

Aus dem Institut für Ernährungswissenschaften

**„Untersuchungen zur Ermittlung des Einflusses
unterschiedlicher Dosierungen von DL- α -Tocopherylacetat
beim Mastschwein
auf die Qualität daraus gewonnener Lebensmittel“**

Der Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

als

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor agriculturarum (Dr. agr.)

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Chemie (FH)
Heiko Rosenbauer

geb. am 30.03.1969
in Coburg

Gutachter: Prof. Dr. habil. K. Eder
Prof. Dr. M. Rodehutschord
Prof. Dr. habil. G. Flachowsky
Dr. K.O. Honikel

Dekan: Prof. Dr. agr. habil. W. Merbach

Verteidigung am: 09.12.2002

Halle / Saale 2002

Für meine Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1 RADIKALE UND ANTIOXIDANTIEN	3
1.2 VITAMIN E	4
1.2.1 VORKOMMEN	5
1.2.2 CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN.....	5
1.2.3 STOFFWECHSELVORGÄNGE	7
1.2.3.1 Aufnahme, Transport, Speicherung und Ausscheidung.....	7
1.2.3.2 Wirkungsweise	10
1.2.4 VERSORGUNGSEMPFEHLUNGEN	12
1.2.5 HÖCHSTGRENZEN	14
1.3 ZIELSTELLUNG DER ARBEIT	15
2 MATERIAL UND METHODEN	18
2.1 MATERIAL	19
2.1.1 TIERE.....	19
2.1.2 FUTTER.....	19
2.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	21
2.2.1 AUFSTALLUNG UND FÜTTERUNG	21
2.2.2 SCHLACHTUNG.....	21
2.2.3 MEßPUNKTE UND PROBENAHMEN	21
2.2.4 HERSTELLUNG DER FLEISCHERZEUGNISSE	23
2.2.4.1 Kochschinken	24
2.2.4.2 Rohschinken.....	25
2.2.5 VERPACKUNG UND LAGERUNG	26
2.3 PRÜFFPARAMETER	26
2.4 PROBENAUFBEREITUNG	27
2.5 ANALYSEMETHODEN	28
2.5.1 ZUSAMMENSETZUNG DER FUTTERMISCHUNGEN	28
2.5.2 SCHLACHTLEISTUNG, SCHLACHTKÖRPERQUALITÄT UND ORGANMASSEN.....	29
2.5.3 WASSER-, EIWEIß-, FETT- UND ASCHEGEHALT IM RÜCKENMUSKEL	29
2.5.4 FETTSÄURENMUSTER IM INTRAMUSKULÄREN FETT UND IM RÜCKENSPECK	30
2.5.5 α -TOCOPHEROL-GEHALT IN LEBER, MUSKEL, FETT UND SCHINKEN	32

2.5.6	SEKUNDÄRE LIPIDOXIDATIONSPRODUKTE (TBARS) IN MUSKEL, FETT UND SCHINKEN	33
2.5.7	SENSORISCHE PRÜFUNG DER KOTELETT-PROBEN	34
2.5.8	SENSORISCHE PRÜFUNG VON SCHINKEN	35
2.6	STATISTISCHE AUSWERTUNG	36
3	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	37
3.1	VERSUCHSVERLAUF, MAST- UND SCHLACHTLEISTUNGSDATEN	37
3.1.1	VERSUCHSVERLAUF	37
3.1.2	FUTTERAUFNAHME	38
3.1.3	LEBENDMASSEZUNAHME	39
3.1.4	FUTTERAUFWAND	39
3.1.5	SCHLACHTKÖRPERQUALITÄT	40
3.1.6	DISKUSSION	41
3.2	CHEMISCHE UND SENSORISCHE EIGENSCHAFTEN VON KOTELETT UND LEBER.....	45
3.2.1	WASSER-, EIWEIß-, FETT- UND ASCHEGEHALT IM RÜCKENMUSKEL	45
3.2.2	FETTSÄURENMUSTER	46
3.2.2.1	Rückenmuskel	47
3.2.2.2	Rückenspeck	48
3.2.2.3	Diskussion	49
3.2.3	α -TOCOPHEROL-GEHALT	51
3.2.3.1	Rückenmuskel	51
3.2.3.2	Rückenspeck	52
3.2.3.3	Leber	54
3.2.3.4	Diskussion	55
3.2.4	SEKUNDÄRE LIPIDOXIDATIONSPRODUKTE (TBARS).....	62
3.2.4.1	Rückenmuskel	62
3.2.4.2	Rückenspeck	65
3.2.4.3	Diskussion	67
3.2.5	SENSORISCHE PRÜFUNG	72
3.3	CHEMISCHE UND SENSORISCHE EIGENSCHAFTEN VON KOCHSCHINKEN	74
3.3.1	α -TOCOPHEROL-GEHALT	75
3.3.2	SEKUNDÄRE LIPIDOXIDATIONSPRODUKTE (TBARS).....	76
3.3.3	SENSORISCHE PRÜFUNG	76
3.3.4	DISKUSSION.....	78

3.4	CHEMISCHE UND SENSORISCHE EIGENSCHAFTEN VON ROHSCHINKEN	86
3.4.1	α -TOCOPHEROL-GEHALT	86
3.4.1.1	Muskelgewebe.....	86
3.4.1.2	Fettgewebe	87
3.4.2	SEKUNDÄRE LIPIDOXIDATIONSPRODUKTE (TBARS).....	88
3.4.2.1	Muskelgewebe.....	88
3.4.2.2	Fettgewebe	89
3.4.3	SENSORISCHE PRÜFUNG	89
3.4.4	DISKUSSION.....	91
4	SCHLUßFOLGERUNG	100
5	ZUSAMMENFASSUNG	102
6	SUMMARY	105
7	LITERATURVERZEICHNIS	108
8	ANHANG.....	127

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 1: Stereoisomere (4 Racemate) des synthetischen Vitamin E (DL- α -Tocopherol) und ihre biologische Aktivität	6
Tabelle 2: Relative Affinität [%] von Vitamin E-wirksamen Verbindungen zum α -Tocopherol-Transport-Protein	10
Tabelle 3: Gehalt an D- α -Tocopherol in einigen Futtermitteln	13
Tabelle 4: Behandlungseffekte in Abhängigkeit von Dauer und Höhe der Vitamin E-Zulagen im Futter von Mastschweinen (Literaturübersicht)	17
Tabelle 5: Versuchsplan	18
Tabelle 6: Zusammensetzung der lufttrockenen Futtermischungen	20
Tabelle 7: DL- α -Tocopherylacetat-Gehalt der lufttrockenen Futtermischungen	20
Tabelle 8: Reifungsprogramm für Rohschinken	26
Tabelle 9: Parameter der Lagerung und Verpackung	26
Tabelle 10: Prüfparameter	27
Tabelle 11: Bedingungen bei der Bestimmung der Fettsäuremethylester mittels GC	31
Tabelle 12: Bedingungen bei der Bestimmung von α -Tocopherol mittels HPLC	32
Tabelle 13: Sensorische Bewertung der Schinken in Anlehnung an das DLG-Prüfschema	36
Tabelle 14: Mastdauer in Tagen	38
Tabelle 15: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf die Futteraufnahme und die Vitamin E-Aufnahme	38
Tabelle 16: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf die Wachstumsleistung im Versuchsverlauf	39
Tabelle 17: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf den Futteraufwand für den Zuwachs	40
Tabelle 18: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf Meßgrößen der Schlachtkörper	41

Tabelle 19:	Mastleistung von Börgen der Herkunft Deutsche PIC (n=71, LZ HAUS DÜSSE 1999) im Vergleich zu eigenen Ergebnissen	42
Tabelle 20:	Wasser-, Eiweiß-, Fett- und Aschegehalt im Rückenmuskel [g/100 g]	46
Tabelle 21:	Fettsäurenmuster im Rückenmuskel [g/100 g FS]	48
Tabelle 22:	Fettsäurenmuster im Rückenspeck [g/100 g FS]	49
Tabelle 23:	α -Tocopherol-Gehalt im Rückenmuskel [μ g/g FM] im Verlauf der Kühllagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)	51
Tabelle 24:	α -Tocopherol-Gehalt im Rückenmuskel [μ g/g FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)	52
Tabelle 25:	α -Tocopherol-Gehalt im Rückenspeck [μ g/g FM] im Verlauf der Kühllagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)	53
Tabelle 26:	α -Tocopherol-Gehalt im Rückenspeck [μ g/g FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)	54
Tabelle 27:	α -Tocopherol-Gehalt in der Leber [μ g/g FM]	54
Tabelle 28:	α -Tocopherol-Konzentration im <i>M. longissimus dorsi</i> bei Schweinen in Abhängigkeit vom α -Tocopherylacetat-Gehalt im Futter (Literaturübersicht)	58
Tabelle 29:	TBARS-Gehalt im Rückenmuskel [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Kühllagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)	63
Tabelle 30:	TBARS-Gehalt im Rückenmuskel [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)	65
Tabelle 31:	TBARS-Gehalt im Rückenspeck [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Kühllagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)	65
Tabelle 32:	TBARS-Gehalt im Rückenspeck [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)	67
Tabelle 33:	Lipidoxidation im Rückenmuskel und -speck in Abhängigkeit vom Tocopherolgehalt und den Lagerbedingungen (Literaturübersicht)	68
Tabelle 34:	Ergebnisse der sensorischen Prüfung von gegrillten Koteletts nach 10 Wochen Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel, % der Maximalbewertung)	72
Tabelle 35:	α -Tocopherol-Gehalt im Kochschinken [μ g/g FM] nach der Herstellung und nach der Kühllagerung (+4 °C, Vakuum, dunkel)	75

Tabelle 36:	TBARS-Gehalt im Kochschinken [mg MDA/kg FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+4 °C, Vakuum, dunkel)	76
Tabelle 37:	Ergebnisse der sensorischen Prüfung von Kochschinken nach 14-tägiger Kühlung (+4 °C, Vakuum, dunkel, % der Maximalbewertung)	77
Tabelle 38:	α -Tocopherol-Gehalt im Muskelgewebe von Rohschinken [μ g/g FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)	87
Tabelle 39:	α -Tocopherol-Gehalt im Fettgewebe von Rohschinken [μ g/g FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)	88
Tabelle 40:	TBARS-Gehalt im Muskelgewebe von Rohschinken [mg MDA/kg FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)	89
Tabelle 41:	TBARS-Gehalt im Fettgewebe von Rohschinken [mg MDA/kg FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)	89
Tabelle 42:	Ergebnisse der sensorischen Prüfung von Rohschinken nach 12 Wochen Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel, % der Maximalbewertung)	91

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1: α -Tocopherol-Gehalt in der Leber in Abhängigkeit von der täglich aufgenommenen Menge DL- α -Tocopherylacetat (lineare Regression)	55
Abbildung 2: TBARS-Verlaufskurven im Rückenmuskel in Abhängigkeit von der Dauer der Kühlung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel), (dargestellt sind die Mittelwerte für jede Regressionskurve)	64
Abbildung 3: TBARS-Verlaufskurven im Rückenspeck in Abhängigkeit von der Dauer der Kühlung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel), (dargestellt sind die Mittelwerte für jede Regressionskurve)	66

BEGRIFFSDEFINITIONEN

Der Ausdruck "Fleisch" bezeichnet im Folgenden die Skelettmuskulatur von Schlachttieren mit anhaftendem oder eingelagertem Fett- und Bindegewebe, aber ohne Schwarte.

Die Bezeichnung "Kotelett" steht für die Rückenmuskulatur mit Speckauflage, aber ohne Knochen und Schwarte.

"Vitamin E" wird als Oberbegriff verwendet. Im Zusammenhang mit der Supplementation des Futters bezeichnet der Ausdruck "Vitamin E" die Verbindung DL- α -Tocopherylacetat. In allen anderen Fällen wird die Substanz D- α -Tocopherol als Vitamin E bezeichnet.

Unter der Bezeichnung "Gehalt" ist der Massenanteil bzw. das Gewichtsverhältnis zu verstehen, z.B. $\mu\text{g/g}$ oder mg/kg .

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Kurzform	Bedeutung
α -CEHC	2,5,7,8-tetramethyl-2(2'-carboxyethyl)-6-hydroxychroman
α -TAC	DL- α -Tocopherylacetat (= all-rac- α -Tocopherylacetat)
α -TOH	D- α -Tocopherol (= RRR- α -Tocopherol)
α -TTP	α -Tocopherol Transport Protein
A, B, C, D, a, b, c, d	Buchstaben zur Kennzeichnung eines signifikanten Unterschiedes von Mittelwerten
Abs	Absorption
BHT	Butylhydroxytoluol (2,6-Di-tert-butyl-p-cresol)
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff(atom)
CM	Chylomikronen
d	Tag
d.h.	das heißt
dest.	destilliert
DFD	Dark Firm Dry
DHL	Dihydroliponsäure
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
EtOH	Ethanol
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FID	Flammen-Ionisations-Detektor
FM	Frischmasse
FS	Fettsäure
GC	Gaschromatographie
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GSH	Glutathion
h	Stunde
H ₂ O	Wasser
HDL	High Density Lipoprotein
HPLC	Hochdruckflüssigkeitschromatographie
i.D.	innerer Durchmesser
IU	International Unit (Internationale Einheit)
k.A.	keine Angabe
KOH	Kaliumhydroxid
LDL	Low Density Lipoprotein
LM	Lebendmasse
LMZ	Lebendmassezunahme
<i>M.</i>	<i>Musculus</i>
max.	maximal
MDA	Malondialdehyd
MeOH	Methanol
min	Minute
<i>M. long. dorsi,</i> <i>M. ld</i>	<i>Musculus longissimus dorsi</i>
mon	Monat
n	Anzahl

Kurzform	Bedeutung
n.s.	nicht signifikant
N ₂	Stickstoff
Na ₂ SO ₄	Natriumsulfat
NaCl	Natriumchlorid
NaOH	Natriumhydroxid
NIT	Nah-Infrarot-Transmission
NPS	Nitritpökelsalz
NRC	National Research Council
o.g.	oben genannt
OH	Hydroxyl(gruppe)
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
pH ₂₄	pH-Wert 24 Stunden nach der Tötung
pH ₄₅	pH-Wert 45 Minuten nach der Tötung
Pi x DL	Kreuzung aus Pietrain und Deutsche Landrasse
p.m.	post mortem (nach der Tötung)
PE	Polyethylen
PIC	Pig Improvement Company
PPCO	Polypropylen Copolymer
ppm	parts per million
PSE	Pale Soft Exudative
R	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
rLF	relative Luftfeuchtigkeit
s	Sekunde
s.	siehe
S.	Seite
s.o.	siehe oben
TAc	Tocopherylacetat
tägl.	täglich
TBA	2-Thiobarbituric acid (2-Thiobarbitursäure)
TBARS	Thiobarbituric acid reactive substances
TCE	Trichloressigsäure
TÄ	D- α -Tocopherol-Äquivalent
TEP	Tetraethoxypropan
TOH	Tocopherol
U	Umdrehungen
v.a.	vor allem
v/v	Verhältnis Volumen zu Volumen
VDLUFA	Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten
vgl.	vergleiche
VLDL	Very Low Density Lipoprotein
w	Woche
w/v	Verhältnis Gewicht zu Volumen (=Konzentration)
w/w	Verhältnis Gewicht zu Gewicht (=Gehalt)
z.A.	zur Analyse

1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In der Forschung hinsichtlich der Ernährung von Mensch und Tier spielt Vitamin E schon lange eine wichtige Rolle. Dieser essentielle Nährstoff wurde 1922 von EVANS & BISHOP als eine fettlösliche Substanz identifiziert, die als Zusatz im Futter bei tragenden Ratten den Fruchttod und die Resorption verhindern kann. Aufgrund dieser Wirkung war das Vitamin E zunächst als Fruchtbarkeitsfaktor bekannt. Die Bezeichnung Tocopherol leitet sich von den griechischen Worten "tokos" (= Kindsg Geburt) und "phero" (= voran bringen) ab. Mit der Silbe "ol" wird auf die Alkoholform des Moleküls hingewiesen.

Schon früh zeigte sich, daß bei Nutztieren durch Vitamin E-Zulagen zum Futter Mangelerscheinungen verhindert werden konnten. In der Schweinemast werden entsprechend den deutschen Empfehlungen Vitamin E-Zusätze von 10 mg/kg Futter als bedarfsdeckend angesehen. Es ist aber bekannt, daß Vitamin E eines der wichtigsten Antioxidantien im Organismus ist. Dabei sind verschiedene Versuche vorhanden, in denen der Vitamin E-Zusatz in der Größenordnung von 100-200 mg/kg Futter lag. Darüber hinaus haben Untersuchungen Hinweise gegeben, daß eine Vitamin-Versorgung, die weit den tatsächlichen Bedarf übersteigt, positive Einflüsse auf die Tiergesundheit ausüben kann (HOPPE et al. 1989, CHEW 1995). Nachdem industrielle Herstellungsverfahren es ermöglicht haben, Vitamin E-Präparate kostengünstig zu erzeugen, scheint es aus ökonomischer Sicht möglich, in der Ernährung von Tieren den Bedarf übersteigende Vitamin E-Mengen einzusetzen.

Im Bereich der Humanernährung verlief die Forschungsarbeit ähnlich. Durch Verabreichung steigender Dosen Vitamin E konnte der Verlauf von Erkrankungen im Zusammenhang mit oxidativen Schädigungen, z.B. kardiovaskuläre Erkrankungen und die Alzheimer-Krankheit (VATASSERY et al. 1999) positiv beeinflusst werden. Unlängst wurde entdeckt, daß Vitamin E Tumorzellen verschiedener Krebserkrankungen zerstören kann (ROSE & MCFADDEN 2001). Dieser Bereich bildet momentan den Schwerpunkt in der das Vitamin E betreffenden Forschung.

Tocopherole sind auch als Antioxidantien bekannt, die einen positiven Einfluß auf die Qualität tierischer Lebensmittel ausüben können (SMITH et al. 1994, FLACHOWSKY et al. 1997a).

In der Lipidoxidation wird eine Hauptursache für den Wertverlust bei der Lagerung von Fleisch gesehen. Beim Abbau der Lipidhydroperoxide entstehen Aldehyde, Ketone und andere kurzkettige Komponenten, die sich negativ auf den Geruch und Geschmack auswirken (SMITH et al. 1994, PFALZGRAF et al. 1995a). Neben dem Aroma hat die Lipidoxidation auch auf Farbe, Textur und den Nährwert von Fleisch negative Auswirkungen (SMITH et al. 1994, BUCKLEY et al. 1995).

Vitamin E kann in seiner Funktion als Radikalfänger die Fleischqualität mannigfaltig beeinflussen. Durch den Schutz der freien und in den Triglyceriden gebundenen Fettsäuren vor Oxidation wird die Entwicklung von Ranzigkeit verzögert. Fehleraromen, wie der Aufwärmgeschmack, der durch die Oxidationsprodukte von mehrfach ungesättigten Fettsäuren hervorgerufen wird, treten in Fleisch mit erhöhtem Tocopherolgehalt seltener auf. Vor allem bei Rindfleisch ist die verlangsamte Oxidation des Farbstoffs Myoglobin von Bedeutung. Wichtige Nährstoffe, wie Proteine und Vitamine werden vor Oxidation geschützt und behalten ihre Funktion. Auch die mehrfach ungesättigten Fettsäuren der subzellulären und der zellulären Membranen werden geschützt. Vitamin E verzögert so die Beschädigung der Membranen von Muskelzellen und den damit verbundenen Austritt von Zellsaft (ASGHAR et al. 1991a, MONAHAN et al. 1994) sowie die Entstehung freier Radikale. Durch den verringerten Saftverlust kann sich die Zartheit und Saftigkeit im Fleisch verbessern.

Es ist daher naheliegend Fleisch über die Supplementation des Futters mit Vitamin E anzureichern, da auf diesem Weg Tocopherol in die Zellmembranen eingebaut werden kann. Darum ist Vitamin E, das dem Fleisch erst bei der Bearbeitung zugesetzt wird, weniger wirksam als endogenes.

Bisher ist nicht bekannt, ob Vitamin E-Gaben von mehr als 200 mg je kg Futter, die weit oberhalb aktueller Versorgungsempfehlungen liegen, einen zusätzlichen positiven Einfluß auf die Qualität tierischer Lebensmittel nehmen. Widersprüchliche Angaben bestehen darüber, in welchem Zeitraum während der Mast Vitamin E verabreicht werden sollte (BUCKLEY et al. 1989, MONAHAN et al. 1990, MORRISSEY et al. 1996, WEN et al. 1997).

Weiterhin ist unklar, ob die Schutzwirkung des α -Tocopherols auch in Fleischerzeugnissen mit bestimmtem Verarbeitungsgrad zum Tragen kommt. Beim Zerkleinern werden Zellmembranen zerstört und dabei können Fettsäureradikale gebildet werden. Durch Erhitzungsvorgänge setzt das Myoglobin und andere eisenhaltige Proteine katalytisch wirksames Eisen frei. Die stark vergrößerte Oberfläche und der Sauer-

stoffeintrag erhöhen den Oxidationsdruck im Fleischerzeugnis zusätzlich. Neben dem Herstellungsverfahren ist vor allem die Rezeptur (z.B. Nitritpökelsalz und Gewürze) von großer Bedeutung für die oxidative Stabilität von Fleischerzeugnissen. Es ist zu klären, inwiefern diese beiden Faktoren die antioxidative Wirkung des α -Tocopherols synergistisch oder antagonistisch beeinflussen. Fleischerzeugnisse werden anders gelagert als frisches Fleisch und erfordern daher andere Schutzmaßnahmen. Die erwähnten Einflußgrößen werfen die Frage auf, ob die vorhandenen Versorgungsempfehlungen für Vitamin E bei Fleisch liefernden Tieren den veränderten Ansprüchen in Fleischerzeugnissen genügen.

Der Einfluß von sehr hohen Vitamin E-Gaben über einen kurzen Zeitraum im Vergleich zu einer langzeitigen Vitaminsupplementation auf die Qualität tierischer Lebensmittel ist entweder ungeklärt oder nur in Teilaspekten untersucht. Die vorliegende Arbeit sollte deshalb mögliche Auswirkungen von Vitamin E-Zulagen, die in der Höhe und der Dauer variieren, auf die Qualität von Fleisch und -erzeugnissen quantifizieren.

1.1 RADIKALE UND ANTIOXIDANTIEN

Im lebenden Organismus werden ständig Radikale und reaktive Sauerstoffverbindungen gebildet. Sie fallen bei vielen Stoffwechselfvorgängen als Zwischenprodukte an. Ihre Reaktivität läßt sich an der kurzen Halbwertszeit erkennen, die zwischen 1 ns und 10 s liegt (PRYOR 1986). In einem gesunden Organismus schützt ein System verschiedener Antioxidantien den Körper vor oxidativen Schäden. Zu Ihnen zählen die Enzyme Superoxid-Dismutase, Katalase und Glutathion-Peroxidase, die Vitamine C und E, Carotinoide, α -Liponsäure und Flavonoide. Bereits im lebenden Organismus können die Radikale aufgrund von Umwelteinflüssen, falscher Ernährung, ungesunder Lebensweise und anderen Faktoren den antioxidativen Schutz überwinden. Mit dem Erliegen der Blutzirkulation nach der Schlachtung wird die Zufuhr an essentiellen Vitaminen unterbrochen und dadurch das Schutzsystem im Körper von Nutztieren geschwächt. Das Gleichgewicht zwischen Radikalen und Antioxidantien verschiebt sich zugunsten der reaktiven Verbindungen, die in der Folge oxidative Schädigungen verursachen.

Freie Radikale greifen alle Zellbestandteile an, auch die DNA und Proteine. Besonders anfällig sind die mehrfach ungesättigten Fettsäuren in den Membranen von Zellen und Organellen, wodurch funktionelle Schäden bis zur Entartung und Zerstörung der Zelle auftreten können. Weiterhin können Enzyme und andere Proteine inaktiviert werden. Das fettlösliche Vitamin E wird in die Membranen eingebaut und wirkt dort als Radikalfänger, während die wasserlöslichen Antioxidantien außerhalb der Zellmembranen wirken. Tocopherol bietet daher den besten Schutz vor Lipidoxidation in der Zelle.

1.2 VITAMIN E

Unter dem Oberbegriff Vitamin E sind alle Substanzen zusammengefaßt, die die gleichgerichtete biologische Wirkung haben wie D- α -Tocopherol. Es existieren acht natürliche Verbindungen mit Vitamin E-Aktivität (Anhang 1). Die Acetate und Succinate der natürlichen Tocopherole besitzen ebenso wie die synthetischen Tocopherole und deren Ester Vitamin E-Aktivität. Mit ca. 90 % trägt D- α -Tocopherol den Hauptanteil der Vitamin E-Aktivität in den Geweben bei (COHN 1993).

Die Vitamin E-Aktivität wurde im Fertilitätstest an Ratten bestimmt (WEISER & VECCHI 1982). Sie beruht auf der Bioverfügbarkeit der Vitamin E-wirksamen Verbindung. Diese hängt ab von der chemischen Struktur des Vitamers, von der Fettsäurezusammensetzung der Nahrung und deren Gehalt an Synergisten bzw. Antagonisten, von der Dosierungshöhe, der Applikationsform und der galenischen Präparation (KÖNIG & ELMADFA 1995).

Unter den Vitamin E-wirksamen Verbindungen hat D- α -Tocopherol die höchste Bioverfügbarkeit und ist deshalb als Vitamin E-Standard festgelegt worden, an dem alle anderen Verbindungen gemessen werden. Zur Standardisierung der Aktivität der verschiedenen Tocopherole wird der Ausdruck mg D- α -Tocopherol-Äquivalente (= mg TÄ) verwendet. Es gilt:

1,00 mg D- α -Tocopherol-Äquivalent =

1,00 mg D- α -Tocopherol =

1,49 mg DL- α -Tocopherylacetat =

1,49 IU Vitamin E.

Die Berechnung der D- α -Tocopherol-Äquivalente erfolgt nach BENDER (1992) mit folgender Formel:

$$\begin{aligned}
 & 1,0 \cdot \text{mg } \alpha\text{-Tocopherol} \\
 & + 0,5 \cdot \text{mg } \beta\text{-Tocopherol} \\
 & + 0,1 \cdot \text{mg } \gamma\text{-Tocopherol} \\
 & + \underline{0,3 \cdot \text{mg } \alpha\text{-Tocotrienol}} \\
 & = \text{mg D-}\alpha\text{-Tocopherol-Äquivalent}
 \end{aligned}$$

Die anderen vier Vitamin E-Verbindungen kommen in zu vernachlässigender Menge vor und haben nur eine geringe Vitamin E-Aktivität (BENDER 1992).

1.2.1 Vorkommen

Natürliche Tocopherole werden v.a. von Ölpflanzen in größeren Mengen gebildet, wobei die Biosynthese und Speicherung in den Samen der Pflanzen erfolgt. Sie dienen dem Schutz der ungesättigten Fette und Öle vor dem Ranzigwerden. Eine Übersicht über den Tocopherolgehalt in Pflanzenölen findet sich bei BELITZ & GROSCH (1992). In der Natur liegen die Tocopherole in der RRR-Konfiguration vor (Anhang 1). Neben D- α -Tocopherol und weiteren Homologen wird vor allem D- γ -Tocopherol synthetisiert (ELMADFA & WAGNER 1997).

Pflanzliche Öle, Nüsse sowie Getreidesamen (Tabelle 3) sind natürliche Vitamin E-Quellen. Tierische Lebensmittel enthalten wenig Vitamin E. Es stammt ausschließlich aus dem Futter, welches das Tier aufgenommen hat.

1.2.2 Chemische Eigenschaften

Unter der Bezeichnung Vitamin E sind alle Tocopherole und Tocotrienole zusammengefaßt, die mindestens einen Methylsubstituenten am aromatischen Kern tragen (Anhang 1). Die Grundstruktur ist das 2-Methylchroman-6-ol. Am C2-Atom des Chromanolrings hängt eine isoprenoide C16-Seitenkette mit Methylgruppen in den Positionen C4', C8' und C12'. Im Fall der Tocopherole ist die Seitenkette gesättigt; die der Tocotrienole ist an den Stellen C3', C7' und C11' ungesättigt. Die Vitamere unterscheiden sich durch Anzahl und Stellung der Methylgruppen am aromatischen Ring.

Jedes Tocopherol-Homologe besitzt drei Chiralitätszentren an den Positionen C2 sowie C4' und C8' in der Seitenkette. Daher kommen bei α -Tocopherol wie bei den anderen Homologen 8 Stereoisomere vor, die alle Vitamin E-Aktivität besitzen (Tabelle 1).

In natürlichen Vorkommen liegen die Tocopherole in der RRR-Konfiguration vor. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei dem synthetischen Produkt DL- α -Tocopherol (= all-rac- α -Tocopherol) um ein äquimolares Gemisch der 8 α -Tocopherol-Isomere in S- und gemischter R,S-Konfiguration (PIIRONEN et al. 1991). Die Synthese erfolgt großtechnisch aus Trimethylhydrochinon und Isophytol.

Tabelle 1: Stereoisomere (4 Racemate) des synthetischen Vitamin E (DL- α -Tocopherol) und ihre biologische Aktivität

Bezeichnung	*Aktivität in 1 mg	
	D- α -Tocopherol-Äquivalente	IU Vitamin E
RRR- α -Tocopherol (= D- α -Tocopherol)	1,00	1,49
SSS- α -Tocopherol	0,60	1,10
RRS- α -Tocopherol	0,90	1,34
SSR- α -Tocopherol	0,21	0,31
RSS- α -Tocopherol	0,73	1,09
SRR- α -Tocopherol (= L- α -Tocopherol)	0,31	0,46
RSR- α -Tocopherol	0,57	0,85
SRS- α -Tocopherol	0,37	0,55

*im Fertilitätstest an Ratten ermittelt (WEISER & VECCI 1982)

Abhängig von der Anzahl und der Verteilung der Methylgruppen am aromatischen Kern variiert die biologische Aktivität der Tocopherole. Diese beruht auf unterschiedlichen Absorptionsraten, ermittelt im Fertilitätstest an der Ratte. Sie wird mit abnehmender Zahl der Substituenten in der Reihenfolge α , β , γ , δ geringer (vgl. Anhang 1) da die Homologen schlechter absorbiert werden.

Die Wirksamkeit als Antioxidans in vitro wird durch die phenolische Hydroxylgruppe am aromatischen Ring bestimmt. Sie nimmt in der Reihenfolge α , β , γ , δ zu und verhält sich damit umgekehrt zur biologischen Aktivität und zur Geschwindigkeit der Reaktion mit Peroxyradikalen (BELITZ & GROSCH 1992).

Den Transport und den räumlichen Einbau in die Membranlipide steuert die lipophile Seitenkette. Um die Hydroxylgruppe vor Oxidation zu schützen kann sie z.B. mit Essig- oder Bernsteinsäure verestert werden. Die Hydrolyse zum freien Vitamin erfolgt

während der Magen-Darm-Passage. BAKALOVA et al. (2000) konnten an verschiedenen Geweben von Ratten zeigen, daß D- α -Tocopherol und dessen Essigsäureester die Lipidoxidation gleich stark verzögern. Sie folgerten daraus, daß die Hydrolyse der Ester von α -Tocopherol (α -TOH) nicht limitierend ist für deren antioxidative Wirksamkeit.

BURTON et al. (1998) haben die Aktivität der Acetate von natürlichem (D- α -Tocopherol) und synthetischem Vitamin E (DL- α -Tocopherol) nach oraler Verabreichung an den Menschen miteinander verglichen. In mehreren Versuchen zeigte sich, daß die natürliche Form, aufgrund der besseren Absorbierbarkeit, eine ca. zweimal höhere Aktivität hat als die synthetische. Aus Fertilitätsversuchen mit Ratten war bisher ein Verhältnis von 1,36:1 allgemein akzeptiert. In einer Studie mit abgesetzten Ferkeln stellten CHUNG et al. (1992) fest, daß D- α -Tocopherol die 2,4-fache Bioverfügbarkeit hatte im Vergleich zu DL- α -Tocopherylacetat (α -TAc). ENGBERG et al. (1993) ergänzten das Futter von Schweinen mit 3,2 mg, 32 mg und 320 mg D- α -TAc/kg Futter im Vergleich zu Futter mit der jeweils dreifachen Konzentration an DL- α -TAc (9,1 mg, 91 mg und 910 mg/kg). Obwohl der Gehalt an D- α -TAc im Futter nur ein Drittel dessen an DL- α -TAc betrug, konnten beide Präparate die gleiche abgestufte D- α -TOH-Konzentration im Plasma und im Rückenspeck hervorrufen.

Alle diese Versuche zeigen, daß die Wirksamkeit verschiedener Vitamin E-Präparate (Anhang 2), abhängig von der Spezies, sehr unterschiedlich ausfallen kann und genauerer Untersuchung bedarf. Aus einer steigenden Zahl von Publikationen kristallisiert sich heraus, daß das natürliche D- α -Tocopherol gegenüber dem synthetischen DL- α -Tocopherol eine wesentlich höhere biologische Aktivität besitzt.

1.2.3 Stoffwechselfvorgänge

1.2.3.1 Aufnahme, Transport, Speicherung und Ausscheidung

Da Vitamin E in Wasser nahezu unlöslich ist, hängt die Absorption von der Menge und der Zusammensetzung gleichzeitig aufgenommener Nahrungsfette ab (COHN 1993). Der Stoffwechsel der Tocopherole und Tocotrienole ist stark an den der Fette gekoppelt (Anhang 3). Die Resorption erfolgt im Dünndarm und beträgt zwischen 20 und 40 % der aufgenommenen Vitamin E-Menge (BENDER 1992), während über die Faeces 60-80 % ungenutzt ausgeschieden werden. Mit steigender Vitamin E-Zulage

erhöht sich die über die Faeces ausgeschiedene Menge. Bei unphysiologisch hohen Dosen (beim Menschen: > 100 mg α -TOH/d) ist die Absorptionsrate von Vitamin E umgekehrt proportional zur Dosierung (ELMADFA & BOSSE 1985).

Im Dünndarm bilden amphiphile Gallensäuren zusammen mit Phospholipiden und β -Monoglyceriden Mischmizellen. In deren lipophilen Kern werden wasserunlösliche Substanzen, wie Triglyceride, Cholesterol und die fettlöslichen Vitamine eingeschlossen. Die äußere Mizellenoberfläche wird dagegen durch die umgebende Wasserphase hydratisiert. Aus dem wäßrigen Milieu erfolgt die Aufnahme in die intestinalen Mukosazellen. Die einzelnen Vitamere des Vitamin E werden zum Großteil in unveränderter Form, d.h. als Tocopherole bzw. Tocotrienole und mit vergleichbarer Absorptionsrate (KÖNIG & ELMADFA 1995) in die Mukosazelle aufgenommen (HOLLANDER 1981). Tocopherylester hingegen werden vor der Absorption durch eine pankreatische Carboxyl-Hydrolase gespalten. Geringe Mengen der Tocopherylester werden jedoch auch unverändert in die Mukosazelle aufgenommen und dort durch eine mukosale oder intrazelluläre Esterase gespalten (MATHIAS et al. 1981).

In den Enterozyten wird Vitamin E zusammen mit anderen Lipiden und mit Apolipoproteinen zu Lipoproteinen, wie z. B. den Chylomikronen zusammengesetzt. Von der Lymphe werden die Lipoproteine dem Blutkreislauf zugeführt. Damit gelangt der überwiegende Teil des Vitamin E aus der Nahrung vorerst in die Leber (COHN 1993).

Dort sortiert das hochspezifische α -Tocopherol-Transport-Protein (α -TTP) aus allen ankommenden Tocopherolen das D- α -Tocopherol für den Einbau in die Very Low Density Lipoproteine (VLDL) aus (TRABER et al. 1992, KAYDEN & TRABER 1993). Für γ -Tocopherol und L- α -Tocopherol wurden kleinere Inkorporationsraten beobachtet. Die Lipoprotein-Lipase katabolisiert die VLDL (COHN 1993). Dabei geht das D- α -Tocopherol auf die High Density Lipoproteine (HDL) und Low Density Lipoproteine (LDL) über. BIERI et al. (1983) fanden beim Menschen folgende Verteilung des D- α -Tocopherols im Blut: Der Großteil (65 %) war an LDL gebunden, 24 % an HDL und 8 % an VLDL. Im menschlichen Serum hat D- α -Tocopherol einen Anteil von ca. 87 % an der gesamten Tocopherol-Konzentration (GONZALEZ 1990).

Aus den LDL, für die in den Zellen Rezeptoren mit hoher Affinität existieren, erfolgt die Aufnahme von D- α -Tocopherol in die Zellen (GONZALEZ 1990). Die Häufigkeit dieser Rezeptoren in bestimmten Körpergeweben legt fest, wieviel Tocopherol das

Zielgewebe aufnehmen kann (COMBS 1999). In den Muskelzellen wird D- α -Tocopherol hauptsächlich in den Membranen der Mitochondrien und Mikrosomen gespeichert, wo es auch seine Hauptwirkung als Membranstabilisator und Oxidationsschutz ausübt. Die Gewebeskonzentration verhält sich hierbei proportional zum Logarithmus der Plasmakonzentration. Dies gilt nicht für das Fettgewebe, das kontinuierlich α -Tocopherol akkumuliert. Gemeinsam mit dem Fettgewebe weist die Leber (Zwischenspeicherung in den Parenchymzellen) die höchste Speicherfähigkeit auf (KÖNIG & ELMADFA 1995).

ASGHAR et al. (1991a) fanden auf der subzellulären Ebene den höchsten Vitamin E-Gehalt in den Mitochondrien, gefolgt von den Mikrosomen. Im Gegensatz zu KÖNIG & ELMADFA (1995) war bei ihnen die Einlagerung von Vitamin E in die Zellbestandteile bis zu 200 mg/kg Zulage zum Futter linear. Sie schlossen daraus, daß der Vitamin E-Gehalt in den subzellulären Membranen relativ dynamisch auf die unterschiedliche Versorgung reagieren kann.

Der Gehalt an D- α -Tocopherol im Plasma gilt als geeigneter Indikator für die momentane Versorgung des Körpers mit Vitamin E aus der Nahrung. Um den Tocopherolgehalt im Plasma zu verdoppeln, muß die Vitamin E-Aufnahme ungefähr verzehnfacht werden (BIERI et al. 1983). Überschüssiges D- α -Tocopherol wird in der Leber zum Hauptmetabolit 2,5,7,8-tetramethyl-2(2'-carboxyethyl)-6-hydroxychroman (α -CEHC) abgebaut (BRIGELIUS & TRABER 1999, SCHUELKE et al. 2000). Die Ausscheidung über den Urin beginnt, sobald der Schwellenwert von 3-4 mg α -TOH / g Lipid überschritten wird (SCHULTZ et al. 1995). L- α -Tocopherol wird in der Leber schnell metabolisiert und ebenfalls als α -CEHC mit dem Urin ausgeschieden (KANeko et al. 2000). Die Homologen γ - und δ -Tocopherol werden fast vollständig zum entsprechenden γ - und δ -CEHC abgebaut.

Nach Verabreichung von D- α -Tocopherol und DL- α -Tocopherol kann die natürliche Vitamin E-Form im Vergleich zur synthetischen den Gehalt an D- α -Tocopherol im Plasma doppelt so effizient erhöhen. Die synthetische Vitamin E-Form wird deutlich stärker zu α -CEHC abgebaut als die natürliche (BRIGELIUS & TRABER 1999). Eine Erklärung für die geringe Retention von synthetischem Vitamin E liefern die spezifischen Rezeptoren für das α -TTP. HOSOMI et al. (1997) untersuchten anhand des Transfers zwischen Membranen in vitro die relative Affinität von Verbindungen mit

Vitamin E-Aktivität zum α -TTP. Sie legten die Affinität von deuteriertem D- α -Tocopherol als Referenz (100 %) fest. Für die anderen Verbindungen ergaben sich die in Tabelle 2 aufgeführten relativen Affinitäten zum α -TTP.

Tabelle 2: Relative Affinität [%] von Vitamin E-wirksamen Verbindungen zum α -Tocopherol-Transport-Protein

Substanz	relative Affinität
D- α -Tocopherol	100
L- α -Tocopherol	11
β -Tocopherol	38
γ -Tocopherol	9
δ -Tocopherol	2
α -Tocopherylacetat	2
α -Tocopherylchinon	2
α -Tocotrienol	12

Quelle: HOSOMI et al. (1997)

Die Autoren fanden einen linearen Zusammenhang zwischen der relativen Affinität zum α -TTP und der biologischen Aktivität, die mit Fruchtbarkeitstests an Ratten bestimmt wurde. Sie folgern daraus, daß die Affinität zum α -TTP teilweise die biologische Aktivität einer Vitamin E-wirksamen Verbindung festlegt.

Bei Schweinen ist die Aufnahme von D- γ -TOH in die Gewebe unbedeutend im Vergleich zu der von D- α -TOH (JENSEN 1998). So konnten ENGBERG et al. (1993) nach Verabreichung von 35,7 mg D- α -TOH/kg Futter und 45,3 mg D- γ -TOH/kg Futter folgendes Verhältnis (D- α -TOH : D- γ -TOH) im Schlachtkörper von Schweinen feststellen: in der Leber (1:0,45) und im Rückenspeck (1:0,05). Im Plasma war D- γ -TOH nicht nachweisbar.

1.2.3.2 Wirkungsweise

Einerseits ist Vitamin E das wichtigste fettlösliche Antioxidans im Körper, andererseits stabilisiert es die Zellmembranen.

Die antioxidative Wirkung von Vitamin E beruht auf seinen Fähigkeiten als Radikalfänger. Es fängt die beim Start, Wachstum und Verzweigung der Kettenreaktion entstehenden Oxy- und Peroxylradikale ab, indem es ein Wasserstoffatom aus seiner phenolischen OH-Gruppe abspaltet (s. Reaktionen 1 und 2).

- (1) $RO^* + AH \rightarrow ROH + A^*$
- (2) $ROO^* + AH \rightarrow ROOH + A^*$
- (3) $RO^* + A^* \rightarrow ROA$
- (4) $ROO^* + A^* \rightarrow ROOA$

(RO^* = Oxyradikal, ROO^* = Peroxyradikal, AH = Antioxidans (Tocopherol),
 A^* = Tocopheroxyradikal)

Das entstehende Tocopheroxyradikal kann ein weiteres Radikal abfangen (s. Reaktionen 3 und 4), ist aber zu reaktionsträge, um ein Wasserstoffatom aus einer ungesättigten Fettsäure abzuspalten. Tocopheroxyradikale können auch unter Bildung von Dimeren miteinander reagieren. Durch die Bildung relativ stabiler Produkte wird das Wachstum von Radikalketten unterbrochen und die Lipidperoxidation gehemmt. In Gegenwart von Vitamin C und Ubichinon wird das Tocopheroxyradikal schnell wieder zu α -Tocopherol reduziert (LASS & SOHAL 1998). Diese Regeneration wird durch den Thiol-Zyklus synergistisch unterstützt (s. Anhang 4). Dabei verläuft die Reduktion mit Vitamin C nicht-enzymatisch und die mit Glutathion (GSH) enzymatisch (CHAN 1993). Dihydroliponsäure (DHL) kann die Vitamine C und E regenerieren und im intrazellulären Raum den Gehalt an GSH erhöhen (PACKER et al. 1997).

Durch einen erhöhten α -Tocopherol-Gehalt kann die Entwicklung von Ranzigkeit in den Lipiden deutlich verlangsamt werden. Der enge Bezug zur antioxidativen Wirkung des α -Tocopherols läßt sich über eine geringere Konzentration an sekundären Lipidoxidationsprodukten nachweisen. Das Hauptoxidationsprodukt ist Malondialdehyd, der bei der Bestimmung der Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) erfaßt wird.

Ein weiteres Kriterium für die oxidative Stabilität des Fettes ist die Induktionszeit. Bei dieser Bestimmung wird eine konstante Menge Luftsauerstoff durch das erhitzte Fett geleitet. Die im Verlauf des Oxidationsprozesses anfallenden flüchtigen Zersetzungsprodukte (Carbonsäuren) werden in einer Meßzelle mittels entionisiertem Wasser absorbiert und konduktometrisch gemessen. Über die fortlaufende Erfassung der Leitfähigkeits-Zeit-Kurve wird die Zeitspanne bis zum Erreichen der maximalen Oxidation - d.h. die Induktionszeit - bestimmt (BERK et al. 1998).

In Bezug auf die antioxidative Wirksamkeit *in vitro* wird D- α - von D- γ -Tocopherol übertroffen. Zwar fängt α -Tocopherol schneller die Peroxylradikale ab, wird dabei aber selbst intermediär zum Tocopherylradikal. Dieses kann die Autoxidation ungesättigter Fettsäuren starten. Deshalb werden mit steigendem α -Tocopherolgehalt im Gewebe zunehmend Hydroperoxide gebildet. BOWRY et al. (1995) haben an isolierten Low Density Lipoproteinen (LDL) gezeigt, daß D- α -Tocopherol in Abwesenheit des Co-Antioxidans Ubichinon prooxidativ wirkt. Den gleichen Effekt halten KONTUSH et al. (1996) für möglich, wenn die Co-Antioxidantien, wie z.B. Vitamin C, erschöpft sind. Dabei reagiert das Tocopherylradikal mit den Polyenen in den LDL.

Bei der Reaktion von γ -Tocopherol mit einem Fettsäureradikal entsteht durch Abspaltung eines H-Atoms aus der OH-Gruppe ein reaktionsträges Tocopheroxyradikal. Nach der Umlagerung zum Chromanylradikal können zwei Dimere mit phenolischen OH-Gruppen entstehen, die noch antioxidativ wirksam sind. Bei der Oxidation von α -Tocopherol entsteht das Tocopherylchinon, das kein antioxidatives Potential besitzt. Aufgrund der geringen Bioverfügbarkeit von D- γ -Tocopherol (s. Abschnitt 1.2.3.1) ist dessen Vitamin E-Aktivität *in vivo* im Vergleich zu D- α -Tocopherol minimal.

Der Schutz der Membranen kommt auf zweierlei Weise zustande. Zum einen wird Vitamin E direkt in die Phospholipid-Doppelmembran eingebaut. Dabei bestimmt die lipophile Phytyl-Seitenkette des Vitamin E die räumliche Orientierung in der Membran. Es bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen der Hydroxylgruppe des α -Tocopherols und der Carbonylgruppe von Fettsäureestern in den Phospholipiden (URANO et al. 1990). Zum anderen setzt Vitamin E die Aktivität der Phospholipase herab (ERIN et al. 1985, DOUGLAS et al. 1986, PENTLAND et al. 1992) und sorgt so für die Stabilität der Membranen.

1.2.4 Versorgungsempfehlungen

Bei Vitamin E handelt es sich um einen essentiellen Nährstoff. Er kann von Säugetieren und Vögeln nicht synthetisiert und muß daher über das Futter zugeführt werden. Der Vitamin E-Bedarf richtet sich nach der Menge und der Zusammensetzung der gleichzeitig aufgenommenen Futterfette, Mineralstoffe, Pro- und Antioxidantien. Vor allem die Aufnahme großer Mengen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren über das Futter führt zur verstärkten Autoxidation im Körper und somit zu einem höheren Vitamin E-Verbrauch. Der Vitamin E-Bedarf zur Aufrechterhaltung der Konzentration in

den Geweben inklusive eines Sicherheitszuschlags wird beim Mastschwein mit 11-16 IU/kg Futtertrockenmasse bzw. 4-34 IU/Tag angegeben (GFE 1987, NRC 1998). Die DLG (1995) empfiehlt für Rationen bis 3,5 % Fettgehalt die Zulage von 11 mg Vitamin E je kg Futter. Bei fettreicheren Rationen sollten für je 1 % ungesättigte Fettsäure 5 mg Vitamin E zusätzlich verabreicht werden.

Weidegras und frische Grassilage enthalten 25-60 mg D- α -Tocopherol pro kg Frischsubstanz. Mais und Getreide sind vergleichsweise arm an Vitamin E (Tabelle 3). Daher können Wiederkäuer und Pferde den Vitamin E-Bedarf mit frischem Pflanzenmaterial decken. Alle anderen Nutztierarten sind bei der heutigen Form der Fütterung auf eine Ergänzung angewiesen (DRESSLER 1991).

D- α -Tocopherol in Pflanzen ist in Gegenwart von Luftsauerstoff, UV-Licht und ungesättigten Fettsäuren sehr instabil. Bei Getreidekörnern ist der höchste Vitamin E-Gehalt in Weizen (Korn und Keimling) zu finden, weniger in Gerste und Hafer. Große Unterschiede im Gehalt an D- α -Tocopherol ergeben sich sowohl durch die klimatischen und geologischen Bedingungen als auch durch Verarbeitung und Lagerhaltung. Nach 12 Wochen Lagerung bei Raumtemperatur beträgt der Verlust an Vitamin E bei Mais bis zu 40 %, bei Weizenmehl nach 63 Tagen bis zu 90 %. Die Verluste steigen mit zunehmender Feuchtigkeit im Getreide an (ELMADFA & BOSSE 1985).

Tabelle 3: Gehalt an D- α -Tocopherol in einigen Futtermitteln

Futtermittel	mg α -TOH je kg Futter ¹⁾
Weidegras	30-60 ³⁾
Anwelksilage (Winterende - frisch)	4-25 ³⁾
Mais (Körner)	8,3
Maissilage (Winterende - frisch)	2-10 ³⁾
Weizen	11,6
Weizenkleie	16,5
Hafer	7,8
Gerste	7,4
Luzernegrünmehl	49,8
Ackerbohnen	0,8
Sojaextraktionsschrot	2,3
Sojaöl	179 ²⁾
Rapsöl	210 ³⁾

Quelle: ¹⁾National Research Council (NRC 1998),
außer: ²⁾BELITZ & GROSCH (1992), ³⁾DRESSLER (1991)

Als Futterzusatzstoff wird häufig DL- α -Tocopherylacetat verwendet, weil es im Gegensatz zu DL- α -Tocopherol kaum oxidationsempfindlich ist (Anhang 2).

Da der Ester erst während der Magen-Darm-Passage hydrolysiert wird, ist das freie DL- α -Tocopherol im Körper, nicht aber im Futter antioxidativ wirksam. Bei den Vitamin E-Supplementen ist DL- α -Tocopherylacetat das am häufigsten verwendete Präparat. Es wird daher als Standardsubstanz mit folgender Maßeinheit verwendet:

1 IU Vitamin E =
1,0 mg Vitamin E =
1,0 mg DL- α -Tocopherylacetat =
0,67 mg D- α -Tocopherol-Äquivalent.

Wenn das Futter erst nach dem Zusatz der Vitamin-Vormischung gemahlen wird, kann das zu beschleunigtem und höherem Verlust der Vitamin-Aktivität während der Lagerung führen. Durch die mechanischen Kräfte werden Membranen zerstört und die mehrfach ungesättigten Fettsäuren verstärkt der Oxidation durch freie Radikale ausgesetzt. Beim Pelletieren oder Extrudieren wird die Futtermischung Hitze, Feuchtigkeit und Druck ausgesetzt, was die Stabilität von Vitamin E ebenfalls beeinträchtigt. Die Behandlung mit "trockenem" Dampf ist vorzuziehen, da Dampf bei niedriger Temperatur genau wie Wasser zu viel höheren Vitamin E-Verlusten führen kann (LYNCH 1994).

1.2.5 Höchstgrenzen

Aus futtermittelrechtlicher Sicht ist der Vitamin E-Zulage gegenwärtig bei keiner Tierart eine Obergrenze gesetzt (ENTEL et al. 1997). Beim Schwein konnte bisher keine Toxizität von Vitamin E-Zulagen festgestellt werden (NRC 1998).

SCHAARMANN (1996) fand nach Zulage von 680 und 800 mg α -TAc je kg Futter keinen negativen Einfluß auf die Lebendmasseentwicklung von Mastschweinen. Auch BONNETTE et al. (1990) konnten mit einer Supplementierung von 550 mg α -TAc je kg Futter keine toxischen Reaktionen bei abgesetzten Ferkeln hervorrufen. Bei einer extrem hohen Dosierung von 10 g Vitamin E pro Tag stellten ASTRUP & LANGEBREKKE (1985) Fehlgerüche im Schweinefleisch fest. SÜNDER et al. (1999) ermittelten bei Legehennen, die 20 g α -TAc je kg Futter erhalten hatten, keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit und die Legeleistung. Allerdings war die Schlupfrate der Küken bereits ab einer Zulage von 10 g α -TAc je kg Futter signifikant reduziert.

MEYDANI et al. (1998) verabreichten 88 gesunden Testpersonen, die älter als 65 Jahre waren, vier Monate lang bis zu 800 IU DL- α -Tocopherol pro Tag. Im Vergleich zu einer Placebo-Gruppe fanden sie keine signifikante Beeinflussung des Körpergewichts, des Lipoprotein-Profiles und des Gehalts im Plasma an Proteinen, Lipiden, anderen antioxidativen Vitaminen, Mineralien und Enzymen. Es traten keine Nebenwirkungen auf. Andere Versuchsansteller verabreichten in Placebo-kontrollierten Doppelblindstudien über drei Wochen bis sechs Monate täglich bis zu 3200 IU Vitamin E an Menschen. Dabei traten insgesamt sehr geringe Nebenwirkungen auf, von denen keine konstant vorkam (BENDICH & MACHLIN 1988, KAPPUS & DIPLOCK 1992). Bei Menschen, die unter Vitamin K-Mangel leiden, verzögert die Aufnahme von täglich 100 IU Vitamin E die Blutgerinnung und kann eine vorhandene Störung verstärken (CORRIGAN 1982).

1.3 ZIELSTELLUNG DER ARBEIT

Die vorangegangenen Ausführungen deuten darauf hin, daß die Supplementierung des Futters von Mastschweinen mit DL- α -Tocopherylacetat positive Effekte auf die Qualität tierischer Lebensmittel haben kann. Vorhandene Studien zur Beeinflussung der Fleischqualität befaßten sich oft entweder mit der Höhe der Vitamindosierung oder mit der Dauer der Verabreichung. In der Tabelle 4 ist eine Auswahl der Untersuchungen aus den letzten Jahren aufgeführt. Viele Arbeiten zum Thema Dauer und Höhe der Vitamin E-Supplementation in der Schweinemast vergleichen diese beiden Parameter nicht direkt miteinander. Einige Versuchsansteller verabreichten unterschiedliche Dosen Vitamin E über einen konstanten Zeitraum (z.B. ASGHAR et al. 1991a, WEN et al. 1997, BERK et al. 1998). Andere hielten die Dosis konstant und variierten die Dauer der Verabreichung (z.B. GOTTSCHALK et al. 1994, SISK et al. 1994, MORRISSEY et al. 1996). Die Gesamtmenge an Vitamin E, die das Einzeltier während der Mast aufgenommen hat, war in allen Versuchen unterschiedlich.

Im Hinblick auf die Dauer der Vitamin E-Zulage zum Futter liegen widersprüchliche Ergebnisse bezüglich des Schutzes vor Lipidoxidation vor. So konnten MONAHAN et al. (1990) zeigen, daß die zweiwöchige Supplementierung der Futtermischung mit 200 mg α -TAc/kg einen positiven Einfluß auf die oxidative Stabilität der mikrosomalen Lipide hat. Ähnliche Ergebnisse präsentierten ASGHAR et al. (1991a). Dagegen haben BUCKLEY et al. (1989) gezeigt, daß nach Zulage von 200 mg α -TAc je kg

Futter über 10 Wochen die Lipide der Mikrosomen und Mitochondrien viel besser vor Oxidation geschützt sind als die der Kontrolltiere ohne Vitamin E-Supplemente im Futter. Die vierwöchige Supplementation der Futtermischung hatte die Stabilität der Lipide nicht beeinflusst.

Zur Fragestellung der Dosierungsdauer liegen keine aktuellen Arbeiten vor. Ebenso mangelt es an Untersuchungen, welche die Höhe und die Dauer der Zulagen in einem Versuchsansatz vergleichen. Unklar ist, wie sich die unterschiedliche Dauer der Vitamin E-Supplementation auf die Qualität von frischem, kühl- und gefriergelagertem Fleisch auswirkt. Es ist zu klären, welche Form der Vitamin E-Dosierung bei der veränderten Oxidationsempfindlichkeit in Fleischerzeugnissen ausreichend Schutz bietet, wenn diese frisch oder gelagert, am Stück oder zerkleinert, roh oder erhitzt, gepökelt und geräuchert werden. Die Anreicherung des Futters mit Vitamin E ist vor allem bei Stückware, wie Schinken, Braten oder Eisbein die einzige Möglichkeit fettlösliche Antioxidantien (Butylhydroxytoluol, Gewürzextrakte) gleichmäßig im Erzeugnis zu verteilen. Bei Fleischerzeugnissen hängt die Vitamin E-Aktivität entscheidend von den Verarbeitungsstufen und den Interaktionen von Vitamin E mit anderen Inhaltsstoffen ab. Diese Einflußgrößen sind bisher kaum untersucht und v.a. hinsichtlich der steigenden Zahl von Halbfertig- und Fertiggerichten mit Fleischanteil von großem Interesse.

Mit der vorliegenden Arbeit sollten Beiträge zur Klärung folgender Fragestellungen geleistet werden:

- Einfluß bedarfsübersteigender und höherer Vitamin E-Gaben sowie der Applikationsdauer auf die Konzentration in verschiedenen Körpergeweben.
- Auswirkung des Tocopherol-Gehalts im Muskel- und Fettgewebe auf den Verlauf der Lipidoxidation. Als Kenngrößen dienen der Gehalt an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen sowie sensorische Merkmale.
- Einfluß von Verarbeitungsstufen und Zutaten zu Fleischerzeugnissen auf deren Gehalt an Tocopherol und Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen sowie auf die sensorischen Merkmale.
- Betrachtung der vorangegangenen Punkte unter dem Aspekt der Lagerung hinsichtlich Dauer, Temperatur und Verpackung.

Tabelle 4: Behandlungseffekte in Abhängigkeit von Dauer und Höhe der Vitamin E-Zulagen im Futter von Mastschweinen (Literaturübersicht)

Autor	Tiere	Kontrolle*	Supplementation*	Behandlungseffekt
Buckley & Connolly 1980	20 weibliche Mastschweine	k.A.	+800 mg DL- α -TAc/ Tag in der letzten Mastwoche	in Rohschinken TBARS \Downarrow
Buckley et al. 1989	30 junge weibliche Mastschweine und Böрге	3 % Maiskeimöl	+200 mg α -TOH durchgehend (10 w, A) od. in den letzten 4 Mastwochen (B)	TBARS in Mikrosomen, Mitochondrien (A \Downarrow , B \rightarrow) und Hackfleischklößchen (A \Downarrow , B \downarrow)
Monahan et al. 1990	24 weibliche Mastschweine und Böрге	30 mg D- α -TAc	+200 mg D- α -TAc in den letzten 2 Mastwochen	TBARS in Mikrosomen und Hackfleisch (roh und gekocht) \Downarrow
Asghar et al. 1991a	60 junge weibliche Mastschweine und Böрге	10 mg DL- α -TAc	+100 (A) od. 200 (B) mg DL- α -TAc in 14 w	TBARS in ¹ M. <i>ld</i> , Mikrosomen und Mitochondrien (A \downarrow , B \Downarrow), Tropfsaftverlust (B \downarrow)
Gottschalk et al. 1994	36 weibliche Mastschweine	40 mg DL- α -TAc	+1000 mg D- α -TAc/ Tag in den letzten 1, 2 od. 3 Mastwochen	Induktionszeit im Rückenspeck steigt mit Dauer der Zulage an
Sisk et al. 1994	32 abgesetzte Ferkel	20 mg D- α -TAc	+200 mg D- α -TAc über 1, 2, 3, 5, 13 od. 18 w	α -TOH in ¹ M. <i>ld</i> und Rückenspeck steigt mit Dauer der Zulage an
Dirinck et al. 1996	48 weibliche Mastschweine	60 mg DL- α -TAc von 20-100 kg LM	+200 mg DL- α -TAc von 45-100 kg LM	in ³ M. <i>lt</i> nach 4½ d bei 4 °C Sensorik \Uparrow
Morrissey et al. 1996	108 weibliche Mastschweine	20 mg D- α -TAc	+200 mg D- α -TAc durchgehend (18 w, A) od. in den letzten 5 Mastwochen (B)	TBARS in ¹ M. <i>ld</i> (A \Downarrow , B \downarrow)
Jensen et al. 1997	60 weibliche Mastschweine und Böрге	100 mg DL- α -TAc, 1,5 % Rapsöl	+200 (A) od. 700 (B) mg DL- α -TAc von 50-90 kg LM	TBARS in ¹ M. <i>ld</i> und ⁵ M. <i>pm</i> (A \downarrow , B \Downarrow) und Hackfleisch (gekocht) (A \rightarrow , B \downarrow)
Schaarmann et al. 1997	8 Böрге	20 mg Vitamin E / kg Trockenmasse	+860 mg Vitamin E/ Tag einmalig	5 h nach Fütterung +280-360 % α -TOH im Plasma, 24 h nach Fütterung +400 %
Wen et al. 1997	12 Böрге	30 mg D- α -TAc	+200 (A) od. 1000 (B) mg D- α -TAc in 4 w	TBARS in ² M. <i>gb</i> , Mikrosomen und Mitochondrien (A \downarrow , B \Downarrow)
Berk et al. 1998	99 Böрге	45 mg D- α -TOH, 2,9 % Sojaöl	+500 (A) od. 1000 (B) mg DL- α -TAc/ Tag in den letzten 3 Mastwochen	in ⁴ M. <i>qf</i> und Rückenspeck TBARS (A \downarrow , B \Downarrow), Induktionszeit (A \uparrow , B \uparrow), in ¹ M. <i>ld</i> Tropfsaftverlust \rightarrow

*mg Vitamin E/kg Futter, sofern nicht anders angegeben; A, B: Versuchsgruppen

\Uparrow : starke Verbesserung, \uparrow : Verbesserung, \rightarrow : kein Effekt, \downarrow : Senkung, \Downarrow : starke Senkung

¹M. *longissimus dorsi*, ²M. *gluteo biceps*, ³M. *longissimus thoracis*, ⁴M. *quadriceps femoris*, ⁵M. *psaos major*

2 MATERIAL UND METHODEN

Zur Klärung dieser Fragen wurde mit einem einfaktoriellen Versuchsansatz gearbeitet (Tabelle 5). Grundlage der Untersuchungen war ein Fütterungsversuch mit insgesamt 100 Schweinen, die auf vier Gruppen aufgeteilt waren. Um zu klären, in welcher Dosierung die Vitamin E-Zulage Effekte hervorruft, wurde das Futter in zwei Versuchsgruppen mit 100 bzw. 200 mg α -TAc je kg angereichert und mit der Kontrollgruppe ohne Zulage verglichen. Die dritte Versuchsgruppe diente zur Untersuchung der Frage nach der Applikationsdauer. In dieser Gruppe wurde eine vorgegebene Gesamtmenge an α -TAc (25,2 g) innerhalb der letzten drei Mastwochen verfüttert (1,2 g/d). Der Vergleich erfolgte mit der Versuchsgruppe mit 100 mg Vitamin E-Zulage je kg Futter. Bei einer erwarteten Futteraufnahme von ca. 250 kg würde die Gesamtmenge an aufgenommenem Vitamin E der in der letzten Versuchsgruppe entsprechen.

Tabelle 5: Versuchsplan

Gruppe n=25		Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage* in der Gesamtmast	mg / kg lufttrockenes Futter	-	100	200	-
α -TAc-Zulage* in den letzten 3 Mastwochen	g / Tag	-	-	-	1,2
*zusätzlich zum bedarfsdeckenden Gehalt von 33 mg α -TAc je kg Futter					

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Resultate der vier verschiedenen Behandlungen vorgestellt. Der Behandlungseffekt durch α -TAc wird durch Vergleich der Mittelwerte aus 25 Tieren je Gruppe untersucht. Die Bezeichnung der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppen mit den römischen Ziffern I bis IV geht aus der Tabelle 5 hervor. Diese Bezeichnungen gelten für alle folgenden Tabellen. Alle verwendeten Geräte (Anhang 5) und Chemikalien (Anhang 6) sind aus Platzgründen im Anhang aufgeführt.

2.1 MATERIAL

2.1.1 Tiere

Am Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig wurden 100 männliche, kastrierte Hybridschweine aufgestellt. Die Ferkel entstammten dem Zuchtprogramm der Fa. PIC Deutschland.

2.1.2 Futter

Die Futtermischungen wurden am Institut für Tierernährung der FAL in Braunschweig zusammengestellt und in Silos bevorratet. Die Laboranalyse der Futtermischungen erfolgte vor Ort (Tabelle 6).

Es wurde eine Zwei-Phasen-Mast durchgeführt. Der erste Mastabschnitt deckte den Bereich 25-60 kg Lebendmasse (LM) ab, der zweite den Bereich bis 105 kg. In der Anfangs- und Endmast wurden zwei Typen von Futtermischungen eingesetzt, die sich vor allem im Proteingehalt unterschieden.

Die Zusammensetzung der Futtermischungen war für alle Gruppen gleich und geht aus Tabelle 6 hervor. Das Futter der Kontrollgruppe wies einen Gehalt von 33 mg Vitamin E pro kg lufttrockenem Futter auf (Tabelle 5 und Tabelle 7). Den Versuchsgruppen II und III wurden 100 bzw. 200 mg α -TAc/kg Futter zugesetzt. Die Tiere der Gruppe IV erhielten in den letzten drei Wochen der Mast täglich eine α -TAc-Zulage in Höhe von 1,2 g.

Tabelle 6: Zusammensetzung der luftgetrockneten Futtermischungen

		Anfangsmast (25-60 kg LM)	Endmast (60-105 kg LM)
Winterweizen	g / kg	222,5	247,5
Wintergerste	g / kg	480,0	550,0
Sojaextraktionsschrot	g / kg	240,0	150,0
Lysinmonohydrochlorid	g / kg	1,5	1,5
Phosphorsaurer Futterkalk	g / kg	1,0	0,0
Kohlensaurer Futterkalk	g / kg	2,0	3,0
Mineralfutter	g / kg	25,0	20,0
Weizennachmehl	g / kg	8,0	8,0
Sojaöl	g / kg	20,0	20,0
Trockenmasse	g / kg	883,6 ± 1,6	880,4 ± 1,9
Rohprotein	g / kg	193,4 ± 2,7	156,1 ± 0,7
Rohfaser	g / kg	37,9 ± 1,0	37,9 ± 1,0
Umsetzbare Energie	MJ / kg	13,2 ± 0,1	13,1 ± 0,1

Als Vitamin E-Präparat kam DL- α -Tocopherylacetat (Handelsname: Rovimix E-50 Adsorbat) zur Anwendung. Die α -TAc-Zulagen für die Gruppen II und III (Tabelle 5) wurden in die entsprechenden Futtermischungen (0,02 bzw. 0,06 % statt Wintergerste) eingemischt. Die Anreicherung der Ration für die Gruppe IV erfolgte über eine Vitamin E-Vormischung. Die Schweine der Gruppe IV erhielten täglich 50 g der Vitamin E-Vormischung, die für jedes Tier einzeln von Hand in die Ration für die Fütterung am Morgen eingemischt wurde. Die 50 g der Vitamin E-Vormischung bestanden aus 2,4 g Rovimix E-50 Adsorbat (= 1,2 g α -TAc) + 47,6 g Endmastfutter.

Jede Futtercharge und die Vitamin E-Vormischung wurden vor der Fütterung auf ihren Vitamin E-Gehalt untersucht. Die Vitamin E-Analysen in den Futtermischungen erfolgten im Labor der Firma Hoffmann-La Roche AG, in Grenzach-Wyhlen. In Tabelle 7 ist der Gehalt an α -TAc in allen Mischungen zusammengefaßt.

Tabelle 7: DL- α -Tocopherylacetat-Gehalt der luftgetrockneten Futtermischungen

Gruppe		Kontrolle (I)	II	III	IV
Anfangsmastperiode	mg / kg	36,0	140	248	35,0
Endmastperiode	mg / kg	29,3	132	231	29,6
Ø Gesamtmastperiode	mg / kg	32,7	136	239	32,3
Vitamin E-Vormischung	g / kg	-	-	-	24,0

2.2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

2.2.1 Aufstallung und Fütterung

Die Tiere wurden in Einzelbuchten mit Betonfußboden gehalten. 100 Schweine waren auf vier Gruppen mit je 25 Tieren aufgeteilt. Die Buchten wurden abwechselnd mit je einem Tier aus jeder Gruppe belegt, so daß die Gruppen gleichmäßig über den Stall verteilt waren.

Der Versuch war in eine Anfangsmastperiode (25-60 kg Lebendmasse (LM)) und in eine Endmastperiode (60-105 kg LM) unterteilt. Die Fütterung erfolgte semi-ad libitum nach einem Rationsplan. Gefüttert wurde werktags zweimal und sonntags nur einmal mit 60 % der Tagesfuttermenge. Während des gesamten Versuches hatten alle Tiere freien Zugang zu Tränkwasser. Die Schweine wurden wöchentlich gewogen.

2.2.2 Schlachtung

Die Tiere wurden geschlachtet sobald sie entweder 105 kg Lebendmasse erreicht hatten oder 21 Tage lang die hohe Vitamin E-Zulage erhalten hatten (1,2 g in Gruppe IV). Nach dem Wiegen wurde das zur Schlachtung vorgesehene Schwein durch eine Tür in die Tötungsbucht gebracht. Um die wartenden Tiere nicht in Aufregung zu versetzen, wurde die Tür zum Wartestand wieder geschlossen. Die Betäubung erfolgte mit einer Elektrozange, die hinter den Ohren angesetzt wurde. Der Körper der betäubten Tiere wurde immer am linken Hinterbein angeschlungen. Die Tötung erfolgte durch Blutentzug nach dem Stich in die Kehle mit dem Hohlkehlenmesser. Nach dem Brühen (65 °C), Enthaaren und Reinigen des Schlachtkörpers wurde dieser geteilt und die Organe entnommen und gewogen. Die Schlachtkörper wurden im Kühlhaus über Nacht auf ca. 3 °C Kerntemperatur im Schinken gekühlt.

2.2.3 Meßpunkte und Probenahme

Ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Fleischqualität im Schlachttierkörper ist die Messung des pH-Werts. Sie erfolgte an der rechten Schlachtkörperhälfte und zwar als Doppelbestimmung. Im Abstand von 45 Minuten nach der Tötung (pH₄₅) sowie nach 24 Stunden (pH₂₄) wurde der pH-Wert im Rückenmuskel und im Schin-

ken gemessen. Die erste Meßstelle im Kotelett lag zwischen der 12. und 13. Rippe, ca. 2 cm tief, die zweite in Höhe der 6. Rippe. Beim Schinken wurde der pH-Wert in der Oberschale gemessen. Die erste Messung erfolgte im linken Teil dieses Muskels, ca. 2 cm tief, die zweite im rechten Muskelteil.

Die Probenahme erfolgte 24 Stunden nach der Schlachtung aus dem ausgelösten Kotelettstrang. Zusätzlich wurden beide Schinken und die Leber verwendet. Es wurde besonders darauf geachtet, die Proben immer von den gleichen Körperstellen zu nehmen und die Reihenfolge einzuhalten.

Für die Bestimmung des Gehalts an α -Tocopherol und TBARS wurde für jeden Lagerungszeitpunkt (2, 6, 8, 12 und 14 Tage post mortem (p.m.) sowie 10 und 26 Wochen p.m.) eine getrennte Kotelettprobe gezogen. Ebenso wurde eine Probe für die sensorische Bewertung entnommen. Der Zuschnitt der Kotelettscheiben war wie folgt: ca. 2,5 cm breit, ca. 200 g schwer, mit Rückenspeckauflage und ohne Schwarte.

Die Proben für die Kühllagerungsintervalle (2-14 d) wurden aus der linken Schlachtkörperhälfte ab der 14. Rippe in Richtung Lende gezogen. Als erstes wurden die Proben für die zweitägige Kühllagerung entnommen, als letztes die für zwei Wochen Lagerung. Für die Untersuchungen während der Kühllagerung konnte aus organisatorischen Gründen nur die Hälfte der Tiere einer jeden Gruppe beprobt werden.

Die Proben für die erste (10 w) und zweite (26 w) Gefrierlagerung wurden aus der rechten Schlachtkörperhälfte ab der 11. Rippe in Richtung Lende gezogen. Es folgten die Proben für die Bestimmung des Wasser-, Eiweiß- und Fettgehalts sowie die für das Fettsäurenmuster im Rückenmuskel. Zuletzt wurden drei Reserveproben aus dieser Schlachtkörperhälfte entnommen.

Aus der linken Schlachtkörperhälfte wurde bis zur Höhe der 14. Rippe eine ca. 200 g schwere Probe Rückenspeck gezogen und entschwartet. Neben dieser Probe für die Bestimmung des Fettsäurenmusters im Rückenspeck wurde eine weitere als Reserve entnommen.

Auswahlkriterium für die Rohschinken war der pH-Wert in der Oberschale 24 Stunden post mortem ($\text{pH}_{24} = 5,5 - 5,8$). Aus der Kontrollgruppe und der Gruppe II erfüllten 12 Tiere diese Bedingung, aus den Gruppen III und IV je 11 Tiere. Für die Herstellung von Rohschinken sollte der pH_{24} -Wert unter 6,0 liegen, möglichst unter

pH 5,8, denn bei einem niedrigen pH-Wert ist die Wasserbindungsfähigkeit des Gewebes geringer und seine mikrobielle Stabilität höher. Entsprechend können Rohschinken während der Reifung schneller trocknen (MÜLLER 1998). Zur Herstellung von Rohschinken wurde der komplette Schinken der rechten Schlachtkörperhälfte mit Fettauflage und Schwarte verwendet. Die Knochen wurden ausgelöst, Eisbein und Oberschale abgetrennt, und Schinkenspeck (Hüftstück) und Unterschale vakuumverpackt eingefroren.

Die Auswahl der Schinken zur Kochschinkenproduktion richtete sich nach dem pH-Wert in der Oberschale 45 min p.m. ($\text{pH}_{45} = 5,7 - 6,2$). Für die Herstellung von Kochschinken wurden aus der Kontrollgruppe und der Gruppe II jeweils 10 Tiere ausgewählt. In den Gruppen III und IV waren für diesen Zweck nur 8 Tiere geeignet. Zur Herstellung von Kochschinken wurde der komplette Schinken der linken Schlachtkörperhälfte mit Fettauflage und Schwarte verwendet. Die Knochen wurden ausgelöst, Eisbein und Hüfte abgetrennt, und die Nuß, Rolle, Ober- und Unterschale vakuumverpackt eingefroren.

Die frischen Kotelett-Proben wurden in Polyethylen (PE)-Beutel verpackt, am Tag der Probenahme in einer Kühlbox zur Bundesanstalt für Fleischforschung nach Kulmbach transportiert und am folgenden Tag (2 d post mortem) untersucht. Es wurde darauf geachtet, die Kühlkette nicht zu unterbrechen. Während des Transports wurde zu keinem Zeitpunkt eine Temperatur von 4 °C überschritten.

Alle anderen Proben wurden vakuumverpackt, bis zum Ende der Schlachtungen bei -25 °C in Braunschweig gelagert und dann von einer Tiefkühlspedition nach Kulmbach transportiert.

2.2.4 Herstellung der Fleischerzeugnisse

Alle Fleischerzeugnisse wurden im Technikum des Instituts für Technologie an der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach hergestellt. Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, die Schinken aus frischem (nicht gefrorenen) Material zu erzeugen.

2.2.4.1 Kochschinken

Aus 10 Schinken einer Gruppe wurde jeweils eine Charge Kochschinken hergestellt. In den Gruppen III und IV standen nur 8 Schinken zur Verfügung. Pro Woche konnten zwei Chargen Schinken hergestellt werden. Die Schinken, die am Montag verarbeitet werden sollten, wurden am Freitag vorher zum Auftauen in den Vorkühlraum (+4 °C) verbracht. Die Schinken, die am Dienstag hergestellt werden sollten, wurden am Freitag in den Kühlraum (0 °C) und am Montag in den Vorkühlraum verbracht. Das Zerlegen der Schinken in die Teilstücke Nuß, Rolle, Ober- und Unterschale erfolgte montags und dienstags. Die Teilstücke wurden mit einer Entvliesmaschine an den Innenseiten vom Bindegewebe befreit, und die Unterschale von der bandartigen Sehne, die der Nuß zugewandt ist. Die Einwaage betrug bei der Kontrollgruppe und den Gruppen II und IV ca. 39 kg, in der Gruppe III ca. 35 kg.

Die Pökellake wurde mit Wasser und Scherbeneis angesetzt, um eine Temperatur von 0 °C zu erreichen. Für den Kreislauf des Injektors wurden 40 l Lake benötigt. Diese hatte folgende Zusammensetzung:

Wasser, Eis	35,672 kg
+ Nitritpökelsalz	4,080 kg
+ Natriumascorbat	0,080 kg
+ Phosphat	0,168 kg
<u>Gesamtmasse</u>	<u>40,000 kg</u>

Laut MÜLLER (1998) sollten 20 Gewichtsprozent Pökellake bei 2 bar Druck injiziert werden. Nach der ersten Charge stellte sich das Manometer am Injektor als defekt heraus, so daß statt dessen 33,6 Gewichtsprozent Pökellake injiziert wurden. Um die Vergleichbarkeit innerhalb der Gruppen zu gewährleisten, wurde in den anderen Chargen der gleiche Salzgehalt eingestellt.

Der Tumbler, ausgestattet mit zwei Kämmen und einem Polterigel, wurde 24 Stunden auf -15 °C vorgekühlt. Nach der Probenbeschickung folgten 17 Stunden Dauerlauf bei 12 U/min unter Vakuum (ca. 95 %). Die Außentemperatur an der Trommel betrug in den ersten vier Stunden -12 °C, dann -4 °C bis zum Ende. Nach Ablauf des Tumbleprogramms lag die Probentemperatur bei ca. 0 °C.

Die Edelstahlkocher wurden mit Folie ausgeschlagen und befüllt. Der Abrieb aus dem Tumbler wurde unter die Proben gemischt. Zum Entlüften der befüllten Formen

wurde zweimal für 30 s ein Vakuum angelegt. Die Schinkenkocher wurden anschließend sofort mit dem Deckel verschlossen, und die Deckelfedern bei allen Formen gleich von Hand soweit wie möglich zusammengedrückt.

Es folgte die Erhitzung im Dampfkochschrank für ca. vier Stunden bei 75 °C bis eine Kerntemperatur von 65 °C erreicht war. Die Formen kühlten zwei Stunden bei Raumtemperatur ab und wurden danach bei +2 °C im Kühlraum über Nacht gelagert.

Nach vollständigem Auskühlen der Schinken wurden diese am Tag nach dem Erhitzen aus der Kochform genommen und die Auswaage festgestellt.

2.2.4.2 Rohschinken

Eine Charge Rohschinken bestand aus zwei Schinken jeder Gruppe. Insgesamt ergaben sich sechs Chargen, die jeweils im Abstand von drei bis vier Tagen verarbeitet wurden. Es wurden Spaltschinken ohne Oberschale hergestellt, d.h. der Zuschnitt bestand aus den Teilstücken Schinkenspeck (Hüftstück) und Unterschale. Das Herstellungsverfahren ist angelehnt an die bei LAUTENSCHLÄGER et al. (1996) beschriebene Methode.

Die vakuumverpackten, tiefgefrorenen Schinken tauten drei Tage bei 4 °C im Vorkühlraum auf. Das Salzen mit 3,5 % jodiertem Nitritpökelsalz (NPS), 0,3 % Saccharose und 0,2 % schwarzem Pfeffer erfolgte bei jedem Schinken einzeln im Vakuumbeutel. Die Schinken wurden gekennzeichnet und nach dem Vakuumziehen 24 h getumbelt (effektive Bewegungszeit: 30 min). Nach drei Wochen Pökeln bei 1-2 °C im Vakuumbeutel wurden die Schinken abgewaschen, aufgehängt und nach dem Abtropfen im Klimaraum bei 5 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit (rLF) drei Wochen lang getrocknet.

Die Schinken jeder Charge wurden auf einen Räucherwagen gehängt und zunächst sechs Stunden lang bei 23 °C ohne Befeuchtung (Anpassungsphase) in den Räucherschrank (Intervall-Rauchverfahren mit Friktionsrauch) verbracht. Angaben zum Reifungsprogramm können der Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8: Reifungsprogramm für Rohschinken

Dauer [h]	Temperatur [°C]	relative Luftfeuchtigkeit [%]	Verfahren
48	23	95	Reifungsphase
24	20	95	
3	20	90	räuchern
96	20	90	
3	20	85	räuchern
170	18	85	

Im Anschluß erfolgte das Trocknen der Schinken im Klimaraum bei einer Temperatur von 15 °C und 80 % rLF bis zu einem Gewichtsverlust von 30 % ± 1 %. Die Reifung war im Mittel nach 13 Wochen abgeschlossen.

2.2.5 Verpackung und Lagerung

Alle Proben wurden einen Tag post mortem gewogen, in PE-Beuteln verpackt und ab diesem Zeitpunkt im Dunkeln gelagert (Tabelle 9).

Der Lagerungsbeginn (=Tag 0) ist bei den Koteletts auf den ersten Tag nach der Tötung datiert. Bei Kochschinken erfolgte die erste Untersuchung im frischen Produkt (3-4 Tage nach Herstellungsbeginn). Anschließend wurde er vakuumverpackt und 14 Tage bei +4 °C im Dunkeln gelagert. Rohschinken wurde nach 13 Wochen Reifung vakuumverpackt und weitere 12 Wochen bei 12 °C im Dunkeln aufbewahrt.

Tabelle 9: Parameter der Lagerung und Verpackung

Proben	Anzahl der Proben je Analyse (n)	Dauer	Temperatur	Vakuum
Kotelett	36	2-14 d	4 °C	nein
Kotelett	75	10 w - 18 mon	-25 °C	ja
Leber	75	12 mon	-25 °C	ja
Kochschinken	36	14 d	4 °C	ja
Rohschinken	46	12 w	12 °C	ja

2.3 PRÜFPARAMETER

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die in Tabelle 10 dargestellten Parameter ausgewertet.

Aus organisatorischen Gründen konnten einige Parameter nicht im frischen Probenmaterial bestimmt werden. So erfolgte die Analyse der Hauptinhaltsstoffe im Rückenmuskel nach sechs Monaten Lagerung bei -25 °C im Vakuum (Tabelle 10), des

Fettsäurenmusters im Rückenmuskel nach 18 Monaten und im Rückenspeck nach 15 Monaten. Der α -Tocopherol-Gehalt in der Leber konnte erst nach 12 Monaten Lagerung bei -25 °C im Vakuum (Tabelle 10) bestimmt werden.

Tabelle 10: Prüfparameter

Probe	Parameter
Mischfutter	Gehalt an Rohnährstoffen, Stärke, Zucker und DL- α -Tocopherylacetat
Versuchstiere	Futteraufnahme, Gewichtsentwicklung
Schlachtkörper	Gewichts-, Längen- und Flächenmaße
Leber	α -TOH
Rückenmuskel und -speck	Gewicht, Wasser, Eiweiß, Fett, Asche, Fettsäurenmuster, α -TOH, TBARS, sensorische Eigenschaften
Kochschinken, Rohschinken (Muskel- und Fettgewebe)	Gewicht, α -TOH, TBARS, sensorische Eigenschaften

Für die Analysen im Kotelett waren für jeden Parameter und zu jedem Zeitpunkt der Lagerung einzeln verpackte Proben vorhanden.

2.4 PROBENAUFBEREITUNG

Die Aufbereitung der gefrorenen Proben begann unmittelbar nach dem Auftauen in der Vakuumverpackung. Nach dem Abtupfen des ausgetretenen Fleischsafts wurden die Proben gewogen, um den Auftauverlust zu erfassen.

Zur Bestimmung des α -Tocopherol-Gehalts in der Leber wurde der kleine Lappen beprobt und in einem Haushaltsmixer homogenisiert.

Für die Analyse der Hauptinhaltsstoffe und des Fettsäurenmusters im Rückenmuskel wurde der gesamte Muskelanteil in einem Haushaltsmixer homogenisiert.

Die Bestimmung des Fettsäurenmusters im Rückenspeck erfolgte aus dem Homogenat eines ca. 200 g schweren Stücks Rückenspeck ohne Schwarte.

Während der zweiwöchigen Kühlung der Kotelettproben fand die Bestimmung der α -Tocopherol-Konzentration (2 und 14 d p.m.) und der TBARS-Werte (2, 6, 8, 12 und 14 d p.m.) statt. An jedem Analysentag wurde eine separat verpackte Kotelettprobe untersucht. Die Rückwaage ergab den individuellen Tropfsaftverlust jeder Pro-

be. Muskel- und Fettgewebe wurden getrennt voneinander in einem Haushaltsmixer homogenisiert.

Zur Bestimmung der Konzentration von α -Tocopherol und TBARS in den gefriergelagerten Koteletts wurde jeweils der gesamte Muskel- bzw. Speckanteil getrennt voneinander in einem Haushaltsmixer homogenisiert.

Die sensorische Bewertung erfolgte an einem separat verpackten Kotelett.

Für die Untersuchung des Gehalts an α -Tocopherol und TBARS im Kochschinken diente eine ca. 2 cm breite Scheibe aus der Probenmitte. Die Scheibe wurde in einem Haushaltsmixer homogenisiert.

Zur Verkostung wurde der Kochschinken mit der Aufschnittmaschine in dünne Scheiben geschnitten.

Die Bestimmung der Konzentration von α -Tocopherol und TBARS im Rohschinken erfolgte an einer ca. 2 cm breite Scheibe aus der Probenmitte (Teilstück Unterschale). Vom Muskelgewebe wurde ein ca. 0,5 cm breiter Trockenrand entfernt. Der Rest des Muskelgewebes und das Fettgewebe wurden getrennt voneinander in einem Haushaltsmixer homogenisiert.

Vom Rohschinken wurde das Teilstück Schinkenspeck sensorisch geprüft. Am Morgen jedes Prüfungstages wurde die Vakuumverpackung entfernt, und der Schinken bis Mittag offen gelagert. Für die Verkostung wurde der Schinken mit der Aufschnittmaschine in dünne Scheiben geschnitten.

2.5 ANALYSEMETHODEN

2.5.1 Zusammensetzung der Futtermischungen

Die Bestimmung der Rohnährstoffe sowie Stärke und Zucker in den Futtermischungen erfolgte nach den im Methodenbuch des VDLUFA (NAUMANN & BASSLER 1993) beschriebenen Verfahren. Durchgeführt wurden die Analysen am Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Aus dem Gehalt an Rohnährstoffen sowie Stärke und Zucker in den Futtermischungen erfolgte die Berechnung der Umsetzbaren Energie nach der vom Ausschuß für Bedarfsnormen (GFE 1987) angegebenen Formel.

2.5.2 Schlachtleistung, Schlachtkörperqualität und Organmassen

Die Bewertung der Schlachtkörper erfolgte nach der vom Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion e.V. herausgegebenen Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein (ALZ 1997). Neben der Zwei-Hälftenmasse, warm und kalt, wurden die Massen von Herz, Leber, Niere und Flomen sowie der Schinkenteilstücke erfaßt. Zusätzlich wurden die Schlachtkörperlänge, die Speckdicken am Widerrist, in der Rückenmitte, an der Lende, an der Seite und über der Rückenmuskelfläche (Speckmaß B) sowie im angeschnittenen Kotelettstrang die Fläche des Rückenmuskels und die Fettfläche gemessen.

2.5.3 Wasser-, Eiweiß-, Fett- und Aschegehalt im Rückenmuskel

Der Gehalt des Rückenmuskels an wertbestimmenden Inhaltsstoffen wurde mit Hilfe der Nah-Infrarot-Transmission (NIT)-Schnellanalytik am Institut für Fleischerzeugung und Vermarktung der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach untersucht.

Die Analysetechnik wurde vor ca. 10 Jahren eingeführt. In der Folge wurden für verschiedene Probenmaterialien Kalibrierdatensätze erarbeitet und diese validiert. Der ständige Vergleich der Ergebnisse mit denen der Referenzmethoden (AMTLICHE SAMMLUNG VON UNTERSUCHUNGSVERFAHREN NACH § 35 LMBG) zeigt, daß die Ergebnisse mit denen der konventionellen Methoden vergleichbar sind.

Vor dem Einsatz der NIT-Schnellanalytik in der Praxis müssen die für bestimmte Substrate charakteristischen Meßspektren den chemischen oder physikalischen Referenzwerten zugeordnet werden. Nur auf diesem Wege kann eine Kalibrierung des Gerätes vorgenommen werden. Im zweiten Schritt wird im Rahmen einer Validierung - prinzipiell auf Basis des Vergleichs von Analysenwert (NIT) und Referenzwert - die Kalibrierung auf ihre Verwendbarkeit geprüft (FREUDENREICH 1999).

Die NIT-Spektroskopie stellt ein Schätzverfahren dar, das ausgehend von der Absorption der Hauptbestandteile des Untersuchungsgutes im Nah-Infrarotbereich deren Gehalt ermittelt.

Die Messung beruht darauf, daß die Hauptbestandteile des Untersuchungsgutes elektromagnetische Wellen im Nah-Infrarotbereich des Spektrums absorbieren. Die von einer Wolframlampe erzeugte Strahlung hat eine Wellenlänge von 850-1050 nm. Der Lichtstrahl wird durch ein Beugungsgitter abgelenkt und durchstrahlt die im Pro-

benotete Probe. Die Probenhöhe darf 15 mm nicht übersteigen. Durch die Absorption in der homogenisierten Probe wird das monochrome Ursprungslicht so verändert, daß sich im günstigsten Fall eine für das Probengut charakteristische Verschiebung des Lichtspektrums ergibt (FREUDENREICH 1999).

2.5.4 Fettsäuremuster im intramuskulären Fett und im Rückenspeck

Die Analyse der Fettsäuremuster erfolgte über die Bestimmung der Fettsäuremethylester mittels Gaschromatographie am Institut für Fleischerzeugung und Vermarktung der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach.

Herstellung der Reagenzlösung:

Aus Trimethylsulfoniumjodid wurde mit Hilfe eines stark basischen Ionenaustauschers die freie Base hergestellt. In eine Glassäule (200 · 20 mm i.D.) mit Hahn wurde etwas Glaswatte gegeben. Darauf wurden 35 ml bzw. ca. 20 g stark basischen Ionenaustauschers (Lewatit MP 5080) mit Wasser eingeschlämmt. Der Austauscher wurde mit 150 ml 4 %iger Natriumhydroxid-Lösung regeneriert, mit ca. 150 ml dest. H₂O neutral gewaschen (pH-Wert überprüft) und mit 60 ml MeOH nachgewaschen.

4,1 g Trimethylsulfoniumjodid wurden in 60 ml MeOH unter Erwärmen in einem Wasserbad bei 50 °C gelöst und in 5-10 ml-Portionen über den konditionierten Austauscher gegeben. Zwischendurch wurde die Lösung in das Wasserbad zurückgestellt um ein Auskristallisieren im Gefäß oder auf der Säule zu vermeiden. Zum Schluß wurde der Austauscher mit 60 ml Methanol (MeOH) in die gleiche Vorlage nachgewaschen. So entstanden ca. 100 ml Reagenzlösung (Trimethylsulfoniumhydroxid), die verschlossen bei +4 °C drei bis sechs Monate aufbewahrt werden kann (BUTTE 1983).

A. Extraktion von intramuskulärem Fett aus Muskelgewebe

10 g Seesand, 20 g Natriumsulfat und 10 g Muskelhomogenat wurden in dieser Reihenfolge in ein 100 ml-Bühhlerglas eingewogen. Es folgte die Zugabe von 50 ml Lösungsmittelgemisch (750 ml MeOH + 1500 ml Dichlormethan + 0,3433 g Butylhydroxytoluol) und das Homogenisieren bei 3500 Umdrehungen (90 Sekunden) im Bühler-Homogenisator. Die Probe wurde durch einen Faltenfilter mit einer Spatelspitze Natriumsulfat in einen 100 ml-Rundkolben filtriert. Anschließend wurde das Lösungsmittel im Rotationsverdampfer unter leichtem Vakuum abgedampft. Das Gefäß wurde

mit Stickstoff gespült, verschlossen, im Kühlschrank abgekühlt und bei -25 °C bis zur Analyse aufbewahrt.

B. Extraktion von Fett aus Rückenspeck

Eine Probe von ca. 5-10 g Fettgewebe wurde in einem Haushaltsmixer homogenisiert. Ein Löffel Homogenat wurde in eine Abdampfschale gegeben und mit 1 ml einer 27,54 %igen Lösung von Butylhydroxytoluol (BHT) in Methanol versetzt. Das Fett wurde auf einem Wasserbad bei 90 °C ausgeschmolzen und wie der Extrakt aus dem Muskelgewebe gelagert.

C. Derivatisierung

In einen Erlenmeyerkolben wurden 30 mg des extrahierten Fettes eingewogen und in 1 ml Toluol z.A. gelöst. Dazu wurden 0,5 ml Trimethylsulfoniumhydroxid gegeben, und die Mischung wurde geschüttelt. Nach der Reaktion wurden 200 μl der Lösung in ein 1 ml GC-Gläschen pipettiert und mit 800 μl Toluol z.A. aufgefüllt. Von dieser Lösung wurde 1 μl in den Gaschromatographen injiziert.

D. Geräteparameter

In Tabelle 11 sind die verwendeten Geräteparameter zur gaschromatographischen Untersuchung der Fettsäuremethylester zusammengestellt.

Tabelle 11: Bedingungen bei der Bestimmung der Fettsäuremethylester mittels GC

Gaschromatograph	Hewlett-Packard 5890
Autosampler	Hewlett-Packard 7673A
Chromatographiesäule	DB 23 (50 % Cyanopropylsiloxan) 60 m · 0,25 mm i.D., 0,25 μm Filmdicke
Datenverarbeitung	Integrator Hewlett-Packard 3396A
Trägergas	Wasserstoff
Flußrate	2 ml / min
Isotherm 1	80 °C , 2 min
Heizrate	$2\text{ °C} / \text{min}$ bis 190 °C , dann $1\text{ °C} / \text{min}$
Isotherm 2	210 °C , 15 min
Injektor Temperatur	250 °C
Detektor Temperatur	250 °C
Detektor	FID
Quantifizierung	über prozentualen Anteil an der Summe der Peakflächen
Laufzeit	105 min

2.5.5 α -Tocopherol-Gehalt in Leber, Muskel, Fett und Schinken

Diese Bestimmung ist eine Modifikation der Methode nach PFALZGRAF et al. (1995c).

A. Extraktion und Aufbereitung

In einen verschraubbaren 50 ml PPCO-Zentrifugenbecher wurden, abhängig von der Probe, folgende Mengen Homogenat eingewogen: 2 g Muskelgewebe bzw. 2 g Lebergewebe oder 1 g Fettgewebe. Nach Zugabe von 0,5 g L(+)-Ascorbinsäure wurde Muskel- oder Lebergewebe mit 5 ml, Fettgewebe mit 1,5 ml einer 31 %igen KOH-Lösung (H₂O:MeOH, 62:38, v/v) versetzt. Die Gefäße wurden mit N₂ ausgespült und verschlossen. Unter gelegentlichem Umschütteln erfolgte die Verseifung während 40 min im Wasserbad bei 80 °C. Nach dem Abkühlen wurden 20 ml eines H₂O-EtOH-Gemisches (für Muskel- oder Lebergewebe Mischungsverhältnis 4:1, v/v, für Fettgewebe 1:1, v/v) zugegeben. Es folgte die Zugabe von 10 ml einer Mischung aus n-Hexan und Toluol (1:1, v/v, enthält 0,01 % BHT). Die Lösung wurde ca. 1 min kräftig durchmischt. Nach der Phasentrennung wurde 1 ml der organischen Phase in ein Probengläschen pipettiert. Von dieser Lösung wurden von Leber- oder Fettproben 50 μ l, von Muskelproben 100 μ l in das HPLC-System injiziert.

B. Geräteparameter

In Tabelle 12 sind die verwendeten Geräteparameter zur chromatographischen Analyse des α -Tocopherol-Gehalts zusammengestellt.

Tabelle 12: Bedingungen bei der Bestimmung von α -Tocopherol mittels HPLC

Pumpe	Applied Biosystems 400 Solvent Delivery System
Degaser	Sykam S7505 Vacuum Degaser
Autosampler	Waters 717 Plus
Chromatographiesäule	Alltima Silica 5 U (250 · 4,6 mm i.D.)
Detektor	Shimadzu RF-551 Spectrofluorometric Detector
Datenverarbeitung	Chromeleon V 4.12A
mobile Phase	n-Hexan-Ethylacetat (95:5, v/v)
Flußrate	1,5 ml / min bei ca. 30 bar
Detektion	Fluoreszenz, λ Anregung: 295 nm, λ Emission: 330 nm
Quantifizierung	über Peakflächenvergleich mit externem Standard
Standard	2 mg DL- α -Tocopherol / l n-Hexan (enthält 0,01 % BHT)
Retentionszeit	5,8 min
Laufzeit	10 min

2.5.6 Sekundäre Lipidoxidationsprodukte (TBARS) in Muskel, Fett und Schinken

Unter den auf Carbonylgruppen ansprechenden Fettkennzahlen hat sich vor allem die Thiobarbitursäurezahl als Maß für den Grad der Fettoxidation durchgesetzt. Die Bestimmung erfolgt anhand des sogenannten TBA-Test, der die Abbauprodukte der Polyensäuren summarisch erfaßt und als Gehalt an Thiobarbitursäure reaktiven Substanzen (TBARS) wiedergibt. Das Prinzip dieser Methode beruht darauf, daß Aldehyde aus dem Fettabbau mit 2-Thiobarbitursäure zu einem roten Farbkomplex umgesetzt werden und dessen Farbintensität in Anlehnung an die Methode von BOTSOGLOU et al. (1994) bei 532 nm photometrisch bestimmt wird. Da der Malondialdehyd (MDA) das Hauptoxidationsprodukt der Polyensäuren ist, wird das Ergebnis als mg Malondialdehyd je kg Gewebe angegeben.

A. Herstellung des Malondialdehyd-Standards

Exakt 73,2 mg Tetraethoxypropan (TEP) wurden in ein Schraubkappengläschen eingewogen, mit 10 ml Salzsäure (0,1 mol/l) versetzt, anschließend luftdicht verschlossen, 5 Minuten in ein siedendes Wasserbad getaucht und danach unter Leitungswasser abgekühlt.

Die in dieser Form hydrolysierte TEP-Lösung wurde in einen 100 ml Meßkolben überführt und mit dest. Wasser aufgefüllt. In der so hergestellten Stammlösung lag Malondialdehyd (MDA) in der Konzentration 239 µg/ml vor.

Aus dieser Stammlösung wurde eine Arbeitslösung von 0,48 µg/ml MDA hergestellt, indem 0,2 ml der Stammlösung in einen anderen 100 ml-Meßkolben pipettiert und mit dest. Wasser aufgefüllt wurden.

B. Extraktion und Aufbereitung

In einen 50 ml Zentrifugenbecher wurden für die unterschiedlichen Proben folgende Mengen Homogenat eingewogen: 5 g Muskelgewebe bzw. 2 g Fettgewebe. Danach erfolgte die Zugabe von 10 ml einer 5 %igen wäßrigen Trichloressigsäurelösung (TCE) und 5 ml einer BHT-Lösung (0,8 %ig in n-Hexan). Der Inhalt des Bechers wurde 30 s bei hoher Geschwindigkeit mit einem Ultra Turrax homogenisiert, 10 Minuten bei 10000 U/min zentrifugiert und der Überstand (n-Hexan) verworfen. Die untere wäßrige Phase wurde durch einen Faltenfilter filtriert. Vom Filtrat wurde ein 2,5 ml-Aliquot in ein Schraubkappengläschen überführt und dazu 1,5 ml einer 0,6 %igen

wäßrigen 2-Thiobarbitursäurelösung (TBA) gegeben. Das Gefäß wurde luftdicht verschlossen und kurz geschüttelt. Nach Inkubation über 30 Minuten im Wasserbad bei 70 °C wurde das Gläschen unter fließendem Wasser wieder abgekühlt.

C. Photometrische Bestimmung

Zur Herstellung der Standardlösungen wurden Aliquotanteile der Arbeitslösung entsprechend folgendem Schema in Schraubkappengläschen pipettiert und mit 5 %iger TCE-Lösung bis zu einem Volumen von 2,5 ml aufgefüllt:

Arbeitslösung [ml]	-	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
TCE-Lösung [ml]	2,50	2,45	2,40	2,3	2,10	1,90	1,70	1,50	1,0	0,5

Nach Zugabe von je 1,5 ml einer 0,6 %igen TBA-Lösung wurden die Standardlösungen analog zu den Proben inkubiert und abgekühlt.

Proben- und Standardlösungen wurden in 1 cm-Küvetten gefüllt und deren Extinktion mit dem Spektralphotometer bei 532 nm gegen einen Reagenzienblindwert (2,5 ml TCE + 1,5 ml TBA) gemessen.

Die Eichgerade wurde erstellt, indem die Extinktionswerte gegen die bekannten Konzentrationen an MDA in den Standardlösungen aufgetragen wurden.

Die Konzentration an MDA im Probenextrakt (x) wurde auf der Basis von Achsenabschnitt (b) und Steigung (m) der Regressionsgeraden ($y=m \cdot x+b$) ermittelt.

D. Berechnung ($m=\Delta y/\Delta x$, $b=0$ (bei einer Ursprungsgerade))

Der TBARS-Gehalt wurde entsprechend der nachfolgenden Beziehung ermittelt und in mg Malondialdehyd je kg Gewebe angegeben.

$$\text{mg MDA / kg Gewebe} = \frac{(\text{Abs [532 nm]} - b) \cdot 4}{m \cdot \text{Einwaage [g]}}$$

2.5.7 Sensorische Prüfung der Kotelett-Proben

Die sensorische Bewertung der Koteletts erfolgte im Institut für Fleischerzeugung und Vermarktung der Bundesanstalt für Fleischforschung in Form von Einzelprüfungen. Das Prüfverfahren entsprach einer bewertenden Prüfung mit Skale und war angelehnt an die Methode von AUGUSTINI et al. (1993).

Die sensorische Prüfung der Koteletts fand nach 10 Wochen Gefrierlagerung statt. Bei jeder Sitzung wurden 10 Koteletts vom gleichen Schlachttag in zufälliger Reihenfolge verkostet. Am Morgen des Prüfungstages wurden die Proben in der Vakuumverpackung bei Raumtemperatur aufgetaut und der ausgetretene Fleischsaft abgetupft. Gegen Mittag wurde die Kotelett-Probe in Alufolie eingeschlagen und auf dem Kontaktgrill bis zu einer Kerntemperatur von 68 °C erhitzt. Dabei wurde weder Öl, Fett noch Gewürze verwendet. Die einzelnen gegrillten Koteletts wurden in Streifen (0,5 cm breit) mit Speckrand geschnitten und sechs Prüfern zur Verkostung vorgelegt und zwar in zwei Teilen, die einzeln verkostet wurden. Die erste Probe war schieres Muskelfleisch, die zweite Muskelfleisch mit Speckrand. An der Muskelprobe wurden die Kriterien Zartheit, Saftigkeit und Aroma geprüft, an der Probe mit Speckrand das Merkmal Ranzigkeit. Anhand der Einbeißprobe wurden die Bewertungen der sechs Prüfer vor jeder Sitzung aufeinander abgestimmt. Die Benotungen aus den Einzelprüfungen wurden auf einer Skala von 1 bis 6 aufgetragen, wobei 1 für ungenügend und 6 für sehr gut steht. Die Beurteilung der Ranzigkeit wurde ebenfalls nach einer 6 Punkte Abstufung vorgenommen, wobei die niedrigste Punktzahl eine starke Ausprägung und die höchste eine nicht wahrnehmbare bedeutet.

Für jedes Kriterium können somit maximal 36 Punkte erreicht werden. Die tatsächlichen Ergebnisse werden dann relativ zu diesem Wert angegeben. In Tabelle 34 ist der arithmetische Mittelwert aus den Prozentpunkten der Kriterien in jeder Gruppe mit der zugehörigen Standardabweichung dargestellt.

2.5.8 Sensorische Prüfung von Schinken

Die sensorische Bewertung der Fleischerzeugnisse erfolgte im Institut für Technologie der Bundesanstalt für Fleischforschung in Form von Gruppenprüfungen. Bei jeder Sitzung wurden Proben aus allen Gruppen in zufälliger Reihenfolge von vier erfahrenen Prüfern verkostet. Die Fehleransprache erfolgte in Anlehnung an das jeweilige DLG-Prüfschema (Anhang 9 und Anhang 10). Die Prüfer stimmten sich nach Verkostung jeder Probe auf die Höhe der Punktabzüge bei den einzelnen Kriterien ab (Tabelle 13, DLG 2000).

Tabelle 13: Sensorische Bewertung der Schinken in Anlehnung an das DLG-Prüfschema

<i>allgemeine Eigenschaften</i>	<i>5-Punkte-Skala</i>
volle Erfüllung der Qualitätserwartung	5
geringfügige Abweichung	4
merkliche Abweichung	3
deutlicher Fehler	2
starker Fehler	1
nicht bewertbar	0

Die Punktzahlen wurden für jedes Kriterium bei allen Proben einer Gruppe addiert und prozentual zur Maximalbewertung angegeben (Tabelle 37).

2.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programms "NCSS 2000 Statistical Analysis System" (NCSS 1999).

Anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse wurde zunächst die Verteilung und die Varianz der Daten in jeder Gruppe untersucht sowie mit Hilfe von Box-Plot-Grafiken Ausreißer identifiziert. Um die Unterschiede zwischen den Mittelwerten in Abhängigkeit der verschiedenen α -TAc-Dosierungen auf ihre Signifikanz zu überprüfen, kam der Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test zur Anwendung, wobei ein Signifikanzniveau von 95 % zugrunde gelegt wurde. Mittelwerte, die bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$ signifikant voneinander verschieden sind, sind in den Zeilen der Tabellen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben (a, b, c oder d) gekennzeichnet, in den Spalten mit unterschiedlichen Großbuchstaben (A, B, C oder D).

Die in den Tabellen angegebenen Daten sind arithmetische Mittelwerte (\bar{x}) mit den entsprechenden Standardabweichungen (s).

Aufgrund der exponentiell ansteigenden TBARS-Werte, die im Kotelett mit zunehmender Kühlagerung ermittelt wurden, ist der Zusammenhang mit Hilfe der Regressionsanalyse untersucht worden. Nach der Logarithmierung der Meßwerte ergaben sich lineare Gleichungssysteme ($y = \ln(\text{TBARS})$), die zur Verdeutlichung in exponentielle Gleichungen umgeformt wurden ($y = a \cdot e^{b \cdot x}$). Mit dem F-Test wurde das Bestimmtheitsmaß (R^2) und die Signifikanz der Modelle überprüft.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Bei allen Proben (Kotelett, Schinken und Leber), deren Gewicht sich während der Herstellung und Lagerung verändert, sind die Ergebnisse auf die Frischmasse (FM) bezogen. Da der Gewichtsverlust bei Rohschinken vornehmlich auf physiologische (pH-Wert) und technologische Faktoren (Geschwindigkeit des Einfrierens und Auftauens, Position in der Klimakammer) zurückzuführen ist und nicht auf den α -Tocopherol-Gehalt, werden alle Ergebnisse aus diesen Erzeugnissen auf die Frischmasse vor dem Einfrieren bezogen.

Bei den Kochschinken bestimmt der pH-Wert sowie die Geschwindigkeit des Einfrierens und Auftauens aber auch die eingespritzte Menge und die Zusammensetzung der Pökellake das Wasseraufnahmevermögen und damit die Ausbeute. Um diese Faktoren zu eliminieren, werden die Ergebnisse auf die Frischmasse vor dem Einfrieren bezogen.

Der Ausdruck "Vitamin E-Gehalt" bezeichnet im Folgenden den Gehalt an α -Tocopherol (α -TOH). Das HPLC-Analysenverfahren erfaßte nur α -Tocopherol, nicht dessen Homologe. Die Stereoisomere von α -Tocopherol wurden chromatographisch nicht voneinander getrennt.

3.1 VERSUCHSVERLAUF, MAST- UND SCHLACHTLEISTUNGSDATEN

3.1.1 Versuchsverlauf

Der Versuch verlief mit Störungen aufgrund von Krankheitseinbrüchen. Zwei Schweine verendeten vor Ablauf des Versuches. Todesursache war Colitis bzw. Kreislaufversagen. Vier Tiere mit Lähmungserscheinungen wurden vorzeitig geschlachtet und nicht in der Auswertung berücksichtigt. Des weiteren traten im Versuch unspezifische Erkrankungen mit Fieber auf (Anhang 7). Um hierdurch bedingte Einflüsse auf das Versuchsergebnis weitgehend auszuschließen, wurden Schweine, welche mehr als zweimal durch den Tierarzt behandelt worden waren, von der Auswertung ausgeschlossen.

Bei zwei Tieren bestand PSE-Verdacht, d.h. der pH-Wert 45 min post mortem im Kotelett lag unter 5,6. Die Schweine wurden in die Auswertung einbezogen. Bei allen untersuchten Parametern wurde überprüft, ob diese Tiere auffällig abweichende

Meßwerte zeigten, d.h. ob sie die Extrema darstellten. Erfüllten sie die Kriterien für Ausreißer, wurden die entsprechenden Meßwerte nicht berücksichtigt.

Aufgrund der im Einzelnen aufgezeigten Ausfälle kamen in den einzelnen Versuchsgruppen die in Tabelle 14 zusammengestellten Tierzahlen zur Auswertung, wobei hinsichtlich Anfangs- und Endmast differenziert wurde.

Tabelle 14: Mastdauer in Tagen

Gruppe		Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage		-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n		20	20	18	17
<i>Mastperiode</i>					
Anfang (25-60 kg LM)	d	48 \pm 5	49 \pm 5	48 \pm 5	48 \pm 5
Ende (60-105 kg LM)	d	52 \pm 5	52 \pm 7	52 \pm 4	52 \pm 4
Gesamt	d	100 \pm 6	101 \pm 7	100 \pm 8	100 \pm 7

Die Schweine wurden bei 105 kg Lebendmasse geschlachtet. Für den Abschnitt 25-105 kg Lebendmasse betrug die mittlere Mastdauer 100 \pm 7 Tage. Die Schlachtung erfolgte an 10 Schlachttagen innerhalb von vier Wochen.

3.1.2 Futteraufnahme

In Tabelle 15 ist die mittlere tägliche Futteraufnahme in den einzelnen Versuchsgruppen zusammengestellt. Dabei zeigte sich, daß sie weder durch die Höhe noch durch die Dauer der α -TAc-Supplementierung (Tabelle 5) beeinflusst war. Hinsichtlich der Futteraufnahme bestanden keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen den Schweinen.

Tabelle 15: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf die Futteraufnahme und die Vitamin E-Aufnahme

Gruppe		Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage		-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n		20	20	18	17
<i>Futteraufnahme [kg/d]</i>					
Anfangsmast		1,66 \pm 0,06	1,65 \pm 0,05	1,65 \pm 0,05	1,64 \pm 0,07
Endmast		2,64 \pm 0,03	2,64 \pm 0,02	2,64 \pm 0,02	2,64 \pm 0,02
Gesamtmast		2,14 \pm 0,06	2,14 \pm 0,07	2,14 \pm 0,04	2,14 \pm 0,05
<i>α-TAc -Aufnahme</i>					
je Tag	mg	70 \pm 0 ^a	287 \pm 11 ^b	507 \pm 10 ^c	*1270 \pm 0 ^d
insgesamt	g	6,9 \pm 0,5 ^a	29,2 \pm 2,4 ^b	51,2 \pm 3,8 ^c	32,2 \pm 0,6 ^d

*nur in den letzten 3 Mastwochen, davor täglich 70 mg je Tier

Wie die Ergebnisse zeigen, betrug die α -TAc-Aufnahme während der gesamten Mast in der Kontrollgruppe im Mittel 7 g und in Versuchsgruppe II und III 29 bzw. 51 g. In Gruppe IV sind während der 21-tägigen Supplementierung des Futters annähernd die gleichen Vitamin E-Mengen wie in der Gruppe II aufgenommen worden. Sie lagen indessen mit 32 g geringfügig, jedoch signifikant ($p < 0,05$), höher als bei den Tieren der Gruppe II.

3.1.3 Lebendmassezunahme

Die Tiere hatten zu Versuchsbeginn in allen Gruppen die gleiche mittlere Lebendmasse (Tabelle 16). Unabhängig von der Höhe der α -TAc-Zulage erreichten die Schweine in der Anfangsmast mittlere tägliche Zunahmen von 722 g. Die Umstellung von Anfangsmast- zu Endmastfutter erfolgte im Lebendmassebereich von 59 bis 60 kg. Im Mittel aller Gruppen nahmen die Tiere im gesamten Mastbereich 810 g/Tag zu. Im Einzelnen zeigte sich, daß die täglichen Zunahmen bei den Schweinen der Gruppe IV gegenüber denen in den übrigen Gruppen leicht erhöht waren. Die Mittelwerte unterschieden sich jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$).

Tabelle 16: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf die Wachstumsleistung im Versuchsverlauf

Gruppe		Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage		-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n		20	20	18	17
<i>Anfangsmast</i>					
LM Beginn	kg	24,6 \pm 1,9	24,8 \pm 2,0	24,6 \pm 1,9	24,5 \pm 2,2
LM Ende	kg	59,4 \pm 0,9	59,3 \pm 0,7	59,1 \pm 0,5	59,5 \pm 1,1
Mittlere LM-Zunahme	g/d	726 \pm 32	715 \pm 50	716 \pm 41	730 \pm 56
<i>Endmast</i>					
LM Beginn	kg	59,4 \pm 0,9	59,3 \pm 0,7	59,1 \pm 0,5	59,5 \pm 1,1
LM Ende	kg	105,6 \pm 2,6	106,3 \pm 3,2	106,0 \pm 2,7	107,5 \pm 2,8
Mittlere LM-Zunahme	g/d	880 \pm 63	896 \pm 84	890 \pm 48	911 \pm 56
<i>Gesamtmast</i>					
Mittlere LM-Zunahme	g/d	805 \pm 42	806 \pm 53	806 \pm 35	824 \pm 49

3.1.4 Futteraufwand

Die Zulage von α -TAc zur Futtermischung hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Höhe des Futteraufwandes für Zuwachs (Tabelle 17). Er lag während der Anfangsmast im Mittel aller Schweine bei 2,30 kg je kg Zunahme. In der Endmast zeigte der

Futteraufwand bei den Tieren in den Versuchsgruppen geringfügig niedrigere Werte als in der Kontrollgruppe ($p > 0,05$). Der Futteraufwand während der gesamten Mastdauer betrug im Mittel aller Gruppen 2,64 kg Futter / kg Zuwachs, wobei die Unterschiede zwischen den Gruppen im Bereich einer Standardabweichung lagen ($p > 0,05$).

Tabelle 17: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf den Futteraufwand für den Zuwachs

Gruppe		Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage		-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n		20	20	18	17
Anfangsmast	kg/kg	2,29 \pm 0,11	2,32 \pm 0,15	2,30 \pm 0,10	2,26 \pm 0,12
Endmast	kg/kg	3,01 \pm 0,24	2,89 \pm 0,19	2,98 \pm 0,18	2,91 \pm 0,18
Gesamtmast	kg/kg	2,67 \pm 0,17	2,61 \pm 0,14	2,66 \pm 0,13	2,60 \pm 0,14

3.1.5 Schlachtkörperqualität

Zur Beurteilung der Schlachtkörperqualität sind die in Tabelle 18 dargestellten Daten erfaßt worden.

Ausgehend von einer mittleren Lebendmasse von 106 kg betrug die Zwei-Hälftenmasse der warmen Schlachtkörper im Mittel 84 kg. Nach 24 Stunden im Kühlhaus war die mittlere Zwei-Hälftenmasse aufgrund von Verdunstungsverlusten auf 82 kg gesunken. Sowohl die Schlachtausbeute, die im Mittel 79 % betrug, als auch der mittlere Gewichtsverlust durch Abtrocknung der Schlachtkörper von 2 % zeigten keinen Einfluß durch die erhöhte Vitamin E-Versorgung der Schweine.

Im Hinblick auf die mittleren Gewichte der Organe Herz, Leber und Niere war keine gerichtete Beeinflussung durch die α -TAc-Zulagen zum Futter festzustellen, ebenso beim Gewicht des Flomens. Die wertvollen Teilstücke der Schinkenpartie wurden nach dem Auslösen der Knochen und dem jeweiligen, für die Herstellung von Roh- und Kochschinken erforderlichen Zuschnitt, gewogen. Dabei zeigte sich, daß das mittlere Gewicht der Schinkenteilstücke nicht durch die α -TAc-Aufnahme der Schweine beeinflusst worden ist ($p > 0,05$).

Die Schlachtkörperlänge betrug unabhängig von der Vitamin E-Versorgung der Tiere im Mittel 97 cm. Die Speckdicke wurde am Widerrist, in der Rückenmitte und an der Lende gemessen sowie die Seitenspeckdicke erfaßt. An keiner dieser Stellen wurde eine gerichtete Beeinflussung der mittleren Speckmaße durch die α -TAc-Zulagen

zum Futter festgestellt. Gleiches gilt für das Speckmaß B, das die Speckdicke über der Rückenmuskelfläche wiedergibt und im Mittel bei allen Schweinen 16 mm betrug. Im angeschnittenen Kotelettstrang betrug die mittlere Fläche des Rückenmuskels 42 cm² und die Fettfläche 21 cm². Beide Flächenmaße wurden nicht durch die Vitamin E-Versorgung der Tiere beeinflusst.

Tabelle 18: Einfluß der DL- α -Tocopherylacetat-Zulagen zum Futter auf Meßgrößen der Schlachtkörper

Gruppe		Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage		-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n		20	20	18	17
<u>Gewichtsmaße</u>					
Lebendmasse	kg	105,6 \pm 2,6	106,3 \pm 3,2	106,0 \pm 2,7	107,5 \pm 2,8
Zwei-Hälftenmasse (warm)	kg	83,6 \pm 2,5	84,1 \pm 2,7	84,0 \pm 2,4	84,8 \pm 3,2
Herz	g	388 \pm 40	380 \pm 42	383 \pm 40	391 \pm 38
Leber	g	1541 \pm 94	1445 \pm 112	1544 \pm 143	1547 \pm 133
Niere	g	303 \pm 30	297 \pm 29	305 \pm 35	296 \pm 28
Flomen	g	1330 \pm 340	1233 \pm 252	1340 \pm 278	1170 \pm 231
Zwei-Hälftenmasse (kalt)	kg	81,6 \pm 2,5	82,1 \pm 2,6	82,0 \pm 2,3	82,8 \pm 3,2
<u>Flächenmaße</u>					
Rückenmuskel	cm ²	42,1 \pm 3,5	42,8 \pm 4,6	42,4 \pm 4,4	40,8 \pm 4,4
Fett	cm ²	21,0 \pm 3,2	20,7 \pm 3,4	21,0 \pm 3,1	21,0 \pm 4,0
<u>Speckmaße</u>					
Speckmaß B	mm	16,3 \pm 3,4	16,3 \pm 3,6	16,5 \pm 4,1	16,2 \pm 3,2
Widerrist	cm	2,43 \pm 0,67	2,66 \pm 0,68	2,61 \pm 0,83	2,55 \pm 0,71
Rückenmitte	cm	2,63 \pm 0,31	2,62 \pm 0,33	2,71 \pm 0,36	2,66 \pm 0,29
Lende	cm	3,13 \pm 0,90	3,08 \pm 1,05	3,03 \pm 0,87	3,19 \pm 0,99
Seitenspeck	cm	2,44 \pm 0,63	2,32 \pm 0,59	2,24 \pm 0,63	2,24 \pm 0,39
Schlachtkörperlänge	cm	97,8 \pm 2,3	96,2 \pm 3,1	96,7 \pm 1,6	97,8 \pm 2,0
	n	12	12	11	11
Kochschinken	g	5910 \pm 458	6066 \pm 434	6011 \pm 297	6103 \pm 474
Rohschinken	g	5873 \pm 389	5981 \pm 266	6120 \pm 374	6116 \pm 351

3.1.6 Diskussion

Tiergesundheit

Im Verlauf des Mastversuchs trat bei 13 Tieren häufiger als zweimal Fieber auf. Diese hohe Inzidenz läßt sich durch verschmutzte Filter in der Stalllüftungsanlage erklären. Auch im vorhergehenden und im darauf folgenden Versuch traten in diesem Stall gehäuft Fälle von Fieber und Lungenentzündung auf.

Mastleistung

Die Mastleistung der gesunden Schweine läßt sich am besten mit Versuchen vergleichen, in denen Tiere gleicher genetischer Herkunft eingesetzt wurden. Das Landwirtschaftszentrum Westfalen-Lippe (LZ), Haus Düsse, verwendete, wie im vorliegenden Versuch, Börge aus dem Zuchtprogramm der Fa. PIC Deutschland. Bei vergleichbarer Futterzusammensetzung (vgl. Tabelle 6) wurden dort ähnliche Mastleistungen erzielt (Tabelle 19). Im Vergleich zur eigenen Untersuchung lag die mittlere tägliche Futteraufnahme um 110 g höher und je kg Zuwachs mußten 130 g Futter mehr aufgewendet werden. Die täglichen Zunahmen waren in der Anfangsmast um 96 g/d höher und in der Endmast um 70 g/d niedriger. Im Mittel über die Gesamtmast zeigten die Börge in dem im Haus Düsse durchgeführten Versuch um 12 g höhere tägliche Zunahmen.

Tabelle 19: Mastleistung von Börge der Herkunft Deutsche PIC (n=71, LZ HAUS DÜSSE 1999) im Vergleich zu eigenen Ergebnissen

Parameter		LZ Haus Düsse	eigene Untersuchung
Futteraufnahme	kg/d	2,25	2,14
Futteraufwand/ Zuwachs	kg/kg	2,77	2,64
Zunahme Anfangsmast	g/d	818	722
Zunahme Endmast	g/d	824	894
Zunahme Gesamtmast	g/d	822	810

Nach Angabe des Zentralverbandes der Deutschen Schweineproduktion e.V. (ZDS) wurden bei der Nachkommenprüfung von 1998 115 Börge aus sechs verschiedenen Rassen bzw. Kreuzungen verglichen und ähnliche Ergebnisse erzielt. Die Mast umfaßte den Lebendmassebereich von 30-105 kg. Die täglichen Zunahmen lagen zwischen 771-916 g und der Futteraufwand je kg Zuwachs zwischen 2,67 kg und 3,33 kg (ZDS 1999). Im eigenen Versuch erreichten die Schweine mittlere tägliche Zunahmen von 810 g bei einem Futteraufwand von 2,64 kg je kg Zuwachs.

Während im vorliegenden Versuch kein signifikanter Einfluß der α -TAc-Zulagen auf die Wachstumsleistung - auch im Abschnitt der Anfangsmast - gemessen wurde, fanden ASGHAR et al. (1991b) in ihren Versuchen in den ersten vier Wochen einen deutlichen positiven Effekt wenn das Futter mit 100 mg α -TAc/kg supplementiert war. Eine höhere Dosierung von 200 mg α -TAc je kg Futter hatte bereits einen deutlich kleineren Einfluß. Innerhalb der ersten beiden Mastwochen war bei den Schweinen aus den Versuchsgruppen ein signifikant geringerer Futteraufwand zu verzeichnen

($p < 0,05$). Der niedrigste Futteraufwand lag bei den Tieren vor, die 100 mg α -TAc/kg Futter erhalten hatten. Die Autoren erklären die Überlegenheit der Schweine aus der Versuchsgruppe mit 100 mg/kg Futter damit, daß eine Versorgung mit 200 mg α -TAc/kg Futter in dieser frühen Wachstumsphase die optimale Versorgung übersteigt. BIERI et al. (1983) berichten, daß nach Aufnahme hoher Mengen an Vitamin E die intestinale Absorption von Vitamin A reduziert wird. Damit wäre dann der Leistungsabfall bei den Tieren mit höherer Vitamin E-Dosierung wenigstens zum Teil zu erklären.

Den Untersuchungen von ASGHAR et al. (1991b) war klar zu entnehmen, daß sich im Verlauf der Mast die Wachstumskurven der Schweine in den drei Versuchsgruppen zunehmend annäherten. Der Vorsprung, den die Tiere durch die Aufnahme von 100 mg α -TAc je kg Futter während der ersten vier Wochen erhalten hatten, wurde jedoch nicht gänzlich eingeholt.

SUOMI et al. (1999) fanden nach Verfütterung eines Gerste/Sojafuttermittels, dessen nativer Vitamin E-Gehalt nicht angegeben wird, bei Zulagen von 40 mg α -TAc je kg Futter positive Effekte auf die Wachstumsleistungen. Weitere Steigerungen der Zulagen auf 80 bzw. 160 mg α -TAc/kg Futter hatten dagegen keine zusätzliche Wirkung. Im vorliegenden Versuch, bei dem die Rationen ebenfalls auf Getreide/Sojaextraktionsschrot basierten, hatten die deutlich höheren Zulagen von 100 bzw. 200 mg α -TAc je kg Futter keine Auswirkungen auf die Wachstumsleistung. Offensichtlich hat die Vitamin E-Konzentration im Kontrollfutter, die nach der vorliegenden Analyse 33 mg α -TAc/kg betrug, für ein maximales Wachstum ausgereicht.

In der Studie von ASGHAR et al. (1991b) ist ebenfalls kein konstanter Effekt der Vitamin E-Zulagen auf die Mastleistung während der gesamten Versuchsdauer zu erkennen. Eine Bewertung dieser Befunde, die im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen und denen einer Vielzahl anderer Autoren stehen, läßt sich aus den Angaben in der jeweiligen Publikation nicht ableiten.

Die Ergebnisse aus der eigenen Untersuchung deuten darauf hin, daß eine α -TAc-Zulage bis zu 200 mg/kg Futter keinen Einfluß auf die Mastleistung hat. Gleiches gilt bei der Verabreichung von 1,2 g α -TAc pro Tag während der letzten drei Mastwochen. Verglichen mit den Schweinen aus der Kontrollgruppe (33 mg α -TAc/kg Futter) konnte kein signifikanter Einfluß der unterschiedlichen α -TAc-Versorgung auf die Mastleistung festgestellt werden ($p > 0,05$).

Dies steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von PEPLOWSKI et al. (1981), deren Meinung nach ein positiver Einfluß auf die Mastleistung nur zu erwarten ist, wenn das Futter sehr arm an α -TAc und Selen ist, d.h. ein Mangelzustand vorliegt. In der eigenen Untersuchung war der Gehalt an α -TAc im Futter dagegen bei allen Gruppen mindestens bedarfsdeckend (Tabelle 5). In der Literatur werden überwiegend Versuche beschrieben, bei denen - abgesehen von Streßsituationen - kein Einfluß von Vitamin E-Zulagen auf die Mastleistung festgestellt werden konnte (HOPPE et al. 1989, CHUNG et al. 1992, ANDERSON et al. 1995, EDER et al. 1995, 1999, MARQUERING et al. 1996, WANG et al. 1996, JAKOBSEN et al. 1997, HONIKEL et al. 1998, GEBERT et al. 1999a). Analoge Ergebnisse liegen auch bei Geflügel und Wiederkäuern vor (FLACHOWSKY et al. 1997a).

Schlachtleistung

Im Hinblick auf die Schlachtausbeute sind die Resultate der eigenen Untersuchung am besten mit denen von STOLL (1998) zu vergleichen. An 60 Schweine wurden im LM-Bereich von 25 bis 105 kg Rationen verfüttert, die in der Kontrollgruppe 38 mg Vitamin E je kg Futter enthielten und in der Versuchsgruppe 142 mg/kg. Unabhängig von der Vitamin E-Versorgung betrug die mittlere Zwei-Hälftenmasse (warm) 83,8 kg und im kalten Zustand 82 kg, was einem Abtrochnungsverlust von 2,1 % entspricht. Die Schlachtausbeute betrug in beiden Gruppen 80,8 %. Aus dem eigenen Versuch ergab sich eine mittlere Zwei-Hälftenmasse von 84 kg (warm) bzw. 82 kg nach der Abkühlung. Das entspricht einem Gewichtsverlust von 2 %. Diese Meßgrößen waren ebenso wenig von der Vitamin E-Versorgung abhängig, wie die mittlere Schlachtausbeute von 79 %.

Bezüglich der Speckmaße findet sich die beste Übereinstimmung mit den Ergebnissen von EDER et al. (1995). Sie haben 24 Schweinen der Kreuzung Pi x DL im Mastabschnitt von 30 bis 100 kg Rationen zugeteilt, deren Gesamt-Tocopherolgehalt in der Kontrollgruppe 34,3 mg je kg Futter betrug und in der Versuchsgruppe 183 mg/kg. Die mittlere Rückenspeckdicke (2,49 cm) und das seitliche Speckmaß (2,72 cm) waren, wie alle anderen Parameter der Schlachtkörperbewertung, nicht durch die erhöhte Vitamin E-Versorgung der Tiere beeinflusst. Entsprechendes gilt für die Speckmaße aus der eigenen Studie, bei der eine mittlere Rückenspeckdicke von 2,66 cm sowie ein seitliches Speckmaß von 2,31 cm bestimmt wurde.

Insgesamt überwiegen im Hinblick auf die Schlachtleistung die Untersuchungen, die keinen Effekt durch Vitamin E-Supplemente in der Ration nachweisen konnten. So haben z.B. GEBERT et al. (1999b) nach Zulage von 200 mg α -TAc je kg Futter bei 12 Kastraten keinen Effekt auf die Zusammensetzung des Schlachtkörpers gefunden im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, deren Ration 15 mg α -TOH/kg enthielt. Zu ähnlichen Resultaten gelangten viele andere Autoren (KIES et al. 1991, MOUROT et al. 1992, CANNON et al. 1996, MARQUERING et al. 1996). Diese Befunde stimmen mit den Ergebnissen der eigenen Studie überein, die ebenfalls keinen Einfluß von Vitamin E-Zulagen im Futter auf die Schlachtleistung erkennen lassen.

3.2 CHEMISCHE UND SENSORISCHE EIGENSCHAFTEN VON KOTELETT UND LEBER

Im Hinblick auf die Qualität der Lebensmittel, die aus dem Mastschwein gewonnen werden, sind besonders die wertvollen Teilstücke von Interesse und es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob durch die erhöhte Vitamin E-Versorgung deren Eigenschaften beeinflusst werden. Daher fanden im vorliegenden Versuch der Kotelettstrang und die Schinkenpartie besondere Beachtung. Darüber hinaus wurde der Leber in ihrer Bedeutung vor allem als Kurzzeit-Speicher von α -TOH besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

3.2.1 Wasser-, Eiweiß-, Fett- und Aschegehalt im Rückenmuskel

Die Fleischqualität wird im Wesentlichen durch das Mengenverhältnis der Hauptinhaltsstoffe geprägt, d.h. durch den Wasser-, Eiweiß-, Fett- und Mineralstoffgehalt. Dabei zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung, daß die höhere α -TAc-Aufnahme in zwei Dosierungen auf diese Parameter keinen Einfluß hatte. Das heißt es wurden keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf diese Inhaltsstoffe in Abhängigkeit von der α -TAc-Versorgung gefunden ($p > 0,05$, Tabelle 20).

Tabelle 20: Wasser-, Eiweiß-, Fett- und Aschegehalt im Rückenmuskel [g/100 g]

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
Gehalt				
Wasser	75,06 \pm 0,71	75,40 \pm 0,69	75,60 \pm 0,77	75,21 \pm 0,68
Eiweiß	22,54 \pm 0,52	22,33 \pm 0,62	22,08 \pm 0,67	22,51 \pm 0,57
Fett	1,29 \pm 0,57	1,16 \pm 0,45	1,23 \pm 0,56	1,15 \pm 0,42
Asche	1,22 \pm 0,02	1,22 \pm 0,02	1,22 \pm 0,02	1,22 \pm 0,02

Eine Beurteilung dieser Ergebnisse zeigt, daß der Proteingehalt und damit auch der Wassergehalt recht hoch ist und der Fettgehalt entsprechend niedrig liegt. Die Ursache dafür dürfte in einem höheren Proteinansatzvermögen der Schweine zu suchen sein, das aus der genetischen Herkunft (PIC) resultiert, und weniger in der Mastintensität, die im vorliegenden Versuch im mittleren Bereich liegt (vgl. Abschnitt 3.1.5). Am besten stimmen die Ergebnisse der eigenen Untersuchung mit denen von KRATZ (2002) überein. Bei vergleichbarer Mastintensität konnte er im Rückenmuskel von Schweinen mit ähnlicher Genetik im Mittel 75 % Wasser, 23 % Eiweiß und 1,3 % intramuskuläres Fett nachweisen.

In der eigenen Untersuchung war auch durch die Supplementierung des Futters mit α -TAc kein Einfluß auf den Gehalt an Wasser, Eiweiß, Fett und Mineralien im *M. long. dorsi* zu erkennen. Zum gleichen Ergebnis kamen CANNON et al. (1996) und GEBERT et al. (1999b), die nach Zulage von 100 bzw. 200 mg α -TAc je kg Futter keinen Unterschied im Wasser- und Fettgehalt des Rückenmuskels feststellen konnten, wenn in der Kontrollgruppe 5,0-8,9 bzw. 15 mg α -TOH/kg verfüttert wurden.

3.2.2 Fettsäurenmuster

Die Bestimmung des Fettsäurenmusters im Rückenmuskel erfolgte aus dem intramuskulären Fettgewebe. Beim Rückenspeck wurden die innere und die äußere Schicht nicht getrennt voneinander untersucht. In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die Anteile der jeweiligen Fettsäuren in g/100 g der bestimmten Fettsäuren (FS) aufgeführt.

3.2.2.1 Rückenmuskel

Der Anteil an Caprinsäure (C10:0) lag im Rückenmuskel von den Tieren der Versuchsgruppen niedriger als in der Kontrollgruppe ($p > 0,05$). Die Konzentration der gesättigten Fettsäuren C12:0 bis C16:0 zeigte sich nicht durch die α -TAc-Versorgung beeinflusst. Der Anteil der Stearin- (C18:0), Öl- (C18:1), Linol- (C18:2), α -Linolensäure (C18:3) und γ -Linolensäure (C18:3 gamma) im *M. long. dorsi* zeigte sich ebenfalls nicht durch die α -TAc-Aufnahme verändert.

Bei der Fettsäure C20:2 war im Rückenmuskel von den Schweinen der Gruppe III eine signifikant höhere Konzentration festzustellen als in der Gruppe II ($p < 0,05$).

Die jeweiligen Summen der gesättigten Fettsäuren, Mono- und Diene waren nicht signifikant durch die α -TAc-Versorgung beeinflusst. Tendenziell nahm die Summe der Polyene im *M. long. dorsi* mit der Zulage von α -TAc zum Futter zu ($p > 0,05$). Das Fettsäurenmuster im Rückenmuskel der Schweine mit der kurzzeitigen, hohen α -TAc-Zulage entsprach weitgehend dem in der Gruppe II.

Tabelle 21: Fettsäuremuster im Rückenmuskel [g/100 g FS]

Gruppe α -TAc-Zulage n	Kontrolle (I)	II	III	IV
	- 20	100 ppm 20	200 ppm 18	1,2 g/d 17
<u>Gehalt</u>				
C10:0	0,28 ± 0,08	0,25 ± 0,06	0,23 ± 0,07	0,22 ± 0,07
C12:0	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,02
C14:0	1,41 ± 0,20	1,36 ± 0,12	1,36 ± 0,20	1,47 ± 0,29
C15:0 iso	2,72 ± 0,76	2,85 ± 0,53	3,31 ± 1,19	2,81 ± 0,85
C16:0	25,64 ± 1,42	25,37 ± 1,26	25,14 ± 1,22	25,58 ± 1,20
C16:1 cis	4,28 ± 0,62	4,21 ± 0,35	3,85 ± 0,50	4,22 ± 0,53
C17:0	0,20 ± 0,06	0,17 ± 0,02	0,20 ± 0,05	0,18 ± 0,04
C17:1	0,46 ± 0,17	0,50 ± 0,13	0,56 ± 0,20	0,47 ± 0,19
C18:0	10,57 ± 0,84	10,15 ± 0,47	10,60 ± 0,65	10,49 ± 0,38
C18:1	38,71 ± 2,96	39,29 ± 2,84	36,50 ± 3,99	38,01 ± 3,33
C18:2	10,39 ± 2,89	9,95 ± 2,48	11,61 ± 3,19	10,45 ± 2,36
C18:3 gamma	0,57 ± 0,22	0,61 ± 0,17	0,70 ± 0,29	0,60 ± 0,28
C18:3	0,49 ± 0,09	0,49 ± 0,14	0,52 ± 0,07	0,50 ± 0,06
C20:0	0,67 ± 0,25	0,64 ± 0,25	0,68 ± 0,32	0,62 ± 0,36
C20:1	0,49 ± 0,09	0,51 ± 0,12	0,48 ± 0,11	0,44 ± 0,11
C20:2	0,33 ± 0,06 ^{ab}	0,30 ± 0,06 ^a	0,37 ± 0,05 ^b	0,34 ± 0,07 ^{ab}
C20:3 cis 8, 11, 14	0,26 ± 0,10	0,26 ± 0,08	0,31 ± 0,10	0,28 ± 0,10
C20:4	1,77 ± 0,69	1,79 ± 0,62	2,03 ± 0,87	1,81 ± 0,71
C21:0	0,46 ± 0,25	0,47 ± 0,19	0,58 ± 0,28	0,46 ± 0,27
C22:0	0,41 ± 0,15	0,40 ± 0,17	0,49 ± 0,26	0,42 ± 0,25
C22:2	0,34 ± 0,15	0,31 ± 0,10	0,33 ± 0,14	0,29 ± 0,19
C22:5	0,30 ± 0,11	0,32 ± 0,17	0,33 ± 0,18	0,28 ± 0,09
<u>Summe</u>				
gesättigte FS	41,92 ± 1,29	41,45 ± 1,21	42,34 ± 0,84	42,02 ± 0,70
Monoene	43,85 ± 3,43	44,47 ± 3,16	41,36 ± 4,30	43,14 ± 3,73
Diene	10,85 ± 2,85	10,41 ± 2,39	12,22 ± 3,19	11,00 ± 2,33
Polyene	3,10 ± 0,91	3,32 ± 0,88	3,73 ± 1,23	3,38 ± 0,99
alle FS	99,72 ± 0,23	99,65 ± 0,24	99,66 ± 0,22	99,54 ± 0,25

3.2.2.2 Rückenspeck

Der Gehalt an Caprinsäure im Rückenspeck von den Tieren der Gruppe IV war signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$, Tabelle 22). Die gesättigten Fettsäuren C12:0 bis C16:0 waren im Rückenspeck der Schweine aus allen Gruppen gleichmäßig verteilt, ebenso die Palmitolein- (C16:1 cis), die Margarinsäure (C17:0), die Stearinsäure (C18:0) und die Ölsäure (C18:1). Linol- (C18:2) und Linolensäure (C18:3) kamen unabhängig von der α -TAc-Aufnahme gleichmäßig verteilt im Rückenspeck aller Tiere vor. Von den Fettsäuren C20:1, C20:2 und C20:3 waren ten-

denziell größere Mengen im Rückenspeck der Schweine aus den Versuchsgruppen zu finden ($p > 0,05$).

In der Summe kamen gesättigte Fettsäuren, Mono-, Di- und Polyene unabhängig von der Vitamin E-Versorgung gleichmäßig verteilt im Rückenspeck aller Tiere vor.

Tabelle 22: Fettsäuremuster im Rückenspeck [g/100 g FS]

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
<u>Gehalt</u>				
C10:0	0,14 ± 0,02 ^a	0,13 ± 0,02 ^{ab}	0,14 ± 0,02 ^{ab}	0,12 ± 0,02 ^b
C12:0	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,02
C14:0	1,80 ± 0,17	1,70 ± 0,16	1,78 ± 0,16	1,69 ± 0,15
C15:0	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,01
C16:0	27,68 ± 0,88	26,86 ± 1,22	27,65 ± 0,81	27,39 ± 0,88
C16:1 cis	2,42 ± 0,37	2,30 ± 0,27	2,36 ± 0,28	2,34 ± 0,28
C17:0	0,36 ± 0,09	0,38 ± 0,10	0,35 ± 0,07	0,36 ± 0,07
C18:0	13,28 ± 1,16	12,93 ± 1,19	13,22 ± 1,07	13,31 ± 1,13
C18:1	34,82 ± 1,90	35,69 ± 1,71	34,69 ± 1,50	35,34 ± 1,75
C18:2	15,79 ± 1,73	16,10 ± 1,57	16,02 ± 1,24	15,64 ± 1,69
C18:3	1,52 ± 0,17	1,52 ± 0,16	1,52 ± 0,14	1,51 ± 0,16
C20:1	0,61 ± 0,09	0,67 ± 0,09	0,66 ± 0,08	0,66 ± 0,10
C20:2	0,58 ± 0,08	0,66 ± 0,11	0,61 ± 0,08	0,63 ± 0,09
C20:3	0,19 ± 0,04	0,21 ± 0,04	0,22 ± 0,02	0,21 ± 0,03
C20:4	0,16 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,03
<u>Summe</u>				
gesättigte FS	43,41 ± 1,62	42,14 ± 2,10	43,30 ± 1,35	43,00 ± 1,83
Monoene	37,84 ± 2,10	38,67 ± 1,83	37,71 ± 1,59	38,34 ± 1,84
Diene	16,38 ± 1,76	16,76 ± 1,65	16,63 ± 1,28	16,27 ± 1,73
Polyene	1,86 ± 0,20	1,90 ± 0,19	1,88 ± 0,16	1,87 ± 0,18
alle FS	99,49 ± 0,06	99,47 ± 0,07	99,51 ± 0,05	99,49 ± 0,04

3.2.2.3 Diskussion

Der direkte Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung der Futterfette und den Fettsäuremustern in den Körpergeweben von Monogastriern ist hinlänglich bekannt und wurde oft beschrieben. Es ist auch bekannt, daß α -TOH die ungesättigten Fettsäuren vor Oxidation schützt. Folgerichtig wäre zu erwarten, daß in Muskel- und Fettgewebe mit erhöhtem Gehalt an α -TOH nach 15 bis 18 Monaten Gefrierlagerung ein höherer Anteil dieser Fettsäuren im Vergleich zur Kontrolle zu finden ist. KIES et al. (1991) konnten dies bestätigen. Sie fanden mit steigender α -TAc-Versorgung bei

Schweinen eine Abnahme des Gehalts an gesättigten Fettsäuren im Rückenspeck und damit einen Anstieg der Konzentration an ungesättigten Fettsäuren.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten ISABEL et al. (1999a) bei Rohschinken. Sie haben 20 Schweinen während der letzten sechs Mastwochen 200 mg α -TAc je kg Futter verabreicht und sie mit einer Kontrollgruppe verglichen, deren Tiere 10 mg α -TAc/kg aufgenommen hatten. Aus dem *M. biceps femoris* stellten sie auf traditionelle Weise trocken gepökelte, luftgetrocknete Iberische Schinken her und ließen sie ca. 12 Monate reifen. Die α -TOH-Konzentration betrug in den Kontrollproben 6,7 μ g/g Trockenmasse und in der Versuchsgruppe 14,3 μ g/g. In der Fraktion der polaren Lipide wurde bei den Schinken aus der Versuchsgruppe ein signifikant ($p < 0,05$) höherer Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren gemessen als bei den Kontrollproben.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen stehen im Gegensatz zu denen der beschriebenen Studien. Eine erhöhte α -TAc-Aufnahme hatte keinen Einfluß auf die Fettsäuremuster in Rückenmuskel und -speck. Offensichtlich hat sich die Lagerung der Koteletts über 15-18 Monate bei $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Vakuum als ausreichend schonend gegenüber der Lipidoxidation erwiesen. Da die Fettsäuremuster unabhängig von der α -TAc-Versorgung der Schweine in allen Gruppen ähnlich waren, ist eine Beeinflussung der Oxidationsstabilität durch diesen Faktor auszuschließen.

Eine Bewertung des Befundes von KIES et al. (1991), der im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen und denen einer Vielzahl anderer Autoren (MONAHAN et al. 1992b, GOTTSCHALK et al. 1994, EDER et al. 1995, ROSENBAUER & HONIKEL 1998 und GEBERT et al. 1999b) steht, läßt sich aus den Angaben in der Publikation nicht ableiten. Aus den Ergebnissen der Studie von ISABEL et al. (1999a) läßt sich folgern, daß bei hohem Oxidationsdruck, wie er besonders bei der Herstellung von lang gereiften, luftgetrockneten Iberischen Schinken auftritt, durch eine erhöhte α -TOH-Konzentration im Gewebe eine Verbesserung der Oxidationsstabilität von mehrfach ungesättigten Fettsäuren erreicht wird.

3.2.3 α -Tocopherol-Gehalt

3.2.3.1 Rückenmuskel

Die Ergänzung der Futtermischung mit 100 mg α -TAc/kg bewirkte im *M. longissimus dorsi* (*M. long. dorsi*) eine Verdoppelung des α -TOH-Gehalts (4,86 μ g/g FM) im Vergleich zu Tieren aus der Kontrollgruppe (2,42 μ g/g FM, Tabelle 23). Bei einer Erhöhung der Zulage zum Futter auf 200 mg konnte die Konzentration im Rückenmuskel auf 5,64 μ g/g FM, und damit auf das 2,3-fache von der Kontrolle, gesteigert werden. Die Schweine aus den Versuchsgruppen wiesen signifikant höhere α -TOH-Gehalte im *M. long. dorsi* auf als die Tiere der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Im Rückenmuskel der Schweine von Gruppe IV war die α -TOH-Konzentration geringfügig niedriger als die der Tiere von Gruppe II ($p > 0,05$). Der α -TOH-Gehalt im *M. long. dorsi* der Tiere aus der Gruppe III war signifikant höher als in der Gruppe IV ($p < 0,05$).

Die Abnahme der α -TOH-Konzentration im Rückenmuskel während der Kühllagerung über zwei Wochen betrug relativ zu dem Gehalt bei Lagerungsbeginn, in der Kontrollgruppe 12 %. Die Tiere aus den Gruppen, die 100 bzw. 200 ppm α -TAc-Zulage zum Futter erhalten hatten, zeigten einen Rückgang des α -TOH-Gehalts im Rückenmuskel um 11 bzw. 16 %. Am geringsten war die Abnahme im *M. long. dorsi* der Schweine aus der Gruppe IV. Die Verminderung der α -TOH-Konzentration war bei den Tieren aller Gruppen nur tendenziell ($p > 0,05$). Auch am Ende der Kühllagerung waren die Unterschiede im mittleren α -TOH-Gehalt zwischen den Gruppen signifikant ($p < 0,05$).

Tabelle 23: α -Tocopherol-Gehalt im Rückenmuskel [μ g/g FM] im Verlauf der Kühllagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
<i>Lagerung [d p.m.]</i>				
2	2,42 \pm 0,59 ^a	4,86 \pm 0,82 ^{bc}	5,64 \pm 1,27 ^b	4,28 \pm 0,68 ^c
14	2,13 \pm 0,44 ^a	4,31 \pm 0,61 ^{bc}	4,73 \pm 0,36 ^b	3,88 \pm 0,62 ^c
Anstieg relativ zur Kontrolle	1,0	2,0	2,3	1,8
Abnahme relativ zur Ausgangssituation [%]	12	11	16	9

Nach 10 Wochen Gefrierlagerung war im Rückenmuskel ein geringfügig höherer α -TOH-Gehalt zu finden als in den frischen Proben (Tabelle 24). Die Ursache für die höheren Konzentrationen könnte sein, daß die gefriergelagerten Koteletts bereits einen Tag post mortem vakuumverpackt und eingefroren wurden, während die frischen Proben bis zur Analyse am zweiten Tag post mortem ohne Vakuum bei 4 °C lagerten. Somit war nach 10 Wochen Gefrierlagerung im Mittel aller Gruppen keine Verringerung des α -TOH-Gehalts im *M. long. dorsi* zu beobachten. Die Proben von Schweinen aus den Versuchsgruppen wiesen zu den verschiedenen Zeiten der Lagerung signifikant ($p < 0,05$) höhere α -TOH-Konzentrationen auf als die der Kontrollgruppe (Tabelle 23 und Tabelle 24). Der α -TOH-Gehalt im Rückenmuskel von Tieren der Gruppe III war signifikant höher als der in Gruppe IV ($p < 0,05$).

Nach 26 Wochen Gefrierlagerung war der mittlere α -TOH-Gehalt im *M. long. dorsi* bei den Schweinen aus den Versuchsgruppen signifikant niedriger als nach 10 Wochen Lagerung ($p < 0,05$) und entsprach ungefähr dem nach zwei Wochen Kühlung. Die kurz- und langzeitige Verabreichung vergleichbarer Vitaminmengen (Gruppen II und IV) bewirkte keinen Unterschied im α -TOH-Gehalt im Rückenmuskel. Im *M. long. dorsi* von Tieren aus der Gruppe III war die α -TOH-Konzentration signifikant höher als in der Gruppe IV ($p < 0,05$).

Tabelle 24: α -Tocopherol-Gehalt im Rückenmuskel [$\mu\text{g/g}$ FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
Lagerung [w]				
10	2,58 \pm 0,81 ^a	5,42 \pm 1,10 ^{bcA}	5,92 \pm 1,33 ^{bA}	4,85 \pm 1,08 ^{cA}
26	2,15 \pm 0,71 ^a	4,52 \pm 0,71 ^{bcB}	5,05 \pm 0,68 ^{bB}	4,08 \pm 0,53 ^{cB}

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

3.2.3.2 Rückenspeck

Die erhöhte Vitamin E-Aufnahme durch Supplementation des Futters mit 100 mg α -TAc je kg Futter führte zu einer Verdoppelung des α -TOH-Gehalts im Rückenspeck (Tabelle 25). Bei Steigerung der Zulage auf 200 mg wurde eine maximale α -TOH-Konzentration im Rückenspeck beobachtet, die mit 24 $\mu\text{g/g}$ FM dem 2,6-fachen Gehalt in Tieren der Kontrollgruppe entsprach. Bei den Schweinen aus den Versuchs-

gruppen lag die α -TOH-Konzentration im Rückenspeck signifikant höher als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Die langzeitige (Gruppe II) und die kurzzeitige Verfütterung (Gruppe IV) des Vitamins bewirkten bei vergleichbarer Aufnahmemenge keine Unterschiede im α -TOH-Gehalt im Rückenspeck.

Die Kühlung über 14 Tage wirkte sich deutlich auf die α -TOH-Konzentration im Rückenspeck der Schweine aus der Kontrollgruppe und der Gruppe II aus. Es war eine signifikante Abnahme um 44 bzw. 29 % zu verzeichnen ($p < 0,05$). Im Rückenspeck der Tiere, die 200 mg α -TAc je kg Futter (Gruppe III) bzw. kurzzeitig 1,2 g α -TAc/Tag erhalten hatten (Gruppe IV), ging der α -TOH-Gehalt dagegen nur tendenziell zurück ($p > 0,05$). Angesichts der hohen Ausgangswerte von 24 bzw. 20 $\mu\text{g/g}$ FM Gewebe kann die Abnahme bei den beiden letzteren als geringfügig bezeichnet werden (11 bzw. 14 %).

Aufgrund der großen Streuung innerhalb der Versuchsgruppen war die Abnahme der α -TOH-Konzentration im Rückenspeck während der Kühlung nur bei den Tieren der Kontrollgruppe und denen der Gruppe II signifikant ($p < 0,05$). Die unterschiedliche Abnahme des α -TOH-Gehalts zwischen den Gruppen war nicht zu erklären.

Nach zwei Wochen Kühlung blieb die α -TOH-Konzentration im Rückenspeck der Schweine aus den Versuchsgruppen signifikant höher als im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

Tabelle 25: α -Tocopherol-Gehalt im Rückenspeck [$\mu\text{g/g}$ FM] im Verlauf der Kühlung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
<i>Lagerung [d p.m.]</i>				
2	9,45 \pm 2,01 ^{aA}	19,76 \pm 4,88 ^{bA}	24,30 \pm 1,79 ^b	19,68 \pm 4,45 ^b
14	5,27 \pm 2,20 ^{aB}	14,02 \pm 6,93 ^{bB}	21,72 \pm 7,20 ^b	17,01 \pm 6,99 ^b
Anstieg relativ zur Kontrolle	1,0	2,1	2,6	2,1
Abnahme relativ zur Ausgangssituation [%]	44	29	11	14

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

Im Vergleich zu frischem Rückenspeck war nach 10 und 26 Wochen Gefrierlagerung im Vakuum (Tabelle 26) im Mittel keine Verringerung des α -TOH-Gehalts festzustellen.

len. Mit Ausnahme der Mittelwerte in den Gruppen II und IV waren alle anderen signifikant verschieden ($p < 0,05$).

Tabelle 26: α -Tocopherol-Gehalt im Rückenspeck [$\mu\text{g/g FM}$] im Verlauf der Gefrierlagerung ($-25\text{ }^\circ\text{C}$, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
<u>Lagerung [w]</u>				
10	8,75 \pm 2,21 ^a	19,61 \pm 3,31 ^b	23,64 \pm 2,42 ^c	18,81 \pm 4,00 ^b
26	8,93 \pm 1,88 ^a	20,37 \pm 2,98 ^b	24,22 \pm 3,09 ^c	18,84 \pm 3,46 ^b

3.2.3.3 Leber

Die Gesamtmenge an Vitamin E, die die Tiere während der Mast aufgenommen haben, war in den Versuchsgruppen II und IV annähernd gleich (Tabelle 15). Dennoch traten beim α -TOH-Gehalt in der Leber sehr große Differenzen auf, die durch die Dauer der Verabreichung und die Höhe der α -TAc-Zulagen zum Futter verursacht wurden.

In den Leberproben der Schweine aus Gruppe II betrug der α -TOH-Gehalt fast das Dreifache im Vergleich zu denen aus der Kontrollgruppe (Tabelle 27). Die Proben von Tieren der Gruppe III zeigten die gut vierfache α -TOH-Konzentration im Vergleich zu denen aus der Kontrollgruppe. Der α -TOH-Gehalt in der Leber von Schweinen aus der kurzzeitig supplementierten Gruppe IV betrug das Zwölfwache der Kontrollgruppe. Trotz der starken Streuung der Meßwerte in den Lebern von Tieren aus der Gruppe IV waren die Unterschiede zu den mittleren α -TOH-Konzentrationen der anderen Gruppen signifikant ($p < 0,05$).

Tabelle 27: α -Tocopherol-Gehalt in der Leber [$\mu\text{g/g FM}$]

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
<u>Gehalt</u>				
α -TOH	6,18 \pm 1,29 ^a	17,86 \pm 3,21 ^b	26,38 \pm 5,23 ^c	74,76 \pm 17,82 ^d

3.2.3.4 Diskussion

α -TOH in der Leber

Die verschiedenen Körpergewebe reagieren, abhängig von ihren Stoffwechselaktivitäten, unterschiedlich auf die Versorgung mit α -TOH. Da Vitamin E aus der Blutzirkulation zunächst in die Leber gelangt und dort in das α -Tocopherol Transport Protein und in die Lipoproteine eingebaut wird, ist in diesem Organ eine erhöhte Tocopherolkonzentration zu erwarten. Im vorliegenden Versuch stieg der Gehalt an α -TOH in der Leber proportional zur täglich aufgenommenen α -TAc-Menge an (Tabelle 15). Die Abbildung 1 zeigt einen linearen Zusammenhang bei einer täglichen α -TAc-Aufnahme von 70 bis 1270 mg je Tier. Offensichtlich wurden auch von den hohen Dosen erhebliche Vitamin E-Mengen resorbiert und in der Leber zwischengelagert. Die Speicherfähigkeit der Leber für α -TOH hatte ihr Maximum offenbar noch nicht erreicht, und eine Sättigung war nicht festzustellen. In diesem Dosierungsbereich war der Fettgehalt der Ration und die Menge an vorhandenen Gallensäuren nicht limitierend für die Aufnahme von α -TOH in das Lebergewebe.

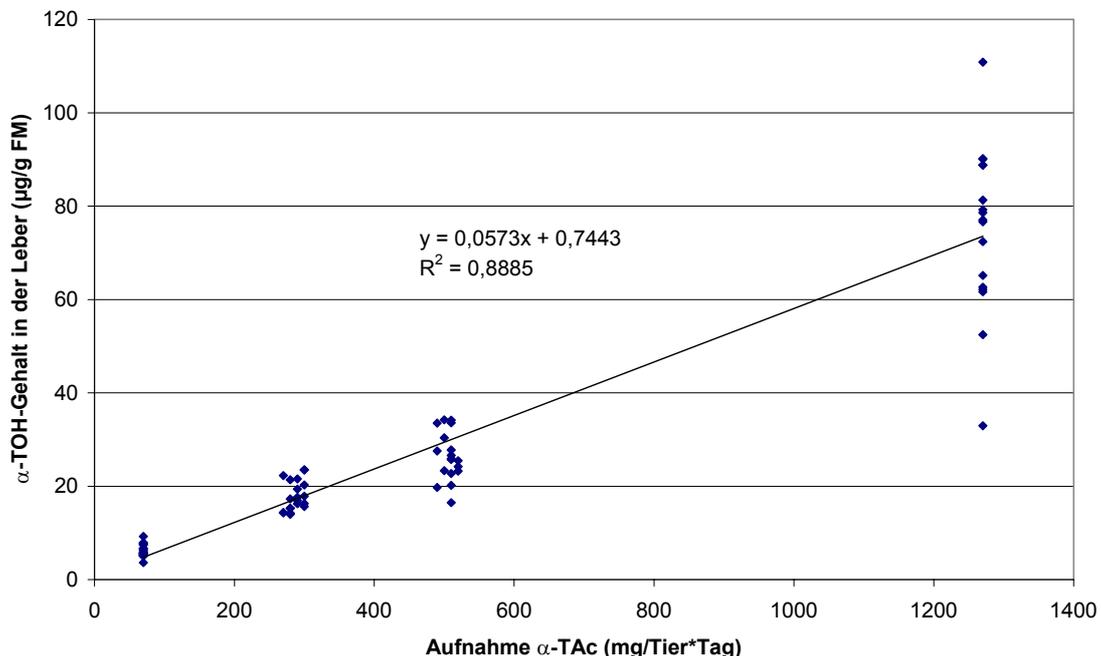


Abbildung 1: α -Tocopherol-Gehalt in der Leber in Abhängigkeit von der täglich aufgenommenen Menge DL- α -Tocopherylacetat (lineare Regression)

Dies steht im Widerspruch zu Befunden von ELMADFA & BOSSE (1985). Nach deren Meinung ist die Absorptionsrate von Vitamin E bis zu einer Dosierung 100 mg α -TOH/d proportional zur Dosierung. Darüber hinaus gehende Dosierungen (unphysio-

logisch beim Menschen) führen ihrer Ansicht nach zu einer umgekehrt proportionalen Absorptionsrate. Die in der Leber festgestellte hohe Speicherfähigkeit für α -TOH stimmt mit den Ergebnissen vieler anderer Autoren überein. So fanden z.B. JENSEN et al. (1988, 1990), FLACHOWSKY et al. (1997a,b) und ROSENBAUER & HONIKEL (1998) bei bedarfsübersteigender Versorgung vor allem in der Leber einen starken Anstieg des α -TOH-Gehalts. Obwohl die Schweine der Gruppen II und IV vergleichbare Mengen α -TAc aufgenommen hatten war in den Lebern der Tiere aus Gruppe II nur ein Viertel der α -TOH-Konzentration derer aus Gruppe IV nachzuweisen. Die Ursache für diesen Befund liegt in der hohen Stoffwechselaktivität der Leber. Bei den Tieren, die während der gesamten Mast α -TAc aufgenommen hatten, ist in der Leber wesentlich mehr Vitamin E metabolisiert bzw. weiter transportiert worden als im Vergleich zur kurzzeitigen Applikation in der Gruppe IV. Besonders deutlich wird der Einfluß der Applikationsdauer beim Vergleich der α -TOH-Gehalte in den Lebern von Schweinen der Gruppen III und IV. Obwohl die Tiere der Gruppe III die doppelte α -TAc-Menge aufgenommen hatten, war in deren Lebern weniger als die Hälfte der α -TOH-Konzentration in der Gruppe IV nachzuweisen.

α -TOH in unterschiedlichen Zielorganen und -geweben

Verschiedene Arbeitsgruppen fanden eine unterschiedliche Rangfolge der Speicherfähigkeit für α -TOH in Organen und Geweben. ASGHAR et al. (1991b) konnten nach Zulage von 100 und 200 mg α -TAc je kg Futter auch in Herz, Niere und Lunge signifikant höhere α -TOH-Konzentrationen nachweisen. JENSEN et al. (1988), ASGHAR et al. (1991a) und ANDERSON et al. (1995) bestimmten die höchsten α -TOH-Konzentrationen in der Leber, gefolgt von Rückenspeck und -muskel. Andere Autoren fanden dagegen den höchsten Gehalt im Nierenfett gefolgt von Rückenspeck, Leber, Lunge, Herz und Nieren (HOPPE et al. 1993, SISK et al. 1994). Die niedrigste α -TOH-Konzentration liegt nach Untersuchungen von MORRISSEY et al. (1996) in Muskel- und Hirngewebe vor.

Zwischen den verschiedenen Muskelgeweben treten ebenfalls große Schwankungen im Tocopherolgehalt auf (JENSEN et al. 1997). So fanden O'SULLIVAN et al. (1997) nach Verabreichung von 160 mg α -TAc je kg Futter über 130 Tage die höchsten α -TOH-Konzentrationen in der Brustmuskulatur von Schweinen gefolgt von der Nacken-, Becken-, Bauch- und Rückenmuskulatur. JENSEN et al. (1997) konnten zei-

gen, daß der *M. psoas major* mehr α -TOH enthält als der *M. longissimus dorsi*. In der Literatur liegen die meisten Studien zur α -TOH-Konzentration im *M. long. dorsi* vor. Aus diesem Grund erfolgten die Bestimmungen in der eigenen Untersuchung ebenfalls am *M. long. dorsi* um die Ergebnisse mit denen anderer Studien vergleichbar zu machen.

α -TOH im Rückenmuskel

In der Tabelle 28 werden Ergebnisse über Untersuchungen zum Einfluß von α -TAc-Zulagen in der Ration auf den α -TOH-Gehalt im Rückenmuskel von Schweinen zusammengestellt und mit denen der eigenen Untersuchung verglichen.

Mit einer Zulage von 200 mg α -TAc je kg Futter in den letzten zwei Mastwochen haben MONAHAN et al. (1990) bemerkenswert hohe Tocopherolkonzentrationen im *M. long. dorsi* (7,0 μ g/g) erzielt. Auf die Art und Menge des Futterfettes wird als mögliche Ursache in dieser Studie nicht eingegangen. Die gleichen Versuchsansteller konnten im zweiten Versuch (MONAHAN et al. 1992b) einen ähnlichen α -TOH-Gehalt im *M. long. dorsi* nur bei langfristiger Supplementierung (200 mg α -TAc je kg Futter von 30-84 kg LM) finden. Vergleichbare Ergebnisse erzielten HOPPE et al. (1993), LANARI et al. (1995), JENSEN et al. (1997) und HOVING-BOLINK et al. (1998). In anderen Studien erreichten MONAHAN et al. (1992d) und ROSENBAUER & HONIKEL (1998) durch Zulage von 200 mg α -TAc je kg Futter im Zeitraum zwischen 30 und 98 bzw. 105 kg LM nicht annähernd die hohe α -TOH-Konzentration im *M. long. dorsi* wie MONAHAN et al. (1990).

In den Studien, die Futterfette unterschiedlicher Qualität verwenden, zeigt sich kein Einfluß der Fettzusammensetzung auf den α -TOH-Gehalt im *M. long. dorsi* (MONAHAN et al. 1992d, PFALZGRAF et al. 1995b).

Nicht einzuordnen sind die Ergebnisse von CHEAH et al. (1995). Sie konnten in ihrem Versuch mit einer Zulage von 500 mg α -TAc/kg Futter über 46 Tage einen α -TOH-Gehalt im *M. longissimus thoracis* von nur 4,4 μ g/g erzeugen. CANNON et al. (1996) haben nach Zulage von 100 mg α -TAc je kg Futter über 84 Tage ebenfalls nur eine relativ niedrige α -TOH-Konzentration im *M. long. dorsi* gefunden (1,9 μ g/g).

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchung konnten viele Versuchsansteller durch Zulagen bis zu 200 mg α -TAc/kg Futter, die durchgehend verabreicht wurden, α -TOH-Konzentrationen im *M. long. dorsi* im Bereich zwischen

4-6 µg/g erreichen (PFALZGRAF et al. 1995a,b, MORRISSEY et al. 1996, JENSEN et al. 1998a, GEBERT et al. 1999a,b)

Tabelle 28: α -Tocopherol-Konzentration im *M. longissimus dorsi* bei Schweinen in Abhängigkeit vom α -Tocopherylacetat-Gehalt im Futter (Literaturübersicht)

Vitamin E im Futter		³ Vitamin E im Muskel	Fett in Ration	Dauer der Zulage	Autor
¹ Zulage	² analysiert				
30	k.A.	3,2	k.A.	70 kg LM + 14 d	Monahan et al. 1990
200		7,0			
10	k.A.	0,5	3 % Sojaöl	14 w	Asghar et al. 1991a
100		2,6			
200		4,7			
10	23	3,2	3 % Rindertalg	30-84 kg LM	Monahan et al. 1992b
200	204	8,0	3 % Sojaöl		
10	22	2,2			
200	205	7,0			
10	24	0,8	3 % frisches Maiskeimöl	30-98 kg LM	Monahan et al. 1992d
100	141	2,6	3 % oxidiertes Maiskeimöl		
200	215	4,1			
10	13	0,5	3 % oxidiertes Maiskeimöl		
100	135	3,0			
200	226	4,2			
0	3	0,5	k.A.	7-100 kg LM	Hoppe et al. 1993
20	24	2,9			
40	45	4,9			
80	87	5,6			
160	175	7,5			
0	k.A.	⁴ 0,9	k.A.	46 d	Cheah et al. 1995
500		⁴ 4,4			
0	5	⁵ 1,0	k.A.	19-99 kg LM	Lanari et al. 1995
200	198	⁵ 6,9			
200	207	⁵ 7,9			
40	k.A.	2,5	Rindertalg	30-95 kg LM	Pfalzgraf et al. 1995a
200		4,1			
20	24	2,1	3 % Rindertalg	30-95 kg LM	Pfalzgraf et al. 1995b
200	200	6,4	3 % Sojaöl		
20	22	2,8			
200	200	6,3			
0	7	0,2	5 % Maiskeimöl	84 d	Cannon et al. 1996
100	102	1,9			
20	k.A.	2,5	k.A.	126 d	Morrissey et al. 1996
200		4,0		35 d	
200		5,0		126 d	

Fortsetzung von Tabelle 28

Vitamin E im Futter		³ Vitamin E im Muskel	Fett in Ration	Dauer der Zulage	Autor
¹ Zulage	² analysiert				
100	132	5,4	1,5 % Rapsöl	50-90 kg LM	Jensen et al. 1997
100	130	5,1			
200	201	7,8			
200	223	8,2			
700	722	11,4			
700	742	11,1			
0	k.A.	1,5	k.A.	44-111 kg LM	Hoving-Bolink et al. 1998
200		6,5			
0	9	1,6	3 % Rapsöl	30-105 kg LM	Jensen et al. 1998a
0	20	2,9			
100	78	4,2			
200	134	5,5			
0	31	1,5	2 % Rapsöl	30-105 kg LM	Rosenbauer & Honikel 1998
100	114	2,8			
200	191	3,8			
0	15	2,4	k.A.	26-106 kg LM	Gebert et al. 1999a,b
200	258	5,1			
0	33 ¹	2,4	2 % Sojaöl	25-105 kg LM	eigene Untersuchung
100	136 ¹	4,9			
200	239 ¹	5,6		21 d vor Schlachtung	
1200*	33 ¹	4,3			

¹mg DL- α -TAc/kg Futter, sofern nicht anders angegeben

²mg D- α -TOH/kg Futter, sofern nicht anders angegeben

³ μ g D- α -TOH/g Muskel, ⁴*M. longissimus thoracis*, ⁵*M. longissimus lumborum*

*mg/Tier·Tag

Es existieren nur wenige Versuche zu α -TOH-Verlusten während der Lagerung, die methodisch mit den eigenen Studien zu vergleichen sind. JENSEN et al. (1998d) supplementierten das Futter von 82 weiblichen Mastschweinen mit 6 % Rapsöl und 100 oder 200 mg α -TAc/kg. Im *M. long. dorsi* von Tieren aus der Kontrollgruppe (6 % Rapsöl) hatten sie einen α -TOH-Gehalt von 2,9 μ g/g *M. long. dorsi* gemessen, im *M. long. dorsi* von Schweinen nach mittlerer und hoher α -TAc-Zulage zum Futter dagegen 4,2 und 5,5 μ g/g ($p < 0,05$). Nach 10 Monaten Gefrierlagerung bei -25°C im Vakuum sank die α -TOH-Konzentration im *M. long. dorsi* auf 2,5, 4,0 und 5,0 μ g/g. Trotz der hohen Zulage von 6 % Rapsöl und dem damit verbundenen zusätzlichen Eintrag von α -TOH stimmen die Ergebnisse dieser Studie sehr gut mit denen der eigenen Untersuchung überein. Bei vergleichbarer α -TOH-Konzentration im frischen *M. long. dorsi* und nach ähnlicher Lagerung (sechs Monate bei -25°C im Vakuum)

betragen die α -TOH-Gehalte 2,2, 4,5 und 5,1 $\mu\text{g/g}$ *M. long. dorsi* von Schweinen aus der Kontrollgruppe und den Gruppen II und III. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von PFALZGRAF et al. (1995a), JENSEN et al. (1998d) und ROSENBAUER & HONIKEL (1998) war nach sechs Monaten Gefrierlagerung kein signifikanter Rückgang der α -TOH-Konzentration im *M. long. dorsi* zu beobachten.

α -TOH im Rückenspeck

Einige der in Tabelle 28 aufgeführten Versuchsansteller haben die α -TOH-Konzentration auch im Rückenspeck bestimmt. In der Studie von MONAHAN et al. (1992b) hat sich durch Zulage von 200 mg α -TAc/kg Futter die Tocopherolkonzentration im Rückenspeck der Tiere, die 3 % Rindertalg im Futter hatten, von 6,1 (Kontrollgruppe) auf 12,2 $\mu\text{g/g}$ verdoppelt. Bei den Schweinen mit 3 % Sojaöl in der Ration war der Anstieg von 6,2 (Kontrollgruppe) auf 13,5 μg α -TOH/g Rückenspeck noch stärker ausgeprägt. Ähnliche Ergebnisse fanden ROSENBAUER & HONIKEL (1996) nach Zulage von 100 bzw. 200 mg α -TAc/kg Futter. Im Vergleich zum Rückenspeck von den Tieren aus der Kontrollgruppe (6,3 μg α -TOH/g Gewebe) konnte der α -TOH-Gehalt in den Proben aus den Versuchsgruppen auf 12,0 bzw. 15,4 $\mu\text{g/g}$ erhöht werden. Eine deutlichere Anhebung der α -TOH-Konzentration im Rückenspeck erreichten GEBERT et al. (1999a,b) durch Zulage von 200 mg α -TAc je kg Futter. Verglichen mit den Proben von Schweinen aus der Kontrollgruppe (9,9 μg α -TOH/g Gewebe) konnte der α -TOH-Gehalt im Rückenspeck der supplementierten Tiere auf 29,2 $\mu\text{g/g}$ gesteigert werden. PFALZGRAF et al. (1995a) ermittelten bereits bei Schweinen aus der Kontrollgruppe einen α -TOH-Gehalt von 12,3 $\mu\text{g/g}$ Rückenspeck und in der Versuchsgruppe 20,3 $\mu\text{g/g}$. Innerhalb von zwei Wochen Lagerung bei 4 °C sank die α -TOH-Konzentration auf 9,7 und 14,4 $\mu\text{g/g}$. Der Rückgang des α -TOH-Gehalts im Rückenspeck während der Kühllagerung zeigte sich um so stärker, je höher der Ausgangsgehalt lag. Im Gegensatz zu diesem Befund stehen die Ergebnisse der eigenen Untersuchung mit vergleichbarer Supplementation und den gleichen Lagerbedingungen. Bei den Schweinen aus der Kontrollgruppe sank die α -TOH-Konzentration innerhalb von zwei Wochen von 9,5 auf 5,3 $\mu\text{g/g}$ Rückenspeck ($p < 0,05$), bei den Tieren, die 200 mg α -TAc/kg Futter erhalten hatten, nur von 24,3 auf 21,7 $\mu\text{g/g}$.

kurzzeitige Vitamin E-Applikation

Hinsichtlich der kurzzeitigen Verabreichung von Vitamin E liegen wenige Untersuchungen vor. SISK et al. (1994) ergänzten das Futter von 32 abgesetzten Ferkeln mit 200 mg D- α -TAc/kg, fütterten es über 1, 2, 3, 5, 13 und 18 w und töteten die Tiere unmittelbar nach der jeweiligen Supplementierungsperiode. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, in der 20 mg D- α -TAc je kg Futter aufgenommen und 0,8 μ g α -TOH/g im *M. long. dorsi* gemessen wurden, stieg der α -TOH-Gehalt im *M. long. dorsi* mit der Dauer der Zulage signifikant an (2,0-5,1 μ g/g, $p < 0,05$). Auch im Rückenspeck (innere und äußere Schicht gemischt) konnten sie im Vergleich zur Kontrollgruppe (3,1 μ g/g) mit zunehmender Dauer der Verabreichung einen signifikanten Anstieg der α -TOH-Konzentration feststellen (3,0-21,9 μ g/g, $p < 0,05$). WEN et al. (1997) erhöhten die α -TAc-Zulagen auf 200 und 1000 mg je kg Futter und fütterten 12 Börgen vier Wochen vor der Schlachtung mit der supplementierten Ration. Sie konnten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, in der 30 mg D- α -TAc je kg Futter aufgenommen und 1,3 μ g α -TOH/g *M. gluteo biceps* (*M. gb*) gemessen wurden, mit zunehmender Höhe der Zulagen einen signifikanten Anstieg des α -TOH-Gehalts im *M. gb* nachweisen (3,0-4,3 μ g/g, $p < 0,01$).

Eine wenig praktizierte Methode der Supplementation ist die tägliche Zulage einer bestimmten Vitaminmenge zum Futter über einen begrenzten Zeitraum. GOTTSCHALK et al. (1994) verabreichten 36 weiblichen Mastschweinen in den letzten 1, 2 und 3 Mastwochen 1000 mg α -TAc pro Tier und Tag. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, in der 40 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen und weniger als 0,5 μ g α -TOH/g *M. long. dorsi* gemessen wurden, fanden sie mit zunehmender Dauer der Zulage nur einen geringen Anstieg des Tocopherolgehalts im *M. long. dorsi* (<0,5-1,1 μ g/g). Deutlicher stieg die α -TOH-Konzentration mit länger andauernder Zulage im Rückenspeck an. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (7,0 μ g/g) betrug die Konzentration im Rückenspeck von den Schweinen der Versuchsgruppen 6,8-12,8 μ g α -TOH/g. In einem Versuch mit 24 Schweinen konnten FLACHOWSKY et al. (1997b) die α -TOH-Konzentration im Rückenspeck stärker erhöhen. Verglichen mit Schweinen aus der Kontrollgruppe, die 25 mg α -TOH je kg Futter aufnahmen, konnten sie durch Zulage von 1000 mg α -TAc pro Tier und Tag innerhalb der letzten drei Mastwochen den α -TOH-Gehalt signifikant ($p < 0,05$) von 12,5 auf 30 μ g/g Rückenspeck anheben.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten BERK et al. (1998). Sie verabreichten 99 Börgen in den letzten drei Mastwochen 500 und 1000 mg α -TAc pro Tier und Tag. Verglichen mit der Kontrollgruppe, deren Futter 45 mg α -TOH je kg und 2,9 % Sojaöl enthielt und bei der ein Gehalt von 3,9 μ g α -TOH/g im *M. quadriceps femoris* (*M. qf*) ermittelt wurde, lagen die entsprechenden Konzentrationen in den supplementierten Gruppen bei 6,2-7,8 μ g/g ($p < 0,05$). Auch im Rückenspeck der Schweine aus den Versuchsgruppen stieg die α -TOH-Konzentration, die in der Kontrollgruppe 7,0 μ g/g betrug, mit der Höhe der α -TAc-Zulage im Futter signifikant an und belief sich auf 9,8-14,0 μ g α -TOH/g Rückenspeck ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung, bei der 1200 mg α -TAc pro Tier und Tag in den letzten drei Mastwochen verabreicht wurden und 4,3 μ g α -TOH je g *M. long. dorsi* bzw. 19,7 μ g α -TOH je g Rückenspeck gemessen wurden, reihen sich in die Befunde aus den Studien mit vergleichbarer Höhe und Dauer der Supplementierung ein. Während GOTTSCHALK et al. (1994) nach dreiwöchiger Zulage von 1000 mg α -TAc pro Tier und Tag nur sehr geringe α -TOH-Konzentrationen im *M. long. dorsi* (1,1 μ g/g) und im Rückenspeck (12,8 μ g/g) messen konnten lagen die α -TOH-Gehalte bei gleicher Dauer und Höhe der Zulagen bei BERK et al. (1998) höher (*M. qf*: 7,8 μ g/g, Rückenspeck: 14,0 μ g/g). Hinsichtlich der α -TOH-Konzentration im Rückenspeck fand sich keine Übereinstimmung der Ergebnisse der eigenen Untersuchung mit denen vergleichbarer Studien. Ursache für die großen Unterschiede sind vor allem die verschiedenen Muskeln, die unterschiedliche Mengen an α -TOH aufnehmen können (JENSEN et al. 1997, O'SULLIVAN et al. 1997).

3.2.4 Sekundäre Lipidoxidationsprodukte (TBARS)

3.2.4.1 Rückenmuskel

In Tabelle 29 und Abbildung 2 ist der Verlauf des Gehalts an Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen im Rückenmuskel während der 14-tägigen Kühlung bei +4 °C zusammengestellt.

Nach 2 und 6 Tagen Lagerung war kein Einfluß der höheren α -TAc-Aufnahme auf den TBARS-Gehalt im *M. long. dorsi* festzustellen (Tabelle 29). Die TBARS-Werte im Rückenmuskel der Schweine aus der Kontrollgruppe verdreifachten sich während der Lagerung ($p < 0,05$). Nach zwei Wochen war der TBARS-Gehalt im *M. long. dorsi*

der Tiere aus der Kontrollgruppe doppelt so hoch wie in den Versuchsgruppen. Im Rückenmuskel der Schweine aus den supplementierten Gruppen II bis IV stieg die TBARS-Konzentration nur tendenziell an ($p > 0,05$). Nach 8 und 14 Tagen Lagerung waren die TBARS-Werte im *M. long. dorsi* von den Schweinen der Versuchsgruppen signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

Tabelle 29: TBARS-Gehalt im Rückenmuskel [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Kühl-lagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
<u>Lagerung [d p.m.]</u>				
2	0,058 ± 0,009 ^A	0,063 ± 0,021	0,061 ± 0,017	0,062 ± 0,014
6	0,079 ± 0,017 ^A	0,070 ± 0,025	0,062 ± 0,014	0,073 ± 0,018
8	0,091 ± 0,021 ^{aA}	0,068 ± 0,012 ^b	0,057 ± 0,007 ^b	0,065 ± 0,012 ^b
12	0,120 ± 0,048 ^{AB}	0,087 ± 0,028	0,077 ± 0,024	0,086 ± 0,028
14	0,180 ± 0,098 ^{aB}	0,083 ± 0,015 ^b	0,072 ± 0,012 ^b	0,089 ± 0,033 ^b

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

Die Ergebnisse zeigen, daß die TBARS-Werte mit der Lagerdauer korrelieren. Der Zusammenhang wird am besten durch eine Exponential-Funktion beschrieben.

$$y = a \cdot e^{b \cdot x}$$

y = TBARS-Gehalt

a = Achsenabschnitt auf der Ordinate

b = Steigung

x = Lagerdauer in Tagen

Für die TBARS-Konzentrationen im Rückenmuskel der Schweine aus den einzelnen Gruppen ergaben sich folgende signifikante Zusammenhänge ($p < 0,05$):

Kontrolle (I)	$y = 0,048 \cdot e^{0,081 \cdot x}$	$R^2 = 0,577$
II	$y = 0,056 \cdot e^{0,027 \cdot x}$	$R^2 = 0,193$
III	$y = 0,055 \cdot e^{0,018 \cdot x}$	$R^2 = 0,111$
IV	$y = 0,056 \cdot e^{0,029 \cdot x}$	$R^2 = 0,209$

Bei den Tieren aus der Kontrollgruppe besteht eine enge Beziehung zwischen den TBARS-Werten im *M. long. dorsi* und der Lagerdauer ($R^2 = 0,577$). Da der TBARS-Gehalt im Rückenmuskel der Schweine aus den Versuchsgruppen während der La-

gerung nur geringfügig anstieg, war der Zusammenhang mit der Lagerdauer nur schwach ausgeprägt.

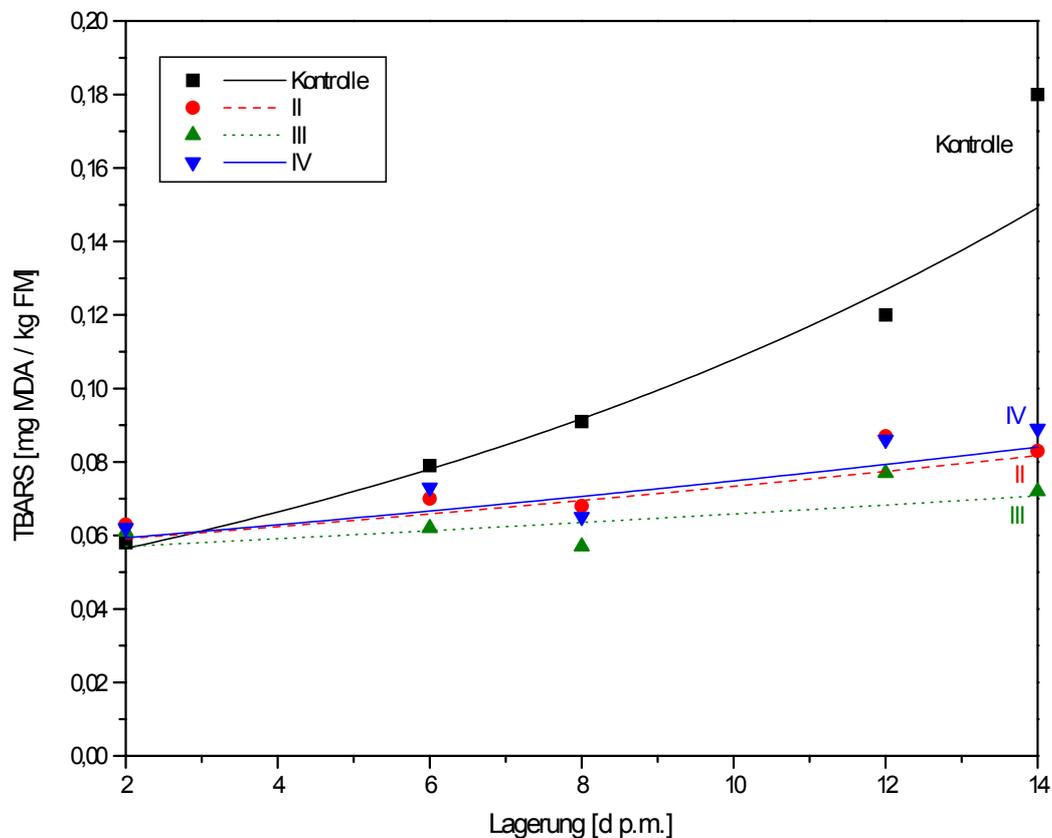


Abbildung 2: TBARS-Verlaufskurven im Rückenmuskel in Abhängigkeit von der Dauer der Kühllagerung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel), (dargestellt sind die Mittelwerte für jede Regressionskurve)

Die niedrigsten TBARS-Werte und der geringste Anstieg fanden sich im Mittel bei den Proben, die aus der Gruppe III stammten, d.h. von den Tieren deren Futter mit 200 ppm α -TAc je kg supplementiert war (Abbildung 2). Auch die Aufnahme von 100 ppm α -TAc je kg Futter (Gruppe II) ließ die TBARS-Werte im *M. long. dorsi* deutlich geringer ansteigen als in der Kontrollgruppe. Der gleiche Effekt war zu beobachten, wenn die α -TAc-Zulage aus einer Tagesdosis von 1,2 g bestand und sich die Ergänzung auf die letzten drei Wochen der Mast beschränkte (Gruppe IV).

Mit zunehmendem α -TOH-Gehalt im Rückenmuskel stiegen die TBARS-Werte während der Kühllagerung weniger stark an.

In den vakuumverpackten Koteletts erhöhten sich die TBARS-Werte während der Gefrierlagerung bis zu 26 Wochen im Vergleich zu frischen Proben nicht (Tabelle

30). Die TBARS-Gehalte im *M. long. dorsi* von Schweinen aus den Versuchsgruppen lagen signifikant unter denen in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

Tabelle 30: TBARS-Gehalt im Rückenmuskel [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
<u>Lagerung [w]</u>				
10	0,064 ± 0,008 ^a	0,051 ± 0,010 ^b	0,053 ± 0,010 ^b	0,050 ± 0,009 ^b
26	0,067 ± 0,011 ^a	0,055 ± 0,010 ^b	0,056 ± 0,009 ^b	0,056 ± 0,009 ^b

3.2.4.2 Rückenspeck

Die Tabelle 31 und die Abbildung 3 zeigen die Entwicklung der TBARS-Werte im Rückenspeck während zwei Wochen Kühlung bei +4 °C. In der ersten Woche verdoppelte sich der TBARS-Gehalt nahezu. Wie im Rückenmuskel war die TBARS-Konzentration nach 8 Tagen Lagerung im Rückenspeck von Schweinen aus den Versuchsgruppen signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). In der zweiten Woche stiegen die TBARS-Werte stark an ($p < 0,05$), ebenso die Streuung innerhalb der Gruppen. Die Tendenz zu niedrigeren TBARS-Werten im Rückenspeck mit steigenden α -TAc-Zulagen zum Futter war statistisch nicht mehr gesichert ($p > 0,05$).

Tabelle 31: TBARS-Gehalt im Rückenspeck [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Kühlung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
<u>Lagerung [d p.m.]</u>				
2	0,065 ± 0,029 ^A	0,046 ± 0,030 ^A	0,048 ± 0,024 ^A	0,050 ± 0,021 ^A
6	0,118 ± 0,052 ^B	0,087 ± 0,038 ^A	0,085 ± 0,030 ^A	0,080 ± 0,024 ^A
8	0,126 ± 0,024 ^{aAB}	0,097 ± 0,022 ^{ba}	0,079 ± 0,015 ^{bA}	0,083 ± 0,023 ^{ba}
12	0,443 ± 0,394 ^{BC}	0,232 ± 0,117 ^A	0,209 ± 0,140 ^{AB}	0,150 ± 0,064 ^A
14	0,694 ± 0,421 ^C	0,671 ± 0,485 ^B	0,398 ± 0,259 ^B	0,401 ± 0,299 ^B

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

Da die TBARS-Werte im Rückenspeck während der Kühlung wesentlich stärker anstiegen als im Rückenmuskel, ist deren Beziehung zur Lagerdauer deutlicher ausgeprägt. Der exponentielle Anstieg wird durch die folgenden signifikanten Funktionen ($p < 0,05$) beschrieben.

Kontrolle (I)	$y=0,035 \cdot e^{0,192 \cdot x}$	$R^2=0,702$
II	$y=0,022 \cdot e^{0,210 \cdot x}$	$R^2=0,737$
III	$y=0,026 \cdot e^{0,168 \cdot x}$	$R^2=0,663$
IV	$y=0,030 \cdot e^{0,149 \cdot x}$	$R^2=0,627$

Im Unterschied zum Rückenmuskel (vgl. Abbildung 2) fallen beim Rückenspeck die niedrigen TBARS-Werte und deren geringfügiger Anstieg bei den Schweinen der Gruppe IV auf. Dieser Befund ist überraschend zumal die mittleren α -TOH-Konzentrationen in den Proben der Gruppen II und IV gleich waren. Die kurzfristige Applikation von Vitamin E hat im Rückenspeck offensichtlich eine effektivere Reduktion der Lipidoxidation bewirkt. Die Ursachen dafür sind nicht zu erklären zumal der Befund beim Rückenmuskel in dieser Form nicht aufgetreten ist.

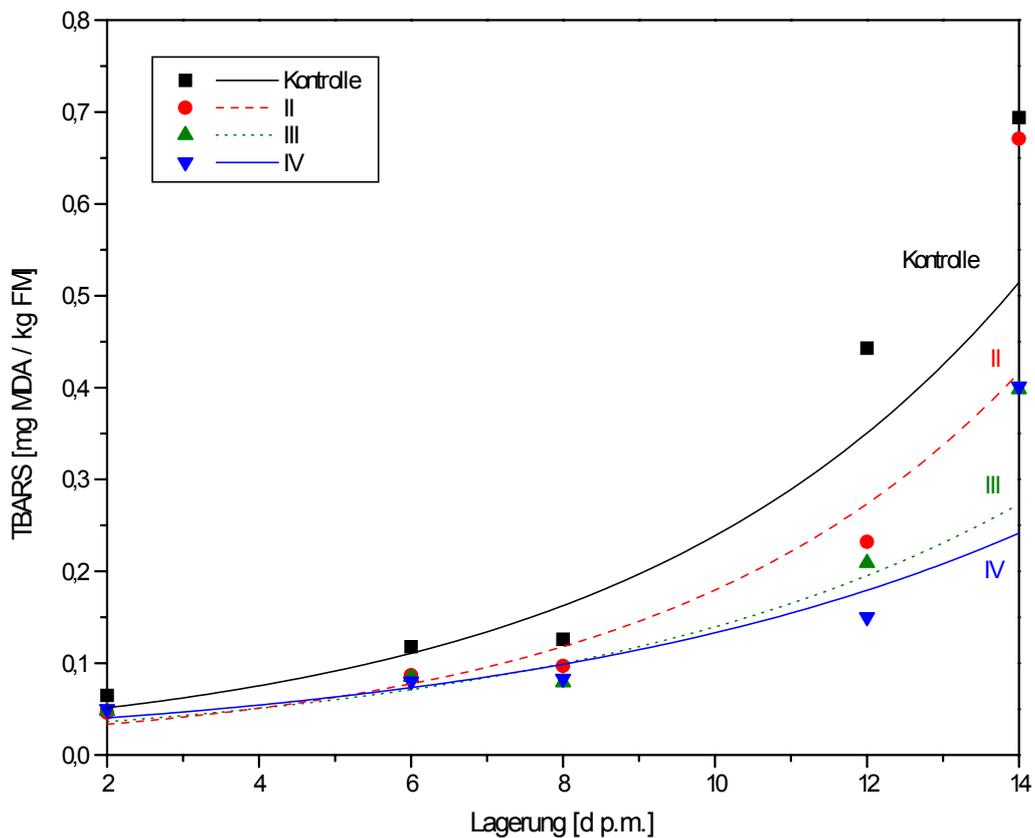


Abbildung 3: TBARS-Verlaufskurven im Rückenspeck in Abhängigkeit von der Dauer der Kühlung (+4 °C, PE-Beutel, dunkel), (dargestellt sind die Mittelwerte für jede Regressionskurve)

Im Verlauf von 10 Wochen Gefrierlagerung stiegen die TBARS-Werte im Rückenspeck im Vergleich zu den frischen Proben nur leicht an (Tabelle 32). Am Ende der 26-wöchigen Lagerung waren die mittleren TBARS-Konzentrationen im Vergleich zu

den Werten nach 10 Wochen bei allen Proben signifikant angestiegen ($p < 0,05$). Die Tendenz zu geringerem TBARS-Gehalt mit steigender α -TOH-Konzentration im Rückenspeck blieb während der gesamten Gefrierlagerung erhalten. Aufgrund der großen Streuung innerhalb der Gruppen fand sich kein signifikanter α -TOH-Effekt bei den TBARS-Werten im Rückenspeck, wenn er vakuumverpackt bis zu 26 Wochen gefrierengelagert wurde.

Tabelle 32: TBARS-Gehalt im Rückenspeck [mg MDA/kg FM] im Verlauf der Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
<i>Lagerung [w]</i>				
10	0,086 ± 0,041 ^A	0,065 ± 0,026 ^A	0,063 ± 0,029 ^A	0,066 ± 0,026 ^A
26	0,121 ± 0,032 ^B	0,104 ± 0,027 ^B	0,108 ± 0,035 ^B	0,112 ± 0,028 ^B

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

Im Rückenmuskel zeigte sich der antioxidative Effekt von α -TOH frühestens nach 8 Tagen, im Rückenspeck ausschließlich nach 8 Tagen Kühlung.

3.2.4.3 Diskussion

Vergleichbarkeit der TBARS-Werte aus unterschiedlichen Studien

Im Gegensatz zum Tocopherolgehalt können die von verschiedenen Autoren publizierten TBARS-Werte nicht direkt miteinander verglichen werden, da für deren Bestimmung unterschiedliche Analyseverfahren angewendet worden sind, die teilweise zu abweichenden Ergebnissen führen. Um einen Vergleich der in verschiedenen Studien gemessenen Lipidoxidation zu ermöglichen, wird die prozentuale Abweichung der TBARS-Werte in den Proben der Versuchsgruppen von denen in der jeweiligen Kontrollgruppe angegeben.

Die Tabelle 33 faßt die Ergebnisse verschiedener Autoren zusammen, die zeigen konnten, daß unterschiedliche α -TOH-Konzentrationen Einfluß auf die TBARS-Werte im Rückenmuskel und -speck ausüben können.

Dabei wird das Ausmaß der Lipidoxidation in Koteletts verglichen, die 5-8 Tage bei 4 °C in Gegenwart von Luftsauerstoff gelagert wurden. Da die Versuchsansteller keine Angaben über den TBARS-Gehalt der frischen Proben machten, läßt sich der An-

stieg der TBARS-Konzentration während der Lagerung aus diesen Studien nicht ableiten. Um die Lipidoxidation zu beschleunigen erfolgte in der Hälfte der Untersuchungen die Lagerung unter fluoreszierendem Licht. In diesen Studien führte ein erhöhter α -TOH-Gehalt zu den stärksten Senkungen der TBARS-Werte bis zu 80 % im Vergleich zu Koteletts von Kontrolltieren ohne Vitamin E-Zulage im Futter.

Tabelle 33: Lipidoxidation im Rückenmuskel und -speck in Abhängigkeit vom Tocopherolgehalt und den Lagerbedingungen (Literaturübersicht)

Vitamin E im Futter		Vitamin E im ³ Muskel	⁴ Δ TBARS [%] am Ende der Lagerung	Muskel	Lagerbedingungen	Autor
¹ Zulage	² analysiert					
0	k.A.	k.A.		⁵ <i>M. ld</i>	6 d, 4 °C	Buckley et al. 1989
200	k.A.	k.A.	45		6 d, 4 °C, Licht	
0	k.A.	k.A.				
200	k.A.	k.A.	67			
10	k.A.	0,5		⁵ <i>M. ld</i>	6 d, 4 °C, Licht	Asghar et al. 1991a
100	k.A.	2,6	68			
200	k.A.	4,7	80			
10	24	0,8		⁵ <i>M. ld</i>	8 d, 4 °C, Licht	Monahan et al. 1992c,d
100	141	2,6	88			
200	215	4,1	89			
10	k.A.	k.A.		⁵ <i>M. ld</i>	8 d, 4 °C, Licht	Monahan et al. 1993
200	k.A.	k.A.	78			
10	k.A.	k.A.		⁵ <i>M. ld</i>	6 d, 4 °C	Monahan et al. 1994
200	k.A.	k.A.	58			
0	5	1,4		⁷ <i>M. ll</i>	6 d, 4 °C, Licht	Lanari et al. 1995
200	205	7,4	73			
0	7	0,2		⁵ <i>M. ld</i>	5 d, 4 °C	Cannon et al. 1996
100	102	1,9	45			
100	131	5,2		⁵ <i>M. ld</i>	6 d, 4 °C, Licht	Jensen et al. 1997, 1998c
200	212	7,9	31			
700	732	11,1	52			
100	131	5,9		⁶ <i>M. pm</i>		
200	212	11,7	22			
700	732	15,7	52			
0	9	1,6		⁵ <i>M. ld</i>	8 d, 4 °C, Licht	Jensen et al. 1998a
0	20	2,9	39			
100	78	4,2	50			
200	134	5,5	52			

Fortsetzung von Tabelle 33

Vitamin E im Futter		Vitamin E im ³ Muskel / Speck	⁴ Δ TBARS [%] am Ende der Lagerung	Muskel / Speck	Lagerbedingungen	Autor
¹ Zulage	² analysiert					
0	¹ 33	⁸ 2,4				
100	¹ 136	⁸ 4,9	11	⁵ M. Id	6 d, 4 °C	eigene Un- tersuchung
200	¹ 239	⁸ 5,6	22			
1200*	¹ 33	⁸ 4,3	8			
0	¹ 33	⁸ 2,4				
100	¹ 136	⁸ 4,9	25	8 d, 4 °C		
200	¹ 239	⁸ 5,6	37			
1200*	¹ 33	⁸ 4,3	29			
0	¹ 33	2,1				
100	¹ 136	4,3	54	14 d, 4 °C	eigene Un- tersuchung	
200	¹ 239	4,7	60			
1200*	¹ 33	3,9	51			
0	31	6,3		Rücken speck	3 d, 4 °C	Rosenbauer & Honikel 1996
100	114	12,0	31			
200	191	15,4	36			
0	31	5,2		15 d, 4 °C		
100	114	10,8	33			
200	191	13,8	26			
0	¹ 33	⁸ 9,5		Rücken speck	2 d, 4 °C	eigene Un- tersuchung
100	¹ 136	⁸ 9,8	29			
200	¹ 239	⁸ 24,3	26			
1200*	¹ 33	⁸ 19,7	23			
0	¹ 33	⁸ 5,3		14 d, 4 °C		
100	¹ 136	⁸ 14,0	3			
200	¹ 239	⁸ 21,7	43			
1200*	¹ 33	⁸ 17,0	42			

¹mg DL- α -TAC/kg Futter, sofern nicht anders angegeben

²mg D- α -TOH/kg Futter, sofern nicht anders angegeben

³ μ g D- α -TOH/g Muskel

⁴relative Änderung im Vergleich zur Kontrollgruppe

⁵*M. longissimus dorsi*, ⁶*M. psoas major*, ⁷*M. longissimus lumborum*

⁸gemessen nach einem Tag der Lagerung

*mg/Tier·Tag

TBARS im Rückenmuskel und -speck

Aus dieser Übersicht ist im Einzelnen abzuleiten, daß die α -TAC-Zulagen in den Studien von ASGHAR et al. (1991a), MONAHAN et al. (1992c,d), LANARI et al. (1995), CANNON et al. (1996) und JENSEN et al. (1998a) am effektivsten sind. Es ist aber zu berücksichtigen, daß der α -TOH-Gehalt in den Koteletts der jeweiligen Kontrolltiere sehr niedrig und die Konzentration an TBARS entsprechend hoch war.

Umgekehrt ist in den Studien, in denen bereits die Koteletts von Schweinen aus der Kontrollgruppe einen hohen α -TOH-Gehalt aufwiesen, eine geringere Reduzierung der TBARS-Werte festzustellen. Dies wird durch die Studie von JENSEN et al. (1997,

1998c) und die eigene Untersuchung bestätigt. Es ist wahrscheinlich, daß die geringere Senkung des TBARS-Gehalts in den Studien von BUCKLEY et al. (1989) und MONAHAN et al. (1994) ebenfalls auf eine hohe α -TOH-Konzentration im Rückenmuskel von Schweinen aus der Kontrollgruppe zurückzuführen ist. Die Vitamin E-Konzentrationen werden von den Autoren jedoch nicht mitgeteilt.

Alle Studien zeigen, daß die Senkung der TBARS-Werte im Rückenmuskel nicht proportional zur aufgenommenen α -TAc-Menge verläuft. Die Reduzierung des TBARS-Gehalts im Rückenmuskel ist um so stärker je niedriger die α -TOH-Konzentration in den Koteletts der Kontrolltiere und je höher der Oxidationsdruck (Lagerdauer, fluoreszierendes Licht) auf die Proben ist.

Das gleiche trifft auch für den Rückenspeck zu. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Versuchsansteller (PFALZGRAF et al. 1995a, ROSENBAUER & HONIKEL 1996 und GEBERT et al. 1999b) zeigen die Resultate der eigenen Untersuchung eine Senkung der TBARS-Werte bei erhöhter α -TOH-Konzentration im Rückenspeck.

TBARS nach kurzzeitiger Vitamin E-Applikation

Alle Studien, bei denen α -TAc nur über einen begrenzten Zeitraum verabreicht wurde (vgl. Abschnitt 3.2.3.4), haben mit Ausnahme der von SISK et al. (1994), die nur auf die Messung des α -TOH-Gehalts im Gewebe abzielte, den Einfluß der Supplementierung auf die Oxidationsstabilität untersucht. WEN et al. (1997) haben nach Verabreichung von 200 und 1000 mg α -TAc je kg Futter über vier Wochen die TBARS-Konzentration im *M. gluteo biceps* von 12 Börgen gemessen. Im Vergleich zu den Kontrolltieren, die 30 mg D- α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten, war der TBARS-Gehalt in den Proben der Versuchsgruppen signifikant niedriger ($p < 0,05$). Durch die Zulage von 200 mg α -TAc/kg Futter während der letzten beiden Mastwochen haben MONAHAN et al. (1990, vgl. Tabelle 28) eine Senkung der TBARS-Werte im Vergleich zum *M. long. dorsi* von Schweinen aus der Kontrollgruppe (30 mg α -TAc/kg Futter) erreicht und die Induktionszeit im Rückenspeck um zwei Stunden verlängert. GOTTSCHALK et al. (1994) verabreichten 36 weiblichen Mastschweinen in den letzten 1, 2 und 3 Mastwochen 1000 mg α -TAc pro Tier und Tag. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, deren Futter 40 mg α -TAc/kg enthielt und bei der im Rückenspeck der Tiere eine Induktionszeit von 4,7 h gemessen wurde, konnten sie mit zunehmender Dauer der Zulage die Induktionszeit signifikant erhöhen und zwar auf 7,1 bzw.

8,4 und 9,1 Stunden. Noch effektiver war die Zulage von 1000 mg α -TAc pro Tier und Tag innerhalb der letzten drei Mastwochen in der Studie von FLACHOWSKY et al. (1997b). Verglichen mit Schweinen aus der Kontrollgruppe, die 25 mg α -TOH/kg Futter aufgenommen hatten, war die Induktionszeit im Rückenspeck signifikant von 7,4 auf 13,7 h angestiegen ($p < 0,05$). Einen ähnlichen Ansatz verfolgten BERK et al. (1998). Sie verabreichten 99 Börgen in den letzten drei Mastwochen täglich 500 und 1000 mg α -TAc pro Tier. Nach 14 Tagen Lagerung bei 4 °C lag der TBARS-Gehalt im *M. quadriceps femoris* (*M. qf*) von Schweinen aus den Versuchsgruppen um 33 bzw. 83 % unter dem in den Kontrolltieren, die 45 mg α -TOH je kg Futter aufgenommen hatten. Im Rückenspeck wurde nach entsprechender Lagerung eine Senkung der TBARS-Werte um 5 bzw. 44 % im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung (1200 mg α -TAc pro Tier und Tag während der letzten drei Mastwochen) reihen sich in die Befunde aus den Studien mit vergleichbarer Höhe und Dauer der Supplementation ein. In Übereinstimmung mit BERK et al. (1998) waren die TBARS-Werte im Rückenspeck nach 14 Tagen Lagerung bei 4 °C um 42 % geringer als die in den Proben der Kontrolltiere. Der TBARS-Gehalt im *M. long. dorsi* lag nach zwei Wochen Lagerung bei 4 °C um 51 % unter dem der Kontrollproben. Die tägliche Aufnahme von 1200 mg α -TAc pro Tier in den letzten drei Mastwochen konnte demnach nicht im Muskelgewebe, wohl aber im Rückenspeck die gleiche Senkung der TBARS-Werte hervorrufen wie die Aufnahme von 1000 mg α -TAc in der vergleichbaren Studie von BERK et al. (1998).

Zusammenhang zwischen TBARS und Sensorik

PARDUN (1976) stellte fest, daß sich mit Hilfe der TBARS-Werte das Fortschreiten der Ranzigkeit gut verfolgen läßt. Dabei ist allerdings zu beachten, daß gleiche Thio-barbitursäurezahlen bei verschiedenen Fetten nicht den gleichen Grad sensorisch feststellbarer Verdorbenheit bedeuten.

Nach Untersuchungen bei welchem Schwellenwert ein trainiertes Sensorikpanel ranzigen Geruch feststellen kann, liegt dieser bei rohem Fleisch zwischen 0,5 und 1,0 mg MDA/kg (LANARI et al. 1995, CANNON et al. 1996). Bei erhitzten Fleischerzeugnissen wird dieser Schwellenwert ebenfalls bei 1,0 mg MDA/kg vermutet (CANNON et al. 1995b), ebenso für den Aufwärmgeschmack (BOLES & PARRISH 1990). Die TBARS-Werte in der eigenen Untersuchung liegen bei rohem Rückenmuskel weit

unter diesen Schwellenwerten. Der maximale TBARS-Gehalt betrug im *M. long. dorsi* 0,180 und im Rückenspeck 0,694 mg MDA/kg Gewebe.

3.2.5 Sensorische Prüfung

Die Koteletts wurden nach der 10-wöchigen Gefrierlagerung gegrillt und von einem sechsköpfigen Sensorikpanel in Einzelprüfungen bewertet (s. Abschnitt 2.5.7). Die Tabelle 34 zeigt den prozentualen Anteil der vergebenen Punkte an der maximal erreichbaren Punktzahl für die Koteletts der Tiere aus den einzelnen Gruppen. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert mit Standardabweichung.

Hinsichtlich der Saftigkeit waren die Punkte gleichmäßig auf die Kotelettproben aus allen vier Gruppen verteilt.

Bei dem Parameter Zartheit wurden für Koteletts tendenziell eine höhere Punktzahl vergeben je höher die tägliche α -TAc-Aufnahme lag.

Im Hinblick auf die Kriterien Aroma und Ranzigkeit im Fett war keine gerichtete Beeinflussung durch die unterschiedlichen α -TAc-Aufnahmen der Schweine zu erkennen.

Der prozentuale Anteil der für jeden Parameter vergebenen Punkte streute sehr stark in jeder Gruppe. Entsprechend war keiner der sensorisch festgestellten Unterschiede statistisch abzusichern.

Tabelle 34: Ergebnisse der sensorischen Prüfung von gegrillten Koteletts nach 10 Wochen Gefrierlagerung (-25 °C, Vakuum, dunkel, % der Maximalbewertung)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	20	20	18	17
<i>Kriterium</i>				
Saftigkeit	59 ± 7	58 ± 9	60 ± 8	62 ± 11
Zartheit	56 ± 10	59 ± 14	64 ± 11	65 ± 6
Aroma	60 ± 8	58 ± 8	60 ± 10	58 ± 8
Ranzigkeit im Fett	57 ± 10	56 ± 9	57 ± 8	58 ± 12

Viele Versuchsansteller haben den Einfluß von Vitamin E-Zulagen zum Futter auf die Fleischqualität bei Schweinen analytisch überprüft (s. Abschnitt 3.2.4.3). Dabei zeigt sich, daß trotz der hohen Korrelation zwischen den TBARS-Werten und der senso-

risch feststellbaren Ranzigkeit (PARDUN 1976, NOLAN et al. 1989, LANARI et al. 1995, CANNON et al. 1996) wenig Studien durchgeführt worden sind, bei denen die Fleischqualität auch sensorisch bewertet wurde.

Als starke Einflußgröße auf die sensorisch bestimmbaren Kriterien Saftigkeit und Zartheit wird das Wasserhaltevermögen des Fleisches angesehen. Durch Vitamin E-Zulagen zum Futter gelang es einigen Autoren, den Saftverlust im Schweinefleisch zu verringern (z.B. ASGHAR et al. 1991a und MONAHAN et al. 1994). In direktem Zusammenhang zu diesem Effekt fanden CHEAH et al. (1995) und ONIBI et al. (1998) eine Verbesserung der sensorisch feststellbaren Zartheit und Saftigkeit. MONAHAN et al. (1992a) haben neben der Verringerung des Tropfsaftverlustes eine signifikante Reduzierung der Fehleraromen Ranzigkeit und Aufwärmgeschmack nachgewiesen.

In einer Studie mit 30 Schweinen verabreichten CANNON et al. (1995b) 100 mg α -TAc je kg Futter. Als Probenmaterial verwendeten sie zugeschnittene Stücke aus dem *M. semimembranosus* bzw. *M. adductor*. Sie erhitzten das Fleisch in der Vakuumverpackung auf 60 °C und lagerten es im Anschluß bis zu 8 Wochen bei 2 °C. Im Vergleich zu den Proben von Schweinen aus der Kontrollgruppe, die 7 mg α -TOH je kg Futter aufgenommen hatten, war das vitaminreichere Fleisch zarter und hatte einen geringeren Aufwärmgeschmack. Beide Unterschiede waren signifikant ($p < 0,05$) und selbst nach 8 Wochen Lagerung noch festzustellen. Das Kriterium Saftigkeit wurde nicht durch den erhöhten α -TOH-Gehalt im Fleisch beeinflusst.

In einer anderen Studie ergänzten DIRINCK et al. (1996) das Futter von 48 weiblichen Mastschweinen mit 200 mg α -TAc/kg. Nach viereinhalb Tagen Lagerung bei 4 °C konnten sie im gegrillten *M. longissimus thoracis* im Vergleich zu Proben von Schweinen aus der Kontrollgruppe, die 60 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten, einen frischeren Geschmack und bessere Zartheit und Saftigkeit feststellen. Alle Unterschiede waren signifikant ($p < 0,05$).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgte die Untersuchung von ROSENBAUER & HONIKEL (1998). Sie supplementierten die Ration von 100 Börgen mit 100 bzw. 200 mg α -TAc je kg Futter, lagerten die Koteletts 27 Wochen vakuumverpackt bei -25 °C und grillten sie im Anschluß. Verglichen mit den Proben von Schweinen aus der Kontrollgruppe, die 31 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten, lag bei den Koteletts aus den supplementierten Gruppen eine deutliche Tendenz zur besseren Bewertung des Aromas vor.

Im Gegensatz zu diesen Befunden stehen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung. Unabhängig von der Dauer und der Höhe der α -TAc-Zulage zum Futter erzielten die Koteletts ähnliche Bewertungen bei der sensorischen Prüfung in Bezug auf die Kriterien Zartheit, Saftigkeit, Aroma und im Speck hinsichtlich der Ranzigkeit. Zu den gleichen Resultaten kamen SUOMI et al. (1999). Sie supplementierten das Futter von 80 Mastschweinen mit 40, 80 und 160 mg α -TAc/kg und verglichen die Effekte mit einer Kontrollgruppe, deren Futter durchschnittlich 34 mg α -TOH/kg enthielt. Die Versuchsansteller fanden keinen Einfluß der Behandlungen auf die TBARS-Werte und die sensorischen Eigenschaften von Schweinefleisch nach 16 Wochen Gefrierlagerung (-16 °C) und nach 8 Tagen Kühllagerung (+8 °C). Sie folgerten daraus, daß keine Verbesserung der Lagerstabilität und der sensorischen Eigenschaften von gefrorenem Schweinefleisch zu erwarten ist, wenn Futter mit einer Zulage von mehr als 40 mg α -TAc/kg an Mastschweine verfüttert wird. Auch DUFEY (1998) konnte nach Zulage von 100 mg Vitamin E je kg Futter bei 30 Schweinen keine Verbesserung der sensorischen Eigenschaften im Fleisch feststellen wenn im Futter der Kontrollgruppe 40 mg Vitamin E je kg Futter enthalten waren.

Hinsichtlich der Wertung läßt sich sagen, daß eine Vitamin E-Versorgung mit 7 mg α -TOH/kg Futter, wie sie CANNON et al. (1995b) durchführten, nicht ausreicht, um sensorisch einwandfreies Fleisch zu erzeugen. In diesem Fall bewirken Vitamin E-Zulagen zum Futter eine Verbesserung der Fleischqualität. Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung lassen den Schluß zu, daß bei 30-40 mg Vitamin E je kg Futter eine Grenze liegt, über die hinaus keine positiven Effekte auf die sensorisch feststellbare Fleischqualität zu erwarten sind. Im Widerspruch dazu steht die Arbeit von DIRINCK et al. (1996), die als einzige bei Zulagen von 200 mg α -TAc je kg Futter noch signifikant positive Effekte auf die sensorische Bewertung gefunden haben, obwohl die Grundration bereits 60 mg α -TAc/kg enthielt.

3.3 CHEMISCHE UND SENSORISCHE EIGENSCHAFTEN VON KOCHSCHINKEN

Im Gegensatz zu frischem Fleisch muß bei den Erzeugnissen mit großen Schwankungen der Meßwerte gerechnet werden, die durch unterschiedlich hohe Zubereitungsverluste entstehen.

Die Ausbeute von Kochschinken, die als Quotient aus den Gewichten des fertigen und des rohen Schinkens vor Injektion der Pökellake berechnet wird, schwankte in-

nerhalb und zwischen den Gruppen stark (Anhang 8). Während die höchste Ausbeute bei Kochschinken aus der Kontrollgruppe vorlag, war die mittlere Ausbeute bei den Schinken aus der Gruppe III signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe und in der Gruppe II ($p < 0,05$). Als Ursache für die Unterschiede kommen technologische Faktoren in Betracht. Dabei kann der pH-Wert als Faktor ausgeschlossen werden, da er zwischen den Schinken der verschiedenen Gruppen nicht nennenswert variierte. In Betracht kommen dagegen Einflußgrößen, wie die Geschwindigkeit des Einfrierens und Auftauens sowie die Verteilung der Pökellake im Schinken. Um diese Faktoren zu eliminieren, ist der Gehalt an α -TOH und TBARS jeweils auf die Frischmasse der Schinken vor dem Einfrieren bezogen. Die Ergebnisse der sensorischen Prüfung sind allerdings unter Berücksichtigung der verschiedenen Ausbeuten zu beurteilen.

3.3.1 α -Tocopherol-Gehalt

Die Anreicherung von α -TOH im frisch bereiteten Kochschinken lief nahezu proportional zur α -TAc-Aufnahme der Tiere (Tabelle 35).

Während im Rückenmuskel keine Unterschiede im α -TOH-Gehalt in Abhängigkeit von der Applikationsdauer gefunden wurden (vgl. Tabelle 23), zeigte sich bei den Muskelgruppen im Schinken nach kurzzeitiger Applikation von α -TAc eine stärkere Anreicherung von α -TOH. Die Unterschiede zwischen den mittleren α -TOH-Konzentrationen in den Kochschinken aus den Gruppen II und IV sind jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$).

Der α -TOH-Gehalt im Kochschinken aus den Versuchsgruppen lag signifikant höher als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Darüber hinaus waren zwischen den Kochschinken aus den Gruppen II und III signifikante Unterschiede in der α -TOH-Konzentration zu finden ($p < 0,05$).

Tabelle 35: α -Tocopherol-Gehalt im Kochschinken [$\mu\text{g/g}$ FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+4 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
Lagerung [d]				
0	2,47 \pm 0,52 ^a	3,79 \pm 0,61 ^b	5,11 \pm 0,54 ^c	4,44 \pm 0,66 ^{bc}
14	2,40 \pm 0,54 ^a	4,00 \pm 0,45 ^b	5,27 \pm 0,51 ^c	4,27 \pm 0,48 ^b

Während der zweiwöchigen Kühllagerung traten bei den Kochschinken keine signifikanten Veränderungen des α -TOH-Gehalts auf ($p > 0,05$). Diejenigen aus der Gruppe III hatten einen signifikant höheren α -TOH-Gehalt im Vergleich zu denen der Gruppen II und IV ($p < 0,05$). Die Unterschiede in der α -TOH-Konzentration bei den Schinken von Tieren aus der Kontrollgruppe und aus den Versuchsgruppen blieben signifikant ($p < 0,05$).

3.3.2 Sekundäre Lipidoxidationsprodukte (TBARS)

In den frisch bereiteten Kochschinken von den Schweinen der Gruppen III und IV lagen die TBARS-Werte signifikant über denen in der Kontrollgruppe und der Gruppe II ($p < 0,05$, Tabelle 36). Nach 14-tägiger Kühllagerung bei 4 °C im Vakuum waren, mit Ausnahme der Schinken aus der Gruppe III, keine signifikanten Veränderungen des mittleren TBARS-Gehalts im Kochschinken festzustellen. Im Mittel aller Gruppen waren die Werte von Beginn an sehr niedrig und blieben während der Lagerung niedrig. Die erhöhten TBARS-Gehalte bei den Kochschinken aus den Gruppen III und IV, wie sie direkt nach der Herstellung gemessen wurden, konnten nicht erklärt werden. Eine erhöhte α -TOH-Konzentration im Kochschinken zeigte keinen Einfluß auf die TBARS-Werte, wenn er vakuumverpackt bis zu zwei Wochen kühl gelagert wurde.

Tabelle 36: TBARS-Gehalt im Kochschinken [mg MDA/kg FM] nach der Herstellung und nach der Kühllagerung (+4 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
Lagerung [d]				
0	0,032 \pm 0,009 ^a	0,032 \pm 0,004 ^a	0,053 \pm 0,009 ^{bA}	0,044 \pm 0,005 ^b
14	0,036 \pm 0,004 ^a	0,033 \pm 0,005 ^a	0,033 \pm 0,007 ^{aB}	0,047 \pm 0,004 ^b

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

3.3.3 Sensorische Prüfung

Die Kochschinken wurden nach der zweiwöchigen Kühllagerung ebenfalls von einem Sensorikpanel in Anlehnung an das DLG-Prüfschema (Anhang 9) bewertet. In der Tabelle 37 sind die Ergebnisse, wie sie nach dem im Abschnitt 2.5.8 beschriebenen Verfahren ermittelt wurden, zusammengestellt.

Tabelle 37: Ergebnisse der sensorischen Prüfung von Kochschinken nach 14-tägiger Kühlung (+4 °C, Vakuum, dunkel, % der Maximalbewertung)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
<i>Aussehen im Anschnitt</i>				
Hohlstellen	94	94	90	90
Risse	100	96	100	100
<i>Farbe</i>				
zu blaß	100	100	95	100
<i>Konsistenz</i>				
zu weich	100	98	100	98
glasiger Biß	98	100	93	100
zu trocken	97	95	78	85
<i>Geruch und Geschmack</i>				
salzig	87	85	75	93
sauer	96	86	75	76
alt	100	74	76	66
chemisch	40	100	100	100

Die Ergebnisse zeigen, daß bei den Merkmalsgruppen Aussehen im Anschnitt, Farbe, Konsistenz und Geruch/Geschmack bedingt durch die unterschiedliche Versorgung mit Vitamin E kein gerichteter Einfluß festzustellen war.

Das Auftreten von Hohlstellen führte bei allen Kochschinken zu Beanstandungen. Bei den Schinken der Tiere aus den Gruppen III und IV gab es höhere Abzüge als bei denen der Kontrollgruppe und der Gruppe II. Risse traten im geringen Maß bei den Kochschinken aus der Gruppe II auf.

Lediglich bei den Schinken aus der Gruppe III erfolgten geringfügige Punktabzüge für Farbmängel.

Beanstandungen für zu weiche Konsistenz waren bei den Kochschinken aus den Gruppen II und IV zu finden. Für das Kriterium "glasiger Biß" gab es bei den Schinken von Tieren aus der Kontrollgruppe und der Gruppe III Punktabzüge. Vor allem die Schinken aus den Gruppen III und IV wurden als zu trocken bewertet. Dieser Befund ist durch die niedrigere Ausbeute der Schinken im Vergleich zu denen aus den Gruppen I und II zu erklären (Anhang 8).

Alle Kochschinken bekamen Punktabzüge für salzigen Geschmack. Die höchsten Abzüge in diesem Kriterium waren bei den Schinken aus der Gruppe III zu finden, gefolgt von denen aus der Gruppe II, der Kontrollgruppe und der Gruppe IV.

Ähnliche Verhältnisse lagen bei dem Kriterium "sauer" vor. Die meisten Beanstandungen gab es bei den Schinken aus der Gruppe III, gefolgt von denen aus den Gruppen IV, II und der Kontrollgruppe.

Nicht geklärt werden konnten die Ursachen für die auffälligen Bewertungen der Schinken aus der Kontrollgruppe im Hinblick auf die Kriterien alt und chemisch. Diese erhielten als einzige keine Punktabzüge für das Geruchs- und Geschmacksmerkmal alt. Dagegen wurden ausschließlich bei den Kochschinken der Kontrollgruppe Punktabzüge für chemischen Geruch und Geschmack vorgenommen.

3.3.4 Diskussion

pH-Wert

Bei der Bewertung der Ergebnisse von Fleischerzeugnissen ist zu berücksichtigen, daß die verschiedenen Herstellungsverfahren zusätzliche Auswirkungen auf die Qualität haben können. So ist für Ausbeute und Saftigkeit sowie für den Scheibenzusammenhalt der pH-Wert des Schinkens von entscheidender Bedeutung (HERRMANN 1999). Deshalb sollte nur Fleisch mit einem pH-Wert zwischen 5,7 und 6,2 (Oberschale, 45 Minuten post mortem) zu Kochschinken verarbeitet werden. Schinken, deren pH-Wert unter 5,7 liegt (PSE-Fleisch), haben deutlich schlechtere wasserbindende Eigenschaften, was im fertigen Produkt zu trockener, strohiger Konsistenz und zu hohen Gewichtsverlusten führt. Aus der Publikation von HERRMANN (1999) geht auch hervor, daß neben PSE-Fleisch mit niedrigem pH-Wert auch DFD-Fleisch ($\text{pH}_{24} > 6,2$) für die Kochschinkenproduktion ungeeignet ist. Zwar ist hier die Wasserbindung optimal, der hohe pH-Wert hat aber negative Auswirkungen auf die Haltbarkeit, weil Mikroorganismen sich bei hohem pH-Wert besser vermehren können. Die beiden pH-Grenzwerte wurden bei der Herstellung der vorliegenden Kochschinken eingehalten. Der pH-Wert 45 Minuten post mortem im Schinken lag im Mittel aller Gruppen bei $6,2 \pm 0,3$, also an der oberen Grenze.

gefrorenes Rohmaterial

Organisatorische Gründe erforderten, daß die Kochschinken aus tiefgefrorenem Material hergestellt wurden. Dies stellt eine Abweichung von der üblichen Herstellungspraxis dar. Das Einfrieren bewirkte eine Zerstörung der Zellmembranen. Als Folge daraus war das Wasserbindungsvermögen von vornherein herabgesetzt. Zusätzliche Auswirkungen auf die analytischen und sensorischen Befunde sind durch technisch

bedingte Unterschiede in der Einfriergeschwindigkeit und in der Tiefkühlagerung zu erwarten.

Ausbeute

In der vorliegenden Untersuchung schwankte die Ausbeute innerhalb und zwischen den Schinken von Tieren aus den jeweiligen Gruppen sehr stark. Die Mittelwerte in den Gruppen lagen unabhängig von der α -TAc-Versorgung der Schweine zwischen 102 und 114 % (Anhang 8). Als mögliche Ursache für die Unterschiede zwischen den Gruppen kommt die zeitlich versetzte Herstellung der vier einzelnen Chargen in Betracht. Diese bestanden jeweils aus allen Schinken der Tiere einer Gruppe und wurden im Abstand von jeweils drei Tagen verarbeitet. Somit sind Einflüsse durch unterschiedliche Geräteeinstellungen, z.B. am Injektor, Tumbler oder Dampfkochschrank, nicht auszuschließen.

Eine andere Möglichkeit ist, daß beim Ansetzen der Pökellake im technischen Maßstab Unterschiede im Phosphatgehalt wahrscheinlich sind. MÜLLER et al. (2000) haben nachgewiesen, daß geringe Änderungen der Phosphatkonzentration in der Pökellake ($\pm 0,5$ %) sehr starke Auswirkungen auf die Ausbeute (92-116 %), technologische und sensorische Eigenschaften von Kochschinken haben. Auch in der eigenen Untersuchung wurde festgestellt, daß die Unterschiede in der Ausbeute die sensorische Bewertung der Kochschinken beeinflussen.

Oxidation fördernde und hemmende Faktoren

Aufgrund der Tatsache, daß beim Erhitzen von Kochschinken katalytisch wirksames Eisen freigesetzt wird, ist dieses Fleischerzeugnis als oxidationsanfällig einzuschätzen, zumal das eingesetzte Kochsalz ebenfalls prooxidativ wirkt (MATLOCK et al. 1984a). Andererseits mindert die Verwendung von Nitritpökelsalz (MORRISSEY & TICHIVANGANA 1985, FREYBLER et al. 1993) und Phosphat, das Verpacken unter Vakuum und die Lagerung bei 4 °C den Oxidationsdruck. Die antioxidative Wirkung der Phosphate beruht auf ihrer Fähigkeit, prooxidative Schwermetalle wie Eisen zu binden. Aufgrund dieser vielfältigen Einflüsse muß bei den Kochschinken im Vergleich zum Frischfleisch mit größeren Schwankungen bei den analytisch und sensorisch erfaßten Kriterien gerechnet werden, wofür insbesondere unterschiedlich hohe Zubereitungsverluste ursächlich sind.

α -TOH und Produktqualität

Grundsätzlich gilt für alle Fleischerzeugnisse, daß bei der Herstellung zugesetztes α -TOH nicht so wirksam ist wie α -TOH, das während der Fütterung in die Zellmembranen eingebaut wurde (MITSUMOTO et al. 1993, TAYLOR 1993, SCHAEFER et al. 1995). Allgemein anerkannt ist auch, daß ein höherer α -TOH-Gehalt im Gewebe effektiv den zusätzlichen Oxidationsdruck, der durch die Verwendung von Kochsalz entsteht, reduziert (BUCKLEY & CONNOLLY 1980, BUCKLEY et al. 1989). Einige Autoren haben auch gezeigt, daß die TBARS-Werte bei erhitzten Fleischerzeugnissen eng mit den sensorischen Bewertungen korrelieren (SHAHIDI & HONG 1991, STAPELFELDT et al. 1993). Als Schwellenwert für das Erkennen von ranzigem Geruch durch ein trainiertes Sensorikpanel gilt die TBARS-Konzentration von 1,0 mg MDA/kg (CANNON et al. 1995b).

Diesen bekannten Zusammenhängen steht eine geringe Anzahl an Publikationen gegenüber, die sich mit der Herstellung von Kochschinken befassen, die von Schweinen mit ausgesprochen hoher Vitamin E-Versorgung durch Supplemente stammen. Die meisten Versuchsansteller haben das Fleisch, zerkleinert (als Hackfleischklößchen) oder am Stück, ohne Zugabe von Nitritpökelsalz oder Phosphat erhitzt und den Gehalt an α -TOH und TBARS während der Lagerung verfolgt.

Zu den wenigen Studien, die solche Vitamin E-Effekte im Kochschinken untersucht haben, gehört die von DE WINNE & DIRINCK (1997). Deren 36 Schweine erhielten im Lebendmassebereich von 45-100 kg eine Zulage von 200 mg α -TAc pro kg Futter. Bei den Tieren aus der Kontrollgruppe, deren Futter 8 mg α -TAc/kg enthielt, wurden im Muskelgewebe der Kochschinken im Mittel 0,54 μ g α -TOH/g Gewebe nachgewiesen. Verglichen damit wurde in den Proben von den supplementierten Tieren mit 2,87 μ g α -TOH/g der fünffache α -TOH-Gehalt ($p < 0,05$) gemessen. Die Autoren vermuten als Ursache für die an sich niedrige α -TOH-Konzentration Vitamin-Verluste während des Kochvorgangs. Der Behandlungseffekt äußerte sich bei den Schinken von Schweinen aus der Versuchsgruppe in einem geringeren Gehalt an flüchtigen Verbindungen, die bei der sensorischen Prüfung als "ranzig" empfunden werden. Bestätigt wurde dies auch durch niedrigere TBARS-Werte und signifikant ($p < 0,05$) frischeren Geruch und Geschmack bei der sensorischen Prüfung nach 16-tägiger Lagerung bei 6 °C.

Die Ergebnisse von JENSEN et al. (1998b) stützen die These, daß Vitamin E während des Kochvorgangs verloren geht. Sie haben in ihrer Studie 24 weiblichen Mastschweinen Futter verabreicht, das in der Kontrollgruppe 18 mg α -TOH je kg enthielt und in der Versuchsgruppe 131 mg/kg. Aus dem *M. long. dorsi* stellten sie Hackfleischklößchen ohne weitere Zutaten her, die sie bei 80 °C einzeln im Kochbeutel erhitzen. In den rohen Hackfleischklößchen betrug der α -TOH-Gehalt bezogen auf die Trockenmasse bei den Kontrollproben 3,3 μ g/g und in der Versuchsgruppe 6,3 μ g/g. Nach dem Kochen wurde unabhängig von der Vitamin E-Versorgung der Schweine eine Abnahme der α -TOH-Konzentration um 26 bis 28 % gemessen. Im Verlauf der anschließenden viertägigen Lagerung bei 5 °C in PE-Beuteln summierten sich die α -TOH-Verluste auf 59 bis 65 %. Der TBARS-Gehalt war in den Proben aus der Versuchsgruppe deutlich niedriger als in den Kontrollproben. Dagegen war bei der sensorischen Bewertung der Hackfleischklößchen kein gerichteter Einfluß der α -TOH-Konzentration zu erkennen.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der beschriebenen Studien stehen die α -TOH-Konzentrationen, die in den Kochschinken aus der eigenen Untersuchung gemessen wurden. Bereits die Kontrollproben wiesen einen mittleren α -TOH-Gehalt von 2,47 μ g/g auf. In den Kochschinken von den Schweinen, die 200 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten, wurde nahezu die doppelte α -TOH-Konzentration (5,11 μ g/g) gemessen wie bei der vergleichbaren Zulage in der Studie von DE WINNE & DIRINCK (1997). Es ist davon auszugehen, daß in der vorliegenden Untersuchung keine Vitamin E-Verluste bei der Erhitzung der Kochschinken aufgetreten sind. Auch während der zweiwöchigen Lagerung bei 4 °C im Vakuum war kein Rückgang der α -TOH-Konzentration im Kochschinken zu erkennen. Offensichtlich hat sich die Herstellung und Lagerung von Kochschinken, wie sie in den eigenen Untersuchungen angewendet wurde, als ausreichend schonend gegenüber Vitamin E-Verlusten erwiesen.

Wohingegen die Bereitung von Hackfleischklößchen bedingt durch das Zerkleinern und den Verzicht auf Nitritpökelsalz (NPS) und Phosphat nach der Studie von JENSEN et al. (1998b) einen wesentlich höheren Oxidationsdruck ausübt.

MONAHAN et al. (1992d) weisen darauf hin, daß die TBARS-Werte bei der Lagerung erhitzter Fleischerzeugnisse besonders stark ansteigen. Dies wurde von MILLER et al. (1994) bestätigt, die bei Proben aus dem *M. long. dorsi* und dem *M. rectus femo-*

ris einen Anstieg der TBARS-Werte gemessen haben, der auf den vorangegangenen Kochvorgang zurückzuführen war. Im Verlauf der anschließenden 12-tägigen Lagerung bei 4 °C stiegen die TBARS-Konzentrationen weiter an.

CANNON et al. (1995b) verabreichten 30 Schweinen 100 mg α -TAc je kg Futter. Als Probenmaterial dienten ihnen zugeschnittene Stücke aus dem *M. semimembranosus* bzw. *M. adductor*. Sie erhitzen das Fleisch ohne Zugabe von NPS oder Phosphat in der Vakuumverpackung auf 60 °C und lagerten es im Anschluß bis zu acht Wochen bei 2 °C. Im Vergleich zu den Proben von Schweinen aus der Kontrollgruppe, die 7 mg α -TOH je kg Futter aufgenommen hatten, waren die TBARS-Werte im Fleisch der Versuchstiere während der gesamten Lagerung signifikant niedriger ($p < 0,05$). Der Publikation sind keine Meßwerte zu den Konzentrationen an α -TOH und TBARS zu entnehmen. Das Fleisch aus der Versuchsgruppe war zarter und hatte einen geringeren Aufwärmgeschmack. Beide Unterschiede waren signifikant ($p < 0,05$). Das Kriterium Saftigkeit zeigte keinen Einfluß durch den erhöhten α -TOH-Gehalt im Fleisch. Bemerkenswert ist, daß die sensorischen Vorteile während der achtwöchigen Lagerung bestehen blieben.

In der Studie von MONAHAN et al. (1990) erhielten 24 Schweine Futter mit einem Gehalt von 30 mg α -TAc je kg. Die Rationen der Versuchstiere ergänzten sie zwei Wochen vor der Schlachtung mit 200 mg α -TAc je kg Futter. Aus dem *M. long. dorsi* stellten sie Hackfleischklößchen her, die sie bei 70 °C einzeln im Kochbeutel erhitzen. Die mittlere α -TOH-Konzentration betrug 3,2 $\mu\text{g/g}$ in den Kontrollproben und 7,0 $\mu\text{g/g}$ in der Versuchsgruppe. Im Verlauf der anschließenden sechstägigen Lagerung bei 4 °C blieb der TBARS-Gehalt in den Proben aus der Versuchsgruppe deutlich niedriger als in den Kontrollproben. Am Ende der Lagerung waren die TBARS-Werte in den Proben der Versuchstiere um 20 % geringer als in den Kontrollproben.

MONAHAN et al. (1992d) fütterten 72 männliche und weibliche Mastschweine mit 10 mg α -TAc je kg Futter in der Kontrollgruppe bzw. 100 und 200 mg/kg in den Versuchsgruppen. Aus dem *M. long. dorsi* stellten sie Hackfleischklößchen her und behandelten sie analog zu MONAHAN et al. (1990). Die α -TOH-Konzentration betrug 0,8 $\mu\text{g/g}$ in den Kontrollproben und 2,6 bzw. 4,1 $\mu\text{g/g}$ in den Versuchsgruppen. Im Verlauf der anschließenden viertägigen Lagerung bei 4 °C blieb der TBARS-Gehalt in den Proben aus den Versuchsgruppen deutlich niedriger als in den Kontrollproben. Die Autoren haben jedoch keine Meßwerte angegeben.

JENSEN et al. (1997, 1998c) ergänzten das Futter von 60 männlichen und weiblichen Mastschweinen mit 100 mg α -TAc je kg in der Kontrollgruppe und 200 bzw. 700 mg α -TAc/kg in den Versuchsgruppen. Aus dem *M. psoas major* stellten sie Hackfleischklößchen her, erhitzen sie bei 80 °C einzeln in der Vakuumverpackung und lagerten sie sechs Tage in PE-Beuteln bei 4 °C und fluoreszierendem Licht. In den Kontrollproben wurde eine mittlere α -TOH-Konzentration von 5,9 μ g/g gemessen und in den Versuchsgruppen 11,7 bzw. 15,7 μ g/g. Am Ende der Lagerung war der TBARS-Gehalt in den Proben der Tiere, die 200 mg α -TAc/kg Futter aufgenommen hatten, um 10 % geringer als in den Kontrollproben. Bei den Proben von den Schweinen, die 700 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten, betrug der Unterschied zu den Kontrollproben 27 %.

Nitrit und Produktqualität

In der Studie von WALSH et al. (1998) wurden die Kontrollschweine, deren Futter 10 mg α -TAc je kg enthielt, mit denen aus der Versuchsgruppe verglichen, die 500 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten. Der *M. semimembranosus* wurde gepökelt, erhitzt und vier Tage kühlgelagert. Die Nitritkonzentration der Pökellake wurde so variiert, daß der Gehalt im Schinken entweder 50 oder 100 mg/kg betrug. Im Vergleich zu den Kontrollproben wurde in den Schinken aus der Versuchsgruppe die viereinhalbfache α -TOH-Konzentration gemessen ($p < 0,001$). Der TBARS-Gehalt in den Kochschinken wurde sowohl durch die α -TAc-Aufnahme als auch durch den Nitrit-Konzentration in der Pökellake signifikant ($p < 0,001$) beeinflusst, wobei der Behandlungseffekt durch Nitrit unabhängig von der α -TAc-Aufnahme auftrat. Die niedrigsten TBARS-Werte wurden in den Kochschinken mit den höchsten α -TOH- und Nitrit-Konzentrationen gemessen. Diese Befunde veranlaßten die Autoren zu der Schlußfolgerung, daß durch die Anreicherung des Futters mit α -TAc der Nitrit-Gehalt in Pökelwaren gesenkt werden könnte.

DINEEN et al. (2000) haben 12 männlichen und weiblichen Mastschweinen 1000 mg α -TAc je kg Futter verabreicht und sie mit einer Kontrollgruppe verglichen, in der die Schweine 10 mg α -TAc je kg aufgenommen haben. Der *M. semitendinosus* wurde gepökelt, erhitzt und anschließend 10 Tage bei 4 °C kühlgelagert. Die Nitritkonzentration der Pökellake wurde so variiert, daß der Gehalt im Schinken entweder 25 oder 100 mg/kg betrug. Im Vergleich zu den Kontrollproben, die im Mittel 0,55 μ g α -TOH/g

enthielten, wurde in den Schinken aus der Versuchsgruppe mit 5,48 µg/g fast die zehnfache α -TOH-Konzentration gemessen. Die TBARS-Werte stiegen zwar bei allen Kochschinken im Verlauf der Lagerung an, blieben aber bei den Proben der Versuchsgruppe deutlich unter den Werten in den Kontrollproben. Am niedrigsten war die TBARS-Konzentration bei den Schinken mit dem höchsten Nitritgehalt. Die Faktoren Vitamin E-Aufnahme, Nitritgehalt und Lagerdauer beeinflussten die TBARS-Werte hochsignifikant ($p < 0,001$).

In der eigenen Untersuchung war die mittlere TBARS-Konzentration im frisch bereiteten Kochschinken nur halb so hoch wie im frischen Rückenmuskel (vgl. Tabelle 36 und Tabelle 29) und im Verlauf der zweiwöchigen Kühllagerung war keine Veränderung festzustellen. Dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen von DE WINNE & DIRINCK (1997) überein. Deren Kochschinken hatten niedrigere TBARS-Werte als die rohen *M. longissimus dorsi*, was damit in Zusammenhang gebracht wurde, daß Kochschinken länger haltbar ist als rohes Fleisch. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen auch die Befunde aus den Studien von BOLES & PARRISH (1990) und CANNON et al. (1995b). Beide Arbeitsgruppen haben während der gesamten Lagerdauer niedrige TBARS-Werte gemessen. Die Hauptursache für diesen Befund ist, daß die Proben in der Vakuumverpackung erhitzt und gelagert wurden. Als Ursache für die unveränderten TBARS-Werte bei den Kochschinken kommt neben den Lagerbedingungen (4 °C, Vakuum, dunkel) das Pökeln in Betracht. Bei der TBARS-Bestimmung wird die Konzentration von Malondialdehyd gemessen. Da diese Substanz aber auch mit Nitrit reagieren kann, sind Störungen des Tests bei der Untersuchung von Pökelfleisch nicht auszuschließen (PIETTE & RAYMOND 1999).

CLAUS & MARRIOT (1995) postulieren, daß die antioxidative Wirkung von α -TOH in gekochtem Fleisch deutlich geringer ist als in frischem Fleisch. Sie sehen Nitrit als den Faktor an, der die Farbentstehung und -haltung sowie die Lipidstabilität in gepökelten Erzeugnissen hauptsächlich beeinflusst und halten deswegen die Nützlichkeit von Vitamin E bei umgeröteten Fleischerzeugnissen für begrenzt. Einen Beleg für die antioxidative Wirksamkeit von Nitrit erbrachten z.B. MORRISSEY & TICHIVANGANA (1985). Sie verarbeiteten Schweinelenden ohne das anhaftende Fett zu Hackfleisch und setzten wäßrige Natriumnitrit-Lösungen zu, so daß die Konzentrationen 0-200 mg Nitrit je kg Hackfleisch betragen. Die erhitzten Erzeugnisse lagerten im Anschluß

zwei Tage bei 4 °C. Bereits ab einem Gehalt von 20 mg Nitrit / kg war eine signifikante Verringerung der TBARS-Werte im Vergleich zu den Proben ohne Zusatz festzustellen ($p < 0,01$). Mit steigendem Nitrit-Gehalt im Erzeugnis sanken die TBARS-Werte proportional. Die Autoren folgerten daraus, daß Nitrit die Lipidoxidation und damit wahrscheinlich auch die Entstehung von Fehlgerüchen in erhitzten Pökelfleischen verzögert.

Sensorik

In der vorliegenden Untersuchung gab es bei der sensorischen Prüfung der Kochschinken einige auffällige Befunde. So wurden für das Geruchs- und Geschmacksmerkmal "alt" bei den Proben der Versuchsgruppen unabhängig vom α -TOH-Gehalt mehr Punkte abgezogen als bei den Kontrollproben. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, daß dieses Merkmal nicht nur durch die Lipidoxidation beeinflusst wird, sondern auch durch hydrolytische Prozesse, die beim mikrobiellen Verderb auftreten (HEIMANN 1972). Die Punktzahlen bei den Kriterien "zu trocken" und "salzig" sind bei allen Kochschinken mit der Ausbeute korreliert ($R = 0,311$ bis $0,601$) bzw. ($R = -0,168$ bis $-0,883$) und stehen nicht in Zusammenhang mit der α -TAc-Versorgung der Tiere. Die Kochschinken mit der geringsten Ausbeute, d.h. dem höchsten Kochverlust, sind am salzigsten, da das Salz nicht mit dem Kochsaft austritt sondern im Produkt verbleibt (MÜLLER 1998).

Aus den eigenen Ergebnissen ist kein gerichteter Einfluß des α -TOH-Gehalts auf die TBARS-Konzentration und die sensorische Bewertung von Kochschinken abzuleiten. Die Unterschiede zwischen den mittleren TBARS-Werten und den sensorischen Eigenschaften sind nicht auf die Vitamin E-Versorgung der Schweine zurückzuführen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen CANNON et al. (1995a). Sie verabreichten 30 Schweinen Futter mit einer Konzentration von 200 mg α -TAc/kg und verglichen sie mit einer Kontrollgruppe ohne Zulage. Aus dem gefrorenen Fleisch stellten sie durch Erhitzen und unter Zuhilfenahme von NPS Wurst her, die sie im Anschluß drei Tage bei 5 °C lagerten. Auch sie konnten keinen Einfluß der erhöhten α -TAc-Aufnahme auf den TBARS-Gehalt und die sensorischen Eigenschaften von gekochter und gepökelter Wurst feststellen.

Fazit

Aus den dargestellten Ergebnissen läßt sich ableiten, daß eine Vitamin E-Versorgung von 7-18 mg α -TAc je kg Futter nur eine geringe α -TOH-Anreicherung in Kochschinken, Bratenstücken und Hackfleischklößchen bewirkt (MONAHAN et al. 1992d, CANNON et al. 1995b, DE WINNE & DIRINCK 1997, JENSEN et al. 1998b, WALSH et al. 1998, DINEEN et al. 2000). Die α -TOH-Konzentration im Gewebe reichte nicht aus um die erhitzten Fleischerzeugnisse über Zeiträume von 4 bis 56 Tagen kühl zu lagern, ohne daß Einbußen in der analytisch und sensorisch geprüften Oxidationsstabilität auftraten. In diesen Fällen bewirkten Vitamin E-Supplemente im Futter eine deutliche Anreicherung von α -TOH im Produkt und damit verbunden eine verbesserte Oxidationsstabilität. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen deutlich, daß bei 30-40 mg Vitamin E je kg Futter eine Grenze liegt, über die hinaus keine positiven Effekte auf die TBARS-Werte und die sensorischen Eigenschaften von Kochschinken festgestellt werden. Dies trifft wenigstens bei den für Kochschinken typischen Herstellungs- und Lagerbedingungen zu. Viele Autoren haben dagegen Hackfleischklößchen untersucht, die ohne NPS und Phosphat hergestellt wurden. Diese erhitzten Erzeugnisse sind bei der Lagerung einem wesentlich höheren Oxidationsdruck ausgesetzt. Entsprechend ist selbst bei einer Vitamin E-Versorgung von 100 bis 200 mg α -TAc je kg Futter (JENSEN et al. 1997, 1998c) eine weitere Steigerung des α -TOH-Gehalts im Fleischerzeugnis und damit eine Erhöhung der Oxidationsstabilität möglich.

3.4 CHEMISCHE UND SENSORISCHE EIGENSCHAFTEN VON ROHSCHINKEN

3.4.1 α -Tocopherol-Gehalt

3.4.1.1 Muskelgewebe

Bei den frisch bereiteten Rohschinken war wie bei den Kochschinken ein fast linearer Anstieg des α -TOH-Gehalts im Muskelgewebe in Abhängigkeit von der α -TAc-Aufnahme der Tiere festzustellen, wie ein Vergleich der in Tabelle 38 und Tabelle 35 dargestellten Ergebnisse zeigt. Die zusätzliche Aufnahme von 200 mg α -TAc je kg Futter führte im Vergleich zur Kontrollgruppe zu einem deutlichen Anstieg der α -TOH-Konzentration im Muskelgewebe des Schinkens auf das Doppelte.

Während der gesamten Lagerung war die α -TOH-Konzentration im Muskelgewebe der Schinken aus den Versuchsgruppen signifikant höher als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Im Muskelgewebe von frisch vorbereitetem Rohschinken fanden sich beim α -TOH-Gehalt signifikante Unterschiede zwischen den Schinken von Tieren der Gruppe III und den Gruppen II und IV ($p < 0,05$).

Nach der Lagerung über einen Zeitraum von 12 Wochen waren, mit Ausnahme der Schinken aus der Gruppe III, keine signifikanten Veränderungen der mittleren α -TOH-Konzentrationen im Muskelgewebe festzustellen. Zwar ist die Ursache für den signifikanten Anstieg ($p < 0,05$) der mittleren α -TOH-Konzentration bei den Schinken aus der Gruppe III unklar, doch sollte dieser Unterschied nicht überbewertet werden. Zwischen den Gruppen blieben die Unterschiede in der α -TOH-Konzentration der Schinken signifikant ($p < 0,05$).

Tabelle 38: α -Tocopherol-Gehalt im Muskelgewebe von Rohschinken [$\mu\text{g/g FM}$] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	12	12	11	11
<i>Lagerung [w]</i>				
0	1,95 \pm 0,45 ^a	3,73 \pm 0,31 ^b	4,40 \pm 0,40 ^{cA}	3,80 \pm 0,54 ^b
12	1,62 \pm 0,48 ^a	3,79 \pm 0,98 ^b	4,96 \pm 0,71 ^{cB}	4,02 \pm 0,62 ^b

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

3.4.1.2 Fettgewebe

Im Fettgewebe von Rohschinken bewirkte die Zulage von 100 mg α -TAc je kg Futter nahezu den doppelten α -TOH-Gehalt im Vergleich zu den Schinken aus der Kontrollgruppe (Tabelle 39). Bei den Schweinen aus der kurzzeitig supplementierten Gruppe IV lag im Fettgewebe der frisch vorbereiteten Rohschinken annähernd die gleiche α -TOH-Konzentration vor wie bei denen aus der Gruppe II.

Erwartungsgemäß waren auch die mittleren α -TOH-Gehalte im Fettgewebe der Schinken aus den Versuchsgruppen während der 12-wöchigen Lagerung signifikant höher als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Darüber hinaus lag die α -TOH-Konzentration im Fettgewebe von frisch vorbereiteten Rohschinken der Gruppe III signifikant über der in den Gruppen II und IV ($p < 0,05$).

Nach 12 Wochen Lagerung war keine Veränderung des mittleren α -TOH-Gehalts im Fettgewebe festzustellen. Bei den Schweinen aus der Gruppe III blieb die α -TOH-Konzentration im Fettgewebe von Rohschinken signifikant höher als in der Gruppe II ($p < 0,05$).

Tabelle 39: α -Tocopherol-Gehalt im Fettgewebe von Rohschinken [$\mu\text{g/g FM}$] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	12	12	11	11
<i>Lagerung [w]</i>				
0	6,70 \pm 1,78 ^a	12,69 \pm 2,57 ^b	15,54 \pm 2,41 ^c	12,51 \pm 2,33 ^b
12	6,35 \pm 2,11 ^a	12,48 \pm 2,32 ^b	15,35 \pm 1,46 ^c	12,96 \pm 3,35 ^{bc}

3.4.2 Sekundäre Lipidoxidationsprodukte (TBARS)

3.4.2.1 Muskelgewebe

Die Tabelle 40 zeigt den TBARS-Gehalt im Muskelgewebe von frisch bereiteten Rohschinken und nach anschließender Lagerung bei 12 °C im Vakuum. Im frischen Erzeugnis war ein Einfluß der α -TAc-Aufnahme auf die TBARS-Werte im Rohschinken festzustellen. Der TBARS-Gehalt im Muskelgewebe von frischen Rohschinken aus Tieren der Versuchsgruppen lag signifikant unter dem in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Die niedrigsten TBARS-Werte wurden im Muskelgewebe der Schinken aus der Gruppe IV gemessen.

Nach 12 Wochen Lagerung war der TBARS-Gehalt im Muskelgewebe unabhängig vom α -TOH-Gehalt im Rohschinken signifikant angestiegen ($p < 0,05$). Zu diesem Zeitpunkt zeigten die Schinken Unterschiede in der TBARS-Konzentration, die nicht auf die α -TAc-Versorgung zurückgeführt werden konnten. Wie im frisch bereiteten Kochschinken war im Muskelgewebe der Schinken von Schweinen aus der Gruppe III der höchste TBARS-Gehalt zu finden (vgl. Tabelle 36). Die Unterschiede waren jedoch nicht statistisch gesichert ($p > 0,05$).

Tabelle 40: TBARS-Gehalt im Muskelgewebe von Rohschinken [mg MDA/kg FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	12	12	11	11
<u>Lagerung [w]</u>				
0	0,126 ± 0,023 ^{aA}	0,108 ± 0,012 ^{bA}	0,107 ± 0,013 ^{bA}	0,102 ± 0,010 ^{bA}
12	0,179 ± 0,036 ^B	0,166 ± 0,017 ^B	0,196 ± 0,034 ^B	0,184 ± 0,028 ^B

Kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) innerhalb der Zeilen, große innerhalb der Spalten.

3.4.2.2 Fettgewebe

Der TBARS-Gehalt im Fettgewebe von frisch bereiteten Rohschinken (Tabelle 41) lag im Bereich der Meßwerte im Rückenspeck zu Beginn der zweiten Woche Kühlung (vgl. Tabelle 31). Da die TBARS-Werte im frischen Schinken sehr stark streuten, wurden mit zunehmendem α -TOH-Gehalt nur tendenziell niedrigere TBARS-Werte in deren Speckrand gemessen ($p > 0,05$).

Während der 12-wöchigen Lagerung veränderten sich die mittleren TBARS-Konzentrationen im Vergleich zu den frisch bereiteten Schinken nicht signifikant ($p > 0,05$). Am Ende der Lagerung waren die TBARS-Werte im Fettgewebe der Schinken von Tieren aus den Gruppen III und IV signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$).

Tabelle 41: TBARS-Gehalt im Fettgewebe von Rohschinken [mg MDA/kg FM] nach der Herstellung und nach der Kühlung (+12 °C, Vakuum, dunkel)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	12	12	11	11
<u>Lagerung [w]</u>				
0	0,354 ± 0,088	0,349 ± 0,096	0,261 ± 0,050	0,293 ± 0,079
12	0,369 ± 0,107 ^a	0,300 ± 0,057 ^{ab}	0,251 ± 0,016 ^b	0,265 ± 0,044 ^b

3.4.3 Sensorische Prüfung

Auch die Rohschinken wurden nach 12-wöchiger Kühlung von einem Sensorikpanel in Anlehnung an das DLG-Prüfschema bewertet (Anhang 10). In der Tabelle 42 sind die Ergebnisse, wie sie nach dem im Abschnitt 2.5.8 beschriebenen Verfahren ermittelt wurden, zusammengestellt.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei den Merkmalsgruppen Farbe, Konsistenz und Geruch/Geschmack bedingt durch die unterschiedliche Versorgung mit Vitamin E kein gerichteter Einfluß festzustellen war.

Bei der Speckschicht von Rohschinken führte eine rötliche Färbung, die nicht durch die Würzung hervorgerufen wurde, zur Beanstandung. Punktabzüge für dieses Kriterium erfolgten unabhängig vom α -TOH-Gehalt gleichmäßig auf alle Schinken verteilt. In den Schinken von Tieren der Kontrollgruppe und der Gruppe IV traten geringfügig Blutpunkte auf.

Alle Schinken erhielten Punktabzüge für eine schmalzige und ölige Konsistenz des Specks, die nicht auf die α -TAc-Versorgung zurückzuführen sind.

Unabhängig vom α -TOH-Gehalt im Schinken erfolgten Beanstandungen hinsichtlich des Räucherprozesses für "brennerigen" Geruch und Geschmack, am häufigsten bei den Schinken von Tieren aus der Gruppe IV. Bei den Kriterien "säuerlich" und "seifig" (im Speck) erfolgten bei Schinken aus den Versuchsgruppen deutlich mehr Punktabzüge verglichen mit denen aus der Kontrollgruppe. Diese beiden Geschmacksmerkmale sind typisch für den mikrobiellen, hydrolytischen Verderb und werden daher nicht durch die erhöhte α -TAc-Aufnahme beeinflusst, wie das beim oxidativen Fettverderb der Fall ist. Auch beim Kriterium "beißig" fielen die Schinken von Schweinen aus den Gruppen III und IV durch häufige Beanstandungen auf. Die Ursache hierfür ist aber nicht in der α -TAc-Versorgung der Tiere zu suchen, sondern in einer ungleichmäßigen Räucherung. Hinsichtlich seifigen Geschmacks im Muskel traten geringe Beanstandungen bei Schinken von Schweinen aus der Gruppe IV auf. Ebenso verhielt es sich bei dem Merkmal "ranzig" bei den Schinken aus der Gruppe II. Die letzten beiden Kriterien zeigten keinen Einfluß durch die erhöhte α -TAc-Aufnahme der Tiere. Im Speck trat bei allen Schinken, unabhängig vom α -TOH-Gehalt, Ranzigkeit auf.

Tabelle 42: Ergebnisse der sensorischen Prüfung von Rohschinken nach 12 Wochen Kühllagerung (+12 °C, Vakuum, dunkel, % der Maximalbewertung)

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	12	12	11	11
<i>Farbe</i>				
Speck rötlich (nicht d. Würz.)	84	88	85	84
Blutpunkte	98	100	100	98
<i>Konsistenz</i>				
schmalzig, ölig (Speck)	82	82	64	58
<i>Geruch und Geschmack</i>				
brennerig	86	88	85	80
säuerlich	98	92	89	83
beißig (Speck u. Muskel)	97	94	83	82
seifig (Speck)	88	78	75	71
seifig (Muskel)	100	100	100	95
ranzig	100	93	100	100
Speck ranzig	92	90	87	87

3.4.4 Diskussion

Qualität des Rohmaterials und technologische Faktoren

Wie bei den Kochschinken ist auch bei der Bewertung der Ergebnisse von Rohschinken zu berücksichtigen, daß die verschiedenen Herstellungsverfahren zusätzliche Auswirkungen auf die Qualität ausüben können. Einen entscheidenden Einfluß hat der pH-Wert im Rohmaterial. Für die Herstellung von Rohschinken sollte der pH₂₄-Wert unter 6,0 liegen, möglichst unter pH 5,8, denn bei einem niedrigen pH-Wert ist die Pökelfähigkeit des Gewebes besser, da das Kochsalz schneller eindringen kann (LEISTNER 1986). Darüber hinaus ist die Wasserbindungsfähigkeit des Gewebes geringer, so daß die Rohschinken während der Reifung schneller trocknen können. Um den Fleischfehler PSE zu vermeiden, sollte der pH-Wert jedoch nicht unter 5,5 liegen (MÜLLER 1998). Darüber hinaus ist die Haltbarkeit um so besser, je länger bei niedriger Rauchtemperatur geräuchert wird, da kalter Rauch tiefer in das Räuchergut eindringt.

Beide Vorgaben wurden bei der Herstellung der vorliegenden Rohschinken eingehalten. Es wurden nur Schinken verarbeitet, deren pH-Wert 24 Stunden post mortem in der Oberschale zwischen 5,5 und 5,8 lag. Die Räucherung erfolgte mit dem scho-

nenden Intervall-Rauchverfahren mit Friktionsrauch zweimal für jeweils drei Stunden bei 20 °C.

Abweichend von der üblichen Herstellungspraxis wurden die Rohschinken aus tiefgefrorenem Material hergestellt. Aufgrund der zerstörten Zellmembranen in Verbindung mit dem Einfrieren war das Wasserbindungsvermögen von vornherein herabgesetzt, so daß die Schinken unterschiedlich schnell abtrockneten. Außerdem ist davon auszugehen, daß technisch bedingte Unterschiede in der Einfriergeschwindigkeit und in der Tiefkühlagerung ebenfalls Auswirkungen auf die analytischen und sensorischen Befunde haben.

Als mögliche Ursache für die Unterschiede zwischen den Gruppen kommt auch die zeitlich versetzte Herstellung der sechs einzelnen Chargen in Betracht. Diese bestanden jeweils aus zwei Schinken der Tiere jeder Gruppe und wurden im Abstand von jeweils drei bis vier Tagen verarbeitet. Somit sind Einflüsse durch unterschiedliche Geräteeinstellungen, z.B. am Tumbler oder Räucherschrank, nicht auszuschließen.

Rohschinken ist während der Herstellung über mehrere Wochen dem Luftsauerstoff und Temperaturen zwischen 15 und 23 °C ausgesetzt. Gesteigert wird der Oxidationsdruck noch durch die hohen Anteile an Kochsalz im Nitritpökelsalz (MATLOCK et al. 1984a). Gleichzeitig verringert das Natriumnitrit im Nitritpökelsalz (NPS) den Oxidationsdruck im Rohschinken (MORRISSEY & TICHIVANGANA 1985, FREYBLER et al. 1993), ebenso die Phenole aus dem Räucherrauch (POTTHAST 1992), die Vakuumverpackung und die Lagerung bei 12 °C. In den Rohschinken aus der eigenen Untersuchung überwiegen die oxidationshemmenden Faktoren. Das Fleischerzeugnis ist daher als weitgehend oxidationsstabil einzuschätzen. Aufgrund dieser vielfältigen Einflüsse muß auch bei den Rohschinken im Vergleich zum Frischfleisch mit größeren Schwankungen bei den analytisch und sensorisch erfaßten Kriterien gerechnet werden, wofür vor allem unterschiedlich hohe Zubereitungsverluste verantwortlich sind.

Produktqualität

Wie bei Kochschinken gilt auch für Rohschinken, daß α -TOH wirksamer ist wenn es während der Fütterung in die Zellmembranen eingebaut wurde als wenn es erst bei

der Herstellung zugesetzt wird (MITSUMOTO et al. 1993, TAYLOR 1993, SCHAEFER et al. 1995). Einigkeit besteht auch dahingehend, daß zusätzlicher Oxidationsdruck, der durch die Verwendung von Kochsalz entsteht, effektiv durch einen höheren α -TOH-Gehalt im Gewebe gesenkt wird (BUCKLEY & CONNOLLY 1980, BUCKLEY et al. 1989). Auch bei Rohschinken bestehen enge Korrelationen zwischen den TBARS-Werten und den sensorischen Befunden (LANARI et al. 1995, CANNON et al. 1996). Nach deren Untersuchungen bei welchem Schwellenwert ein trainiertes Sensorikpanel ranzigen Geruch feststellen kann, liegt dieser bei rohem Fleisch zwischen 0,5 und 1,0 mg MDA/kg. Allerdings ist bei Rohschinken besonders zu beachten, daß das typische Schinkenaroma unter anderem durch die bei der Lipidoxidation entstehenden flüchtigen Aldehyde zustande kommt (GARCIA et al. 1991, ANTEQUERA et al. 1992, LÓPEZ et al. 1992, BUSCAILHON et al. 1994) und daher ein gewisses Maß an Lipidoxidation erwünscht ist.

Oxidation fördernde und hemmende Faktoren

Trotz dieser bekannten Zusammenhänge haben wenige Versuchsansteller Rohschinken aus Schweinen mit ausgesprochen hohen Vitamin E-Zulagen im Futter hergestellt. Viele beschäftigten sich mit anderen Einflußgrößen auf die Qualität von Rohschinken. So haben z.B. MOTILVA et al. (1994) aus sechs *M. biceps femoris* trocken gepökelt Serranoschinken hergestellt. In der Versuchsgruppe war das Rohmaterial tiefgefroren und in der Kontrollgruppe gekühlt, was der gängigen Herstellungspraxis entspricht. Am Ende der 15-monatigen Reifung wurden keine signifikanten Unterschiede bei der Oxidationsstabilität von Muskel- und Fettgewebe festgestellt ($p > 0,05$). Ebenso zeigte sich bei der sensorischen Prüfung nach 15 Monaten, daß das Einfrieren und Auftauen von Rohschinken vor dem Trockenpökeln keinen Einfluß auf die sensorischen Eigenschaften hat mit Ausnahme eines salzigeren Geschmacks. Dieser ist durch die stärkere Abtrocknung infolge der Zerstörung der Zellmembranen beim Einfrieren zu erklären.

MOTILVA et al. (1993a,b) haben bei trocken gepökelt, spanischen Rohschinken selbst nach 15 Monaten Reifung im Muskel- und Fettgewebe noch aktive Esterasen und Lipasen nachgewiesen. Im Verlauf der Reifung wurde ein Anstieg der flüchtigen und nicht flüchtigen freien Fettsäuren gemessen, der mit der Aktivität der Lipasen korrelierte. Die Autoren sehen deshalb die Hauptursache für den Fettverderb in der Enzymaktivität der Lipasen.

POTTHAST (1992) macht die Phenole aus dem Räucherrauch als Hauptbestandteil (zwei Drittel) des Räucheraromas im Schinken aus. Er schreibt den Phenolen eine besondere Bedeutung für die antioxidative Wirkung des Räucherrauchs zu. Der Schutzmechanismus ist der gleiche wie bei Vitamin E. Von der phenolischen Hydroxylgruppe wird ein Wasserstoffatom abgespalten. Dieses kann Fettsäureradikale stabilisieren. POTTHAST (1992) sieht darin die Erklärung dafür, daß in einer Reihe geräucherter Fleischerzeugnisse, wegen des hohen Phenolgehaltes, auch nach langer Lagerzeit kein Fettverderb beobachtet wird.

In der eigenen Untersuchung wurde versucht, die beschriebenen Faktoren konstant zu halten, um die Anzahl der Einflußgrößen auf die Oxidationsstabilität zu minimieren. Dennoch ist bei der Bewertung der Vitamin E-Effekte zu berücksichtigen, daß das Rohmaterial gefroren war und die Rohschinken gepökelt und geräuchert wurden. Es ist auch davon auszugehen, daß der Fettverderb in den Erzeugnissen nicht nur oxidativ, sondern auch enzymatisch ablief. Im zweiten Fall führte ein erhöhter α -TOH-Gehalt im Schinken nicht zu einer Verbesserung der Lagerstabilität.

Einfluß von α -TOH

Zu den wenigen Studien, die Vitamin E-Effekte im Rohschinken untersucht haben, gehören die von ISABEL et al. (1999a,b). Sie haben 20 Schweinen während der letzten sechs Mastwochen 200 mg α -TAc je kg Futter verabreicht und sie mit einer Kontrollgruppe verglichen, deren Tiere 10 mg α -TAc/kg aufgenommen hatten. Aus dem *M. biceps femoris* stellten sie auf traditionelle Weise trocken gepökelte Iberische Schinken her und ließen sie ca. 12 Monate reifen. Bedingt durch die Verarbeitung sank die α -TOH-Konzentration in den Kontrollproben von 8,7 auf 6,7 $\mu\text{g/g}$ Trockenmasse und in der Versuchsgruppe von 16,9 auf 14,3 $\mu\text{g/g}$. Die Autoren stufen diese Vitamin E-Verluste in Anbetracht des Oxidationsdrucks, der durch Temperaturen bis 27 °C und durch die Verwendung von Kochsalz entsteht, als gering ein. Im Verlauf der 9-tägigen Kühlagerung bei 4 °C blieben die TBARS-Werte bei den Schinken aus der Versuchsgruppe signifikant niedriger als bei den Kontrollproben ($p < 0,05$). Bei den Schinken aus der Versuchsgruppe war der Geruch intensiver ($p < 0,01$) und der Geschmack beständiger ($p < 0,05$) als bei den Kontrollproben. Darüber hinaus traten weniger ranzige Aromen ($p < 0,05$) auf, was die Autoren auf die geringere Konzentration an Hexanal ($p < 0,05$) zurückführten.

Zwar sind die Vitamin E-Verluste bei der Herstellung der eigenen Rohschinken nicht im Einzelnen quantifizierbar, da die α -TOH-Konzentration im fertigen Erzeugnis, nicht aber im Rohmaterial bestimmt worden ist. Eine Abschätzung der Größenordnung, in der sich die Zubereitungsverluste bewegen, ist dennoch möglich. Nach 13-wöchiger Reifung wurde bei den Schinken aus der Kontrollgruppe ein mittlerer α -TOH-Gehalt von 1,95 $\mu\text{g/g}$ Muskelgewebe gemessen. Bei den Schinken von den Tieren mit erhöhter Vitamin E-Versorgung war der Zusammenhang zur α -TOH-Konzentration im Muskelgewebe linear. Die Aussage, daß während der Reifung keine nennenswerten Vitamin E-Verluste auftraten, stützt sich auf die Untersuchungen von ISABEL et al. (1999a,b). Sie hatten Schinken im Verlauf der Reifung einem wesentlich höheren Oxidationsdruck ausgesetzt als es in der vorliegenden Untersuchung der Fall war. Bei den Rohschinken aus der eigenen Untersuchung war auch während der 12-wöchigen Lagerung bei 12 °C im Vakuum kein Rückgang der α -TOH-Konzentration im Muskel- und Fettgewebe zu erkennen. Offensichtlich hat sich die Herstellung und Lagerung von Rohschinken, wie sie in den eigenen Untersuchungen angewendet wurde, als ausreichend schonend gegenüber Vitamin E-Verlusten erwiesen.

Die positiven Auswirkungen einer erhöhten α -TOH-Konzentration auf die sensorische Bewertung der Rohschinken, die ISABEL et al. (1999a,b) beschrieben, wurden im vorliegenden Versuch nicht bestätigt. Im Hinblick auf die Kriterien Farbe, Konsistenz, Geruch und Geschmack war kein gerichteter Einfluß durch einen erhöhten α -TOH-Gehalt im Rohschinken zu erkennen. Dieser Befund stimmt überein mit den Ergebnissen aus der Studie von CORINO et al. (1999), die 40 Schweinen 60 Tage vor der Schlachtung 50 mg α -TAc je kg Futter verabreichten sowie 100 bzw. 200 und 300 mg α -TAc/kg in weiteren Versuchsgruppen. Sie verglichen diese Tiere mit einer Kontrollgruppe, in der 25 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen wurden. Aus dem *M. biceps femoris* stellten sie auf traditionelle Weise Parmaschinken her und ließen sie 14 Monate reifen. Während der α -TOH-Gehalt im Schinken signifikant durch die aufgenommene α -TAc-Menge beeinflusst wurde ($p < 0,001$), war die Senkung der TBARS-Werte bei erhöhter Vitamin E-Versorgung nur tendenziell. Es wurde kein Einfluß auf die sensorischen Eigenschaften von Parmaschinken festgestellt.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen HONIKEL et al. (1998) und ROSENBAUER et al. (1998). Sie verabreichten 50 Börgen in den Versuchsgruppen 100 bzw. 200 mg α -TAc je kg Futter und verglichen sie mit einer Kontrollgruppe ohne Zulagen. Aus gefrorenem Rohmaterial stellten sie Rohschinken her, die 9 Wochen reifen und an-

schließlich vakuumverpackt bei 12 °C lagerten. Mit steigender α -TAc-Aufnahme der Schweine wurden in den Schinken höhere α -TOH-Konzentrationen gemessen. Bei der sensorischen Prüfung war jedoch kein gerichteter Einfluß durch den erhöhten α -TOH-Gehalt in den Rohschinken festzustellen.

CAVA et al. (1999) haben eine Untersuchung mit 60 Börgen durchgeführt, denen sie in der Versuchsgruppe 100 mg α -TAc je kg Futter verabreichten. Die Supplementa-tion begann bei 105 kg Lebendmasse und erstreckte sich auf die letzten acht Mast-wochen. Als Vergleich wurde eine Kontrollgruppe mitgeführt, in der die Tiere 5 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten. Aus dem *M. semimembranosus* und dem *M. biceps femoris* stellten sie im Verlauf von 700 Tagen Iberische Schinken her. Die Analysen wurden am Ende der 115-tägigen Trocknungsphase durchgeführt und nach der anschließenden 500-tägigen Reifungsphase im Keller. Am Ende der Reifung be-trug die mittlere α -TOH-Konzentration bei den Schinken von den Schweinen aus der Kontrollgruppe 6,2 μ g/g Trockenmasse und in der Versuchsgruppe 9,9 μ g/g ($p < 0,05$). Die TBARS-Werte stiegen im Verlauf der 115-tägigen Trocknung deutlich an. Zu die-sem Zeitpunkt lag der mittlere TBARS-Gehalt bei den Schinken der Versuchstiere signifikant unter dem in den Kontrollproben ($p < 0,05$). Allerdings waren die TBARS-Konzentrationen am Ende der Reifung fast auf das Niveau der Ausgangswerte zu Beginn der Herstellung gesunken. Zur Erklärung verweisen die Autoren auf die Stu-die von ANTEQUERA et al. (1992), die bei der Untersuchung der Dynamik der Lipi-doxidation in Iberischen Schinken zu den gleichen Ergebnissen kamen. Diese Auto-ren erklärten den Befund damit, daß der Oxidationsdruck während der Reifung im Keller aufgrund von veränderten Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen gerin-ger war. Eine weitere Erklärung ist, daß ein Teil der Aldehyde (Abbauprodukte der Lipidhydroperoxide) im Verlauf der langen Reifung zu Carbonsäuren oxidiert wurde, die von der TBARS-Bestimmung nicht mehr erfaßt wurden. Bei der sensorischen Bewertung der Ranzigkeit wurden die Schinken mit höherem α -TOH-Gehalt tenden-ziell besser beurteilt.

Einfluß von Nitrit

In der Studie von WALSH et al. (1998) wurden die Kontrollschweine, deren Futter 10 mg α -TAc je kg enthielt, mit denen aus der Versuchsgruppe verglichen, die 500 mg α -TAc je kg Futter aufgenommen hatten. Der *M. semimembranosus* wurde gepökelt, vakuumverpackt und bei 4 °C gelagert. Die Nitritkonzentration der Pökellake wurde

so variiert, daß der Gehalt im Schinken entweder 50 oder 100 mg/kg betrug. Im Vergleich zu den Kontrollproben wurde in den Schinken aus der Versuchsgruppe die viereinhalbfache α -TOH-Konzentration gemessen ($p < 0,001$). Der TBARS-Gehalt in den Rohschinken nach viertägiger Lagerung bei 4 °C wurde durch die Kombination der Faktoren α -TAc-Aufnahme und Nitrit-Konzentration in der Pökellake signifikant ($p < 0,001$) beeinflusst. Die niedrigsten TBARS-Werte wurden in den Rohschinken mit den höchsten α -TOH- und Nitrit-Konzentrationen gemessen. Diese Befunde veranlaßten die Autoren zu der Schlußfolgerung, daß durch die Anreicherung des Futters mit α -TAc der Nitrit-Gehalt in Pökelfleisch gesenkt werden könnte.

Weniger deutlich sind die Ergebnisse aus der eigenen Untersuchung. Bei den Rohschinken lagen die TBARS-Werte im Muskelgewebe erheblich höher als bei den Kochschinken (Tabelle 36) und kühl- bzw. gefriergelagertem Rückenmuskel (Tabelle 29 und Tabelle 30). Ursache dafür ist die Reifung über 13 Wochen ohne Verpackung bei Temperaturen zwischen 4 und 23 °C. Im Muskelgewebe der frisch bereiteten Rohschinken wurden bei den Proben mit erhöhter α -TOH-Konzentration signifikant niedrigere TBARS-Werte gemessen als in den Kontrollproben ($p < 0,05$). Sobald die Rohschinken vakuumverpackt bei 12 °C gelagert wurden, stiegen die TBARS-Werte an und es war kein Einfluß durch einen erhöhten α -TOH-Gehalt im Muskelgewebe festzustellen. Im Fettgewebe der frisch bereiteten Rohschinken wurden mit steigender α -TOH-Konzentration tendenziell niedrigere TBARS-Werte gemessen. Der TBARS-Gehalt änderte sich im Verlauf der 12-wöchigen Lagerung nur geringfügig. Dennoch waren am Ende der Lagerung die TBARS-Werte im Fettgewebe der Rohschinken aus der Gruppe II tendenziell und bei denen der Gruppen III und IV signifikant niedriger als in den Kontrollproben ($p < 0,05$). Als Ursache für den undeutlichen Verlauf des TBARS-Gehalts kommt neben den Lagerbedingungen (12 °C, Vakuum, dunkel) das Pökeln in Betracht. Es ist bekannt, daß Nitrit mit Malondialdehyd reagieren kann. Da bei der TBARS-Bestimmung die Konzentration dieses Aldehyds gemessen wird, sind bei der Untersuchung von Pökelfleisch Störungen des Tests nicht auszuschließen (PIETTE & RAYMOND 1999).

Die Befunde aus der eigenen Untersuchung bestätigen teilweise die Ergebnisse aus der Studie von BUCKLEY & CONNOLLY (1980), die 20 Schweinen in der letzten Mastwoche täglich 800 mg α -TAc verabreichten und sie mit einer Kontrollgruppe ohne Zulagen verglichen. Der *M. psoas major* wurde gepökelt, zerkleinert und mit bzw.

ohne Vakuumverpackung bei 5 °C kühlgelagert. Nach 30 Tagen Lagerung ohne Vakuum wurden beim TBARS-Gehalt der Proben aus der Versuchsgruppe keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den Kontrollproben gemessen. Die Autoren führten das auf die antioxidative Wirkung des verwendeten Nitrits zurück. Nach 14 Wochen Lagerung im Vakuum war der TBARS-Gehalt in den zerkleinerten Schinken aus der Versuchsgruppe um 35 % niedriger als in den Kontrollproben ($p < 0,01$). Eine mögliche Erklärung hierfür ist der Rückgang des Nitrit-Gehalts und damit verbunden ein größerer Anteil von α -TOH am antioxidativen Schutz.

Die Resultate der eigenen Untersuchung lassen keinen gerichteten Einfluß des α -TOH-Gehalts auf die sensorische Bewertung von Rohschinken erkennen. Die Unterschiede zwischen den sensorischen Eigenschaften sind nicht auf die Vitamin E-Versorgung der Schweine zurückzuführen.

Fazit

Aus den dargestellten Ergebnissen läßt sich ableiten, daß eine Vitamin E-Versorgung von 5-10 mg α -TAc je kg Futter nur eine geringe α -TOH-Anreicherung in Rohschinken bewirkt (WALSH et al. 1998, CAVA et al. 1999, ISABEL et al. 1999a,b). Eine Konzentration von ca. 6 μ g α -TOH je g Trockenmasse reichte nicht aus um Rohschinken im Verlauf der Herstellung, die bis zu zwei Jahre dauern kann, bzw. während einer anschließenden Kühlagerung bis zu 9 Tagen vor Einbußen in der analytisch und sensorisch geprüften Produktqualität zu schützen. In diesen Fällen bewirkten Vitamin E-Supplemente im Futter eine deutliche Anreicherung von α -TOH im Schinken und damit verbunden eine verbesserte Oxidationsstabilität.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen deutlich, daß bei 25-40 mg Vitamin E je kg Futter eine Grenze liegt, über die hinaus keine positiven Effekte auf die sensorischen Eigenschaften von schnellgereiften, geräucherten Rohschinken festgestellt werden. Dies trifft wenigstens bei den für diese Rohschinken typischen Herstellungs- und Lagerbedingungen zu.

In einigen der beschriebenen Studien (CAVA et al. 1999, ISABEL et al. 1999a,b) wurden dagegen qualitativ hochwertige, lang gereifte, Iberische Schinken untersucht, die luftgetrocknet und nicht geräuchert wurden. Diese Rohschinken sind bei der Herstellung einem wesentlich höheren Oxidationsdruck ausgesetzt. Entsprechend ist durch eine Steigerung des α -TOH-Gehalts, aufgrund einer erhöhten Vitamin E-Versorgung von 100 bis 200 mg α -TAc je kg Futter, eine Verbesserung bei den ana-

lytischen und sensorischen Merkmalen der Oxidationsstabilität im Rohschinken möglich.

Im Widerspruch dazu steht die Arbeit von CORINO et al. (1999). Obwohl die Autoren lang gereifte, luftgetrocknete Parmaschinken untersuchten, die während der Herstellung ohne Nitritpökelsalz einem hohen Oxidationsdruck ausgesetzt waren, haben sie als einzige keine Verbesserung der Oxidationsstabilität durch Vitamin E-Zulagen, die 25 mg α -TAc je kg Futter überstiegen und bis zu 300 mg/kg betragen, festgestellt.

4 SCHLUßFOLGERUNG

In der vorliegenden Untersuchung konnte kein eindeutiger Einfluß von hohen Vitamin E-Gaben (100 und 200 mg DL- α -Tocopherylacetat je kg Futter bzw. 1,2 g je Tier und Tag in den letzten drei Mastwochen) auf die Qualität einiger vom Mastschwein gewonnenen Lebensmittel gegenüber einer Kontrollgruppe festgestellt werden, die mit 33 mg DL- α -Tocopherylacetat je kg Futter nach geltenden Empfehlungen (GFE 1987, NRC 1998) sehr gut mit Vitamin E versorgt war. Der α -Tocopherol-Gehalt der untersuchten Gewebe war nur von der aufgenommenen Gesamtmenge DL- α -Tocopherylacetat abhängig, nicht von der Dauer der Vitamin E-Zulage während der Mast. Durch die erhöhte Vitamin E-Aufnahme der Börgе erfolgte eine Anhebung der α -Tocopherol-Konzentration im Rückenmuskel um den Faktor 1,8 bis 2,3 und im Rückenspeck um den Faktor 2,1 bis 2,6 bzw. im Kochschinken um den Faktor 1,5 bis 2,1 sowie im Muskel- und Fettgewebe der Rohschinken um den Faktor 1,9 bis 2,3.

Dies führte zu einer signifikanten Senkung der Konzentration an sekundären Lipidoxidationsprodukten (TBARS) bei kühl- und gefriergelagerten Proben des *M. long. dorsi*, bei Muskelgewebe von frisch bereiteten Rohschinken sowie bei deren Speckschicht nach 12 Wochen Lagerung. Eine tendenzielle Verringerung des TBARS-Gehalts wurde bei frischen, kühl- und gefriergelagerten Proben aus dem Rückenspeck sowie bei Fettgewebe von frisch bereiteten Rohschinken gemessen. Die erhöhte α -Tocopherol-Konzentration hatte dagegen keinen Einfluß auf die TBARS-Werte bei frischen Proben des *M. long. dorsi*, bei frisch bereiteten und bei kühlgelagerten Kochschinken sowie bei Muskelgewebe von Rohschinken nach 12 Wochen Lagerung.

Bei den Fleischerzeugnissen wurde mit zunehmendem Verarbeitungsgrad der Einfluß von α -Tocopherol auf den Gehalt an sekundären Lipidoxidationsprodukten geringer. Während erhöhte α -Tocopherol-Konzentrationen bei den Koteletts und Rohschinken eine Senkung der TBARS-Werte bewirkten, war bei den Kochschinken kein entsprechender Einfluß festzustellen.

Die Ursachen für den verringerten Einfluß von α -Tocopherol auf die Lipidstabilität bei den Fleischerzeugnissen sind Co-Faktoren, die ebenfalls die Oxidation verzögern.

Einen großen Einfluß haben vor allem die Verpackung unter Ausschluß von Luftsauerstoff, die Verwendung von Natriumnitrit und die Lagertemperatur. Bei den Rohschinken wirken zusätzlich die Phenole aus dem Räucherrauch antioxidativ, bei den Kochschinken die zugesetzten Phosphate.

In der Literatur wird berichtet, daß erfahrene sensorische Prüfer ranzigen Geruch bei rohem bzw. erhitztem Fleisch und -erzeugnissen bei TBARS-Konzentrationen über 0,5 bzw. 1,0 mg MDA/kg feststellen können (CANNON et al. 1995b, LANARI et al. 1995, CANNON et al. 1996). In den eigenen Untersuchungen lag der mittlere TBARS-Gehalt bei allen Proben unterhalb dieser Schwellenwerte. Entsprechend waren keine sensorischen Unterschiede festzustellen, die aus einer verringerten Lipidoxidation aufgrund einer höheren α -Tocopherol-Konzentration resultierten.

Zahlreiche Autoren haben mit steigender Vitamin E-Versorgung bei Schweinen eine Verbesserung der sensorischen Eigenschaften von Fleisch und -erzeugnissen beschrieben (MONAHAN et al. 1992d, CANNON et al. 1995b, DE WINNE & DIRINCK 1997, JENSEN et al. 1998b, WALSH et al. 1998, CAVA et al. 1999, ISABEL et al. 1999a,b, DINEEN et al. 2000). Allen diesen Studien ist gemeinsam, daß die Tiere der Kontrollgruppe mit 5 bis 18 mg DL- α -Tocopherylacetat je kg Futter deutlich weniger Vitamin E aufgenommen hatten als in der eigenen Untersuchung.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen deutlich, daß bei Koteletts und Rohschinken, nicht dagegen bei Kochschinken, durch Vitamin E-Zulagen, die 33 mg DL- α -Tocopherylacetat je kg Futter überstiegen, eine Verbesserung der analytisch geprüften Oxidationsstabilität erreicht wurde, die jedoch sensorisch nicht zu erfassen war.

Demnach ist die Anhebung der α -Tocopherol-Konzentration bei Fleisch und -erzeugnissen vom Mastschwein über Vitamin E-Zulagen zum Futter vor allem dann zu empfehlen, wenn bewährte Maßnahmen zum Schutz vor Oxidation nicht oder nur teilweise zur Verfügung stehen bzw. wenn lange Lagerzeiten ohne und nach Verarbeitung zu erwarten sind. Allein schon eine Reduzierung von sekundären Fettoxydationsprodukten, auch ohne Auswirkung auf sensorische Merkmale, ist vorbeugender Verbraucherschutz.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Ermittlung des Einflusses steigender Vitamin E-Gaben während der Mast auf die Qualität des Fleisches und daraus gewonnener Lebensmittel wurde ein Versuch mit 100 männlichen kastrierten Hybridschweinen bei Einzelhaltung im Lebendmassebereich von 25 bis 105 kg durchgeführt. Der Versuch umfaßte 4 Gruppen mit jeweils 25 Tieren, wobei die Konzentration von DL- α -Tocopherylacetat (α -TAc) im Futter der Kontrolltiere (Gruppe I) 33 mg/kg betrug. In der Versuchsgruppe II enthielt das Futter zusätzlich 100 mg α -TAc/kg und in Versuchsgruppe III 200 mg/kg. In der Gruppe IV wurden den Tieren in den letzten 3 Mastwochen zusätzlich 1,2 g α -TAc je Tag gefüttert.

Zur Untersuchung der Fleischqualität dienten der Rückenmuskel (*M. longissimus dorsi*) sowie der Rückenspeck und von den verarbeiteten Produkten Roh- und Kochschinken. Die Beurteilung erfolgte anhand der Merkmale α -Tocopherol-Konzentration (α -TOH), Gehalt an sekundären Lipidoxidationsprodukten (TBARS) sowie anhand von sensorischen Eigenschaften sowohl an den frischen Proben als auch nach Lagerung, bei der Dauer, Temperatur und Verpackung variiert wurden.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

1. Die unterschiedlichen Behandlungen in der Vitamin E-Versorgung hatten keinen signifikanten Einfluß auf die Mastleistung. Die täglichen Zunahmen lagen im Mittel aller Gruppen bei 810 g und der Futteraufwand betrug 2,64 kg je kg Lebendmassezuwachs.

Die Schlachtleistung war ebenfalls nicht signifikant von der Vitamin E-Versorgung beeinflusst. Die Schlachtausbeute betrug im Mittel aller Gruppen 79 % und der Gewichtsverlust der Schlachtkörperhälften nach dem Auskühlen 2 %. Gleiches galt für das Fleisch/Fett-Verhältnis des *M. longissimus dorsi* mit 42 cm² Muskelfläche und 21 cm² Fettfläche im Mittel aller Gruppen.

2. Im Rückenmuskel erhöhten die Vitamin E-Zulagen die α -TOH-Konzentration von 2,42 μ g/g (Gruppe I) auf 4,86 (Gruppe II), 5,64 (Gruppe III) und 4,28 μ g/g (Gruppe IV) signifikant ($p < 0,05$).

Im Rückenspeck lagen die entsprechenden α -TOH-Werte bei 9,45 μ g/g (Gruppe I), 19,76 (Gruppe II) und 24,30 (Gruppe III) bzw. 19,68 μ g/g (Gruppe IV). Die Unterschiede waren in Abhängigkeit von der Versorgung jeweils signifikant ($p < 0,05$).

Bei einer zweiwöchigen Kühllagerung des Rückenmuskels gab es einen geringfügigen Abfall in den α -TOH-Konzentrationen von 12 % (Gruppe I), 11 % (Gruppe II) und 16 % (Gruppe III) bzw. 9 % (Gruppe IV). Die Gefrierlagerung über 26 Wochen führte zu einem signifikanten Rückgang der α -TOH-Werte in den Versuchsgruppen ($p < 0,05$). Im Rückenspeck war nach der Kühllagerung nur in den Gruppen I und II eine signifikante Abnahme der α -TOH-Konzentration um 44 % bzw. 29 % festzustellen ($p < 0,05$).

Entsprechend der Vitamin E-Versorgung der Tiere waren auch die α -TOH-Gehalte in den frisch bereiteten Kochschinken unterschiedlich hoch, und zwar stiegen sie von 2,47 $\mu\text{g/g}$ (Gruppe I) auf 3,79 (Gruppe II) und 5,11 (Gruppe III) bzw. 4,44 $\mu\text{g/g}$ (Gruppe IV) an. Die Unterschiede waren signifikant ($p < 0,05$). Eine zweiwöchige Kühllagerung bei 4 °C im Vakuum zeigte keinen Effekt auf die Vitamin E-Konzentration.

Beim frisch bereiteten Rohschinken erhöhte sich mit zunehmender Vitamin E-Versorgung der Tiere ebenfalls der α -TOH-Gehalt im Muskelgewebe signifikant ($p < 0,05$), und zwar von 1,95 $\mu\text{g/g}$ (Gruppe I) auf 3,73 (Gruppe II) und 4,40 (Gruppe III) bzw. 3,80 $\mu\text{g/g}$ (Gruppe IV).

3. Die TBARS-Konzentration war im frischen Rückenmuskel nicht durch die α -TAc-Versorgung beeinflusst. Bei der Kühllagerung über 2 Wochen verdreifachte sich der Gehalt in der Kontrollgruppe von 0,058 auf 0,180 mg MDA/kg signifikant ($p < 0,05$). Dagegen stiegen die TBARS-Werte in den Versuchsgruppen nur tendenziell an. Nach 10 bzw. 26 Wochen Gefrierlagerung wurden TBARS-Konzentrationen im Bereich von 0,05 bzw. 0,06 mg MDA/kg gemessen.

Im Rückenspeck stiegen die TBARS-Werte während 14 Tagen Kühllagerung exponentiell an, waren aber bei einer Lagerdauer von 8 Tagen in den Versuchsgruppen signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe ($p < 0,05$). Die Gefrierlagerung im Vakuum über 26 Wochen zeigte bei den TBARS-Konzentrationen signifikante Anstiege, und zwar lagen die Gehalte dann doppelt so hoch wie die Ausgangswerte. Ein Einfluß der Vitamin E-Versorgung auf den TBARS-Gehalt im Verlauf der Gefrierlagerung war nur tendenziell festzustellen.

Beim Kochschinken hatte die Vitamin E-Versorgung der Tiere keinen gerichteten Einfluß auf die TBARS-Konzentrationen. Auch eine zweiwöchige Lagerung bei 4 °C im Vakuum beeinflusste deren Höhe im Kochschinken nicht.

Im frisch bereiteten Rohschinken wurde dagegen ein signifikanter Abfall der

TBARS-Gehalte im Muskelgewebe von 0,126 mg MDA/kg auf 0,102 mg MDA/kg in Abhängigkeit von der Vitamin E-Versorgung der Tiere gemessen ($p < 0,05$).

4. Die sensorischen Merkmale Zartheit, Saftigkeit, Aroma und Ranzigkeit des Fetts, die im Rückenmuskel nach 10-wöchiger Gefrierlagerung ermittelt wurden, zeigten keine gerichteten Unterschiede in Abhängigkeit von der Vitamin E-Versorgung. Das gleiche traf für die Kriterien Aussehen, Konsistenz, Geruch und Geschmack bei den kühlgelagerten Kochschinken und ebenfalls bei den Rohschinken zu.

Obwohl die eingesetzten hohen Vitamin E-Zulagen zu einer besseren Vitamin E-Versorgung der Schweine und damit zu höheren α -Tocopherol-Konzentrationen in den Geweben führten, konnte im Vergleich zu einer bisher in der Praxis üblichen und allgemein als ausreichend angesehenen Vitamin E-Supplementierung kein eindeutiger Effekt auf die Qualität der tierischen Lebensmittel festgestellt werden. Bei Koteletts und Rohschinken, nicht dagegen bei Kochschinken, wurde durch Vitamin E-Zulagen, die 33 mg DL- α -Tocopherylacetat je kg Futter überstiegen, eine Verbesserung der analytisch geprüften Oxidationsstabilität erreicht, die jedoch sensorisch nicht zu erfassen war.

6 SUMMARY

In order to study the influence of increasing vitamin E supplements during the growing-finishing period on the quality of meat and meat products a feeding experiment with 100 male castrates of modern hybrid pigs kept under single feeding conditions was designed. The experiment comprised 4 groups of 25 animals each in the live weight range from 25 to 105 kg. Treatments were 4 DL- α -Tocopherylacetate (α -TAc) levels in the diet. The α -TAc content in the control group (I) was 33 mg/kg feed. Experimental group II received an additional α -TAc supplementation of 100 mg/kg and experimental group III 200 mg/kg. The animals of group IV were fed additionally 1.2 g α -TAc per day during the last 3 weeks of the finishing period.

Meat quality was determined in the loin (*M. longissimus dorsi*) and in backfat as well as in cooked and raw ham. The criteria α -Tocopherol content (α -TOH), concentration of secondary lipid oxidation products (TBARS) and organoleptic properties were analysed in fresh and stored samples as depending on the variables duration, temperature and packaging.

The results can be summarised as follows.

1. The different vitamin E supplies did not show a significant effect on growth performance. Over all groups the daily weight gain averages 810 g and the feed conversion ratio was calculated to be 2.64 kg per kg live weight gain.

Due to the different vitamin E supplies slaughter performance did not show any significant effects as well. On average in all groups dressing percentage amounted to 79 % and weight loss of the carcass halves after cooling amounted to 2 %. The same was observed for the meat/fat ratio of the *M. longissimus dorsi*. Over all groups the mean muscle area was found to be 42 cm² and the fat area 21 cm².

2. In the fresh loin the vitamin E supplements significantly ($p < 0.05$) increased the α -TOH concentration from 2.42 $\mu\text{g/g}$ (group I) to 4.86 (group II), 5.64 (group III) and 4.28 $\mu\text{g/g}$ (group IV).

In the backfat the corresponding α -TOH contents were found to be 9.45 $\mu\text{g/g}$ in group I, 19.76 $\mu\text{g/g}$ (group II), 24.30 (group III) and 19.68 $\mu\text{g/g}$ (group IV) with differences between all groups being significant ($p < 0.05$).

Chilled storage over 2 weeks caused a slight decrease of the α -TOH concentrations in the loin by 12 % in group I, 11 % (group II), 16 % (group III) and 9 %

(group IV), respectively. During 26 weeks of frozen storage the α -TOH contents in the experimental groups decreased significantly ($p < 0.05$).

In backfat only groups I and II showed a significant decrease of the α -TOH concentrations by 44 % and 29 %, when it was stored refrigerated for 2 weeks ($p < 0.05$).

Corresponding to the vitamin E supplies the α -TOH levels in the fresh prepared cooked hams differed. They increased from 2.47 $\mu\text{g/g}$ (group I) to 3.79 (group II), 5.11 (group III) and 4.44 $\mu\text{g/g}$ (group IV) respectively. The differences proved to be significant ($p < 0.05$). Refrigerated storage under vacuum did not show an effect on the vitamin E concentrations.

In fresh prepared raw ham correspondingly the α -TOH contents in muscle tissue significantly increased with an elevated vitamin E supply, from 1.95 $\mu\text{g/g}$ (group I) to 3.73 (group II), 4.40 (group III) and 3.80 $\mu\text{g/g}$ (group IV) ($p < 0.05$).

3. The TBARS concentration in fresh *M. longissimus dorsi* was not affected by the α -TAc supplementation. Refrigerated storage over 2 weeks triplicated the content in controls (group I) significantly from 0.058 mg MDA/kg to 0.180 mg MDA/kg ($p < 0.05$) whereas only a tendency towards an increase was observed in the experimental groups. After 10 and 26 weeks of frozen storage the TBARS concentrations amounted to 0.05 and 0.06 mg MDA/kg, respectively.

In backfat refrigerated storage over 2 weeks led to an exponential TBARS increase. However, the values in the experimental groups were found to be significantly lower compared to the control group, when storage time was 8 days ($p < 0.05$). Frozen storage over 26 weeks under vacuum showed a significant increase of the TBARS concentrations ($p < 0.05$). The values were duplicated as compared to the initial levels. An influence of the vitamin E supply on the TBARS content in the course of the frozen storage was observed but proved not to be significant.

In cooked ham neither storage at 4 °C over 2 weeks nor different vitamin E supplies showed an effect on TBARS concentrations. In contrast, a significant decrease from 0.126 to 0.102 mg MDA/kg muscle tissue was detected in fresh prepared raw ham as a consequence of the different vitamin E supplies ($p < 0.05$).

4. After 10 weeks of frozen storage the sensory traits tenderness, juiciness and flavour, analysed in loin, as well as rancidity in backfat were not affected by the

vitamin E supply. The same was found for appearance, consistency, flavour and taste of cooked and raw ham, when stored refrigerated.

Although the high vitamin E supplements as applied in this experiment caused higher α -TOH concentrations in various tissues, no specific effect on the quality of food of animal origin was detected, when the dietary vitamin E supplementation met the requirements.

In chops and raw ham but not in cooked ham dietary vitamin E supplements exceeding 33 mg α -TAc/kg feed improved the oxidation stability, but positive effects on the organoleptic properties were not observed.

7 LITERATURVERZEICHNIS

Aberle, E.D., Whang, K., Judge, M.D. & Peng, I.C. (1985).

Antioxidative properties of alpha-tocopherol in cooked pork.

Proc. European Meeting of Meat Research Workers, No. 31, 4.32, 239-243

ALZ (1997).

Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein.

Ausschuß für Leistungsprüfungen und Zuchtwertfeststellung beim Schwein, Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion e.V. (ZDS)

Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG.

Band 1/2 Lebensmittel (L), Teil 2, Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln

Anderson, L.E., Myer, R.O., Brendemuhl, J.H. & McDowell, L.R. (1995).

Bioavailability of various vitamin E compounds for finishing swine.

J. Anim. Sci. 73, 490-495

Andres, C. (1983).

Vitamin E-coated salt reduces nitrosamines in bacon.

Food Proc. 44, 24-25

Antequera, T., López-Bote, C.J., Córdoba, J.J., Garcia, C., Asensio, M.A. & Ventanas, J. (1992).

Lipid oxidative changes in the processing of Iberian hams.

Food Chem. 45, 105-110

Asghar, A., Gray, J.I., Booren, A.M., Gomaa, E.A., Abouzied, M.M., Miller, E.R. & Buckley, D.J. (1991a).

Effects of supranutritional dietary vitamin E levels on subcellular deposition of α -Tocopherol in the muscle and on pork quality.

J. Sci. Food Agric. 57, 31-41

Asghar, A., Gray, J.I., Miller, E.R., Ku, P.-K., Booren, A.M. & Buckley, D.J. (1991b).

Influence of supranutritional dietary vitamin E supplementation in the feed on swine growth performance and deposition in different tissues.

J. Sci. Food Agric. 57, 19-29

Astrup, H.N. & Langebrekke, A. (1985).

The effect of a high level of vitamin E and of a ration with hydrogenated free fatty acids upon pork quality.

Meldinger fra Norges Landbrukshogskole 64 (21), 19

Astrup, H.N. (1973).

Vitamin E and the quality of pork.
Acta Agric. Scand., Supplement 19, 152-157

Augustini, C., Flachowsky, G. & Rönsch, M. (1993).

Mast- und Schlachtleistung sowie Kennzahlen der Fleischqualität von Fleckviehbul-
len und Kreuzungstieren Fleckvieh x Schwarzbuntes Milchrind.
Züchtungskunde 65, 119-130

Bakalova, R., Mileva, M., Kutsev, C., Zlateva, G. & Ribarov, S. (2000).

Pharmacodynamic of the antioxidant action of alpha-tocopherol and its derivatives in
liver, brain, heart and skeletal muscles.
Acta Physiol. Pharmacol. Bulg. 25, 19-26

Belitz, H.D. & Grosch, W. (1992).

Lehrbuch der Lebensmittelchemie.
4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992. ISBN 3-540-55449-1

Bender, D.A. (1992).

Nutritional biochemistry of the vitamins.
Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-38144-4

Bendich, A. & Machlin, L.J. (1988).

Safety of oral intake of vitamin E.
Am. J. Clin. Nutr. 48, 612-619

**Berk, A., Rosenbauer, H., Mancini, V., Vemmer, H., Schaarman, G. & Fla-
chowsky, G. (1998).**

Einfluß unterschiedlich hoher Vitamin E-Gaben an Mastschweine auf die Fleisch-
und Speckqualität in Abhängigkeit von der Lagerung.
Z. Ernährungswiss. 37, 171-177

Bieri, J.G., Corash, L. & Hubbard, M.D. (1983).

Medical use of vitamin E.
New Engl. J. Med. 308, 1063-1071

Boles, J.A. & Parrish, F.C. Jr. (1990).

Sensory and chemical characteristics of precooked microwave-reheatable pork-
roasts.
J. Food Sci. 55, 618-620

Bonnette, E.D., Kornegay, E.T., Lindemann, M.D. & Hammerberg, C. (1990).

Humoral and cell-mediated immune response and performance of weaned pigs fed
four supplemental vitamin E levels and housed at two nursery temperatures.
J. Anim. Sci. 68, 1337-1345

Botsoglou, N.A., Fletouris, D.J., Papageorgiou, G.E., Vassilopoulos, V.N., Mantis, A.J. & Trakatellis, A.G. (1994).

Rapid, sensitive and specific Thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples.

J. Agric. Food Chem. 42, 1931-1937

Bowry, V.W., Mohr, D., Cleary, J. & Stocker, R. (1995).

Prevention of tocopherol-mediated peroxidation in ubiquinol-10-free human low-density lipoprotein.

J. Biol. Chem. 270, 5756-5763

Brigelius-Flohé, R. & Traber, M.G. (1999).

Vitamin E: function and metabolism.

FASEB J. 13, 1145-1155

Buckley, D.J., Gray, J.I., Asghar, A., Price, J.F., Crackel, R.L., Booren, A.M., Pearson, A.M. & Miller, E.R. (1989).

Effects of dietary antioxidants and oxidized oil on membranal lipid stability and pork product quality.

J. Food Sci. 54, 1193-1197

Buckley, D.J., Morrissey, P.A. & Gray, J.I. (1995).

Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat.

J. Anim. Sci. 73, 3122-3130

Buckley, J. & Connolly, J.F. (1980).

Influence of alpha-tocopherol (vitamin E) on storage stability of raw pork and bacon.

J. Food Protection 43, 265-267

Burton, G.W., Traber, M.G., Acuff, R.V., Walters, D.N., Kayden, H., Hughes, L. & Ingold, K.U. (1998).

Human plasma and tissue alpha-tocopherol concentrations in response to supplementation with deuterated natural and synthetic vitamin E.

Am. J. Clin. Nutr. 67, 669-684

Buscailhon, S., Berdague, J.L., Bousset, J., Cornet, M., Gandemer, G., Touraille, C. & Monin, G. (1994).

Relations between compositional traits and sensory qualities of French dry cured ham.

Meat Sci. 37, 229-243

Butte, W. (1983).

Rapid method for the determination of fatty acid profiles from fats and oils using trimethylsulphonium for transesterification.

J. Chromatogr. 261, 142-145

Cafantaris, B. & Papadopoulos, G. (1995).

Influence of beta-carotene, vitamin E, folic acid, biotin and vitamin C on the reproductive performance of sows.

Bulletin of the Hellenic Veterinary Medical Society 46, 177-182

Cannon, J.E., Delmore, R.J., Morgan, J.B., Schmidt, G.R., Sofos, J.N. & Smith, G.C. (1995a).

Characteristics of fresh and cooked pork sausage from pigs supplemented with vitamin E.

IFT Annual Meeting 1995, 208

Cannon, J.E., Morgan, J.B., Schmidt, G.R., Delmore, R.J., Sofos, J.N., Smith, G.C. & Williams, S.N. (1995b).

Vacuum-packaged precooked pork from hogs fed supplemental vitamin E: chemical, shelflife and sensory properties.

J. Food Sci. 60, 1179-1182

Cannon, J.E., Morgan, J.B., Schmidt, G.R., Tatum, J.D., Sofos, J.N., Smith, G.C., Delmore, R.J. & Williams, S.N. (1996).

Growth and fresh meat quality characteristics of pigs supplemented with vitamin E.

J. Anim. Sci. 74, 98-105

Cava, R., Ruiz, J., Ventanas, J. & Antequera, T. (1999).

Oxidative and lipolytic changes during ripening of Iberian hams as affected by feeding regime: extensive feeding and alpha-tocopheryl acetate supplementation.

Meat Sci. 52, 165-172

Chan, A.C. (1993).

Partners in defense, vitamin E and vitamin C.

Can. J. Physiol. Pharmacol. 71, 725-731

Chan, A.C., Tran, K., Raynor, T., Ganz, P.R. & Chow, C.K. (1991)

Regeneration of vitamin E in human platelets.

J. Biol. Chem. 266, 17290-17295

Cheah, K.S., Cheah, A.M. & Krausgrill, D.I. (1995).

Effect of dietary supplementation of vitamin E on pig meat quality.

Meat Sci. 39, 255-264

Chew, B.P. (1995).

Antioxidant vitamins affect food, animal immunity and health.

J. Nutr. 125, 6. Suppl., 1804-1808

Chung, Y.K., Mahan, D.C. & Lepine, A.J. (1992).

Efficacy of dietary D-alpha-tocopherol and DL-alpha-tocopherol acetate for weanling pigs.

J. Anim. Sci. 70, 2485-2492

Claus, R. & Marriott, N.G. (1995).

Influence of vitamin E on improving meat colour and lipid stability.
Meat Focus Int. 4, 109-112

Cohn, W. (1993).

Tocopherol Transport und Absorption.

in: Flachowsky, G. & Schubert, R. (Hrsg.): 4. Symposium: "Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier", Jena (Thüringen), 30.9./01.10.1993, Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, ISBN 3-928563-78-5, 71-82

Combs, G.F. (1999).

Mechanism of absorption, transport and tissue uptake of vitamin E.

in: Coelho, M.B. (Hrsg.): Vitamin E in animal nutrition and management; BASF Reference Manual; 3. Auflage, BASF Corporation, Parsippany, New Jersey, 27-36

Corino, C., Oriani, G., Pastorelli, G., Pantaleo, L., Salvatori, G., Bellatti, M. & Baldini, P. (1999).

Effect of dietary vitamin E supplementation to finishing heavy pigs on the composition and sensory properties of Parma ham.

Zootecnica e Nutrizione Animale 25, 27-34

Corrigan, J.J., Jr. (1982).

The effect of vitamin E on warfarin-induced vitamin K deficiency.

Ann. N.Y. Acad. Sci. 393, 361-368

De Winne, A. & Dirinck, P. (1997).

Studies on vitamin E and meat quality. 3. Effect of feeding high vitamin E levels to pigs on the sensory and keeping quality of cooked ham.

J. Agric. Food Chem. 45, 4309-4317

Dineen, N.M., Kerry, J.P., Lynch, P.B., Buckley, D.J., Morrissey, P.A. & Arendt, E.K. (2000).

Reduced nitrite levels and dietary alpha-tocopheryl acetate supplementation: effects on the colour and oxidative stability of cooked hams.

Meat Sci. 55, 475-482

Dirinck, P., De Winne, A., Casteels, M. & Frigg, M. (1996).

Studies on vitamin E and meat quality. 1. Effect of feeding high vitamin E levels on time-related pork quality.

J. Agric. Food Chem. 44, 65-68

DLG (1995).

Leistung- und qualitätsgerechte Schweinefütterung. Teil A: Mastschweine.

DLG-Information 1/1995, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (Hrsg.), Frankfurt/Main

DLG (2000).

Prüfbestimmungen für Fleischerzeugnisse, Fertiggerichte, Tiefkühlkost und Feinkost. 43. Auflage, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (Hrsg.), Frankfurt/Main

Douglas, C.E., Chan, A.C. & Choy, P.C. (1986).

Vitamin E inhibits platelet phospholipase A₂.
Biochim. Biophys. Acta 876, 639-645

Dressler, D. (1991).

Vitamin E - Eigenschaften und Einsatz als Zusatzstoff.
in: Flachowsky, G., Schöne, F. & Hennig, A. (Hrsg.): 3. Symposium "Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier", Jena/Stadtroda, 26.-27.09.1991, Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, ISBN 3-928563-08-4, 167-172

Dufey, P.A. (1998).

Schweinefleisch: Einfluß einer zusätzlichen Vitamin E-Zulage.
Agrarforschung 5, 417-424

Eder, K., Kirchgessner, M., Pfalzgraf, A., Steinhart, H. & Roth, F.X. (1995).

Zum Einfluß der Vitamin E-Zulage auf Leistungsparameter und Schlachtkörperzusammensetzung beim Mastschwein.
Agrobiol. Res. 48, 282-290

Eder, K., Pfalzgraf, A., Steinhart, H., Roth, F.X. & Kirchgessner, M., (1999).

Wirkung einer Vitamin E-Zulage auf Vitamin E-Gehalte und Lagerstabilität von Schweinefleisch.
Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 193, 27-31

Elmadfa, I. & Wagner, K-H. (1997).

Vitamin E und Haltbarkeit von Pflanzenölen.
Fett/ Lipid 99, 234-238

Elmadfa, I. & Bosse, W. (1985).

Vitamin E Eigenschaften, Wirkungsweise und therapeutische Bedeutung.
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, ISBN 3-8047-0816-1

Engberg, R.M., Jakobsen, K. & Hartfiel, W. (1993).

The biological activity of natural source tocopherols in pigs fed on a linoleic acid rich diet.
Fat Sci. Technol. 95, 537-542

Entel, H.J., Förster, N. & Hinckers, E. (1997).

Futtermittelrecht mit einschlägigen Bestimmungen, Bundesgesetzen, Verordnungen, Erlassen und Recht der Europäischen Union.
Petersen, U. (Hrsg.), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, ISBN 3-8263-3234-2.
Band 1

Erin, A.N., Skrypin, V.V. & Kagan, V.E. (1985).

Formation of α -tocopherol-complexes with fatty acids. Nature of complexes.
Biochim. Biophys. Acta 815, 209-214

Evans, H.M. & Bishop, K.S. (1922).

On the existence of a hitherto unrecognized dietary factor essential for reproduction.
Science 56, 650-651

Flachowsky, G., Schaarmann, G. & Sünder, A. (1997a).

Bedarfsüberschreitende Vitamin E-Gaben in der Fütterung von Nutztieren.
Übers. Tierern. 25, 87-135

Flachowsky, G., Schöne, F., Schaarmann, G., Lübbe, F. & Böhme, H. (1997b).

Influence of oilseeds in combination with vitamin E supplementation in the diet on backfat quality of pigs.
Anim. Feed Sci. Technol. 64, 91-100

Freudenreich, P. (1999).

Bedeutung der NIT-Schnellanalytik im Qualitätsmanagement.
in: Analytik bei Fleisch, Schnell- Schätz- und Meßmethoden. Kulmbacher Reihe 16,
25-47, Bundesanstalt für Fleischforschung

Freybler, L.A., Gray, J.I., Asghar, A., Booren, A.M., Pearson, A.M. & Buckley, D.J. (1993).

Nitrite stabilization of lipids in cured pork.
Meat Sci. 33, 85-96

Frigg, M., Buckley, D.J. & Morrissey, P.M. (1993).

Influence of α -Tocopherol acetate supplementation on the susceptibility of chicken or pork tissues to lipid oxidation.
Mh. Vet. Med. 48, 79-83

Garcia, C., Berdagué, J.J., Antequera, T., López-Bote, C., Córdoba, J.J. & Ventanas, J. (1991).

Volatile components of dry cured Iberian ham.
Meat Sci. 41, 23-32

Gebert, S., Bee, G., Pfirter, H.P. & Wenk, C. (1999a).

Phytase and vitamin E in the feed of growing pigs. I. Influence on growth, mineral digestibility and fatty acids in digesta.
J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 81, 9-19

Gebert, S., Bee, G., Pfirter, H.P. & Wenk, C. (1999b).

Phytase and vitamin E in the feed of growing pigs. II. Influence on carcass characteristics, meat and fat quality.
J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 81, 20-30

GfE (1987).

Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 4 Schweine.
Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie,
DLG-Verlag, Frankfurt (Main), ISBN 3-7690-0446-9

Gonzalez, M.J. (1990).

Serum concentrations and cellular uptake of vitamin E.
Med. Hypotheses 32, 107-110

Gottschalk, K., Kinast, C., Graf, H., Schaarmann, G., Schöne, F., Flachowsky, G., Möckel, P. & Lübbe, F. (1994).

Einfluß unterschiedlich langer, zusätzlicher Vitamin E-Gaben auf den Vitamin E-Gehalt in ausgewählten Körperproben und die oxidative Stabilität des Fettes beim Mastschwein.

in: Proc. 3. Tagung Schweine- und Geflügelernährung. Halle, 76-79

Grau, R. & Fleischmann, O. (1965).

Über den Einfluss der Verfütterung von Vitamin E an Schweine auf die Haltbarkeit des Fettes und fetthaltiger Erzeugnisse.

Z. Lebensm. Unters. Forsch. 130, 270-291

Gray, J.I., Reddy, S.K., Price, J.F., Mandagere, A. & Wilkens, W.F. (1982).

Inhibition of N-Nitrosamines in bacon.

Food Technol. 36, 39-45

Heimann, W. (1972).

Grundzüge der Lebensmittelchemie.

2. Auflage, 86-92, Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt

Hernández, P., Navarro, J. & Toldrá, F. (1999).

Effect of frozen storage on lipids and lipolytic activities in the longissimus dorsi muscle of the pig.

Z. Lebensm. Unters. Forsch. A 208, 110-115

Herrmann, K. (1999).

Das Geheimnis des guten Kochschinkens liegt in der Technik und im Know-how.
afz-journal 7, 5-7

Hollander, D. (1981).

Intestinal Absorption of vitamin A, D, E and K.

J. Lab. Clin. Med. 97, 449

Homb, T. & Astrup, H.N. (1968).

Neues über Vitamin E in der Ernährung des Schweines.

Schweizer Landw. Mh. 9/10, 439-450

Honikel, K.O. & Rosenbauer, H. (1998).

Feed supplementation in pigs and the quality of raw meat products.

in: Proc. 3rd Karlsruhe Nutrition Symposium. European Research towards Safer and Better Food. (Ed. Gaukel, V. & Spieß, W.E.L.), 18.-20.10.1998, Part 1, 194-201, ISSN: 0933-5463

Honikel, K.O., Rosenbauer, H. & Fischer, K. (1998).

Vitamin E and rapeseed oil in feed of pigs - I. Influence on animal performance and fresh pork.

in: Proc. 44th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Volume II, Barcelona, Spain, 30.08.-04.09.1998, 624-625

Hoppe, P.P. & Krennrich, G. (2000).

Bioavailability and potency of natural-source and all-racemic alpha-tocopherol in the human: a dispute.

Eur. J. Nutr. 39, 183-193

Hoppe, P.P., Duthie, G.G., Arthur, J.R., Schöner, F.J. & Wiesche, H. (1989).

Vitamin E and vitamin C supplementation and stress-susceptible pigs: effect of Halothane "Myostress" and transportation.

Livestock Prod. Sci. 22, 341-350

Hoppe, P.P., Schöner, F.J., Wiesche, H., Stahler-Geyer, A., Kammer, J. & Hochadel, H. (1993).

Effect of graded dietary α -Tocopherol supplementation on concentrations in plasma and selected tissues of pigs from weaning to slaughter.

J. Vet. Med. A 40, 219-228

Hosomi, A., Arita, M., Sato, Y., Kiyose, C., Ueda, T., Igarashi, O., Arai, H. & Inoue, K. (1997).

Affinity for α -tocopherol transfer protein as a determinant of the biological activities of vitamin E analogs.

FEBS Letter 409, 105-108

Hoving-Bolink, A.H., Eikelenboom, G., van Diepen, J.T.M., Jongbloed, A.W. & Houben, J.H. (1998).

Effect of dietary vitamin E supplementation on pork quality.

Meat Sci. 49, 205-212

Hvidsten, H. & Astrup, H.N. (1963).

The effect of vitamin E on the keeping quality and flavour of pork.

Acta Agric. Scand. 13, 259-270

Isabel, B., Lopez-Bote, C.J., Rey, A.I. & Arias, R.S. (1999a).

Influence of dietary alpha-tocopheryl acetate supplementation of pigs on oxidative deterioration and weight loss in sliced dry-cured ham.

Meat Sci. 51, 227-232

Isabel, B., Timon, M., Cava, R., Garcia, C., Ruiz, J., Carmona, J.M., Soares, M., Lopez-Bote, C.J. & Bote, C.J.L. (1999b).

Dietary alpha-tocopheryl acetate supplementation modifies volatile aldehyde and sensory properties of dry-cured hams.

Irish Journal of Agricultural and Food Research 38, 137-142

Jakobsen, K., Jensen, S.K. & Engberg, R.M. (1997).

Zur Bioverfügbarkeit von zwei verschiedenen Vitamin-E-Quellen bei Mastschweinen.
Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, 148

Jensen, C. (1998).

Dietary vitamin E and pork meat quality.

Ph.D.-thesis, Department of Dairy and Food Science, The Royal Veterinary and Agricultural University Copenhagen

Jensen, C., Flensted-Jensen, M., Skibsted, L.H. & Bertelsen, G. (1998a).

Effects of dietary rape seed oil, copper(II) sulphate and vitamin E on drip loss, colour and lipid oxidation of chilled pork chops packed in atmospheric air or in a high oxygen atmosphere.

Meat Sci. 50, 211-221

Jensen, C., Flensted-Jensen, M., Skibsted, L.H. & Bertelsen, G. (1998a).

Warmed-over flavour in chill-stored pre-cooked pork patties in relation to dietary rapeseed oil and vitamin E supplementation.

Z. Lebensm. Unters. Forsch. A 207, 154-159

Jensen, C., Guidera, J., Skovgaard, I.M., Staun, H., Skibsted, L.H., Jensen, S.K., Møller, A.J., Buckley, J. & Bertelsen, G. (1997).

Effects of dietary α -tocopheryl acetate supplementation on α -tocopherol deposition in porcine *M. psoas major* and *M. longissimus dorsi* and on drip loss, colour stability and oxidative stability of pork meat.

Meat Sci. 45, 491-500

Jensen, C., Lauridsen, C. & Bertelsen, G. (1998c).

Dietary vitamin E: Quality and storage stability of pork and poultry.

Trends food sci. technol. 9, 62-72

Jensen, C., Skibsted, L.H. & Bertelsen, G. (1998d).

Oxidative stability of frozen stored raw pork chops, chill-stored pre-frozen raw pork chops and frozen stored pre-cooked sausages in relation to dietary CuSO₄, rapeseed oil and vitamin E.

Z. Lebensm. Unters. Forsch. A 207, 207-209

Jensen, M., Hakkareinen, J., Lindholm, A. & Jönsson, L. (1988).

Vitamin E requirement of growing swine.

J. Anim. Sci. 66, 3101-3111

Jensen, M., Lindholm, A. & Hakkareinen, J. (1990).

The vitamin E distribution in serum, liver, adipose and muscle tissues in the pig during depletion and repletion.

Acta vet. scand. 31, 129-136

Kaneko, K., Kiyose, C., Ueda, T., Ichikawa, H. & Igarashi, O. (2000).
Studies of the metabolism of alpha-tocopherol stereoisomers in rats using
[5-methyl-(14)C]SRR- and RRR-alpha-tocopherol.
J. Lipid Res. 41, 357-367

Kappus, H. & Diplock, A.T. (1992).
Tolerance and safety of vitamin E.
Free Radic. Biol. Med. 13, 55-74

Kayden, H.J. & Traber, M.G. (1993).
Absorption, lipoprotein transport and regulation of plasma concentrations of vitamin
E in humans.
J. Lipid Res. 34, 343-358

Kerry, J.P., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., O'Sullivan, K. & Lynch, P.B. (1998).
Endogenous and exogenous alpha-tocopherol supplementation: effects on lipid sta-
bility (TBARS) and warmed-over flavour (WOF) in porcine *M. longissimus dorsi*
roasts held in aerobic and vacuum packs.
Food Res. Int. 31, 211-216

**Kies, A., Girard, J.P., Hutter, N., Kiener, T., Grimaldi, J.L., Denoyer, C. &
Rafaitin, Y. (1991).**
Effect of vitamin E supplementation in the diet on the meat quality.
Journées Rech. Porcine en France 23, 349-356

König, J. & Elmadfa, I. (1995).
Vitamin E-Bioverfügbarkeit und Bedarf.
in: Schubert, R., Flachowsky, G. & Bitsch, R. (Hrsg.): 5. Symposium "Vitamine und
Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier", Jena, 28.-29.09.1995, Wiss.
Fachverlag Dr. Fleck, Niederkleen, ISBN 3-00-000361-4, 111-122

Kontush, A., Finckh, B., Karten, B., Kohlschutter, A. & Beisiegel, U. (1996).
Antioxidant and prooxidant activity of alpha-tocopherol in human plasma and low
density lipoprotein.
J. Lipid Res. 37, 1436-1448

Kratz, R. (2002)
Einfluß verschiedener Fettquellen in der Ernährung von Schweinen unterschiedlicher
Genetik auf den Protein- und Lipidansatz, das Fettsäurenmuster verschiedener
Teilstücke und die Fleischbeschaffenheit.
Dissertation, Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmana-
gement der Justus-Liebig-Universität Gießen

Lanari, M.C., Schaefer, D.M. & Scheller, K.K. (1995).
Dietary vitamin E supplementation and discoloration of pork bone and muscle follow-
ing modified atmosphere packaging.
Meat Sci. 41, 237-250

- Lass, A. & Sohal, R.S. (1998).**
Electron transport-linked ubiquinon-dependent recycling of α -tocopherol inhibits autooxidation of mitochondrial membranes.
Arch. Biochem. Biophys. 352, 229-236
- Lautenschläger, R., Müller, W.D. & Rosenbauer, H. (1996).**
Fütterungseinflüsse auf die Verarbeitungseignung von Schweinefleisch zur Herstellung roher Fleischerzeugnisse.
Mitteilungsblatt der BAFF Kulmbach 35 (132), 164-169
- Leistner, L. (1986).**
Allgemeines über Rohschinken.
Fleischw. 66, 466
- Leonhardt, M., Gebert, S. & Wenk, C. (1997).**
Vitamin E content of different animal products: influence of animal nutrition.
Z. Ernährungswiss. 36, 23-27
- Lewis, A.J., Cromwell, G.L. & Pettigrew, J.E. (1991).**
Effects of supplemental biotin during gestation and lactation on reproductive performance of sows: A cooperative study.
J. Anim. Sci. 69, 207-214
- López, M.O., De la Hoz, L., Cambero, M.I., Gallardo, E., Reglero, G. & Ordóñez, J.A. (1992).**
Volatile compounds of dry cured hams from Iberian pigs.
Meat Sci. 31, 267-277
- Lynch, P.B. (1994).**
Vitamin E in livestock feeding.
in: Proc. Symposium "Vitamin E and meat quality." University College Cork, 21.4.1994, 1-10
- LZ Haus Düsse (1999).**
Schweinehaltung - Berichte und Versuchsergebnisse 1999.
in: Berichte und Versuchsergebnisse 1999.
Landwirtschaftszentrum Westfalen-Lippe Haus Düsse
- Machlin, L.J. (1984).**
Vitamin E.
in: Handbook of Vitamins. Nutritional, Biochemical and Clinical Aspects.
(Ed.: Machlin, L.J.), Marcel Dekker Inc., New York-Basel
- Marquering, B., Westendarp, H. & Warnke, J. (1996).**
Mehr Vitamin E bringt keine Vorteile.
DGS Magazin 48, No. 8, 46-48

Mathias, P.M., Harries, J.T., Peters, T.J. & Muller, D.P.R. (1981).

Studies on the in vivo absorption of micellar solutions of tocopherol and tocopheryl acetate in the rat: demonstration and partial characterization of mucosal esterase localized to the endoplasmatic reticulum of the enterocyte.

J. Lipid Res. 22, 829-837

Matlock, R.G., Terrell, R.N., Savell, J.W., Rhee, K.S. & Dutson, T.R. (1984a).

Factors affecting properties of precooked-frozen pork sausage patties made with various NaCl/phosphate combinations.

J. Food Sci. 49, 1372-1375

Metz, G. (1994).

Vitamin E, Beta-Carotin, Vitamin C, Nutzen und Perspektiven in Prophylaxe und Prävention.

Informationsschrift des Arbeitskreis Ernährungs- und Vitamin-Information e.V. (evi), Frankfurt

Meydani, S.N., Meydani, M., Blumberg, J.B., Leka, L.S., Pedrosa, M., Diamond, R. & Schaefer, E.J. (1998).

Assessment of the safety of supplementation with different amounts of vitamin E in healthy older adults.

Am. J. Clin. Nutr. 68, 311-318

Miller, D.K., Gomez-Basauri, J.V., Smith, V.L., Kanner, J. & Miller, D.D. (1994).

Dietary iron in swine rations affects nonheme iron and TBARS in pork skeletal muscles.

J. Food Sci. 59, 747-750

Mitsumoto, M., Arnold, R.N., Schaefer, D.M. & Cassens, R.G. (1993).

Dietary versus postmortem supplementation of vitamin E on pigment and lipid stability in ground beef.

J. Anim. Sci. 71, 1812-1816

Monahan, F.J., Buckley, D.J., Gray, J.I., Morrissey, P.A., Asghar, A., Hanrahan, T.J. & Lynch, P.B. (1990).

Effect of dietary vitamin E on the stability of raw and cooked pork.

Meat Sci. 27, 99-108

Monahan, F.J., Buckley, D.J., Morrissey, P.A. & Lynch, P.B. (1992a).

Feeding vitamin E to pigs: Effect on pork quality.

Farm & Food 2, No. 3, 10-11

Monahan, F.J., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., Lynch, P.B. & Gray, J.I. (1992b).

Influence of dietary fat and α -tocopherol supplementation on lipid oxidation in pork.

Meat Sci. 31, 229-241

Monahan, F.J., Gray, I., Asghar, A., Haug, A., Shi, M., Buckley, D.J. & Morrissey, P.A. (1993).

Effect of dietary lipid and vitamin E supplementation on free radical production and lipid oxidation in porcine muscle microsomal fractions.
Food Chem. 46, 1-6

Monahan, F.J., Gray, I., Asghar, A., Haug, A., Strasburg, M., Buckley, D.J. & Morrissey, P.A. (1994).

Influence of diet on lipid oxidation and membrane structure in porcine muscle microsomes.
J. Agric. Food Chem. 42, 59-63

Monahan, F.J., Gray, J.I., Asghar, A., Buckley, D.J. & Morrissey, P.A. (1992c).

Influence of dietary vitamin E (α -Tocopherol) on the colour stability of pork chops.
in: Proc. 38th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Clermont-Ferrand, France, Vol. 3, 543-546

Monahan, F.J., Gray, J.I., Booren, A.M., Miller, E.R., Buckley, D.J., Morrissey, P.A. & Goma, E.A. (1992d).

Influence of dietary treatment on lipid and cholesterol oxidation in pork.
J. Agric. Food Chem. 40, 1310-1315

Morrissey, P.A. & Tichivangana, J.Z. (1985).

The antioxidant activities of nitrite and nitrosylmyoglobin in cooked meats.
Meat Sci. 14, 175-190

Morrissey, P.A., Buckley, D.J., Sisk, H., Lynch, P.B. & Sheehy, P.J.A. (1996).

Uptake of α -Tocopherol in porcine plasma and tissues.
Meat Sci. 44, 275-283

Motilva, M.J., Toldrá, F., Aristoy, M.C. & Flores, J. (1993b).

Subcutaneous adipose tissue lipolysis phenomena in the processing of dry-cured ham.
J. Food Biochem. 16, 323

Motilva, M.J., Toldrá, F., Nadal, M.I. & Flores, J. (1994).

Pre-freezing hams affects lipolysis during dry-curing.
J. Food Sci. 59, 303-330

Motilva, M.J., Toldrá, F., Nieto, P. & Flores, J. (1993a).

Muscle lipolysis phenomena in the processing of dry-cured ham.
Food Chem. 48, 121-125

Mourot, J., Aumaitre, A. & Mounier, A. (1992).

Interaction between vitamin E and linoleic acid in the diet: effect on carcass composition and quality of lipids in stored pig meats.
Sciences des Aliments 12, 743-755

Müller, W.D. (1998).

mündliche Mitteilung

Mitarbeiter der Bundesanstalt für Fleischforschung

Müller, W.D., Eber, M. & Przytulla, J. (2000).

Einfluß verschiedener Phosphat-Dosierungen auf technologische Parameter und sensorische Eigenschaften von Kochschinken.

Fleischw. 80, 99-102

Naumann, C. & Bassler, R. (1993).

Die chemische Untersuchung von Futtermitteln.

Methodenbuch, Band III, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

NCSS (1999).

NCSS 2000 Statistical Analysis System, Released: 18.1.99

NCSS Statistical Software, 329 North 1000 East Kaysville, Utah 84037, USA

Nolan, N.L., Bowers, J.A. & Kropf, D.H. (1989).

Lipid oxidation and sensory analysis of cooked pork and turkey stored under modified atmospheres.

J. Food Sci. 54, 846-849

NRC (1988).

Nutrient Requirements of swine.

Subcommittee of Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, 9th Ed. National Academy Press, Washington, D.C., ISBN 0-309-003779-4

NRC (1998).

Nutrient Requirements of swine.

Subcommittee of Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, 10th Ed. National Academy Press, Washington, D.C., ISBN 0-309-05993-3 (pbk.)

O'Sullivan, M.G., Lynch, P.B. & Morissey, P.A. (1997).

The distribution of dietary vitamin E in the muscles of the porcine carcass.

Meat Sci. 45, 297-305

Onibi, G.E., Scaife, J.R., Murray, I. & Fowler, V.R. (1998).

Use of alpha-tocopherol acetate to improve fresh pig meat quality of full-fat rape-seed-fed pigs.

J. Am. Oil Chem. Soc. 75, 189-198

Packer, L., Tritschler, H.J. & Wessel, K. (1997).

Neuroprotection by the metabolic antioxidant alpha-lipoic acid.

Free Radic. Biol. Med. 22, 359-378

Pardun, H. (1976).

Analyse der Nahrungsfette.

Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, ISBN 3-489-78814-1

Pentland, A., Morrison, A., Jakobs, S., Hruza, L., Herbert, J. & Packer, L. (1992).
Tocopherol analogs suppress arachidonic acid metabolism via phospholipase inhibition.

J. Biol. Chem. 267, 15578-15584

Peplowski, M.A., Mahan, D.C., Murray, F.A., Moxon, A.L., Cantor, A.H. & Ekstrom, K.E. (1981).

Effect of dietary and injectable vitamin E and Selenium in weanling swine antigenically challenged with sheep red blood cells.

J. Anim. Sci. 51, 344-351

Pfalzgraf, A., Frigg, M. & Steinhart, H. (1995a).

α -Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage.

J. Agric. Food Chem. 43, 1339-1342

Pfalzgraf, A., Frigg, M., Steinhart, H., Kirchgeßner, M. & Roth, F.X. (1995b).

Influence of dietary fat and vitamin E on the lipids in pork meat.

Fat Sci. Technol. 97, 13-20

Pfalzgraf, A., Steinhart, H. & Frigg, M. (1995c).

Rapid determination of α -tocopherol in muscle and adipose tissues of pork.

Z. Lebensm. Unters. Forsch. 200, 190-193

Piette, G. & Raymond, Y. (1999).

Vergleichende Bewertung verschiedener Methoden - Bestimmung der Ranzigkeit in Fleischprodukten.

Fleischw. 79, 69-73

Piironen, V.I., Lijeroos, A.I. & Koivistoinen, P.E. (1991).

Transfer of α -Tocopherol stereoisomers from feeds to eggs.

J. Agric. Food Chem. 39, 99-101

Potthast, K. (1992).

Der Einfluß von Zusatzstoffen auf die Qualität von Fleischerzeugnissen.

in: Qualitätssicherung im Fleischbereich. Kulmbacher Reihe 11, 165-185,

Bundesanstalt für Fleischforschung

Pryor, W.A. (1986).

Oxy-radicals and related species: their formation, lifetimes and reactions.

Ann. Rev. Physiol. 48, 657

Pryor, W.A. (1995).

The forms of vitamin E: Natural source vitamin E.

in: Pryor, W.A. (Ed.): Vitamin E & Carotinoid Abstracts, Studies of lipid-soluble antioxidants. Veris, LaGrange, Illinois, USA, VII

Rose, A.T. & McFadden, D.W. (2001).

Alpha-Tocopherol Succinate inhibits Growth of Gastric Cancer Cells in Vitro.
J. Surg. Res. 95, 19-22

Rosenbauer, H. & Honikel, K.O. (1996).

Dietary treatment and oxidative stability of muscle and meat products: nutritive value, sensory quality and safety.
in: Annual progress report 1996 EU-shared cost project AIR II-CT94-1577, Ed.: Skibsted, L.

Rosenbauer, H. & Honikel, K.O. (1998).

Einfluß diätärer Pro- und Antioxidantien in der Schweinemast auf die Qualitätsparameter von Fleisch und Fleischerzeugnissen.
in: Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Angewandte Wissenschaft 469, Lipide in Lebensmitteln, 196-205, Bonn

Rosenbauer, H., Honikel, K.O., Müller, W.D. & Przytulla, J. (1998).

Vitamin E and rapeseed oil in feed of pigs - II. Influence on the quality of meat products.
in: Proc. 44th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Volume II, Barcelona, Spain, 30.08.-04.09.1998, 626-627

Schaarmann, G. (1996).

Verdauungsphysiologische Untersuchungen bei Schwein und Mensch zum Einfluß faserreicher Diäten im Hinblick auf die Ausschleusung von Vitamin E.
Dissertation, Biologisch-Pharmazeutische Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Schaarmann, G., Wirth, R., Ochrimenko, W.I. & Flachowsky, G. (1997).

Effekte zellwandreicher Mischungen auf die postprandiale Vitamin E-Konzentration im Plasma von Schweinen.
Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, 146

Schaefer, D.M., Liu, Q., Faustmann, C. & Yin, M.C. (1995).

Supranutritional administration of vitamins E and C improves oxidative stability of beef.
J. Nutr. 125, 1792-1798

Schuelke, M., Elsner, A., Finckh, B., Kohlschutter, A., Hubner, C. & Brigelius-Flohe, R. (2000).

Urinary alpha-tocopherol metabolites in alpha-tocopherol transfer protein-deficient patients.
J. Lipid Res. 41, 1543-1551

Schultz, M., Leist, M., Petrzika, M., Gassmann, B. & Brigelius-Flohe, R. (1995).

Novel urinary metabolite of alpha-tocopherol, 2,5,7,8-tetramethyl-2(2'-carboxyethyl)-6-hydroxychroman, as an indicator of an adequate vitamin E supply?
Am. J. Clin. Nutr. 62 (6. Suppl.), 1527-1534

Shahidi, F. & Hong, C. (1991).

Evaluation of malonaldehyde as a marker of oxidative rancidity in meat products.
J. Food Biochem. 15, 97-105

Sisk, H., Molloy, M., Morrissey, P.A. & Buckley, D.J. (1994).

Uptake of α -Tocopherol in porcine plasma, muscle and adipose tissue.
Proc. Nutr. Soc. 53, 12A

Smith, G.C., Morgan, J.B., Sofos, J.N. & Tatum, J.D. (1994).

Feeding of supplemental vitamin E and its effect on meat quality.
in: Proc. 3rd Int. Feed Prod. Conference Piacenza, (Ed.: Piva, G.), 309-327

Stapelfeldt, H., Bjorn, H., Skibsted, L.H. & Bertelsen, G. (1993).

Effect of packaging and storage conditions on development of warmed-over flavour in sliced, cooked meat.
Z. Lebensm. Unters. Forsch. 196, 131-136

Stoll, P. (1998).

Schweinemast mit erhöhtem Vitamin-E-Gehalt in der Ration.
Agrarforschung 5 (9), 413-416

Sünder, A., Halle, I. & Flachowsky, G. (1999).

Vitamin E hypervitaminosis in laying hens.
Arch. Anim. Nutr. 52, 185-194

Suomi, K., Partanen, K., Alaviuhkola, T., Siljander-Rasi, H. & Sankari, S. (1999).

Effect of supplemental vitamin E on the performance of growing-finishing pigs fed stored versus freshly harvested barley and on the storage stability and eating quality of frozen pork.
Agricultural and Food Science in Finland 8, 9-18

Taylor, A.J. (1993).

Pig meat quality-The challenge for the nutritionist.
Feed Compounder 13, No. 11, 31-35

Timm, M., Vietzke, J.-P., Steinhart, H. & Stiebing, A. (1996).

Einfluß des Tocopherolgehaltes im Schweinemastfutter auf Qualitätsparameter von Salami.
Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 135

Traber, M.G., Cohn, W. & Muller, D.P.R. (1992).

Absorption, Transport and Delivery to Tissues.
in: Vitamin E in Health and Disease. (Ed.: Packer, L. & Fuchs, J.), M. Decker Inc., New York, 35-51

Urano, S., Kitahara, M., Kato, Y., Hasegawa, Y. & Matsuo, M. (1990).

Membrane stabilizing effect of vitamin E: Existence of a hydrogen bond between α -tocopherol and phospholipids in bilayer liposomes.
J. Nutr. Sci. Vitaminol. Tokyo 36, 513-519

Vatassery, G.T., Bauer, T. & Dysken, M. (1999).

High doses of vitamin E in the treatment of disorders of the central nervous system in the aged.

Am. J. Clin. Nutr. 70, 793-801

Vogg-Perret, D. (1989).

Über die Verteilung von Polyenfettsäuren und α -Tocopherol in den Geweben des Schlachtkörpers von Mastschweinen.

Dissertation ETH Zürich 39, 163-169

Walsh, M.M., Kerry, J.F., Buckley, D.J., Morrissey, P.A., Lynch, P.B. & Arendt, E. (1998).

The effect of dietary supplementation with alpha-tocopheryl acetate on the stability of low nitrite cured pork products.

Food Res. Int. 31, 59-63

Wang, Y.H., Leibholz, J., Bryden, W.L. & Fraser, D. (1996).

Lipid peroxidation status as an index to evaluate the influence of dietary fats on vitamin E requirements of young pigs.

Br. J. Nutr. 75, 81-95

Weiser, H. & Vecchi, M. (1982).

Stereoisomers of α -tocopheryl acetate. II. Biopotencies of all eight stereoisomers, individually or in mixtures, as determined by rat resorption-gestation tests.

Internat. J. Vit. Nutr. Res. 52, 351-370

Wen, J., Morrissey, P.A., Buckley, D.J. & Sheehy, P.J.A. (1997).

Supranutritional vitamin E supplementation in pigs: Influence on subcellular deposition of α -Tocopherol and on oxidative stability by conventional and derivative spectrophotometry.

Meat Sci. 47, 301-310

ZDS (1999).

Schweineproduktion 1998 in Deutschland - Ausgabe 1999 -.

Druckerei Martin Roesberg, Alfter-Witterschlick, 97

8 ANHANG

ANHANGSVERZEICHNIS

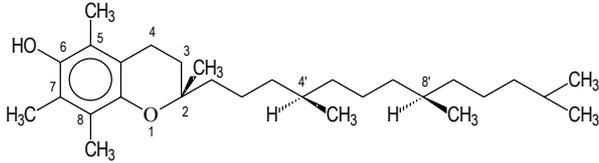
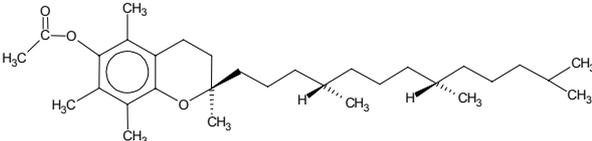
	Seite
Anhang 1: Natürliche Verbindungen mit Vitamin E-Aktivität (nach PRYOR 1995, ¹ ELMADFA & WAGNER 1997)	128
Anhang 2: Struktur und Aktivität von Tocopherol und Tocopherylacetat	129
Anhang 3: Schema der Vitamin E-Absorption nach COHN (1993)	130
Anhang 4: Regeneration von Vitamin E (modifiziert nach METZ 1994)	130
Anhang 5: Liste der verwendeten Geräte und Artikel	131
Anhang 6: Liste der verwendeten Chemikalien und Substanzen	132
Anhang 7: Anzahl nicht in der Versuchsauswertung berücksichtigter Schweine und Ursachen	132
Anhang 8: Ausbeute [%] im Kochschinken	132
Anhang 9: Ausschnitt aus dem DLG-Prüfschema für Kochschinken (DLG 2000)	133
Anhang 10: Ausschnitt aus dem DLG-Prüfschema für Rohschinken (DLG 2000)	134

Anhang 1: Natürliche Verbindungen mit Vitamin E-Aktivität (nach PRYOR 1995,
¹ELMADFA & WAGNER 1997)

Bezeichnung	Strukturformel	*Aktivität in 1 mg	
		D- α -Tocopherol-Äquivalente	IU Vitamin E
D- α -Tocopherol (= RRR- α -Tocopherol) (α -TOH)		1,00	1,49
D- β -Tocopherol		0,50	0,75
D- γ -Tocopherol		0,25 ¹	0,37
D- δ -Tocopherol		0,01 ¹	0,02
D- α -Tocotrienol		0,33 ¹	0,50
D- β -Tocotrienol		0,05	0,08
D- γ -Tocotrienol		Unbekannt	
D- δ -Tocotrienol		Unbekannt	

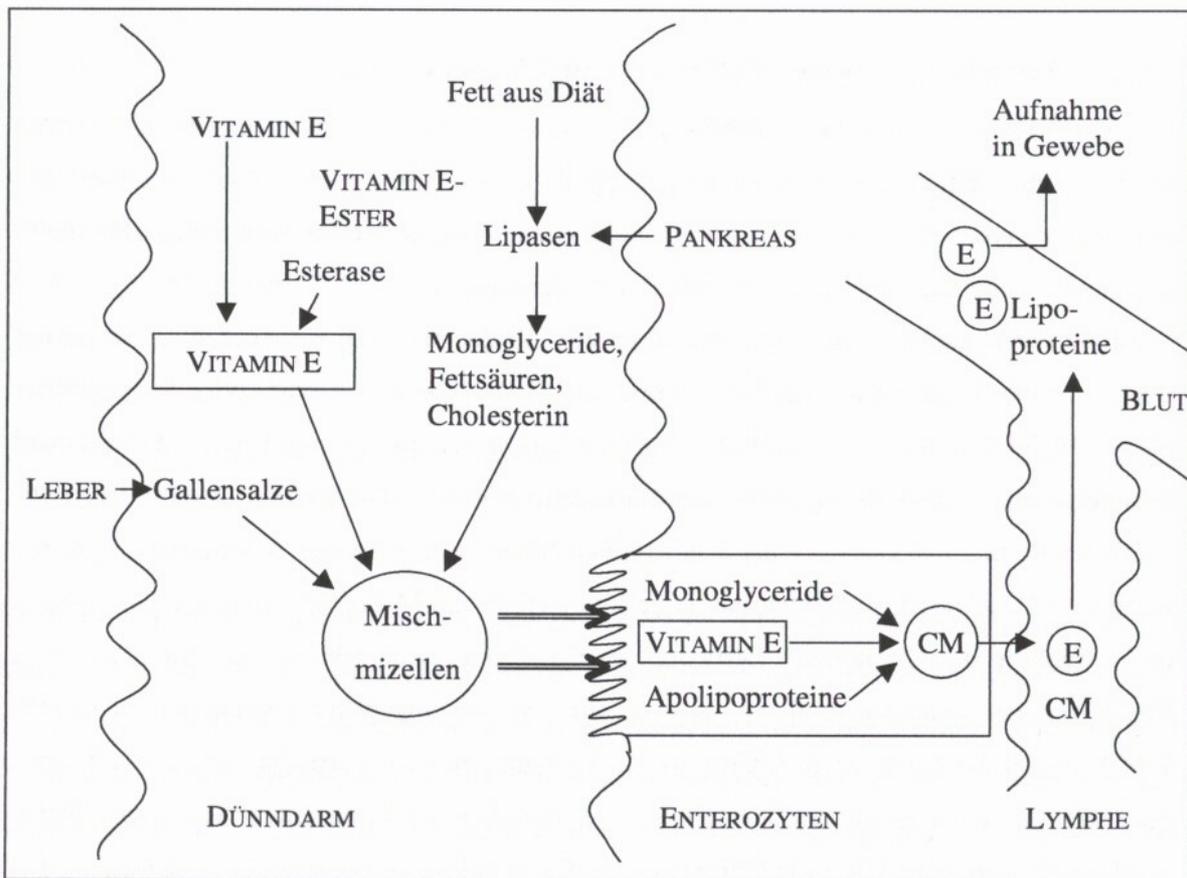
*im Fertilitätstest an Ratten ermittelt (WEISER & VECCI 1982)

Anhang 2: Struktur und Aktivität von Tocopherol und Tocopherylacetat

Bezeichnung	Struktur	*Aktivität in 1 mg	
		D- α -Tocopherol-Äquivalente	IU Vitamin E
D- α -Tocopherol (= RRR- α -Tocopherol) (α -TOH)		1,00	1,49
DL- α -Tocopherol (= all-rac- α -Tocopherol)	Gemisch aus 8 Stereoisomeren	0,74	1,10
D- α -Tocopherylacetat (= RRR- α -Tocopherylacetat)		0,91	1,36
DL- α -Tocopherylacetat (= all-rac- α -Tocopherylacetat) (α -TAc)	Gemisch aus 8 Stereoisomeren	0,67	1,00

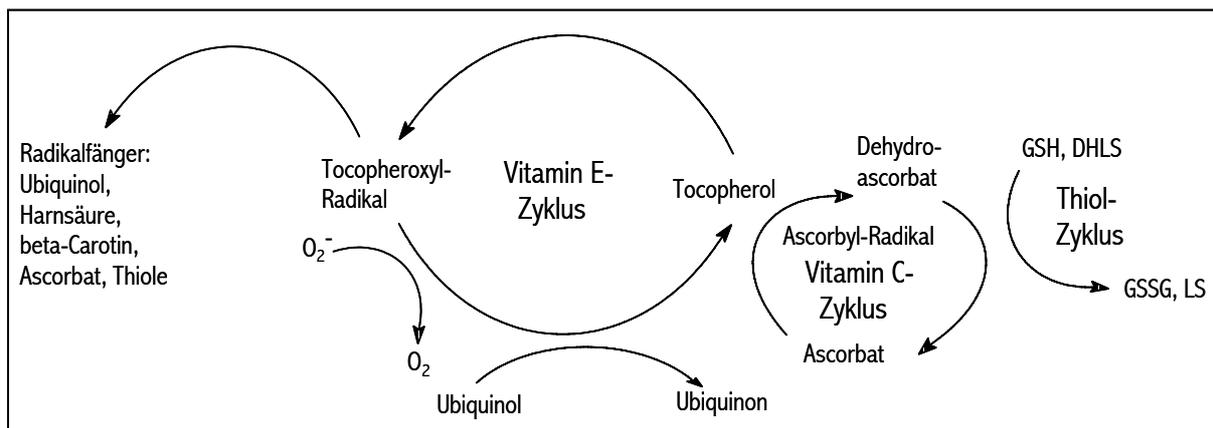
*im Fertilitätstest an Ratten ermittelt (WEISER & VECCI 1982)

Anhang 3: Schema der Vitamin E-Absorption nach COHN (1993)



Chylomikronen (CM), Vitamin E (E)

Anhang 4: Regeneration von Vitamin E (modifiziert nach METZ 1994)



Superoxidanion-Radikal (O_2^-), Glutathion (GSH), Glutathion-Dimer (GSSG), Dihydroliponsäure (DHLS), α -Liponsäure (LS)

Anhang 5: Liste der verwendeten Geräte und Artikel

Gerät/ Artikel	Typ, Hersteller
Aufschnittmaschine	Fa. Bizerba, Balingen
Dampfkochschrank	Fa. Maurer und Söhne, Insel Reichenau
Degaser	S7505 Vacuum Degaser, Fa. Sykam, Gilching
Edelstahlkocher	Fa. Adelman, Kehl-Goldsch.
Entvliesmaschine	ASE 553, Fa. Weber Maschinenbau, Briedenbach
Gaschromatograph (GC)	5890, Fa. Hewlett-Packard, Waldbronn
GC-Autosampler	7673A, Fa. Hewlett-Packard, Waldbronn
GC-Chromatographiesäule	DB 23 (50 % Cyanopropylsiloxan), 60 m · 0,25 mm i.D., 0,25 µm Filmdicke, Fa. J&W Scientific, Folsom, USA
GC-Datenverarbeitung (Integrator)	3396A, Fa. Hewlett-Packard, Waldbronn
Haushaltsmixer	Fa. Braun, Frankfurt/Main
Heizpilz	Fa. Horst, Lindenfels
Homogenisator	Fa. Bühler, Tübingen
HPLC-Autosampler	717 Plus, Fa. Waters, Eschborn
HPLC-Chromatographiesäule	Alltima Silica 5 U (250 · 4,6 mm i.D.), Fa. Alltech, Unterhaching
HPLC-Datenverarbeitung	Chromeleon V 4.12A, Fa. Gynkotec, Germering
HPLC-Detektor	RF-551 Spectrofluorometric Detector, Fa. Shimadzu, Kyoto, Japan
HPLC-Pumpe	400 Solvent Delivery System, Fa. Applied Biosystems, Weiterstadt
Injektor	Fa. Günther, Dieburg
Kühlschrank	Fa. Privileg, Nürnberg
pH-Meter	Portamess 751, Fa. Knick, Berlin
Probenschüttler	Vortex Genie 2, Fa. Bender & Hobein, Zürich, Schweiz
Räucherschrank	Fa. Maurer und Söhne, Insel Reichenau
Rotationsverdampfer	Labo-Rota S-300, Fa. Resona Technics, Gossau
Spektralphotometer	DM4, Fa. Zeiss, Oberkochen
Tumbler	Iglu-Kühltumbler 180 MC, Fa. SST, Überherrn
Ultra Turrax	Typ 18/10, Fa. Ika, Staufen
Vakuumschweißgerät	Quick 2000, Fa. Krämer und Grebe, Biedenkopf-Wallau
Wasserbad	Fa. Memmert, Schwabach
Zentrifuge	Avanti J25, Fa. Beckmann, Palo Alto, USA

Anhang 6: Liste der verwendeten Chemikalien und Substanzen

Chemikalie/ Substanz	Typ, Hersteller
1,1,3,3-Tetraethoxypropan 98 %	Nr.12.960-7, Fa. Aldrich-Chemie, Steinheim
2-Thiobarbitursäure z.A.	Nr. 8180, Fa. Merck, Darmstadt
Butylhydroxytoluol (2,6-Di-tert-butyl-p-cresol)	Nr. 34750, Fa. Fluka Chemie, Buchs, Schweiz
Dichlormethan z.A.	Nr. 32222, Fa. Riedel-de Haën, Seelze
Diethylether z.A.	Nr. 32203, Fa. Merck, Darmstadt
all-rac- α -Tocopherol	Nr. 8283, Fa. Merck, Darmstadt
all-rac- α -Tocopherylacetat (Rovimix E-50 Adsorbat)	Fa. Hoffmann-La Roche, Basel, Schweiz
Ethanol absolut z.A.	Nr. 983, Fa. Merck, Darmstadt
Ethylacetat z.A.	Nr. 9623, Fa. Merck, Darmstadt
Kaliumhydroxid-Plätzchen z.A.	Nr. 5033, Fa. Merck, Darmstadt
L(+)-Ascorbinsäure z.A.	Nr. 127, Fa. Merck, Darmstadt
Lewatit MP 5080	Nr. 5256, Fa. Merck-Schuchardt
Methanol z.A.	Nr. 6009, Fa. Merck, Darmstadt
Natriumchlorid z.A.	Nr. 6404, Fa. Merck, Darmstadt
Natriumhydroxid-Plätzchen z.A.	Nr. 6498, Fa. Merck, Darmstadt
Natriumsulfat z.A.	Nr. 31481, Fa. Riedel-de Haën, Seelze
n-Hexan z.A.	Nr. 4374, Fa. Merck, Darmstadt
Salzsäure mind. 37 % z.A.	Nr. 30721, Fa. Riedel-de Haën, Seelze
Toluol z.A.	Nr. 8325, Fa. Merck, Darmstadt
Trichloressigsäure z.A.	Nr. 807, Fa. Merck, Darmstadt
Trimethylsulfoniumjodid	Nr. 818119, Fa. Merck, Darmstadt

Anhang 7: Anzahl nicht in der Versuchsauswertung berücksichtigter Schweine und Ursachen

Symptom	Anzahl der Schweine
Fieber	13
Unklare Ursachen	4
Lahmheit	4
Colitis	1
Herzversagen nach Aufregung	1
schlechte Zunahme	1
Nabelbruch	1
Summe	25

Anhang 8: Ausbeute [%] im Kochschinken

Gruppe	Kontrolle (I)	II	III	IV
α -TAc-Zulage	-	100 ppm	200 ppm	1,2 g/d
n	10	10	8	8
Ausbeute [%]	111,7 \pm 4,5 ^a	108,5 \pm 4,6 ^a	100,4 \pm 6,0 ^b	106,9 \pm 5,2 ^{ab}



Prüfschema

Erzeugnis-Nr. 15 111 - 15 191

für Kochschinken - Zunge -
Pökelfleisch - Braten

5-Punkte-Skala und Bewertungstabelle

Punkte	allgemeine Eigenschaften
5	volle Erfüllung der Qualitätserwartung
4	geringfügige Abweichung
3	merkliche Abweichung
2	deutlicher Fehler
1	starker Fehler
0	nicht bewertbar

ACHTUNG!!!

- Bei Nennung **unterschiedlicher Punktzahlen** innerhalb eines Prüfmerkmals wird die niedrigste als Berechnungsgrundlage herangezogen.
- Bei Mehrfachnennung **derselben Punktzahl** innerhalb eines Prüfmerkmals wird die nächstniedrigere als Berechnungsgrundlage genommen.

AUSWERTUNGSBEREICH

Prämierungsvoraussetzungen
 - In jedem Prüfmerkmal müssen mindestens 3 Punkte (ungewichtet) erreicht werden.
 - DLG-Preis Qualitätszahlen
 Goldener DLG-Preis 5,00
 Silberner DLG-Preis 4,50 - 4,99
 Bronzener DLG-Preis 4,00 - 4,49

Gewichtungs- = Gewichtete
 Faktoren = Bewertung

x 1 =

- Laboruntersuchungen beantragt
 Begründung

- Erzeugnis jetzt nicht zugelassen
 Begründung

- Reserveproben beantragt haben vorgelegen
 fehlen

1. Äußeres, Zustand des Behältnisses

Bewertung: **5 4 3 2 1 0**

Äußere Bestandteile		Äußere Herrichtung	
6125 zerklüftet	4 3	2930 Herrichtung mangelhaft*	4 3
3455 Lake trüb	- 3	6115 Zuschnitt mangelhaft*	4 3
5041 stärkere Flüssigkeitsansammlung	4 3 2	1059 abgelöster Gewürzmantel	4 3
4490 schmierig	4 3	3282 Kruste gerissen	4 3 2
5710 unerwünschter Schimmel	- 3	3283 Kruste zu dunkel	4 3 2
4055 Oberflächenbelag	4 3	3284 Kruste zu hell	4 3 2
1080 äußerlich vergräudelt	4 3	5731 ungleichmäßige Bräunung der Kruste	4 3 2
		4710 Sonstige Mängel**	4 3 2 1 0
		9998 nicht bewertbar**	- - - - 0

x 1 =

2. Aussehen, Farbe, Farbhaltung, Zusammensetzung

Bewertung: **5 4 3 2 1 0**

Aussehen im Anschnitt		Farbe		Farbhaltung		Zusammensetzung	
2700 Gewürzverteilung ungleichmäßig*	4 3	4056 Oberflächenverfärbung	4 3	4795 stark verbläsend	4 3	4820 Sehnenanteil zu hoch	4 3 2 1 -
5305 Trockenrand-Bildung	4 3 2	2265 Farbe zu blaß	4 3 2	5505 vergräudelt	- 3 2	2745 grobe Sehnen-/ Schwartenteile	4 3 2 1 -
3280 Kruste zu stark	4 3	5975 zu dunkel	4 3 2			3295 Knorpelteile	4 3 2 -
2720 Gelee trüb	4 3 2 1	2156 Farbe ungleichmäßig*	4 3 2			1091 Anteil brätartiger Partien zu hoch	4 3 2 -
2965 Hohlstellen	4 3 2	3591 mißfarben*	4 3 2 1				
4275 Risse	4 3 2	2725 grau-/grünfleckig	4 3 2 1				
4775 stark porig	- 3 2 1	2270 Fleisch stark irisierend	4 - - -				
5775 Kruste ungleichmäßig	4 3	3285 Kern blaß	4 3 2 1				
		3291 Kern grau / grün	4 3 2 1				
		4356 Rand grau / grün	4 3 2				
		4785 Speck rötlich (nicht durch Würzung!)	4 3 2				
		4790 Speck gelblich	4 3 2				
		4780 Speckteile blutig	4 3 2 1				
		1450 Blutpunkte	4 3 2				
		3902 nicht durchgepökelt	4 3 2				
		1476 Braten teilweise umgerötet	4 3 2				
						4710 Sonstige Mängel**	4 3 2 1 0
						9998 nicht bewertbar**	- - - - 0

x 3 =

3. Konsistenz

Bewertung: **5 4 3 2 1 0**

6030 zu weich	4 3 2	6025 zu fest	4 3 2	2750 Gelee zu weich/verflüssigt	4 3 2 1	4619 Schwarte zu hart	4 3 2 1 -
4430 schmalzig	4 3 2	6040 zu trocken	4 3 2	2755 Gelee zu fest	4 3 2		
6156 zu feucht / naß	4 3 2 1	4835 strohig	4 3 2 1	4400 Rand zu hart	4 3		
3907 nicht durchgegart	4 3 2	6020 zäh	4 3 2 1	6150 Zunge zu fest	4 3		
2760 gummiartig	4 3 2 1			6120 Zusammenhalt mangelhaft	4 3 2		
2814 glasiger Biß	4 3			5310 Teile unzerkaubar	4 3 2 1		
						4710 Sonstige Mängel**	4 3 2 1 0
						9998 nicht bewertbar**	- - - - 0

x 2 =

4. Geruch und Geschmack

Bewertung: **5 4 3 2 1 0**

4440 salzig	4 3 2 1	5910 Würzung nicht abgestimmt*	4 3 - -	4360 Rauch zu schwach	4 3 2 1	4855 Speck fischig	4 3 2 1 -
4845 säuerlich	4 - - -	5915 Würzung zu schwach	4 3 2 1	4365 Rauch zu stark	4 3 2 1	3490 lakig	4 3 2 1 -
4525 sauer	- 3 2 1	5920 Würzung zu stark	4 3 2 1	1406 beißig	4 3 2 1	2174 fehlende Frische	4 - - - -
4595 süßlich	4 3 2 1	2325 Fleischaroma zu gering charakt. Aroma fehlt*	4 3 2 1	5380 tearartig	4 3 2 1	1005 alt	- 3 2 1 -
1365 bitter	4 3 2 1	1715 Bratenaroma zu gering	4 3 2 1	1371 brennender	4 3 2 1	1825 dumpf und muffig	- - 3 2 1 -
2170 fade	4 3 2 1	6170 zu frisch, unreif	4 3 2	3525 metallisch	- 3 2 1	4840 schimmelig	- - 2 1 -
		1105 ammoniakalisch	4 3 2 1	5385 trübig - fischig	- 3 2 1	4510 stickig	- - 2 1 -
		2115 fremdartig**	- 3 2 1	4450 seifig	- 3 2 1	2330 faulig	- - 1 1 -
				4235 ranzig	- 3 2 1		
				4850 Speck ranzig	- 3 2 1		
						4710 Sonstige Mängel**	4 3 2 1 0
						9998 nicht bewertbar**	- - - - 0

x 4 =

Gewichtete Gesamtbewertung = $\frac{\quad}{10}$ = Erzielte Qualitätszahl

Summe der Gew.-Faktoren

Erzielter DLG-Preis
 Goldener Bronzener
 Silberner Ohne

Prüf-Nr.

* Bitte möglichst kurze, konkrete Erläuterung auf EDV-Beleg unter „Bemerkungen“. ** Unbedingt erläutern.

Lebenslauf

Name: Heiko Rosenbauer
Wohnort: Thierach 11, D-96472 Rödental
Geburtsort: Coburg
Geburtstag: 30. März 1969
Familienstand: ledig

Schulbildung: 1975-1979 Besuch der Grundschule in Mönchröden
1979-1980 Besuch der Hauptschule in Einberg
1980-1989 Besuch des Arnold-Gymnasiums
in Neustadt bei Coburg

Abschluß: Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst: vom 01.06.89 bis 31.08.90 in Heidenheim am Hahnenkamm

Studium: 1990-1994 Fachhochschule Isny an der Naturwissenschaftlich-
technischen Akademie Prof. Dr. Grübler
Fachrichtung Chemie, Schwerpunkt Lebensmittel-
chemie

Studiendauer: 8 Semester

1. Praxissemester: vom 03.08.92 bis 29.01.93 bei der Firma Dornier GmbH,
Abteilung Abwassertechnik, in Immenstaad am Bodensee

2. Praxissemester: vom 01.03.94 bis 31.08.94 Anfertigung einer Diplomarbeit mit
dem Thema "Untersuchungen zur Analytik von Dexamethason
in tierischen Geweben" am Institut für Chemie und Physik
(IfCuP) der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach

Abschluß: Dipl.-Ing. Chemie (FH)

Tätigkeiten: vom 02.01.95 bis 31.12.97 Betreuung des EU-Forschungsvor-
habens "DIET-OX" als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfCuP
der Bundesanstalt für Fleischforschung (BAFF)

vom 01.01.98 bis 31.05.01 als Volontär am IfCuP der BAFF und
als Stipendiat (Gesellschaft der Freunde der FAL) am Institut für
Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
in Braunschweig
Untersuchungen zur diätären und technologischen Beeinflus-
sung der Lebensmittelqualität,
Entwicklung neuer Analysenmethoden

vom 01.01.99 bis 30.06.99 Betreuung des Industrie-
Forschungsvorhabens "Ranzigkeit in Gefrierfleisch" als wissen-
schaftlicher Mitarbeiter am IfCuP der BAFF

- Tätigkeiten: seit 11.09.01 Doktorand an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- seit 01.03.02 Laborleiter Chemie bei der CENAS AG in Kulmbach
- Prüfungen: März 2002 bis Juli 2002 Rigorosum an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mit Prüfung in den Fächern Ernährungsphysiologie, Tierernährung und Agrarinformatik
- Fortbildung: Teilnahme an mehreren LC/MS-Seminaren, regelmäßige Berufung als Sachverständiger zu den DLG-Qualitätswettbewerben für Fleischerzeugnisse, Einführung in die Statistik mit SAS

Thierach, 09.01.2003

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß ich die vorliegende Dissertation selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Literatur angefertigt habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner Prüfungsbehörde vorgelegt.

Thierach, den 09.01.2003

.....

Heiko Rosenbauer

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. Flachowsky möchte ich ganz herzlich dafür danken, daß er mich auf die Idee brachte zu promovieren und mich bei diesem Vorhaben die ganze Zeit über mit Rat und Tat unterstützte. Herrn Dr. Honikel sei für die Bereitstellung des Themas und des Arbeitsplatzes und für seine stete Bereitschaft zur Diskussion gedankt. Sein fachlicher Rat war mir oft eine große Hilfe. Bei Herrn Prof. Dr. Eder möchte ich mich für die Betreuung am Institut für Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg bedanken.

Folgenden Personen aus dem Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig sei stellvertretend für viele weitere Helfer gedankt: Herrn Dr. Vemmer für die Organisation und die Betreuung des Fütterungsversuchs und der Schlachtung und den reibungslosen Ablauf vor Ort. Großer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Dr. Böhme, der viele wertvolle Anregungen für den schriftlichen Teil gab und nicht müde wurde, mich am Ball zu halten. Weiterhin sei Herrn Dirk Wolters für die Versorgung und das Wiegen der Tiere gedankt sowie Herrn Arnold Eilmes und Frau Sabine Hartinger für die Schlachtung und Zerlegung der Tiere und die Hilfe bei der Probenahme.

An der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach waren Mitarbeiter aus den Instituten für Chemie und Physik, Fleischerzeugung und Vermarktung und aus dem Institut für Technologie am Versuch beteiligt. Stellvertretend für viele weitere Helfer möchte ich Herrn Dr. Müller und Herrn Przytulla für die Herstellung und sensorische Bewertung der Fleischerzeugnisse danken. Ebenso sei Herrn Dr. Freudenreich und seinen Mitarbeiterinnen für die NIT-Analysen und die Bestimmung der Fettsäuremuster gedankt sowie Herrn Dr. Fischer und seinen Mitarbeitern für die sensorische Bewertung der Koteletts. Mein ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen aus dem Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Fleischforschung Frau Martin, Frau Brand, Frau Dr. Dederer und Frau Eichner für die gewissenhafte Durchführung der Analysen.

Ich möchte ausdrücklich auf die Freundlichkeit, Hilfsbereitschaft und Kollegialität hinweisen, die mir in Kulmbach, Braunschweig und Halle entgegen gebracht wurden und die ein sehr angenehmes Arbeitsklima schafften. Hierfür sei allen Beteiligten

recht herzlich gedankt. Großer Dank gebührt Herrn Münch und Frau Steinführer, die mich auch in der Ferne mit Literaturstellen versorgten, sowie Frau Dührkopp und Herrn Wunderlich für das Korrektur lesen.

Für die finanzielle Unterstützung in Form eines Stipendiums möchte ich mich bei der Gesellschaft der Freunde der FAL bedanken. Herrn Dr. Schliffka und Herrn Dr. Weber sei stellvertretend für die Firma Hoffmann-La Roche AG gedankt für die großzügige finanzielle Unterstützung des Fütterungsversuchs und meiner Arbeit sowie für die Bereitstellung von Fachliteratur und die Vitamin E-Analysen im Futter.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Familie und meinen Freunden, die mir jederzeit zur Seite standen und viel Verständnis für meine Arbeit aufgebracht haben.