präsident der Phi Theta Kappa Internationalen Ehrenverbindung, 2004-2005
- Mitglied der Student Government Association, 2004-2005
- Chemie Preis, 2005
- Phi Theta Kappa Preis, 2005
- Abschluss mit Auszeichnung, 2005

08/2005-12/2007	University of South Florida	Tampa, USA
-----------------	-----------------------------	------------

Biologie (Hauptfach) und Public Health (Nebenfach) – Bachelor of Science

- Latin American and Caribbean Stipendium, 2005-2007
- Präsident der Mortar Board National Senior Ehrenverbindung, 2006
- Mitglied der Golden Key Internationalen Ehrenverbindung, 2006-2007
- Mitglied der College of Arts and Sciences Ehrenverbindung, 2006-2007
- Abschluss mit Auszeichnung (Magna Cum Laude), 2007

10/2009-08/2013	Universität Wien	Wien
-----------------	------------------	------

Ernährungswissenschaften (Lebensmittelqualität und –sicherheit) – Master of Science

Kenntnisse

- Fließend English, Spanisch und Deutsch. Gute Kenntnisse in Französisch.
- Microsoft Word, Power Point, Excel, Publisher, Outlook, Adobe Photoshop und IBM SPSS Statistics.