

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

**Eier als Quelle von Omega-3-Fettsäuren:
Analyse des Fettsäureprofils in Eiern von Hühnern
unterschiedlicher Haltungsformen**

angestrebter akademischer Grad
Magistra der Naturwissenschaften

Verfasserin: Claudia Schöftner

Matrikel-Nummer: 9909294

Studienrichtung: Ernährungswissenschaften A474

Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Emmerich Berghofer

Wien, im Mai 2006

DANKSAGUNG

Herzlichen Dank an Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Emmerich Berghofer für die Ermöglichung des wissenschaftlichen Arbeitens am Department für Lebensmittelwissenschaften und –technologie an der Universität für Bodenkultur.

Besonderer Dank gilt Herrn Dipl. Ing. Dr. Matthias Schreiner von der Abteilung Lebensmittelchemie, der durch seine laufende und kompetente Betreuung stets unterstützend zur Seite stand.

Zudem möchte ich meiner Familie, insbesondere meiner Mutter danksagen. Danke für die Unterstützung während meiner Zeit an der Universität und die Möglichkeit mich für eine akademische Ausbildung entscheiden zu dürfen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURTEIL.....	2
2.1	Lipide	2
2.1.1	Fettsäuren.....	2
2.1.1.1	Gesättigte Fettsäuren.....	2
2.1.1.1.1	Struktur und Nomenklatur	2
2.1.1.1.2	Natürliche Quellen gesättigter Fettsäuren	4
2.1.1.2	Ungesättigte Fettsäuren	4
2.1.1.2.1	Struktur und Nomenklatur	4
2.1.1.2.2	Langkettige mehrfach ungesättigte Fettsäuren	5
2.1.1.2.3	Essentielle Fettsäuren.....	7
2.1.1.2.4	Natürliche Quellen ungesättigter Fettsäuren	8
2.1.1.3	Omega-3-Fettsäuren.....	9
2.1.1.3.1	Physiologische Bedeutung	9
2.1.1.3.2	Quellen von Omega-3-Fettsäuren.....	13
2.1.1.3.3	Empfehlungen zur Aufnahme von Omega-3-Fettsäuren	15
2.2	Das Hühnerei.....	17
2.2.1	Aufbau des Hühnereies	17
2.2.1.1	Das Eiklar.....	18
2.2.1.2	Der Eidotter	18
2.2.2	Die Lipide des Eidotters	19
2.2.2.1	Bildung des Eidotters und Inkorporation der Dotterlipide	19
2.2.2.2	Die Lipidstrukturen im Eigelb.....	20
2.2.2.3	Die Gesamtlipide	20
2.3	Die Fütterung von Legehennen	21
2.3.1	Beeinflussung der Lipidzusammensetzung im Eidotter.....	22
2.3.1.1.1	Anreicherung durch Marine Omega-3-Fettsäurequellen	23
2.3.1.1.2	Anreicherung durch pflanzliche Omega-3-Fettsäurequellen	24
2.4	Haltungsformen von Legehühnern.....	24
2.4.1	Freilandhaltung	24
2.4.2	Bodenhaltung.....	25
2.4.3	Käfighaltung.....	25
2.4.4	Eier aus ökologischer Landwirtschaft.....	25
3	AUFGABENSTELLUNG	26
4	MATERIAL UND METHODEN	27
4.1	Probenmaterial	27
4.2	Untersuchungsparameter	28
1)	Bestimmung des Lipidgehalts im Eidotter	28

2)	Charakterisierung des Fettsäureprofils	28
3)	Quantitative Fettsäurebestimmung	29
4)	Bestimmung des Omega-6/Omega-3-Quotienten	29
4.3	Analytische Methoden.....	29
4.3.1	Lipidextraktion und Transmethylierung	29
4.3.1.1	Wiederholbarkeit der Methode	30
4.3.2	Gaschromatographische Analyse	31
4.3.2.1	Wiederholbarkeit der gaschromatographischen Analyse	31
4.3.3	Statistische Analyse.....	32
5	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	33
5.1	Probenaufbereitung	33
5.2	Herstellung des internen Standards.....	34
5.3	Lipidextraktion und Transmethylierung	35
5.4	Gaschromatographische Analyse	36
6	ERGEBNISSE	38
6.1	Gehalt an Dotterlipiden	38
6.2	Fettsäureverteilung von gesättigten, einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren.....	39
6.3	Gesättigte Fettsäuren	40
6.4	Einfach ungesättigte Fettsäuren	42
6.5	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	43
6.5.1	Omega-6-Fettsäuren.....	44
6.5.2	Omega-3-Fettsäuren.....	45
6.6	Fettsäurevergleich der ST-Eier	47
6.7	Fettsäurevergleich in Eiern aus privaten landwirtschaftlichen Betrieben	50
6.8	Der Omega-6/Omega-3-Quotient	52
7	DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE.....	54
7.1	Lipidgehalt im Eidotter	54
7.2	Gesättigte Fettsäuren	54
7.3	Einfach ungesättigte Fettsäuren	55
7.4	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	56
7.4.1	Omega-6-Fettsäuren.....	56
7.4.2	Omega-3-Fettsäuren.....	57
7.4.3	Fettsäureprofil und Omega-3-Fettsäuren in den ST-Eiern.....	58
7.4.4	Fettsäureprofil und Omega-3-Fettsäuren in Eiern privater landwirtschaftlicher Betriebe	59

7.4.5	Omega-6/Omega-3-Quotient	60
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN	61
9	ZUSAMMENFASSUNG	62
10	LITERATUR	65
11	LEBENS LAUF	78

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1.1: Gesättigte Fettsäuren.....	3
Tab. 2.1.2: Anteil (%) gesättigter Fettsäuren in ausgewählten Fetten.....	4
Tab. 2.1.3: Ungesättigte Fettsäuren.....	5
Tab. 2.1.4: Fettsäurezusammensetzung (gew %) pflanzlicher Öle	9
Tab. 2.1.5: Biologische Funktionen einiger Eicosanoide.....	11
Tab. 2.1.6: Fett- und Omega-3-Fettsäuregehalt ausgewählter Fischarten (g/100 g Filet).....	14
Tab. 2.1.7: Ethnische Unterschiede der Fettsäurezusammensetzung in Thrombozytenphospholipiden und % Todesfälle durch kardiovaskuläre Erkrankungen.....	15
Tab. 2.1.8: Überblick unterschiedlicher Empfehlungen zur Zufuhr von Omega-3- Fettsäuren.....	16
Tab. 2.2.1: Durchschnittliche Zusammensetzung von Hühnereiern in %	19
Tab. 2.2.2: Fettsäurezusammensetzung im Eidotter.....	21
Tab. 2.2.3: Fettsäuren (mg/g Dotter) eines Supermarkteies	21
Tab. 2.3.1: Beispielrezeptur für eine Alleinfuttermischung für Legehennen	22
Tab. 2.3.2: Gehalt an Omega-3-Fettsäuren (mg) nach Anreicherung mit Omega-3-Fettsäuren aus Marinen Quellen.....	23
Tab. 2.3.3: Omega-3-Fettsäuren in pflanzlich angereicherten Eiern (% Fettsäuren und mg/g Dotter)	24
Tab. 4.1.1: Untersuchte Eier	27
Tab. 4.3.1: Variationskoeffizient V_K mit Standardabweichung SD und Mittelwert x der einzelnen Fettsäuren zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der Methode	30
Tab. 4.3.2: Variationskoeffizient V_K mit Standardabweichung SD und Mittelwert x der einzelnen Fettsäuren zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der GC- Analyse	32
Tab. 6.1.1: Lipide im Dotter in % und mg/g Dotter	38
Tab. 6.2.1: SAFAs-, MUFAs- und PUFAs-Anteil in % an Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter	40

Tab. 6.3.1: Gesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter	41
Tab. 6.4.1: Einfach ungesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter	42
Tab. 6.5.1: PUFAs, Omega-6 und Omega-3-Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter	43
Tab. 6.5.2: Omega-6-Fettsäuren, LA und AA in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter	45
Tab. 6.5.3: LNA, DPA und DHA in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter .	46
Tab. 6.5.4: Einzelne Omega-3-Fettsäuren in % der gesamt Omega-3-Fettsäuren.....	47
Tab. 6.6.1: Omega-3-, Omega-6- SAFAs, MUFAs, PUFAs und Gesamtlipidgehalt in mg/g Dotter Gesamtfettsäuren der Eigruppe ST	49
Tab. 6.6.2: Omega-3-, Omega-6- SAFAs, MUFAs, PUFAs und Gesamtlipidgehalt in mg/g Dotter Gesamtfettsäuren der Eigruppe ST	50
Tab. 6.7.1: Omega-3, Omega-6, SAFAs, MUFAs, PUFAs und Gesamtlipidgehalt in mg/g Dotter und % der Gesamtfettsäuren der Eigruppe SV.....	52
Tab. 6.8.1: Omega-6/Omega-3-Quotient	53

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2.1.1: Struktur von Palmitinsäure	3
Abb. 2.1.2: Struktur von Linolsäure	5
Abb. 2.1.3: Metabolisierung von Linolsäure und Linolensäure zu PUFA-Derivaten.....	6
Abb. 2.1.4: Eicosanoidsynthese aus Arachidonsäure (AA) und Eicosapentaensäure (EPA).....	10
Abb. 2.2.1: Schematischer Aufbau eines Hühnereies	17
Abb. 6.1.1: Lipidgehalt in mg/g Dotter	38
Abb. 6.2.1: SAFAs, MUFAs und PUFAs in % der Gesamtfettsäuren	40
Abb. 6.3.1: Gesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren	41
Abb. 6.4.1: Einfach ungesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren.....	42
Abb. 6.5.1: Mehrfach ungesättigte Fettsäuren, Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren	44
Abb. 6.5.2: Omega-6-Fettsäuren, Linolsäure und Arachidonsäure in % der Gesamtfettsäuren	45
Abb. 6.5.3: Omega-3-Fettsäuren LNA, EPA, DPA und DHA in % der Gesamtfettsäuren	47
Abb. 6.6.1: Omega-3-Fettsäuren LNA, EPA, DPA und DHA der ST-Eier in mg/g Dotter	50
Abb. 6.7.1: Omega-3-Fettsäuren LNA, EPA, DPA und DHA der SV-Eier in mg/g Dotter	52
Abb. 6.8.1: Omega-6/Omega-3-Quotient	53

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AA	Arachidonsäure
BIO-Eier	Supermarkteier aus ökologischer Landwirtschaft
BH-Eier	Supermarkteier aus Bodenhaltung
BHT	Butylhydroxytoluol
$C_{15}H_{24}O$	Butylhydroxytoluol
CH_3COCl	Acetylchlorid
CH_3OH	Methanol
C_7H_8	Toluol
COX	Cyclooxygenase
CVD	Cardiovaskuläre Krankheiten
DHA	Docosahexaensäure
DPA	Docosapentaensäure
EPA	Eicosapentaensäure
FID	Flammenionisationsdetektor
FL-Eier	Supermarkteier aus Freilandhaltung
FS	Fettsäure
GC	Gaschromatograph
H_2	Wasserstoff
HCl	Salzsäure
HDL	High Density Lipoproteins
K_2CO_3	Kaliumcarbonat
KH-Eier	Supermarkteier aus Käfighaltung
LA	Linolsäure
LDL	Low Density Lipoproteins
LNA	α -Linolensäure
LOX	Lipoxygenase
LT (A-E)	Leukotrien
MUFAs	Einfach ungesättigte Fettsäuren
N_2	Stickstoff
n-3	Omega-3
n-6	Omega-6
Na_2SO_4	Natriumsulfat
NO	Stickstoffmonoxid
PG (A-I)	Prostaglandine (A-I)
PUFAs	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren
rSD	Relative Standardabweichung
SD	Standardabweichung
SAFAs	Gesättigte Fettsäuren
ST-Eier	Steirische Eier
SV-Eier	Eier privater landwirtschaftlicher Betriebe
TG	Triglyceride

TM	Trockenmasse
TX (A, B)	Thromboxan
V_K	Variationskoeffizient
x	Mittelwert

1 EINLEITUNG

Das Hühnerei stellt einen Lieferanten hochwertigen tierischen Proteins und Cholesterins dar, als Träger von Lipiden ist das Hühnerei jedoch auch eine Quelle wertvoller Omega-3-Fettsäuren.

Omega-3-Fettsäuren zählen zu den essentiellen Fettsäuren und sind in besonders reichen Mengen in Fisch enthalten. Als Untergruppe der mehrfach ungesättigten Fettsäuren werden sie mit einer Reihe wichtiger physiologischer Wirkungen wie ihrer Essentialität in der frühkindlichen Entwicklung, ihrer Rolle im Eicosanoidstoffwechsel sowie der Senkung des Risikos kardiovaskulärer Erkrankungen assoziiert. Verglichen zu anderen Kulturkreisen wird in der westlichen Esskultur Fisch jedoch in geringeren Mengen konsumiert, wodurch das Ei als traditionelles Lebensmittel zum wichtigen Lieferanten an Omega-3-Fettsäuren werden kann.

Zahlreiche Studien zeigen, dass durch Beeinflussung der Fütterung von Legehennen der Gehalt an Omega-3-Fettsäuren im Ei gesteigert werden kann. Da die gängige Fütterung von Legehennen allerdings auf Mais basiert, verlagert sich das Fettsäureprofil auf Kosten der Omega-3-Fettsäuren vermehrt auf Seite der Omega-6-Fettsäuren, die sich als Hauptbestandteil des Maiskeimöls im Fettsäureprofil des Eies widerspiegeln.

Gegenstand dieser Studie war die Charakterisierung des Fettsäuremusters von Eiern unter besonderer Berücksichtigung der Omega-3-Fettsäuren. Dabei wurden konventionelle, im österreichischen Handel erhältliche Eier unterschiedlicher Haltungsformen mit Eiern von privaten landwirtschaftlichen Betrieben verglichen. Dabei galt es festzustellen, ob abhängig von Haltungsform und Fütterung Unterschiede im Fettsäuremuster gegeben sind. Gehalt und Verteilung der Fettsäuren in den Dotterlipiden wurden mittels Gaschromatographie bestimmt.

2 LITERATURTEIL

2.1 Lipide

Lipide beschreiben eine strukturell inhomogene Stoffgruppe, deren verschiedene Verbindungen eine ausgeprägte Hydrophobität und eine damit verbundene Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln gemeinsam haben.

Die Lipide werden in einfache und komplexe Lipide eingeteilt. Während einfache Lipide nach der Verseifung meist zwei verschiedene Hydrolyseprodukte hervorbringen (z.B. Fettsäuren und Glycerin), können komplexe Lipide aus drei oder mehreren Komponenten bestehen. Zu den einfachen Lipiden zählen etwa Triacylglyceride oder Cholesterinester, als Beispiele für komplexe Lipide können Phospholipide oder Glykolipide genannt werden (CHRISTIE, 1989).

2.1.1 Fettsäuren

Fettsäuren sind Monocarbonsäuren, die zumeist aus unverzweigten, geradzahligen Kohlenwasserstoffketten bestehen. Sie können nach der Länge der Acylkette, Anzahl, Position und Konfiguration der Doppelbindungen sowie nach dem Vorkommen zusätzlicher funktioneller Gruppen klassifiziert werden (BELITZ et al., 2001). In Anbetracht der Kettenlänge erfolgt eine Unterteilung in kurzkettige, mittelkettige und langkettige Fettsäuren. Je nach Vorhandensein keiner, einer oder mehrerer Doppelbindungen spricht man von gesättigten, einfach ungesättigten (monoenen) oder mehrfach ungesättigten (polyenen) Fettsäuren (ELMADFA und LEITZMANN, 1998).

2.1.1.1 Gesättigte Fettsäuren

2.1.1.1.1 Struktur und Nomenklatur

Gesättigte Fettsäuren sind Monocarbonsäuren, deren Kohlenstoffketten mit Wasserstoffatomen gesättigt sind und somit keine Doppelbindungen enthalten.

Begründet auf der Fettsäurebiosynthese, die in C_2 -Einheiten erfolgt, dominieren in den Lipiden unverzweigte Verbindungen mit geradzahligem Kohlenstoffgerüst, deren Länge sich vorwiegend in einem Bereich von 14 bis 20 Kohlenstoffatomen bewegt. Je länger die Acylkette, desto höher ist der Schmelzpunkt der Fettsäure.

Die Struktur einer gesättigten Fettsäure ist in Abb. 2.1.1 dargestellt (BELITZ et al., 2001).



Abb. 2.1.1: Struktur von Palmitinsäure

Die Kettenlänge der Fettsäuren wird in einem Kürzel angegeben, die Kurzbezeichnung für die gesättigte Fettsäure Myristinsäure ist 14:0. Die Zahl 0 gibt an, dass keine Doppelbindungen enthalten sind. In Tab. 2.2.1 sind gesättigte Fettsäuren mit trivialen und systematischen Namen dargestellt. (BELITZ et al., 2001).

Tab. 2.1.1: Gesättigte Fettsäuren

Kurz-schreibweise	Struktur	System. Name	Trivialname
4:0	$CH_3(CH_2)_2COOH$	Butansäure	Buttersäure
6:0	$CH_3(CH_2)_4COOH$	Hexansäure	Capronsäure
8:0	$CH_3(CH_2)_6COOH$	Octansäure	Caprylsäure
10:0	$CH_3(CH_2)_8COOH$	Decansäure	Caprinsäure
12:0	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	Dodecansäure	Laurinsäure
14:0	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	Tetradecansäure	Myristinsäure
16:0	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	Hexadecansäure	Palmitinsäure
18:0	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	Octadecansäure	Stearinsäure
20:0	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	Eicosansäure	Arachinsäure
22:0	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	Docosansäure	Behensäure
24:0	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	Tetrasocosansäure	Lignocerinsäure
26:0	$CH_3(CH_2)_{24}COOH$	Hexacosansäure	Cerotinsäure

Daten aus: BELITZ et al., 2001.

2.1.1.1.2 Natürliche Quellen gesättigter Fettsäuren

Gesättigte Fettsäuren sind vor allem mit tierischen Fetten assoziiert, können aber auch reichlich in pflanzlichen Fetten enthalten sein. Besonders hohe Anteile an gesättigten Fettsäuren enthalten die Pflanzenfette Kokosfett und Palmkernöl (BELITZ et al., 2001; GUNSTONE, 2004).

Der Gehalt gesättigter Fettsäuren ausgewählter Fette ist in Tab. 2.1.2 dargestellt (NETTLETON, 1995).

Tab. 2.1.2: Anteil (%) gesättigter Fettsäuren in ausgewählten Fetten

Fettsäure	Butter	Kokosfett	Palmkernöl
10:0	7,1	14,1	7,2
12:0	2,3	44,6	47,0
14:0	8,2	16,8	16,4
16:0	21,3	8,2	8,1
18:0	9,8	2,8	2,8
Σ	50,5	86,5	81,4

Daten aus: NETTLETON, 1995.

2.1.1.2 Ungesättigte Fettsäuren

2.1.1.2.1 Struktur und Nomenklatur

Ungesättigte Fettsäuren werden durch ihre Kettenlänge sowie der Anzahl und Position der enthaltenen Doppelbindungen beschrieben. Die Doppelbindungen liegen vorwiegend in einer cis-Konfiguration vor, wobei die durch die Doppelbindung resultierenden Allylgruppen meist durch eine Methylgruppe getrennt sind (GUNSTONE, 1996). Je mehr Doppelbindungen enthalten sind, desto niedriger ist der Schmelzpunkt der Fettsäure und umso anfälliger ist sie für Oxidation. Die Struktur einer Fettsäure mit mehreren Doppelbindungen ist in Abb.2.1.2. dargestellt (BELITZ et al., 2001).



Abb. 2.1.2: Struktur von Linolsäure

Zur Benennung der Position der ersten Doppelbindungen kann entweder vom Methyl- oder vom Carboxylende der Fettsäure ausgehend gezählt werden (Omega-Nomenklatur bzw. delta-Nomenklatur). In dieser Arbeit wird ausschließlich die Omega-Nomenklatur verwendet.

Fettsäuren mit dem gleichen Methylende werden in Gruppen zusammengefasst. Dementsprechend werden n-9, n-6 oder n-3-Fettsäuren unterschieden (Tab. 2.1.3) (BELITZ et al., 2001).

Tab. 2.1.3: Ungesättigte Fettsäuren

Kurz-schreibweise	Trivialname
<i>n-9 Familie</i>	
18:1n-9	Ölsäure
22:1n-9	Erucasäure
24:1n-9	Nervonsäure
<i>n-6 Familie</i>	
18:2n-6	Linolsäure (LA)
18:3n-6	ϕ -Linolensäure
20:4n-6	Arachidonsäure (AA)
<i>n-3 Familie</i>	
18:3n-3	α -Linolensäure (LNA)
20:5n-3	Eicosapentaensäure (EPA)
22:5n-3	Docosapentaensäure (DPA)
22:6n-3	Docosahexaensäure (DHA)

Daten aus: BELITZ et al., 2001.

2.1.1.2.2 Langkettige mehrfach ungesättigte Fettsäuren

Die langkettigen mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) wie EPA, DHA oder AA können im Zuge alternierend stattfindender enzymatischer

Desaturierungs- und Elongationsschritte aus den Fettsäuren Linolsäure und LNA gebildet werden (SPRECHER, 2000) (Abb. 2.1.3.).

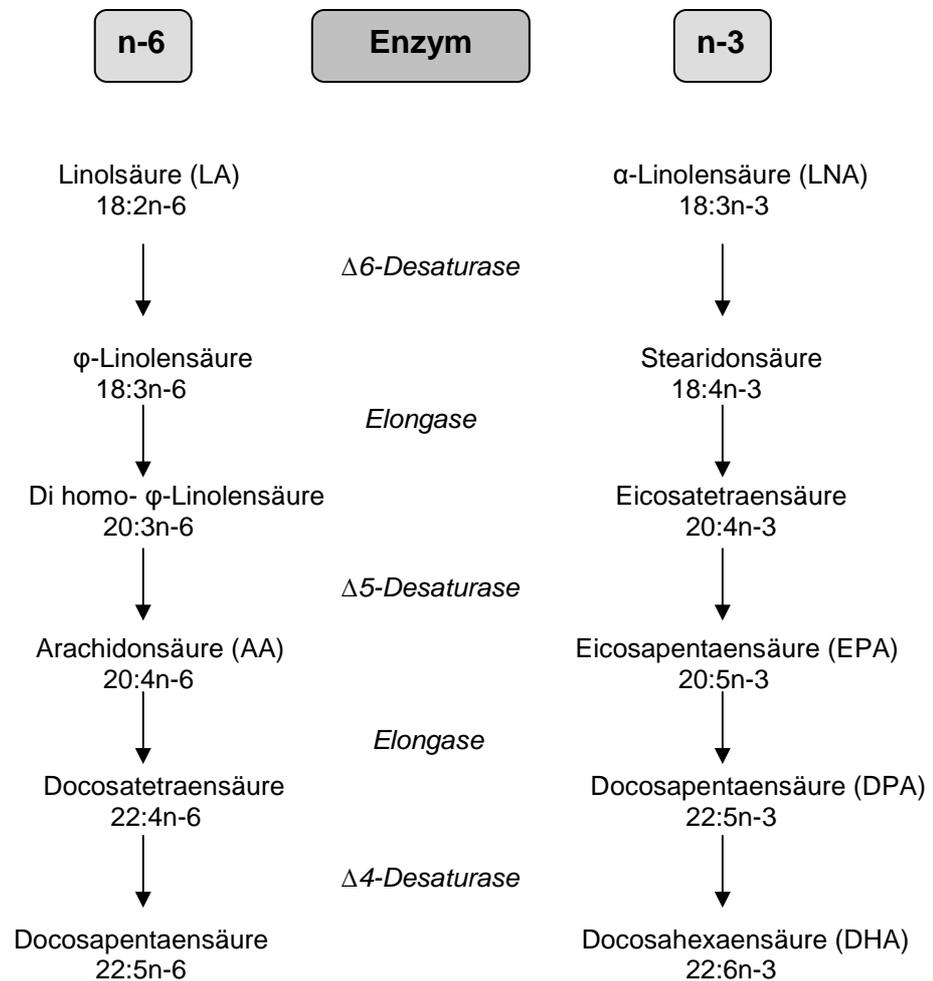


Abb. 2.1.3: Metabolisierung von Linolsäure und Linolensäure zu PUFA-Derivaten (nach METZ, 2000)

Bei der Synthese der PUFAs sind vor allem die Desaturasen von Bedeutung, die von der Zufuhr an α-Linolensäure (LNA) und Linolsäure (LA) reguliert werden. Δ5- und Δ6-Desaturase werden nur bei Mangel an essentiellen Fettsäuren voll induziert, die Zufuhr der Substrate LNA und LA hingegen mindert ihre Aktivität (CHO et al., 1999). Dies könnte die eingeschränkte Metabolisierungsrate zu PUFAs in der menschlichen Leber (METZ, 2000) erklären. So wird LNA nur zu etwa maximal 10% in langkettige n-3-Fettsäuren umgewandelt, der Großteil wird vermutlich von der Leber oxidiert (LEYTON et al., 1987).

In der Reaktionskaskade der PUFA-Synthese gilt der erste Schritt, die $\Delta 6$ -Desaturierung, als geschwindigkeitsbestimmender und somit limitierender Schritt (MARCEL und CHRISTIANSEN, 1968). Da n-3 und n-6-Fettsäuren um dieselben Enzymsysteme konkurrieren, entscheidet die Affinität des Substrats über den Aufbau von PUFAs. LNA besitzt hierbei die größere Affinität zur $\Delta 6$ -Desaturase und kann dadurch die Umwandlung von LA zu AA vermindern. Über die Nahrung werden jedoch Überschüsse an LA zugeführt, die ihrerseits wiederum die Synthese von EPA und DHA (METZ, 2000) und in großen Mengen auch die Synthese von AA hemmen (MOHRHAUER und HOLMAN, 1963). Gleichzeitig können aber auch die Folgeprodukte AA, EPA und DHA die $\Delta 5$ - und $\Delta 6$ -Desaturase-Aktivität mindern.

$\Delta 5$ - und $\Delta 6$ -Desaturase unterliegen somit einem starken Feedback-Mechanismus, der verdeutlicht, dass für eine optimale Deckung des Bedarfs an n-3- und n-6-Fettsäuren eine ausgewogene Zufuhr von großer Bedeutung ist (NAKAMURA und NARA, 2004).

2.1.1.2.3 Essentielle Fettsäuren

Nach der klassischen Definition – diese gilt für alle Nährstoffe – wird ein Nährstoff als essentiell angesehen, wenn er vom Körper nicht oder nicht genügend gebildet wird, wenn er oder seine Metabolite im Körper spezifische definierte metabolische Funktionen erfüllen, und unzureichende Versorgung zu Mangelsymptomen führt (SWOBODNIK, 1989). Essentielle Nährstoffe müssen demnach über die Nahrung zugeführt werden.

Hinsichtlich des Nährstoffes Fett werden Fettsäuren der n-6 und n-3-Gruppe als essentiell betrachtet, weil im menschlichen Organismus jene Enzymsysteme fehlen, die eine Doppelbindung zwischen dem 9.Kohlenstoffatom und dem Methylende der Fettsäure einfügen können (ELMADFA und LEITZMANN, 1998; METZ, 2000; NAKAMURA und NARA, 2004).

Linolsäure als Vertreter der n-6-Fettsäuren gilt als die „primäre“ essentielle Fettsäure (NETTLETON, 1995). Ihre Essentialität wurde schon in frühen Studien bestätigt, in denen LA als einzige Fettsäure alle Symptome eines Mangels an essentiellen Fettsäuren zu beheben vermochte (BURR und BURR; 1929). Mit

LNA hingegen konnte dies nicht erreicht werden. Ihre Essentialität wird deshalb auf 10-30% derjenigen der LA angegeben (SWOBODNIK, 1989). Zudem wird vermutet, dass LNA zum größten Teil in der Leber oxidiert wird und deshalb nur wenig Substrat für die Konvertierung zu langkettigen n-3-Derivaten zur Verfügung steht. Eine ausreichende Versorgung an physiologisch bedeutsamen PUFAs wie EPA und DHA ausschließlich aus der Bildung von LNA ist deshalb fraglich. Dies impliziert die Notwendigkeit, EPA oder DHA aus der Nahrung zuzuführen, womit diese Fettsäuren als essentiell zu bezeichnen wären. Die Fähigkeit zur Synthese im Organismus (Kapitel 2.1.1.2.2) hingegen widerspricht der Definition des Begriffes der Essentialität. Dieses Beispiel zeigt, dass der derzeitige Begriff der Essentialität nicht immer eine ausreichende und treffende Charakterisierung der Fettsäuren zulässt. CUNNANE (2003) beschreibt diese Problematik des Terminus der essentiellen Fettsäuren und schlägt, die physiologische Bedeutung der PUFAs miteinbeziehend, eine neue Definition vor. Demnach sollen Fettsäuren in entbehrliche, fallweise entbehrliche und unentbehrliche Fettsäuren eingeteilt werden.

2.1.1.2.4 Natürliche Quellen ungesättigter Fettsäuren

Ungesättigte Fettsäuren sind in nahezu allen tierischen und pflanzlichen Fetten enthalten, wobei pflanzliche Öle die reichste Quelle darstellen. Einfach ungesättigte Fettsäuren wie die Ölsäure (C18:1n-9) sind zu großen Anteilen in Olivenöl, Rapsöl oder Sonnenblumenkernöl enthalten. Gleiches gilt für die am häufigsten vorkommende mehrfach ungesättigte Fettsäure LA (C18:2n-6). Sie ist vor allem im Distelöl, Sonnenblumenkernöl und Maiskeimöl enthalten. Die n-3-Fettsäure LNA (C18:3n-3) ist in größeren Mengen vor allem in Leinöl zu finden. Die Zusammensetzung verschiedener pflanzlicher Öle ist in Tab. 2.1.4 dargestellt (GUNSTONE, 2004).

Tab. 2.1.4: Fettsäurezusammensetzung (gew %) pflanzlicher Öle

Fett	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Maiskeimöl	13	2	31	52	1
Leinöl	6	3	17	14	66
Olivenöl	10	2	78	7	1
Distelöl	7	3	14	75	-
Sojaöl	11	4	23	53	8
Sonnenblumenkernöl	6	5	20	60	-

Daten aus: GUNSTONE, 2004.

Die langkettigen mehrfach ungesättigten Fettsäuren EPA, DPA und DHA sind hauptsächlich in Fisch und Fischöl enthalten (Kapitel 2.1.1.3.2), in wesentlich geringeren Mengen auch in Eiern. Auf die Quellen von n-3-Fettsäuren wird im Kapitel 2.1.1.3.2. noch genauer eingegangen.

2.1.1.3 Omega-3-Fettsäuren

2.1.1.3.1 Physiologische Bedeutung

Omega-3-Fettsäuren und Kardiovaskuläre Erkrankungen

Schon epidemiologische Beobachtungen von DYERBERG et al. (1975) und HIRAI et al. (1980) an Inuits und Japanern zeigten, dass Fischkonsum und die damit erhöhte Aufnahme von n-3-Fettsäuren mit einem verringerten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen (CVD) assoziiert ist.

Dies bestätigen auch aktuelle Studien von DEWAILLY et al. (2003) an der ethnischen Gruppe der Inuits oder jene von HU et al. (2002). In Letzterer etwa konnte durch mehrmals wöchentlichen Fischkonsum das Risiko für Koronare Herzerkrankungen um bis zu 34% gesenkt werden. Besondere Bedeutung haben die n-3-Fettsäuren in diesem Zusammenhang auch in der Sekundärprävention. So resultierte in der GISSI-Interventionsstudie (GISSI, 1999) die Gabe von 880 mg EPA und DHA an Herzinfarktpatienten in einer signifikanten Reduktion des Risikos für einen neuerlichen Infarkt. Ähnliche Ergebnisse zeigte zuvor schon die DART-Studie (Diet and Reinfarction Trial), die bei Gabe von 500-800 mg n-3-Fettsäuren eine um 29% erniedrigte Mortalität im Vergleich zur Kontrollgruppe berichtete (BURR et al., 1989). Während die positive Wirkung von EPA und DHA belegt ist, lieferten

diesbezüglich durchgeführte Studien zur LNA bisher noch widersprüchliche Ergebnisse (BEMELMANS et al., 2002; DE LORGERIL et al., 1999).

Omega-3-Fettsäuren und ihre Rolle im Eicosanoidstoffwechsel

Eine Vielzahl der positiven Effekte der n-3-Fettsäuren beruht auf ihrer Fähigkeit, den Eicosanoidstoffwechsel zu modulieren (SIMOPOPOULOS, 2002). Eicosanoide sind Zellsignalstoffe, die wichtige physiologische Vorgänge regulieren (Tab. 2.1.5). Die n-3-Fettsäuren EPA und AA dienen dabei als Vorstufe für deren Synthese (Abb. 2.1.4).

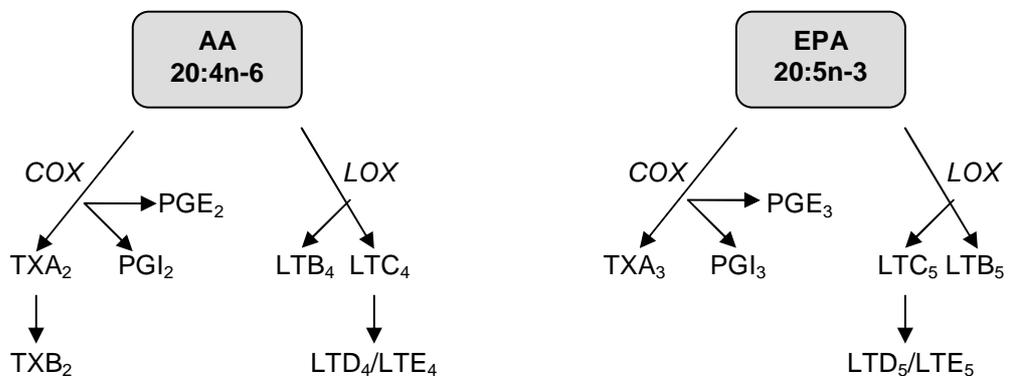


Abb. 2.1.4: Eicosanoidsynthese aus Arachidonsäure (AA) und Eicosapentaensäure (EPA) (nach METZ, 2000)

EPA und AA werden unter enzymatischer Einwirkung in verschiedene Eicosanoide umgewandelt, (Abb. 2.1.4) deren Funktionen sehr vielfältig und teils gegensätzlich sein können (Tab. 2.1.5). So können Eicosanoide sowohl vasodilatatorische als auch vasokonstriktorische Wirkungen aufweisen und in die Regulation des Blutdruckes eingreifen. Ihre aggregatorischen bzw. antiaggregatorischen Eigenschaften können die Blutgerinnung beeinflussen, andere hingegen weisen chemotaktische Eigenschaften auf und sind in Entzündungsprozessen involviert. Da AA und EPA um dieselben Enzymsysteme konkurrieren, kann über das Angebot der Fettsäuren die Eicosanoidsynthese moduliert werden, um eine gewünschte physiologische Wirkung zu erzielen (KINSELLA, 1990). Dies erklärt die antithrombotische, vasodilatatorische und antiinflammatorische Wirkung der n-3-Fettsäuren, die als

häufige physiologische Mechanismen hinter den gesundheitsfördernden Eigenschaften der n-3-Fettsäuren gelten.

Tab. 2.1.5: Biologische Funktionen einiger Eicosanoide

Organsystem	Effekt	Aktive Spezies
<i>Prostaglandine</i>		
Blutgefäße	Vasodilatation	PGI ₂ > PGI ₃ > PGI ₁
	Vasokonstriktion	TXA ₂
Thrombozyten	Adhäsion, Aggregation	TXA ₂
	Antiaggregation	PGI ₂ > PGI ₃ > PGE ₁
Bronchien	Konstriktion	PGF ₂ , TXA ₂ , PGD ₂
	Dilatation	PGE ₂ , PGI ₂
Pankreas	Insulinsekretion	PGE ₂
Gewebe	Schmerz, Fieber	PGE ₂
<i>Leukotriene</i>		
Bronchiolen	Konstriktion	LTC ₄ , LTD ₄
Gefäße	Konstriktion, Permeabilität	LTC ₄ , LTD ₄
Pankreas	Insulinsekretion	LTC ₄ , LTD ₄
Leukozyten	Adhäsion, Chemotaxis	LTB ₄ , > LTB ₅

PG (A-I) = Prostaglandin (A-I); TXA = Thromboxan A, LT (A-E) = Leukotrien (A-E)
 Daten aus : KINSELLA, 1990.

Omega-3-Fettsäuren in Rheuma und Asthma

Durch ihre antiinflammatorischen und immunmodulatorischen Eigenschaften werden n-3-Fettsäuren therapeutisch zur Behandlung von rheumatoider Arthritis eingesetzt.

(FORTIN et al., 1995, DARLINGTON et al., 2001). Durch Gabe von Fischölsupplementen wird eine deutliche Verbesserungen klinischer Symptome erreicht, bzw. kann durch n-3-Fettsäuren die Menge eingesetzter antiinflammatorischer Medikamente gesenkt werden (CLELAND et al., 2003).

Auch verbesserte Symptome bei Asthma, chronischer Bronchitis bzw. eine verbesserte Lungenfunktion bei Fischölsupplementierung deuten auf einen möglichen therapeutischen Einsatz der n-3-Fettsäuren bei Lungenkrankheiten hin (BROUGHTON et al., 1997).

Omega-3-Fettsäuren und Bluthochdruck

n-3-Fettsäuren besitzen einen geringen, dosisabhängigen hypotensischen Effekt, der vom Grad des Bluthochdrucks abhängig ist (HOWE, 1997). Dabei scheint DHA wirkungsvoller als EPA zu sein. Die blutdrucksenkende Wirkung

beruht dabei hauptsächlich auf einer Steigerung der Produktion des vasodilatatorisch wirkenden Stickstoffmonoxids (NO) in den Endothelzellen, sowie der verringerten Bildung vasokonstriktorisch wirkender Eicosanoide (HARRIS et al., 1997).

Omega-3-Fettsäuren und Blutlipide

Da die Fettsäuren EPA und DHA eine senkende Wirkung auf den Gehalt der Triglyceride (TG) im Blut aufweisen (GRIMSGAARD, 1997), eignen sich n-3-Fettsäuren therapeutisch zur Behandlung von Hypertriglyceridämie. Effektive Dosen können jedoch nur durch Supplementierung erreicht werden. HARRIS (1997) berichtete bei einer Gabe von 4 g n-3-Fettsäuren pro Tag aus Fischöl eine Senkung des TG-Spiegels um 25-30%. Mögliche Mechanismen der n-3-Fettsäuren sind eine verminderte hepatische Synthese von TG aufgrund der verminderten Lipolyserate freier Fettsäuren aus den peripheren Geweben oder die Hemmung hepatischer Enzyme zur TG-Synthese.

Für LNA konnte auch ein TG-senkender Effekt beobachtet werden (DJOUSSE et al., 2001) andere Studien jedoch bestätigen diese Ergebnisse nicht (KARVONEN et al., 2002; LAYNE et al., 1996).

Omega-3-Fettsäuren und Herzrhythmusstörungen

In den Studien von CHRISTENSEN et al. (1999) und SINGER et al. (2002) konnte durch Gabe von n-3-Fettsäuren aus Fisch bzw. Fischöl ein antiarrhythmischer Effekt beobachtet werden. n-3-Fettsäuren entfalten dabei ihre Wirkung durch die Regulation des Calciumflusses in den Ionenkanälen der Kardiomyozyten (LEAF et al., 1999) bzw. durch Senkung des Aktionspotentials, wodurch über das angehobene Schwellenpotential Arrhythmien erschwert werden (CHRISTENSEN et al., 1996). Durch ihr antiarrhythmisches Potential senken n-3-Fettsäuren das Risiko eines plötzlichen Herztodes (ALBERT et al., 2002), bzw. wirken sekundärpräventiv, wie die DART-Studie (BURR et al, 1989) belegt.

Omega-3-Fettsäuren in der frühkindlichen Entwicklung

In der frühkindlichen Entwicklung sind n-3-Fettsäuren essentiell für die Entwicklung des Zentralnervensystems und des Sehvermögens (ANDERSON

et al., 1990). Besonders während des dritten Abschnitts der Schwangerschaft erfolgt eine Anreicherung von n-3-Fettsäuren im Gehirngewebe und in den Photorezeptoren der Retina (CLANDININ et al., 1980). Die Versorgung erfolgt über die Plazenta sodass der Fötus vom Versorgungsstatus der Mutter abhängig ist (OTTO et al., 1997).

Die weitere Versorgung mit DHA nach der Geburt erfolgt über die Muttermilch, wobei durch Fischkonsum Muttermilch mit höherer DHA-Konzentrationen gebildet werden kann (JORGENSEN, 2001). Inadäquate Versorgung an n-3-Fettsäuren resultierte bei Säuglingen bzw. Frühgeborenen in Störungen der Hirnleistung, der neuronalen Entwicklung sowie des Sehvermögens (CARLSON und NEURINGER, 1999). Einer Mangelversorgung und den damit verbundenen negativen Auswirkungen kann etwa durch n-3-Fettsäuren-angereicherte Formelnahrung vorgebeugt werden (CARLSON et al., 1992).

Omega-3-Fettsäuren in neuronalen und psychischen Krankheiten

n-3-Fettsäuren sind wie AA wichtig für die neuronale Funktion, wobei DHA eine essentielle Rolle zukommt (METZ, 2000). DHA wird bis zu 60 % in den Lipiden von Gehirn und Nerven angereichert und ist auch wichtiger Bestandteil der Synapsen.

Niedrige DHA-Spiegel können deshalb Ursache verschiedener neurologischer Dysfunktionen sein, wie etwa Depression (HIBBELN, 1998), Alzheimer (MORRIS et al., 2003) und anderen Demenzercheinungen (KALMIJN et al., 1997). Gleichzeitig zeigten die angeführten Studien, dass regelmäßiger Fischkonsum das Risiko für die genannten Krankheiten senken kann.

2.1.1.3.2 Quellen von Omega-3-Fettsäuren

Aus pflanzlichen Quellen können n-3-Fettsäuren vorwiegend aus Ölsaaten in Form von LNA bezogen werden. LNA kommt hauptsächlich in Lein-, Raps- und Sojaöl vor (Kapitel 2.1.1.2.4.).

Langkettige n-3-Fettsäuren wie EPA oder DHA hingegen sind in höheren Anteilen in niederen Pflanzen wie Phytoplankton oder in Meeresalgen enthalten (NAPOLITANO, 1998).

Fisch gilt dabei als gängigste und reichste Quelle, wobei die Höhe an n-3-Fettsäuren abhängig vom Fettgehalt und dem Fettsäureprofil des Fisches variiert (Tab. 2.1.6). Fettreiche Fische sind Aale, Makrelen oder Heringe, als fettarme Fischarten sind Scholle, Kabeljau oder Seelachs zu nennen (KINSELLA, 1990).

Tab. 2.1.6: Fett- und Omega-3-Fettsäuregehalt ausgewählter Fischarten (g/100 g Filet)

Fisch	Fett	PUFAs	LNA	EPA	DHA
Aal	18,0	11,84	0,2	1,02	1,45
Kabeljau	1,0	0,15	Spuren	Spuren	Spuren
Scholle	0,7	0,32	Spuren	0,14	0,07
Heilbutt	13,8	1,07	Spuren	0,19	0,5
Hering	10,0	5,12	0,06	2,70	0,45
Makrele	13,0	3,96	0,22	0,69	1,30
Lachs	10,0	7,9	0,55	0,70	2,14
Thunfisch	5,0	6,81	0,27	1,07	2,28
Forelle	3,4	1,16	0,10	0,15	0,34

Daten aus: METZ, 2000 und KINSELLA, 1990. PUFA = Mehrfach ungesättigte Fettsäuren, LNA = α -Linolensäure, EPA = Eicosapentaensäure, DHA = Docosahexaensäure.

Neuartige n-3-Fettsäurequellen stellen Produkte aus Meerespflanzen dar. So können mittels biotechnologischer Verfahren sog. EPA- und DHA-reiche Single-Cell-Öle (Einzeller-Öle) aus Algenmasse bzw. Plankton hergestellt werden, bzw. gibt es getrocknete, n-3-Fettsäurereiche Algenpräparate. Weitere Quellen für n-3-Fettsäuren können eigens mit n-3-Fettsäuren angereicherte Lebensmittel darstellen. So kann der n-3-Fettsäuregehalt in Eiern durch Futterzusatz von Fischöl, Algen oder Leinöl (Kapitel 2.3.1) gesteigert werden (SCHMITT et al., 2002). Hierdurch werden durchschnittlich etwa 150 mg DHA pro Ei (60 g) erreicht. Ein durchschnittliches Supermarkteier hingegen enthält lediglich 1,1 mg DHA pro Gramm Dotter, dies entspricht etwa 20 mg DHA /60 g Ei (SIMOPOULOS, 2002).

2.1.1.3.3 Empfehlungen zur Aufnahme von Omega-3-Fettsäuren

Der Omega-6/Omega-3-Quotient

Generelle Empfehlungen zur Aufnahme des Nährstoffes Fett lauten auf einer maximalen Gesamtfettzufuhr von 30 Energieprozent, wobei sich das aufgenommene Fett mit 7-10% auf gesättigte, 10-16% auf einfach ungesättigte und 7-10% auf mehrfach ungesättigte Fettsäuren verteilen sollte (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung DACH, 2000). Innerhalb der Gruppe der mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist das Verhältnis von n-6 und n-3-Fettsäuren (n6/n3 Quotient) eine entscheidende Richtgröße. Ein hoher Quotient ist mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Krankheiten assoziiert (SIMOPOULOS, 2002), dementsprechend hoch ist der Anteil der Todesfälle durch Herzkreislauferkrankungen in den westlichen Industrieländern (Tab. 2.1.7). Ursache hierfür ist das damit verbundene Ungleichgewicht in der Eicosanoidsynthese, das die Entstehung von kardiovaskulären Erkrankungen begünstigen kann (Kapitel 2.1.1.3.1).

Tab. 2.1.7: Ethnische Unterschiede der Fettsäurezusammensetzung in Thrombozytenphospholipiden und % Todesfälle durch kardiovaskuläre Erkrankungen

	Europa, USA	Japan	Grönland Eskimos
Arachidonsäure (%)	26	21	8
EPA (%)	<1	2	8
n-6/n-3 Quotient	50	12	1
Mortalität (%)	45	12	7

Daten aus: SIMOPOULOS, 2002.

Der hohe n-6/n-3-Quotient ist auf veränderte Ernährungsgewohnheiten und das veränderte Nahrungsangebot zurückzuführen. Durch den übermäßigen Konsum n-6-fettsäurereicher Nahrung beträgt der heutige Quotient westlicher Industrieländer 15/1 bis 16,7/1 (SIMOPOULOS, 2002). Als optimal wird jedoch ein Verhältnis von 5:1 (DACH, 2000) betrachtet, bzw. kann das Verhältnis zwischen 6/1 bis 1/1 variieren (SIMOPOULOS, 2002).

Die Ernährungsempfehlung hinsichtlich mehrfach ungesättigter Fettsäuren muss deshalb auf eine Verbesserung des Quotienten zu Gunsten der n-3-Fettsäuren lauten. Dies kann z.B. durch erhöhten Konsum von Fisch und/oder Ersatz LNA-reicher Öle erzielt werden.

Empfehlungen für die Zufuhr an Omega-3-Fettsäuren

Nach den Referenzwerten der DACH (2000) sollten 0,5% der Energie in Form von n-3-Fettsäuren zugeführt werden. Das entspricht bei einem Energierichtwert von 10 MJ (2400 kcal) einer Aufnahme von 1,25 g n-3-Fettsäuren. Dieser Wert bezieht sich allerdings auf LNA, EPA bzw. DHA werden nicht separat angeführt.

Empfehlungen zur Zufuhr von n-3-Fettsäuren werden oft in Form von Fischmahlzeiten formuliert. Demnach gelten mindestens 2 Fischmahlzeiten pro Woche als gängigste Empfehlung (DACH, 2000; KRIS-ETHERTON et al., 2003). Unter der Annahme, dass 2 Fischmahlzeiten pro Woche etwa 30 g pro Tag entsprechen, lässt sich etwa ein Gehalt von 0,3 - 0,4 g EPA/DHA pro Tag berechnen (ARBEITSKREIS OMEGA-3, 2002). Andere Autoren sprechen ebenfalls direkte Empfehlungen für DHA und EPA aus, einheitliche Werte gibt es in der Literatur jedoch nicht. Einen Überblick verschiedenster internationaler Empfehlungen bietet Tab. 2.1.8.

Tab. 2.1.8: Überblick unterschiedlicher Empfehlungen zur Zufuhr von Omega-3-Fettsäuren

Autor	LNA (g/d)	EPA/DHA (g/d)	Bemerkung
SINGER (1994)	0,3 - 0,4	0,1 - 0,2	Mindestbedarf
	0,9 - 1,0	0,3 - 0,4	Empfehlung
SIMOPOULOS et al. (1999)	2,2	0,65	-
NHF Australien (1999)	> 2	0,16 - 0,43	-
DACH (2000)	1,25	-	-
Arbeitskreis Omega-3 (2002)	-	0,3 - 0,4 *	Mind. 2 Fischmahlzeiten/Wo
	-	> 0,3	-
AHA (2003)	-	0,3 - 0,4*	Mind. 2 Fischmahlzeiten/Wo
SACN (2004)	-	1	Patienten mit KHK
	1-4	0,45 - 0,9	1-4 Fischmahlzeiten/Wo

* berechnet nach ARBEITSKREIS Omega-3 (2002)

Abkürzungen: NHF(National Heart Foundation), AHA (American Heart Association), SACN (Scientific Advisory Committee on Nutrition), DACH (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung, KHK (Koronare Herzerkrankungen)

Verzehr und Versorgung an Omega-3-Fettsäuren

Laut ARBEITSKREIS OMEGA-3 (2002) liegt der Verzehr langkettiger Fettsäuren (EPA/DHA) in Ländern mit geringem Fischverzehr (Deutschland, USA) eher unter 0,1 g/d. MEYER et al. (2003) lieferten für die n-3-Fettsäureaufnahme in Australien ähnliche Ergebnisse.

Da mit der derzeitigen durchschnittlichen Zufuhr von 0,1–0,2 g/d an DHA und EPA die Empfehlungen von 0,3–0,4 g bei weitem nicht erreicht werden, bedarf es deshalb einer Steigerung der Zufuhr von n-3-Fettsäuren, die am leichtesten durch vermehrten Verzehr von Fisch erreicht wird. Angesichts des geringen Fischkonsums in westlichen Ländern könnte zur Schließung der Versorgungslücke jedoch angereicherten Lebensmitteln eine immer bedeutendere Rolle zukommen.

2.2 Das Hühnerei

2.2.1 Aufbau des Hühnereies

Der Aufbau eines Hühnereies ist in Abb. 2.2.1 schematisch dargestellt.

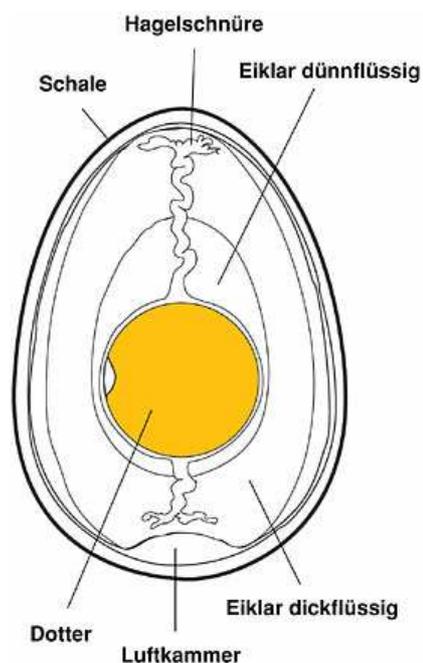


Abb. 2.2.1: Schematischer Aufbau eines Hühnereies (aus BELITZ et al. 2001)

Im Inneren befindet sich die Dotterkugel bestehend aus der Keimscheibe mit dem Keimbläschen und in Schichten angeordnetem weißen und gelben Dotter. Der Dotter ist mit Eiklar umgeben, das unterschiedliche Viskosität aufweist. An die Dottermembran schließt dickflüssiges Eiklar, das in den so genannten Hagelschnüren ausläuft und den Dotter im Eiklar verankert. Die Eiklarmasse mit ihren sowohl dickflüssigen als auch dünnflüssigen Schichten ist von der Schalenmembran (innere Eischalenmembran) und der Schalenhaut (äußere Eischalenmembran) umgeben. Nach außen wird das Ei von der Eischale umschlossen (BELITZ et al., 2001; KALLWEIT, 1988; TERNES et al., 1994). Das Eigewicht hängt von der Herkunft und vom Alter der Tiere ab. Das mittlere Eigewicht beträgt rund 60 g (KALLWEIT, 1988).

2.2.1.1 Das Eiklar

Das Eiklar stellt mit ca. 56% der Gesamtmasse das größte Kompartiment des Eies dar. Es besteht vorwiegend aus Wasser und zu etwa 10% aus verschiedenen globulären Proteinen. Vorherrschendes Protein ist das Ovalbumin, das Protein Ovomucin kann fibrilläre Strukturen ausbilden und bestimmt damit die Viskosität des Eiklars. Fette, Kohlenhydrate und Mineralstoffe sind nur in Spuren enthalten. Das Eiklar dient der Bereitstellung von Wasser, Proteinen und anderen Nährstoffen für den Embryo (BELITZ et al., 2001; TERNES et al., 1994).

2.2.1.2 Der Eidotter

Der Eidotter macht etwa 1/3 der Gesamtmasse des Eies aus. Er besitzt einen Trockenmasseanteil von etwa 50%, der zu 1/3 aus Protein und 2/3 aus Lipiden besteht. Das Cholesterin ist Teil der Lipide und ist in Mengen von 175 – 235 mg im Hühnerei enthalten, der Anteil in den Lipiden beträgt etwa 4% (JEROCH, 1995).

Proteine und Lipide sind vorwiegend in Lipoproteinen organisiert, die in Form von LDL (low density lipoproteins mit hohem Lipidanteil) und HDL (high density lipoproteins mit niedrigerem Lipidanteil) vorkommen. Als Träger der Keimscheibe geht vom Dotter die Embryonalentwicklung aus. Dabei dient der Dotter dem heranwachsenden Embryo als Quelle für Lipide, Proteine und andere Nährstoffe (BELITZ et al. 2001; TERNES et al., 1994). Eine zusammenfassende Übersicht zur Zusammensetzung von Hühnereiern liefert Tab. 2.2.1. (BELITZ, 2001).

Tab. 2.2.1: Durchschnittliche Zusammensetzung von Hühnereiern in %

Fraktion	Anteil an der Gesamtmasse	Trockenmasse	Proteine	Fette	Kohlenhydrate	Mineralstoffe
Schale	10,3	98,4	3,3			95,1
Eiklar	56,9	12,1	10,6	0,03	0,9	0,6
Eidotter	32,8	51,3	16,6	32,6	1,0	1,1

Daten aus: BELITZ et al., 2001.

Der Dotteranteil im Ei kann variieren. In Abhängigkeit vom Alter der Legehennen kann der Dotteranteil zwischen 23 und 33% betragen. Zudem können Fütterungseinflüsse bzw. die Futteraufnahme das Eigewicht beeinflussen, wobei ein steigendes Eigewicht mit einem geringeren Dotteranteil assoziiert ist (TERNES et al., 1994).

2.2.2 Die Lipide des Eidotters

2.2.2.1 Bildung des Eidotters und Inkorporation der Dotterlipide

Der Dotter entsteht im Zuge der Reifung des Follikels im Ovar des Huhns, wobei über Rezeptoren der Follikelmembran Vorstufen der Dotterinhaltsstoffe direkt vom Blut in den Dotter aufgenommen werden. Die Einlagerung der Lipide erfolgt dabei in Form von Lipoproteinen (KUKSIS, 1992; TERNES et al., 1994). Für das Fettsäuremuster des Eidotters ist daher die Fettsäurezusammensetzung der Lipoproteine von großer Bedeutung. Da die Lipoproteine in der Leber synthetisiert werden, wird die Fettsäurezusammensetzung einerseits von der hepatischen Lipogenese

bestimmt, andererseits jedoch auch von den Fettsäuren aus dem Futter, die direkt zur Leber transportiert und dort durch Elongation und Desaturation weiter metabolisiert werden können (CHERIAN et al., 1995; BRENNER et al., 1971).

Endogene als auch exogene Fettsäuren werden schließlich in Lipoproteine gepackt und zu den entsprechenden Geweben transportiert, so auch zum Ovar zur Eidotterbildung (CHERIAN et al., 1995).

STADELMAN und PRATT (1989) berichten, dass der Lipidmetabolismus, abgesehen von der Menge und der Art des Futterfetts auch von der genetischen Ausstattung, dem Fütterungsprogramm und dem Alter der Legehennen beeinflusst wird. So zeigten etwa AYERZA und COATES (2000) und CHERIAN et al. (1995), dass abhängig von Rasse, Art und Menge der Zufuhr von Nahrungsfett die Fettsäurezusammensetzung im Dotter Unterschiede aufweisen kann.

2.2.2.2 Die Lipidstrukturen im Eigelb

Die Lipide sind im Eigelb in Form von Lipoproteinen organisiert. Als Träger der Lipide fungieren die Lipoproteine LDL und HDL, die sich zu 68% bzw. 16% auf das Eigelb verteilen (MCCULLY et al., 1962).

Mit einem Lipidanteil von etwa 89% enthalten die LDL dabei die größten Mengen an Lipiden (MARTIN et al., 1963). Die HDL bestehen dagegen vorwiegend aus Protein (80%) und nur aus geringeren Mengen Lipiden (COOK und MARTIN, 1969).

2.2.2.3 Die Gesamtlipide

Der Eidotter besitzt einen Lipidanteil von etwa 33%, der sich laut PRIVETT et al. (1962) zu 65% aus TG, 28,3% Phospholipiden und 5,2% Cholesterin und Cholesterolestern zusammensetzt.

Einen Überblick über die in den Dotterlipiden enthaltenen Fettsäuren bietet Tab. 2.2.2. (PRIVETT et al., 1962). Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Fettsäurespektrum immer dem Einfluss der Fütterung unterworfen ist.

Tab. 2.2.2: Fettsäurezusammensetzung im Eidotter

Fettsäure	% Gesamtfettsäuren	
	Eilipide	Futterlipide*
C16:0	23,5	14,0
C16:1	3,8	2,7
C18:0	14,0	2,4
C18:1	38,4	29,1
C18:2	16,4	29,1
C18:3	1,4	3,2
C20:4	1,3	0,8
C20:5	0,4	0,8
C22:5		
C22:6	0,8	1,3

Daten aus: PRIVETT et al., 1962.

* Zusammensetzung der Futterlipide

Über die Mengen der im Dotter enthaltenen Fettsäuren gibt Tab. 2.2.3. Aufschluss (SIMOPOULOS, 2002).

Tab. 2.2.3: Fettsäuren (mg/g Dotter) eines Supermarkteies

Fettsäure	mg/g Dotter	Fettsäure	mg/g Dotter
14:0	0,7	18:3n-6	0,3
16:0	56,7	20:4n-6	5,0
18:0	23,0	22:4n-6	0,4
16:1n-7	4,7	18:3n-3	0,5
18:1n-9	110,0	20:5n-3	-
20:1n-9	0,7	22:5n-3	0,1
18:2n-6	26,1	22:6n-3	1,1

Daten aus: SIMOPOULOS, 2002.

2.3 Die Fütterung von Legehennen

Durch die Fütterung ist die Bedarfsdeckung von Nähr- und Wirkstoffen für eine optimale Legeleistung und Eiqualität zu sichern. Wichtig ist dabei eine bedarfsgerechte Versorgung mit Proteinen, Fetten, Kohlenhydraten, Mineralstoffen und Vitaminen.

Proteine dienen beispielsweise der Bildung der Eiklar- und Dotterproteine, die zugeführten Fette bestimmen Bildung und Zusammensetzung der Dotterlipide. Eine ausreichende Zufuhr der essentiellen Aminosäuren Lysin und Methionin und der essentiellen Fettsäure Linolsäure ist von Bedeutung, da eine mangelhafte Zufuhr in einer Reduktion des Eigewichts resultiert. Linolsäure ist

zudem für eine ungestörte Entwicklung des Embryos unerlässlich. Der Bedarf an Linolsäure wird durch adäquate Mais- Soja- oder Rapsanteile im Futter gedeckt (TERNES et al., 1994; JEROCH, 1995).

Die Mineralstoffe Kalzium, Natrium und Phosphat sind für eine optimale Stabilität der Eischale notwendig, Vitamine, weitere Mineralstoffe und Futterzusatzstoffe werden in der Regel in Form von sogenannten Prämix-Mischungen verabreicht (JEROCH et al., 1999 ; TERNES et al., 1994). Ein Beispiel für die Futterzusammensetzung für Legehennen ist in Tab. 2.3.1 dargestellt (JEROCH et al., 1999).

Tab. 2.3.1: Beispielrezeptur für eine Alleinfuttermischung für Legehennen

Komponenten in %			
Maisschrot	15	Methionin	0,1
Weizenschrot	50	Dicalciumphosphat	1,5
Gerstenschrot	6,0	Calciumcarbonat	7,9
Luzernegrünmehl	3,0	Natriumchlorid	0,3
Tier- und Pflanzenfett	3,0	Prämix	0,1
Sojaöl	1,5		
Sojaextraktionsschrot	14,3		
Maiskleber	4,0		

Daten aus: JEROCH et al., 1999.

2.3.1 Beeinflussung der Lipidzusammensetzung im Eidotter

Wie in Kapitel 2.2.2.3. erläutert, kann die Fettsäurezusammensetzung des Eigelbs durch die Fütterung beeinflusst werden.

Während der Gehalt an gesättigten und einfach ungesättigten Fettsäuren in den Dotterlipiden in relativ engen Grenzen gehalten wird und nur begrenzt durch die Fütterung zu verändern ist, kann der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren in den Dotterlipiden durch geeignete Fütterung stark beeinflusst werden. Die Dotterlipide spiegeln die aufgenommenen Futterlipide in ihrem Fettsäuremuster wider, weshalb durch Zusatz von verschiedenen n-3-Fettsäurequellen zum Futter der Gehalt an n-3-Fettsäuren in den Dotterlipiden gesteigert werden kann (BAUCCELLS et al., 2000, CHERIAN et. al, 1995, CHERIAN und SIM, 1991; HERBER und VAN ELSWYK, 1996, HARGIS et al. 1991).

2.3.1.1.1 Anreicherung durch Marine Omega-3-Fettsäurequellen

Durch Einsatz von Fischöl (SHIMIZU et al., 2001 ; GONZALEZ-ESQUERRA und LEESON, 1992 ; HERBER und VAN ELSWYK, 1996; HARGIS et al., 1991), Fischmehl (NASH et al. 1996 ; NASH et al., 1995), Meeresalgen (HERBER und VAN ELSWYK, 1996; MELUZZI et al., 2001) und Robbenöl (SCHREINER et al., 2004) konnte ein deutlicher Anstieg der n-3-Fettsäuren in den Dotterlipiden bewirkt werden, insbesondere in Form von DHA, EPA und DPA. SHIMIZU et al. (2001) berichteten, dass die n-3-Fettsäuren dabei vor allem auf Kosten der Arachidonsäure in den Dotter inkorporiert werden und dadurch eine Verringerung der n-6-Fettsäuren festzustellen ist.

Hinsichtlich der langkettigen n-3-Fettsäuren wird DHA im Vergleich zu EPA bevorzugt in die Dotterlipide eingelagert, weil trotz höheren Mengen an EPA im Fischöl die Eier deutlich höhere Mengen an DHA aufweisen (GONZALEZ-ESQUERRA und LEESON 2000; HERBER et al., 1996). Eine zusammenfassende Übersicht über die in den genannten Studien erzielten n-3-Fettsäuremengen im Eidotter zeigt Tab. 2.3.2.

Tab. 2.3.2: Gehalt an Omega-3-Fettsäuren (mg) nach Anreicherung mit Omega-3-Fettsäuren aus Marinen Quellen

	Futterzusatz	Menge im Futter	EPA	DPA	DHA	Gesamte n-3-FS
GONZALES-ESQUERRA und LEESON (2000) ^a	Menhadenöl	6%	50	21	144	246
SCHREINER et al. (2004) ^b	Robbenöl	1,25%	8	7	92	121
NASH et al. (1995) ^b	Heringmehl	12%	8	-	101	-
NASH et al. (1996) ^b	Menhadenmehl	12%	9	-	95	-
HERBER und VAN ELSWYK (1996) ^c	Menhadenöl	4,8%	-	-	8	9
HERBER und VAN ELSWYK. (1996) ^c	Meeresalgen	4,8%	-	-	12	12
MELUZZI et al. (2001) ^c	Meeresalgen	20 g/kg	0,4	0,5	13	60

Angaben in: ^a mg/50g Ei ^b mg/Dotter ^c mg/g Dotter - keine Angabe

2.3.1.1.2 Anreicherung durch pflanzliche Omega-3-Fettsäurequellen

Als pflanzliche Quellen zur Anreicherung von Eiern wurden vor allem Pflanzensamen wie Leinsaat oder Raps verwendet (BAUCELLS et al., 2000; CHERIAN und SIM, 1991; MELUZZI et al., 2001; EDER et al., 1998).

Da diese Saatöle reich an LNA sind, zeichnen sich diese angereicherten Eier im Gegensatz zu den aus Marinen Quellen angereicherten Eiern durch gesteigerte Mengen an LNA aus (SCHREINER et al., 2005). DHA und EPA sind in geringeren Mengen enthalten und auf die nur begrenzte Bildung aus LNA zurückzuführen. Auch in diesen Eiern ist der Gehalt an AA gesenkt, da die durch LNA inhibierte $\Delta 6$ -Desaturase (BRENNER, 1971) LNA der LA als Substrat vorzieht und deshalb weniger AA gebildet wird. Die in den Studien erzielten n-3-Fettsäuremengen zeigt Tab. 2.3.3.

Tab. 2.3.3: Omega-3-Fettsäuren in pflanzlich angereicherten Eiern (% Fettsäuren und mg/g Dotter^a)

	Futterzusatz	Menge	LNA	EPA	DPA	DHA	ges. n-3-FS
BAUCELLS et al. (2000)	Leinöl	4%	4,9	0,3	0,3	1,6	7,1
CHERIAN und SIM	Leinschrot	8%	5,8	0,1	0,3	1,4	7,8
	Raps	16%	2,4	0,1	0,2	1,5	4,2
EDER et al.(1998)	Ganze	10%	6,3	0,1	0,2	1,6	8,2
MELUZZI et al. (2001) ^a	Leinöl	2%	12,9	0,3	0,8	5,9	20,2

2.4 Haltungsformen von Legehühnern

2.4.1 Freilandhaltung

Unter Freilandhaltung wird eine Haltung im Stall mit zusätzlich geschaffenem Auslauf verstanden, der wenn möglich eine Grasnarbe aufweisen soll und tagsüber uneingeschränkt zugänglich ist. Durch dieses Haltungssystem haben die Tiere ausreichende Bewegung und können zusätzliche natürliche Futterquellen wie Kräuter, Moose, Flechten, Samen, Würmer und Insekten nutzen (TERNES et al., 1994). Laut den gesetzlich festgelegten Normen darf die Besatzdichte höchstens 2500 Hennen je Hektar Auslauffläche bzw. eine Henne pro 4 m² betragen (VERORDNUNG (EG) Nr. 2295/2003).

2.4.2 Bodenhaltung

Bei der Bodenintensivhaltung werden die Hühner nur im Stall gehalten und haben keine Möglichkeit zum Auslauf. Kennzeichnend für dieses System ist die höhere Besatzdichte in Verbindung mit einer zunehmenden Kontrolle der Umweltfaktoren. Die Zahl der Hennen pro m² beträgt etwa 7. Das „Freilaufareal“ wird bei der Bodenhaltung durch einen so genannten Scharrraum imitiert, der mit Einstreu bedeckt ist und etwa 25% der Stallfläche einnimmt (GRAUVOGL et al., 1997).

2.4.3 Käfighaltung

Die am weitesten verbreitete Haltungsform für Legehennen ist aus wirtschaftlichen und hygienischen Gründen die Käfighaltung. In der Regel sind die Käfige in drei oder vier Etagen übereinander angeordnet, wodurch eine hohe Besatzdichte erreicht wird (GRAUVOGL et al., 1997). Auch bei dieser Haltungsform sind gesetzliche Mindestanforderungen festgelegt. So muss eine Käfigfläche von mindestens 550 cm² je Tier zur Verfügung stehen

2.4.4 Eier aus ökologischer Landwirtschaft

Auch die Produktion von „Bio“-Eiern ist durch die EU-Verordnung über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel gesetzlich geregelt (VERORDNUNG (EWG) Nr. 2092/91). Demnach bedingt die Produktion von Bio-Eiern eine Fütterung von Legehennen mit Futtermittel aus ausschließlich ökologischer Landwirtschaft. Werden Bio-Eier zusätzlich mit der Angabe „Eier aus Freilandhaltung“ oder „Eier aus Bodenhaltung“ gekennzeichnet, so sind neben der in der EU-Verordnung Nr. 2092/91 festgelegten Bestimmungen auch die Anforderungen zur Produktion von Freiland- und Bodenhaltungseiern zu erfüllen.

3 AUFGABENSTELLUNG

Gegenstand dieser Studie war die Charakterisierung des Fettsäuremusters von Eiern unterschiedlicher Haltungsformen und Fütterung unter besonderer Berücksichtigung der Omega-3-Fettsäuren. Dabei wurden konventionelle, im österreichischen Handel erhältliche Eier unterschiedlicher Haltungsformen (Bioeier und Eier aus Freiland-, Boden- und Käfighaltung) mit Eiern von privaten landwirtschaftlichen Betrieben nicht intensiver Haltung verglichen. Dabei galt es festzustellen, ob abhängig von Haltungsform und Fütterung Unterschiede im Fettsäuremuster gegeben sind.

Die Analyse von Gehalt und Verteilung der Fettsäuren in den Dotterlipiden erfolgte gaschromatographisch mittels Flammenionisationsdetektor nach einer Ein-Schritt-Extraktion/Transmethylierungs-Methode.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 Probenmaterial

Tab. 4.1.1: Untersuchte Eier

Eigruppen	B	n	S	Rasse	Futter	Haltung		
Eier privater landwirtschaft. Betriebe (Klein- zuchtverein Kindberg/Stmk.)	ST	11	A1	Altsteirer Rassehuhn	Handelsübliches Legehennenfutter, Zusatz: getrocknete Brennessel, Oregano, Bierhefe, tierisches Eiweiß, Salatöl, 5%iger Apfelessig	kein Freilauf		
			A2	Slumtaler Rassehuhn				
			B1	Weißer Legehorn Rassehuhn			Maiskörner	Freilauf, Wiese
			B2	Weißer Legehorn Hybridhuhn				
			C1	Altsteirer Rassehuhn			Bio-Alleinlegefutter Zusatz: Bio- Weizenkörner, kein Mais	Freilauf, Wiese
			C2	Hybridhenne				
			D1	Marans Rassehuhn			handelsübliches Getreide:	Freilauf, Wiese
			D2	Grünleger Hybridhenne			80% Weizen 20% Maisschrot	
			D3	Perl Rassehuhn				
			E1	Wayandotte- Zwerggrassehuhn			handelsübliches Getreide, wenig Grünzeug	Volieren- haltung
E2	Grünleger Hybridhenne							
Supermarkteier aus ökologischer Landwirtschaft	BIO	5		k.A	Handelsübliches Bio- Legehennenfutter	Freilandh altung		
Supermarkteier aus Freilandhaltung	FL	5		k.A	Handelsübliches Legehennenfutter	Freiland- haltung		
Supermarkteier aus Bodenhaltung	BH	5		k.A	Handelsübliches Legehennenfutter	Boden- haltung		
Supermarkteier aus Käfighaltung	KH	6		k.A	Handelsübliches Legehennenfutter	Käfig- haltung		
Eier "von Hof" privater landwirtschaftl. Betriebe	SV	4	SV	k.A	Essensreste	Freilauf		
			34					
			SV	k.A			Essensreste, Weizenkörner	Freilauf
			35					
SV	k.A		Eierschalen, Weizen, Maiskörner	Freilauf				
SV	k.A		Eierschalen, Hafer	Freilauf				
37								

B=Bezeichnung, S= Sorte, n= Anzahl

4.2 Untersuchungsparameter

1) Bestimmung des Lipidgehalts im Eidotter

Aus dem GC-Fettsäureprofil wird der Gehalt an den gesamten Fettsäuren errechnet. Dieser korreliert hoch mit dem Lipidgehalt, da der Cholesteringehalt in Eiern bis auf $\pm 1\%$ konstant ist. Der Gesamt-Fettsäuregehalt steht somit repräsentativ für den Gehalt an Eilipiden. Diese bestehen zu 82-83% aus Fettsäuren (SCHREINER, 2006), sodass sich der Lipidgehalt wie in Gl.1 angeführt rechnerisch aus dem Gesamtfettsäuregehalt ermitteln lässt.

$$L [\%] = FS [mg/g] / 83 \times 10 \quad (Gl.1)$$

L.....% Lipid im Dotter

FS....Gesamtfettsäuregehalt im Dotter

2) Charakterisierung des Fettsäureprofils

Zur Charakterisierung des Fettsäureprofils wurden folgende Fettsäuren zur Analyse herangezogen:

a) Gesättigte Fettsäuren (SAFAs)

Myristinsäure	C14:0
Palmitinsäure	C16:0
Stearinsäure	C18:0

b) Einfach ungesättigte Fettsäuren (MUFAs)

Palmitoleinsäure	C16:1n-7
Ölsäure	C18:1n-9
Cis-Vaccensäure	C18:1n-7

c) Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFAs)

n-6-Fettsäuren:	Linolsäure	C18:2n-6
	Arachidonsäure	C20:4n-6
n-3-Fettsäuren:	α -Linolensäure	C18:3n-3

Eisapentaensäure	C20:5n-3
Docosapentaensäure	C22:5n-3
Docosahexaensäure	C22:6n-3

3) Quantitative Fettsäurebestimmung

Die oben angeführten Fettsäuren wurden nach ihrer Verteilung (% Fettsäuren am Gesamtfettsäuregehalt) und ihrem Gehalt in mg/g Dotter untersucht.

4) Bestimmung des Omega-6/Omega-3-Quotienten

Anhand der Bestimmung des n-6/n-3-Quotienten wird die physiologische Wertigkeit der in den verschiedenen Eiersorten enthaltenen mehrfach ungesättigten Fettsäuren ermittelt.

4.3 Analytische Methoden

4.3.1 Lipidextraktion und Transmethylierung

Als Methode der Lipidextraktion wurde eine Ein-Schritt-Extraktion/Transmethylierungsmethode (ULBERTH und HENNINGER, 1992) gewählt, die für Eidotter optimiert wurde (SCHREINER, 2006). Entgegen der gängigen Extraktionsmethode mittels Chloroform und Methanol (BLIGH und DYER, 1959) und anschließender Transmethylierung bietet diese den Vorteil, Extraktion und Transmethylierung in einem Schritt zu vereinen.

Die Methode basiert auf der Transmethylierung gefriergetrockneter Proben ohne vorangegangene Lipidextraktion mittels eines methanolischen HCl-Toluol-Gemisches. Nach Waschung der organischen Phase können die gebildeten Fettsäuremethylester zur gaschromatischen Analyse herangezogen werden.

Im Vergleich zur Methode von BLIGH und DYER stellt diese Methode eine deutlich weniger material-, zeit- und kostenintensive Alternative dar.

4.3.1.1 Wiederholbarkeit der Methode

Unter der Wiederholbarkeit oder Präzision einer Methode versteht man den Grad der Übereinstimmung mehrerer Analysenergebnisse einer homogenen Probe in einer Messserie. Die Genauigkeit wird laut Gl.2 als relative Standardabweichung bzw. Variationskoeffizient angegeben.

$$rSD = V_K = SD/x * 100 \quad (Gl.2)$$

rSD.....relative Standardabweichung in%

V_K.....Variationskoeffizient in %

$$SD = \sqrt{\sum(x_i - x) / n - 1} \quad (Gl.3)$$

SD.....Standardabweichung

x_i.....Einzelwert

x.....Mittelwert

n.....Anzahl der Messungen

Zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der Methode wurde eine Probe zehnmal transmethyliert und gaschromatographisch analysiert. Die Ergebnisse bezogen auf die analysierten Fettsäuren sind in Tab. 4.3.1 angegeben.

Tab. 4.3.1: Variationskoeffizient V_K mit Standardabweichung SD und Mittelwert x der einzelnen Fettsäuren zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der Methode

Fettsäure	x	SD	V _K in %
C14:0	0,7	0,02	2,4
C16:0	49,4	0,37	0,7
C16:n-7	6,2	0,03	0,5
C18:0	18,2	0,14	0,8
C18:1 n-9	82,0	0,58	0,7
C18:1 n-7	4,3	0,04	0,8
C18:2 n-6	22,2	0,20	0,9
C18:3 n-3	2,2	0,02	0,9
C20:4 n-6	3,1	0,04	1,4
C20:5 n-3	0,1	0,01	12,9
C22:5 n-3	0,5	0,03	5,9
C22:6 n-3	2,7	0,07	2,8

4.3.2 Gaschromatographische Analyse

Die Analyse der Fettsäurezusammensetzung erfolgte gaschromatographisch mittels manueller Splitinjektion und Flammenionisationsdetektor.

Die qualitative Auswertung der Fettsäuren erfolgte über die Retentionszeiten im Vergleich zu bekannten Standardgemischen (Fisch-Fettsäure-Standard, Larodan, Malmö, Schweden und Supelco 37 Komponenten Fettsäure-Methylester-Mix, Supelco, Bellefonte, USA). Als Basis für die quantitative Analyse diente die Auswertung der Peakflächen unter Einsatz eines internen Standards. Als interner Standard wurde der Methylester der Fettsäure C17:0 verwendet. Über die Auswertung der Peakfläche des internen Standards und der einzelnen Fettsäuren wurde die prozentuelle Verteilung der Fettsäuren in der Eidottertrockenmasse bestimmt. Unter Miteinbeziehung der eingesetzten Probenmenge zur Herstellung des methylierten Extraktes und der berechneten Trockenmasse der aufbereiteten Probe (Kapitel 5.1) kann auf die entsprechenden Fettsäurekonzentrationen im Rohdotter rückgerechnet werden.

4.3.2.1 Wiederholbarkeit der gaschromatographischen Analyse

Die Bestimmung der Wiederholbarkeit der GC-Analyse soll zur Feststellung der Unpräzision des Gaschromatographen dienen. Dazu wurde dieselbe Probe fünfmal gaschromatographisch analysiert und der Variationskoeffizient - wie in Kapitel 4.3.1.1 beschrieben - ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 4.3.2. dargestellt.

Tab. 4.3.2: Variationskoeffizient V_K mit Standardabweichung SD und Mittelwert x der einzelnen Fettsäuren zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der GC-Analyse

Fettsäure	x	SD	V_K in %
C14:0	0,7	0,01	1,5
C16:0	48,6	0,24	0,5
C16:1 n-7	6,1	0,03	0,5
C18:0	18,5	0,09	0,5
C18:1 n-9	83,0	0,19	0,2
C18:1 n-7	4,3	0,01	0,3
C18:2 n-6	22,4	0,17	0,8
C18:3 n-3	2,2	0,00	0,2
C20:4 n-6	3,2	0,03	1,0
C20:5 n-3	0,1	0,01	14,4
C22:5 n-3	0,5	0,06	11,7
C22:6 n-3	2,9	0,07	2,3

4.3.3 Statistische Analyse

Als statistische Auswertung diente ein Mittelwertvergleich über eine einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Konfidenzintervall $p < 0,05$ und dem Scheffé-Test. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS Version 13.0.

5 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

5.1 Probenaufbereitung

Material

- Becherglas
- Homogenisator
- Petrischale d=15 cm (Glas)
- Spatel
- Lyophilisator: Edwards Modulyo 4K Gefriertrockner (Edwards & Kniese & Co, Marburg, BRD)
- Porzellanschale

Durchführung

Unter Berücksichtigung der biologischen Schwankungen des Fettsäuregehalts von Eiern innerhalb einer Sorte wurden für die Probenaufbereitung die Eidotter aus je drei Eiern der zu analysierenden Eisorte vom Eiklar getrennt, abgewogen, vermischt und homogenisiert.

Vom Dotterhomogenisat werden $15 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ Dotter in eine große Petrischale eingewogen, so dass der Boden durch einen dünnen Film an homogenisiertem Dotter bedeckt war.

Anschließend wird die Probe verschlossen bei -70°C eine Stunde tiefgefroren und über Nacht einer Gefriertrocknung unterzogen.

Da für die gaschromatographische Analyse mit einer gefriergetrockneten Probe gearbeitet wurde, musste, um auf die im Rohdotter enthaltenen Fettsäuren rückschließen zu können, die Trockenmasse (TM) des Dotters unter Miteinbeziehung der gefriergetrockneten Dottermasse (m_{DM}) und der Roh-Dottereinwaage (m_{EW}) berechnet werden (Gl.4).

$$TM [\%] = m_{DM}/m_{EW} * 100 \quad (Gl.4)$$

TM.....Trockenmasse

m_{DM} Masse gefriergetrockneter Dotter

m_{EW} Masse Rohdottereinwaage

Die gefriergetrocknete Dottermasse wurde mit einem Spatel aus der Petrischale abgeschabt, in einer Porzellanschale mittels Mörser pulverisiert und war als solches für die weiteren Analyseschritte aufbereitet.

Um Oxidationsverlusten der ungesättigten Fettsäuren vorzubeugen ist ein Arbeiten unter einer Stickstoffatmosphäre von Vorteil, unter der gegebenen Laborausstattung war dies jedoch nicht durchführbar. Deshalb wurde schnell gearbeitet und die aufbereitete Probe sofort mit Lösungsmittel versetzt, welches 100 mg/kg Butylhydroxytoluol als Antioxidans enthielt.

5.2 Herstellung des internen Standards

Material

- Fettsäuremethylesterstandard C17:0
- 100 ml Messkolben
- Toluol
- Butylhydroxytoluol (BHT)

Zur Herstellung des internen Standards wurden 400 mg \pm 1 mg eines methylierten C17:0 Fettsäurestandards und 100 mg \pm 1 mg eines methylierten C23:0-Fettsäurestandards in einen 100 ml Erlenmeyerkolben eingewogen und mit Toluol aufgefüllt.

5.3 Lipidextraktion und Transmethylierung

Material

- Toluol
- Methanol
- Acetylchlorid CH_3COCl
- Kaliumcarbonat K_2CO_3
- Wasserfreies Natriumsulfat Na_2SO_4
- Stickstoff N_2

- Pyrex-Eprouvetten 15ml mit teflonbeschichtetem Verschluss
- Eprouvetten
- Glasflasche
- Messpipetten
- Pelleusball
- Vortex
- Wasserbad
- Zentrifuge

Durchführung

Zur Lipidextraktion und Transmethylierung wurden in einer Doppelbestimmung je $50 \text{ mg} \pm 1 \text{ mg}$ des gefriergetrockneten Dotterpulvers in eine Pyrexeprouvette eingewogen.

Zur Herstellung der methanolischen HCl-Lösung wurden 10 Teile Methanol in eine gut verschließbare Glasflasche mit Magnetrührer gefüllt. Unter Rühren wurde 1 Teil Acetylchlorid vorsichtig tropfenweise mit einer Pasteurpipette hinzu pipettiert, wobei sich die Lösung erwärmte. Beim Hantieren sind unbedingt Schutzbrille und Handschuhe zu tragen, da es zu einem Siedeverzug kommen

kann. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wurde die Lösung für die weitere Versuchsdurchführung einsetzbar.

Anschließend wurden 3 ml der methanolischen HCl-Lösung zum eingewogenen Dotterpulver und 2 ml des internen Standards zupipettiert.

Die Pyrexeprovette wurde mit Stickstoff begast, gut verschlossen und 2 Stunden bei 70°C im Wasserbad erhitzt.

In die abgekühlten Röhrchen wurden 5 ml 6%ige K₂CO₃- und 2 ml Toluol pipettiert und intensiv geschüttelt. Die Probe wurde anschließend 5 Minuten bei 1100 Umdrehungen pro Minuten zentrifugiert.

Die dabei entstehende obere Phase wurde in eine Eprovette transferiert und mit ca. 1 g wasserfreiem Na₂SO₄ versetzt, um Reste von Wasser zu entfernen.

Vom klaren Überstand wurde 1 µl direkt in den GC injiziert.

5.4 Gaschromatographische Analyse

Gerät

- *Gerätetyp*
HRGC 5300 Mega Series (Carlo Erba Instruments, Mailand, Italien)
- *Säule*
RTX 225 (Restek Bellefonte, PA, USA)
Länge: 30m
Innendurchmesser: 0,25mm
Schichtdicke: 0,25µm
- *Injektor*
Splitinjektor, manuell
Splitverhältnis: 1:50
Injektortemperatur: 250°C
- *Detektor*
Flammenionisationsdetektor (FID)

Detektortemperatur: 250°C

- *Trägergas*
Wasserstoff H₂
Flußrate: 3,3 ml/min
- *Detektorgase*
Synthetische Luft
Wasserstoff H₂
Stickstoff N₂

Temperaturprogramm

- Starttemperatur: 170°C
- Haltezeit: 2 Minuten
- Heizrate: 5°C/Minute
- Zieltemperatur: 220°C
- Haltezeit: 10 Minuten

Durchführung

Bei der GC-Analyse kam ein Probenvolumen von 1 µl zum Einsatz, das nach der Sandwich-Methode in die Injektionsspritze aufgenommen wurde. Dazu wurden zuerst 0,8 µl Heptan, 0,2 µl Luft, anschließend das Probenvolumen und wiederum Luft mit der Spritze aufgesogen. Diese Technik ermöglichte eine optimale Aufnahme der Probe auf die Säule wodurch etwaige ergebnisverfälschende Faktoren wie das vorzeitige Verdampfen der Probe oder etwa das Zurückbleiben von Probenmenge in der Injektionsnadel ausgeschaltet werden konnten. Beim Vorgang der Injektion wurde nach dem Durchstechen des Septums 2 Sekunden lang gewartet bevor die Probe injiziert wurde. Dies ermöglichte eine Erwärmung der Injektionsnadel auf die Injektortemperatur, erleichterte somit das Verdampfen der Fettsäuren mit höheren Verdampfungstemperaturen und wirkte der Diskriminierung schwerer verdampfbarer Fettsäuren entgegen.

6 ERGEBNISSE

6.1 Gehalt an Dotterlipiden

Die Steirischen Eier (ST) enthielten mit 220 mg/g Dotter bzw. 26,9% deutlich weniger Dotterlipide als alle anderen Eigruppen ($p < 0,05$).

Die anderen Eigruppen zeigten mit einem Lipidgehalt von ca. 30% nahezu idente Werte (Tab.6.1.1 und Abb.6.1.1).

Tab. 6.1.1: Lipide im Dotter in % und mg/g Dotter

Eigruppe	%	mg
ST	26,9 ± 2,2 ^a	220,2 ± 19,5 ^a
BIO	30,3 ± 1,3 ^b	251,5 ± 10,5 ^b
FL	30,1 ± 0,5 ^b	250,1 ± 4,5 ^b
BH	31,0 ± 0,3 ^b	257,4 ± 2,7 ^b
KH	31,1 ± 1,1 ^b	257,7 ± 8,8 ^b
SV	30,5 ± 0,6 ^b	253,2 ± 5,4 ^b

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich ($p < 0,05$)

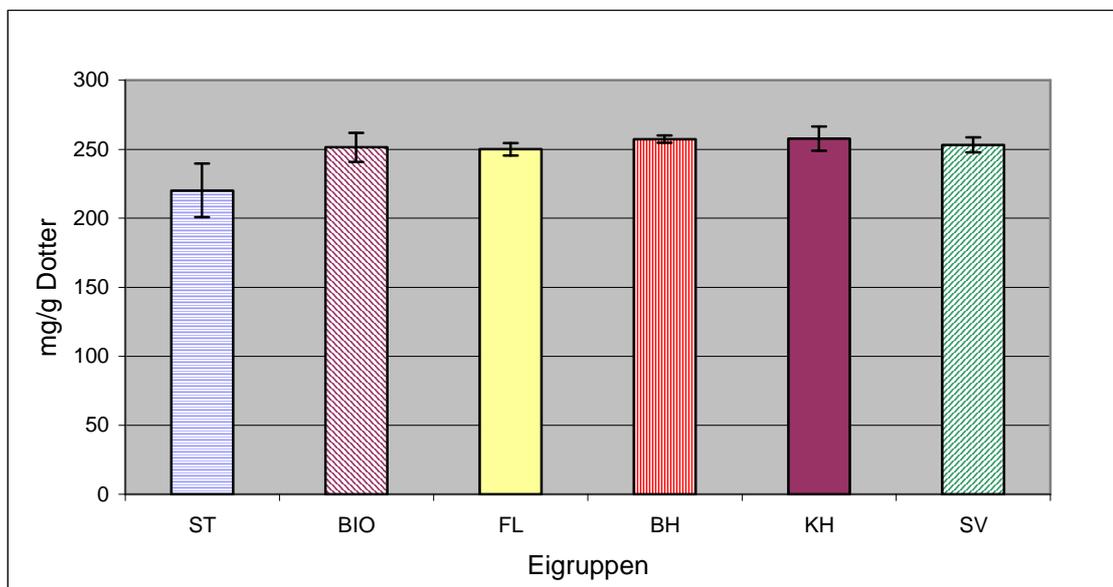


Abb. 6.1.1: Lipidgehalt in mg/g Dotter

6.2 Fettsäureverteilung von gesättigten, einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren

Bei einer überblicksmäßigen Betrachtung der Fettsäureverteilung zeigten sich MUFAs als die größte Fettsäuregruppe unter den Dotterlipiden. Mit bis zu 50% kamen sie in noch größeren Mengen vor als die gesättigten Fettsäuren (SAFAs), die zu etwa 30% vertreten sind. Den geringsten Anteil machten die mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) aus, die in Form von n-6 und n-3-Fettsäuren zu etwa 20% vorzufinden waren (Tab. 6.2.1)

Bei Vergleich der prozentuellen Anteile an SAFAs, MUFAs und PUFAs der einzelnen Eigruppen wiesen die BIO-Eier gegenüber den SV-Eiern deutlich weniger MUFAs auf ($p < 0,05$). Auch der Anteil an SAFAs war in den BIO-Eiern am geringsten ($p < 0,05$).

Dem gegenüber erwiesen sich die BIO-Eier jedoch als jene Eigruppe mit dem höchsten Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) ($p < 0,05$).

In mg/g Dotter gemessen waren es die ST-Eier, die mit 103,5 mg deutlich weniger MUFAs als die SV-Eier, und verglichen mit den KH-Eiern den geringsten SAFAs-Gehalt aufwiesen ($p < 0,05$). Hinsichtlich des Gehaltes an PUFAs zeigten wiederum die BIO-Eier mit 69 mg/g Dotter die höchsten Mengen auf, gegenüber ST-, FL- und SV-Eiern sogar fast doppelt so hohe ($p < 0,05$).

Auffallend war, dass ST-Eier und BIO-Eier zwar beinahe idente Mengen an SAFAs und MUFAs aufwiesen, die ST-Eier jedoch deutlich weniger PUFAs enthielten ($p < 0,05$) (Abb. 6.2.1). Der geringere Lipidgehalt der ST-Eier gegenüber allen andere Eisorten miteinbezogen (Kapitel 6.1) ließ darauf schließen, dass der niedrige Gesamtlipidgehalt der ST-Eier vorwiegend auf ihren niedrigen Gehalt an PUFAs zurückzuführen war.

Der geringere Lipidgehalt der ST-Eier musste generell bei der Interpretation der absoluten Mengen (mg/g Dotter) berücksichtigt werden. Aufgrund dessen konnte der Vergleich absoluter und relativer Mengen unterschiedliche Ergebnisse zeigen.

Tab. 6.2.1: SAFAs-, MUFAs- und PUFAs-Anteil in % an Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter

	%			mg		
	SAFAs	MUFAs	PUFAs	SAFAs	MUFAs	PUFAs
ST	35,6 ± 2,9 ^a	47,0 ± 3,8 ^{ab}	17,4 ± 3,1 ^b	78,0 ± 6,0 ^a	103,5 ± 13,2 ^a	38,6 ± 8,8 ^b
BIO	31,5 ± 0,3 ^b	41,1 ± 1,3 ^a	27,4 ± 1,3 ^a	79,2 ± 3,7 ^{ab}	103,3 ± 7,0 ^{ab}	69,0 ± 1,9 ^a
FL	33,3 ± 0,4 ^{ab}	47,4 ± 3,2 ^{ab}	19,4 ± 3,4 ^b	83,2 ± 1,6 ^{ab}	118,5 ± 9,5 ^{ab}	48,4 ± 7,8 ^b
BH	32,8 ± 1,0 ^{ab}	46,7 ± 3,5 ^{ab}	20,4 ± 4,0 ^{ab}	84,5 ± 3,2 ^{ab}	120,3 ±	52,5 ± 9,8 ^{ab}
KH	33,4 ± 0,9 ^{ab}	46,6 ± 3,7 ^{ab}	20,0 ± 3,8 ^b	86,1 ± 3,2 ^b	120,2 ±	51,4 ± 9,6 ^{ab}
SV	33,4 ± 0,9 ^{ab}	50,1 ± 3,0 ^b	16,5 ± 3,3 ^b	84,6 ± 3,2 ^{ab}	126,8 ± 5,8 ^b	41,8 ± 8,9 ^b

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich (p<0,05); SAFAs= gesättigte Fettsäuren, MUFAs= einfach ungesättigte Fettsäuren, PUFAs= mehrfach ungesättigte Fettsäuren

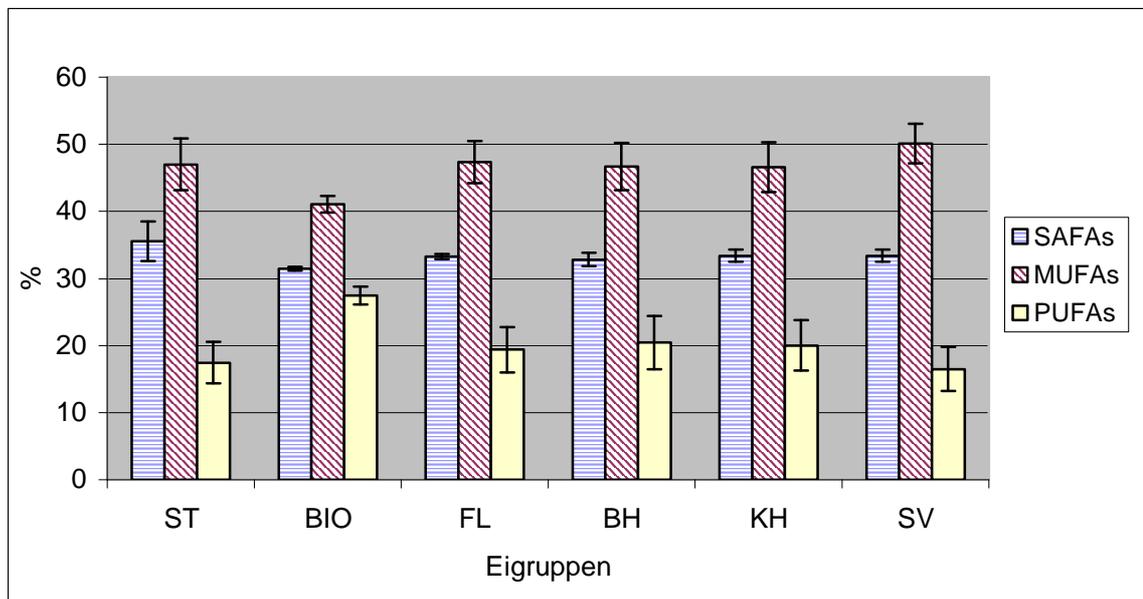


Abb. 6.2.1: SAFAs (gesättigte Fettsäuren), MUFAs (einfach ungesättigte Fettsäuren) und PUFAs (mehrfach ungesättigte Fettsäuren) in % der Gesamtfettsäuren

6.3 Gesättigte Fettsäuren

Die dominierende Fettsäure unter den SAFAs war die Palmitinsäure C16:0, die mit 23-26% rund ¼ der gesamten Fettsäuren im Dotter ausmachte.

Die Stearinsäure C18:0 als weitere gesättigte Fettsäure war zu 8-10% im Dotter vertreten. Die ST-Eier wiesen hierbei mit 9,5% die höchsten Mengen auf (p<0,05), was den höheren Gesamt-SAFAs-Gehalt der ST-Eier erklärte (Kapitel 6.2).

Die Myristinsäure C14:0 war mit weniger als 1% der Gesamtfettsäuren nur in sehr geringen Mengen enthalten, hinsichtlich des Gesamt-SAFA-Gehaltes kam dieser Fettsäure deshalb kaum Bedeutung zu.

Generell gilt, dass der Gehalt an SAFAs in den Eidottern kaum Fütterungseinflüssen unterworfen ist und relativ konstant gehalten wird. Dies bestätigten auch die Analyseergebnisse: Innerhalb der verschiedenen Eigruppen waren bei den Fettsäuren durchwegs nur geringfügige quantitative Unterschiede festzustellen.

Tab. 6.3.1: Gesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter

	%			mg		
	C14:0	C16:0	C18:0	C14:0	C16:0	C18:0
ST	0,4 ± 0,1 ^{ab}	25,7 ± 2,9	9,5 ± 0,7 ^a	0,8 ± 0,2 ^{ab}	56,3 ± 5,1 ^a	20,9 ± 2,5
BIO	0,2 ± 0,0 ^a	22,9 ± 0,5	8,3 ± 0,5 ^b	0,6 ± 0,0 ^a	57,7 ± 2,6 ^{ab}	20,9 ± 1,9
FL	0,4 ± 0,1 ^{ab}	24,7 ± 0,8	8,2 ± 0,7 ^b	0,9 ± 0,2 ^{ab}	61,9 ± 2,5 ^{ab}	20,4 ± 1,7
BH	0,4 ± 0,1 ^{ab}	24,6 ± 0,9	7,9 ± 0,4 ^b	0,9 ± 0,2 ^{ab}	63,3 ± 2,7 ^{ab}	20,3 ± 1,0
KH	0,4 ± 0,2 ^{ab}	24,8 ± 0,7	8,2 ± 0,4 ^b	1,1 ± 0,4 ^{ab}	63,9 ± 2,8 ^b	21,1 ± 0,7
SV	0,5 ± 0,1 ^b	24,6 ± 1,4	8,3 ± 0,7 ^{ab}	1,3 ± 0,2 ^b	62,2 ± 4,2 ^{ab}	21,1 ± 1,6

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich (p<0,05)

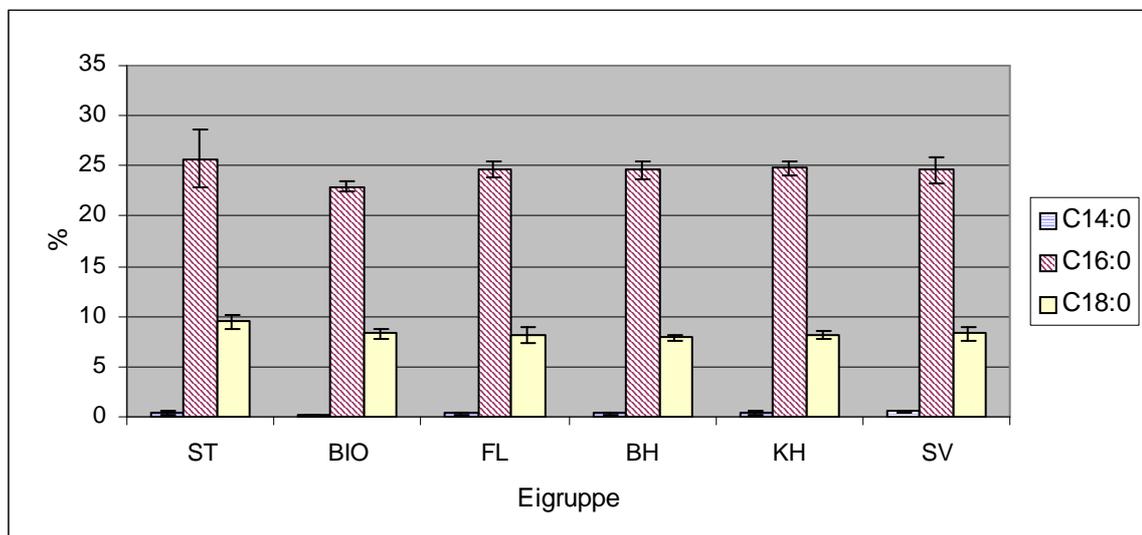


Abb. 6.3.1: Gesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren

6.4 Einfach ungesättigte Fettsäuren

Ähnlich den gesättigten Fettsäuren (Kapitel 6.3) waren die einfach ungesättigten Fettsäuren (MUFAs) ebenfalls vorwiegend durch eine Fettsäure repräsentiert. Von den rund 50% im Dotter enthaltenen MUFAs (Kapitel 6.2) lagen 80% als Ölsäure vor. Gemeinsam mit der Palmitinsäure als SAFA zählte die Ölsäure somit zu den im Eidotter am stärksten vertretenen Fettsäuren. Der Ölsäuregehalt im Eidotter konnte durch C18:1n-9-reiches Futter wie etwa ölsäurereichen Rapssamen moduliert werden. In den untersuchten Eisorten lag die Ölsäure jedoch in gleichen Mengen vor, sodass bei keiner Eigruppe auf eine erhöhte Versorgung mit Ölsäure über das Futter zu schließen war.

Die MUFAs C16:1n-7 und C18:1n-7 waren mit 2-4% im Vergleich zur Ölsäure nur in geringen Mengen enthalten und wirkten sich so insgesamt nicht nennenswert auf den Gesamtgehalt der MUFAs aus.

Tab. 6.4.1: Einfach ungesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter

	%			mg		
	C16:1n7	C18:1n9	C18:1n7	C16:1n7	C18:1n9	C18:1n7
ST	3,0 ± 1,7	41,2 ± 4,3	1,9 ± 0,4	6,5 ± 3,2 ^{ab}	91,0 ± 13,7	4,2 ± 0,9 ^b
BIO	1,7 ± 0,1	37,0 ± 1,3	1,4 ± 0,1	4,4 ± 0,3 ^a	93,1 ± 6,8	3,6 ± 0,2 ^b
FL	2,7 ± 0,6	41,9 ± 2,6	1,9 ± 0,3	6,7 ± 1,5 ^{ab}	104,9 ± 7,9	4,8 ± 0,7 ^{ab}
BH	2,4 ± 0,4	41,5 ± 3,0	1,9 ± 0,2	6,3 ± 1,1 ^{ab}	106,8 ± 8,7	4,8 ± 0,5 ^{ab}
KH	2,7 ± 0,7	41,0 ± 2,8	2,0 ± 0,4	7,1 ± 1,8 ^{ab}	105,7 ± 8,7	5,1 ± 1,1 ^{ab}
SV	4,1 ± 1,4	42,2 ± 1,8	2,8 ± 0,8	10,4 ± 3,4 ^b	106,9 ± 3,4	6,9 ± 1,8 ^a

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich (p<0,05)

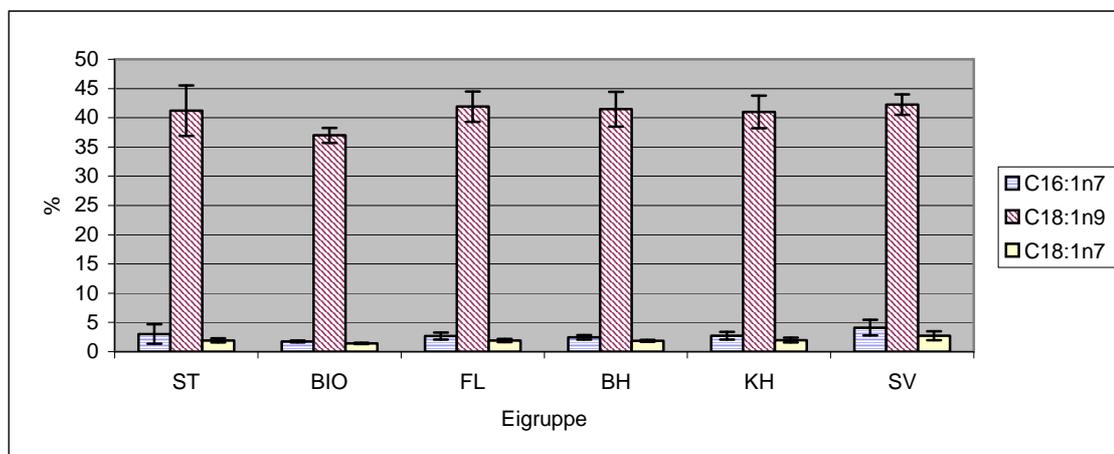


Abb. 6.4.1: Einfach ungesättigte Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren

6.5 Mehrfach ungesättigte Fettsäuren

Die mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) waren zu durchschnittlich 20% in den Dotterlipiden enthalten (Kapitel 6.2). Sie ließen sich in n-6- und n-3-Fettsäuren unterteilen, wobei die n-3-Fettsäuren mit etwa 2,5 % vergleichsweise nur einen Bruchteil der n-6-Fettsäuren ausmachten.

Die größten Mengen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFAs) unter den untersuchten Eigruppen waren mit rund 28% in den BIO-Eiern enthalten ($p < 0,05$). Auffallend war dabei, dass diese erhöhte Menge im Vergleich zu ST- und SV-Eiern vorwiegend aus einem deutlich erhöhten Anteil von n-6-Fettsäuren hervorging ($p < 0,05$).

Während die n-6-Fettsäuren in hohen Mengen in den BIO-Eiern vorzufinden waren, waren bezüglich des Gehaltes an n-3-Fettsäuren unter den verschiedenen Eigruppen keine quantitativen Unterschiede festzustellen.

Tab. 6.5.1: PUFAs, Omega-6 und Omega-3-Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter

	%			mg		
	PUFAs	n-6	n-3	PUFAs	n-6	n-3
ST	17,4 ± 3,1 ^b	15,0 ± 3,6 ^b	2,5 ± 0,7	38,6 ± 8,8 ^b	33,3 ± 9,7 ^b	5,3 ± 1,3
BIO	27,5 ± 1,3 ^a	25,5 ± 1,1 ^a	2,0 ± 0,8	69,0 ± 1,9 ^a	64,0 ± 2,1 ^a	5,0 ± 2,0
FL	19,4 ± 3,4 ^b	18,1 ± 3,1 ^{ab}	1,3 ± 0,3	48,4 ± 7,8 ^b	45,3 ± 7,1 ^{ab}	3,1 ± 0,8
BH	20,4 ± 4,0 ^{ab}	19,1 ± 3,5 ^{ab}	1,4 ± 0,5	52,5 ± 9,8 ^{ab}	49,0 ± 8,6 ^{ab}	3,6 ± 1,3
KH	20,0 ± 3,8 ^b	18,6 ± 3,8 ^{ab}	1,4 ± 0,4	51,4 ± 9,6 ^{ab}	47,8 ± 9,5 ^{ab}	3,6 ± 1,0
SV	16,5 ± 3,3 ^b	14,2 ± 3,4 ^b	2,3 ± 1,0	41,8 ± 8,9 ^b	36,1 ± 9,1 ^b	5,8 ± 2,7

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich ($p < 0,05$); PUFAs = mehrfach ungesättigte Fettsäuren

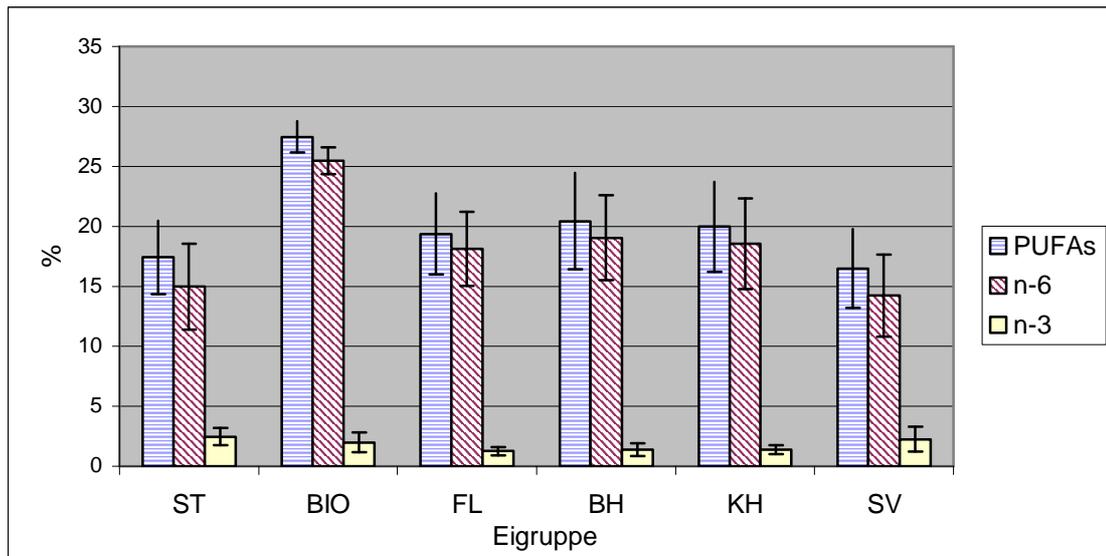


Abb. 6.5.1: Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFAs), Omega-3 und Omega-6-Fettsäuren in % der Gesamtfettsäuren

6.5.1 Omega-6-Fettsäuren

Die Omega-6-Fettsäuren zählen zu den mehrfach ungesättigten Fettsäuren, wobei unter den analysierten Fettsäuren die Linolsäure (LA) und die Arachidonsäure (AA) als wichtigste Vertreter zu nennen sind.

Die Linolsäure, die reichlich in Mais enthalten ist, war mit rund 12-22% mengenmäßig am stärksten unter den Dotter-n-6-Fettsäuren vertreten. Das Elongations- und Desaturationsprodukt der LA, die Arachidonsäure, lag hingegen mit Anteilen von etwa 2% dagegen in weitaus geringeren Mengen vor. Hinsichtlich des n-6-Fettsäuregehaltes der verschiedenen Eigruppen wiesen die BIO-Eier die höchsten Mengen auf. Der hohe Anteil von 25,5% war vor allem auf den besonders hohen Gehalt an LA zurückzuführen ($p < 0,05$). Dieser war mit 22,5% verglichen mit den SV- und ST-Eiern sogar in fast doppelt so hoher Menge enthalten. Die Arachidonsäure hingegen zeigte durchwegs ähnliche Werte. Hier waren keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Eigruppen gegeben.

Tab. 6.5.2: Omega-6-Fettsäuren, LA und AA in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter

	%			mg		
	n-6	LA	AA	n-6	LA	AA
ST	15,0 ± 3,6 ^b	12,4 ± 3,2 ^b	2,1 ± 0,4	27,4 ± 8,4 ^b	27,4 ± 8,4 ^b	4,6 ± 1,2
BIO	25,5 ± 1,1 ^a	22,5 ± 1,2 ^a	2,2 ± 0,1	56,6 ± 1,9 ^a	56,6 ± 1,9 ^a	5,6 ± 0,5
FL	18,1 ± 3,1 ^{ab}	15,2 ± 2,8 ^b	2,4 ± 0,4	37,8 ± 6,5 ^{ab}	37,8 ± 6,5 ^b	5,9 ± 1,0
BH	19,1 ± 3,5 ^{ab}	16,4 ± 3,4 ^{ab}	2,1 ± 0,1	42,1 ± 8,4 ^{ab}	42,1 ± 8,4 ^{ab}	5,4 ± 0,3
KH	18,6 ± 3,8 ^{ab}	16,0 ± 3,6 ^{ab}	2,0 ± 0,2	41,2 ± 9,0 ^{ab}	41,2 ± 9,0 ^{ab}	5,2 ± 0,6
SV	14,2 ± 3,4 ^b	11,8 ± 3,2 ^b	1,9 ± 0,2	30,0 ± 8,3 ^b	30,0 ± 8,3 ^b	4,8 ± 0,6

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich (p<0,05); LA = Linolsäure, AA = Arachidonsäure

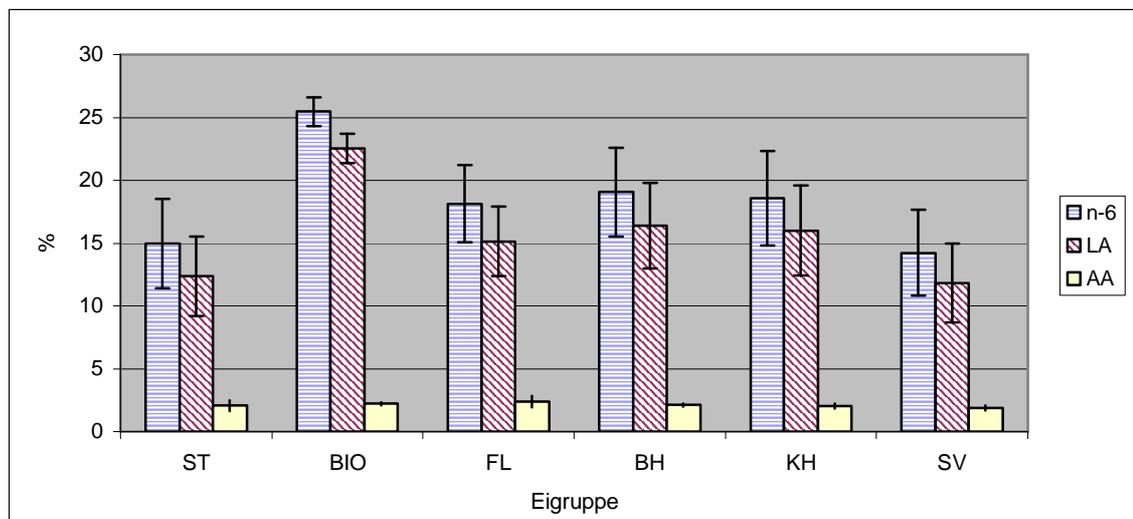


Abb. 6.5.2: Omega-6-Fettsäuren, Linolsäure (LA) und Arachidonsäure (AA) in % der Gesamtfettsäuren

6.5.2 Omega-3-Fettsäuren

Mit rund 2% stellten die n-3-Fettsäuren die Fettsäuregruppe mit den geringsten prozentuellen Anteilen an den Dotterlipiden dar.

Innerhalb der n-3-Fettsäuren war die DHA mit über 50% anteilmäßig am stärksten vertreten (Tab. 6.5.4), gefolgt von ihrer Vorstufe der LNA (über 30%) und den Zwischenprodukten DPA und EPA.

Vergleich man die n-3-Gesamt-Fettsäuregehalte, so ließen sich zwischen den verschiedenen Eigruppen keine Unterschiede feststellen. Auffallend war jedoch die hohe Streuung der Werte bei den SV-, BIO- und ST-Eiern. Insbesondere innerhalb der Gruppe der SV- und der ST-Eier (Tab. 6.6.1 und Tab.6.7.1) waren Eier enthalten, die einen Gehalt von 3% überschritten. Einzelne Eier der

Gruppe der SV-Eier zeigten sogar beinahe 9 mg/g Dotter, was dem Gehalt eines durch n-3-Fettsäuren angereicherten Eies entsprechen kann. Gegenüber Eiern aus FL-, BH- oder KH-Haltung wiesen diese Eier sogar einen teils doppelt so hohen Gehalt an n-3-Fettsäuren auf.

Betrachtete man die einzelnen n-3-Fettsäuren, so lag in den ST-Eiern die DHA als Endprodukt der Elongation und Desaturation aus LNA in den größten Mengen vor ($p < 0,05$). Auch die DPA war in den ST-Eiern in höheren Mengen enthalten ($p < 0,05$). Allerdings war die DPA gemessen an den anderen Fettsäuren nur zu einem Bruchteil zu finden. Gleiches galt für EPA. Als Zwischenprodukt der n-3-Fettsäureelongation und -desaturierung konnte diese Fettsäure lediglich in den ST-Eiern und SV-Eiern detektiert werden. Abgesehen von der Bildung aus der Fettsäurekonvertierung kommt EPA auch in niedrigen Pflanzen wie in Flechten und Moosen vor, sodass im Zuge einer Freilandhaltung EPA über die Nahrung aufgenommen werden kann und in die Dotterlipide inkorporiert wird.

Beim Gehalt an LNA waren zwischen den Eigruppen keine Unterschiede festzustellen. Da LNA nicht vom Huhn synthetisiert, sondern lediglich aus der Nahrung aufgenommen werden kann, ist bei allen Hühnergruppen eine ähnliche Versorgung an LNA über das Futter anzunehmen.

Festzuhalten ist, dass die n-3-Fettsäuregehalte der untersuchten Eigruppen die Werte aus der Literatur (SIMOPOULOS, 2002) durchwegs übertrafen (vgl. Tab. 2.2.3). So waren beispielsweise beim Gehalt an LNA und DHA deutlich höhere Werte festzustellen.

Tab. 6.5.3: LNA, DPA und DHA in % der Gesamtfettsäuren und mg/g Dotter

	%				mg			
	LNA	EPA	DPA	DHA	LNA	EPA	DPA	DHA
ST	0,9 ± 0,4	0,05 ± 0,1	0,2 ± 0,1 ^a	1,3 ± 0,3 ^a	1,8 ± 0,7	0,11 ±	0,5 ± 0,2	2,9 ± 0,7
BIO	0,9 ± 0,4	n.d.	0,1 ± 0,1 ^b	1,0 ± 0,4 ^{ab}	2,2 ± 0,9	n.d.	0,2 ± 0,2	2,6 ± 0,9
FL	0,5 ± 0,1	n.d.	n.d.	0,8 ± 0,2 ^b	1,1 ± 0,3	n.d.	0,0 ± 0,1	2,0 ± 0,5
BH	0,5 ± 0,2	n.d.	n.d.	0,8 ± 0,2 ^b	1,4 ± 0,6	n.d.	0,1 ± 0,2	2,0 ± 0,6
KH	0,6 ± 0,1	n.d.	0,1 ± 0,1 ^b	0,8 ± 0,2 ^b	1,5 ± 0,4	n.d.	0,2 ± 0,2	2,0 ± 0,5
SV	0,7 ± 0,5	0,05 ± 0,1	0,2 ± 0,1 ^{ab}	1,3 ± 0,4 ^{ab}	1,9 ± 1,2	0,11 ± 0,18	0,6 ± 0,3	3,2 ± 1,0

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich ($p < 0,05$); LNA = α -Linolensäure, EPA =

Eicosapentaensäure, DPA = Docosapentaensäure, DHA = Docosahexaensäure; n.d.: nicht detektiert

6.5.4: Einzelne Omega-3-Fettsäuren in % der gesamt Omega-3-Fettsäuren

	LNA	EPA	DPA	DHA
ST	34,4	2,0	9,2	54,4
BIO	44,2	n.d.	4,1	51,7
FL	36,2	n.d.	1,2	62,6
BH	39,4	n.d.	3,3	57,4
KH	40,3	n.d.	5,2	54,6
SV	32,8	2,0	9,6	55,7

n.d.: nicht detektiert; LNA = α -Linolensäure, EPA= Eicosapentaensäure, DPA= Docosapentaensäure, DHA= Docosahexaensäure

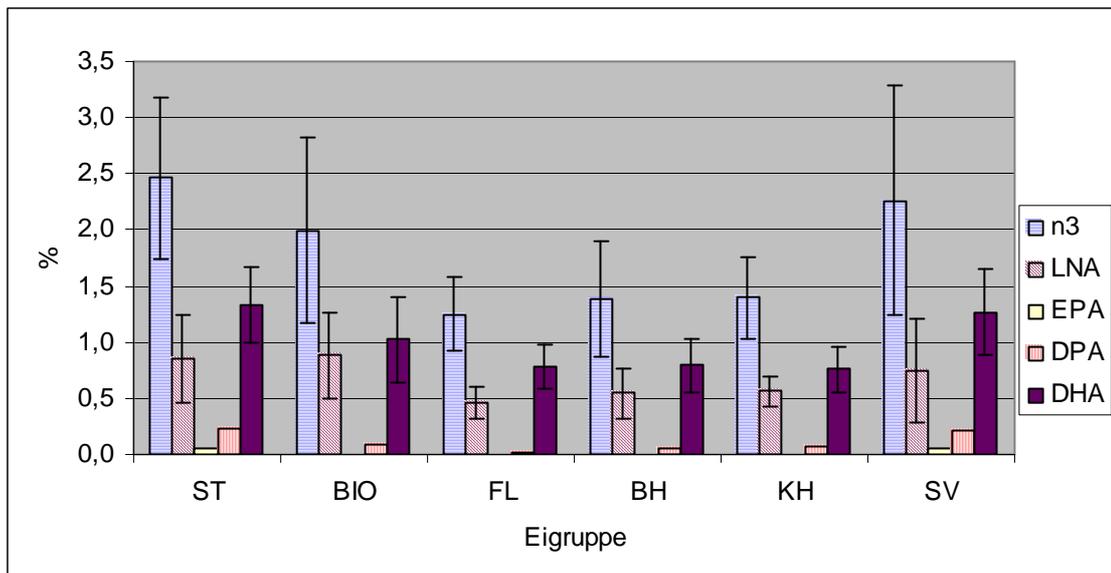


Abb. 6.5.3: Omega-3-Fettsäuren LNA (α -Linolensäure), EPA (Eicosapentaensäure), DPA (Docosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure) in % der Gesamtfettsäuren

6.6 Fettsäurevergleich der ST-Eier

Bei der Gruppe der ST-Eier handelte es sich um eine Gruppe, die durch unterschiedliche Hühnerrassen und Fütterungsarten gekennzeichnet war (Kapitel 6.1.). Da nur begrenztes Probenmaterial der einzelnen Eisorten verfügbar war, sind die Ergebnisse als Mittelwerte aus zwei Proben je Sorte angeführt.

Bei der Betrachtung des Fettsäureprofils fällt auf, dass insbesondere die Sorten A1, A2, E1 und E2 deutlich höhere Mengen an n-6-Fettsäuren aufwiesen. Bei den Sorten A1 und A2 könnte dies durch das pflanzliche Öl bedingt sein, das neben handelsüblichem Futter zusätzlich verabreicht wurde.

Die Sorten B1 und B2 wurden lediglich mit Maiskörnern gefüttert, was auf einen hohen LA- bzw. n-6-Fettsäuregehalt schließen lassen sollte. Die Analyseergebnisse bestätigten diese Annahme jedoch nicht: Mit rund 13% n-6-Fettsäuren wiesen sie nur die halbe Menge im Vergleich zu den Sorten A1 und A2 auf.

Die Eisorten A1 und A2 hingegen zeigten einen sehr geringen n-3-Fettsäuregehalt. Mit einem Anteil von 1,2% wiesen diese Eier die niedrigsten Werte auf und wurden von allen anderen Eisorten dieser Gruppe um das 2-3 fache übertroffen.

Bei den Eiern C1 und C2 handelte es sich um Eier aus ökologischer Landwirtschaft, denen neben Bio-Alleinlegefutter zusätzlich Bio-Weizen verfüttert wurde. Auf zusätzlichen Mais wurde dabei verzichtet. Mit rund 4,8 mg/g Dotter bzw. 2,3 % bewegten sich diese Eisorten hinsichtlich ihres n-3-Fettsäuregehalts im Mittelfeld der ST-Eier und verzeichneten mit dieser Art der Fütterung damit keine außergewöhnlich hohen Mengen.

Die Eisorten D1, D2 und D3 wurden ebenfalls unter gesteigerter Weizenzufuhr gefüttert. Bei einer Futterzusammensetzung von 80% Weizen und 20% Mais hatten diese drei Eisorten mit ca. 13-16% den geringsten PUFA-Anteil vorzuweisen.

Die höchsten Mengen an PUFAs hingegen zeigten die Eisorten A1, A2, E1 und E2, die durch den bereits oben erwähnten besonders hohen n-6-Fettsäuregehalt bedingt waren

Während die Sorten D1 und D2 bei der Weizen-Mais-Fütterung von 80:20 mit bis zu 53% besonders hohe Mengen an MUFAs aufwiesen, war dieser bei der Eisorte D3 trotz gleicher Fütterung allerdings am geringsten. Diesem geringen MUFAs-Gehalt stand ein hoher n-3-Fettsäuregehalt gegenüber: Mit 7,4 mg/g Dotter bzw. 3,8% zeigten die D3-Eier die höchsten Mengen unter allen ST-Eiern und übertrafen mit ihrem n-3-Fettsäuregehalt bei weitem auch alle Eier aus konventioneller Haltung (FL, BH-, KH-, BIO-Eier).

Die B1 und E2-Eier wiesen ähnlich hohe n-3-Mengen auf, interessant war jedoch, dass die hohen n-3 Mengen bei den B1- und E2-Eiern hohen DHA-Mengen zu Grunde lagen, bei den D3-Eiern hingegen dies auf einen besonders

hohen LNA-Gehalt zurückzuführen war. Letzteres ließe sich durch die weizenbetontere- und dadurch LNA-reichere Fütterung erklären. Bemerkenswert ist zudem, dass einzig bei den D3-Eiern innerhalb des n-3-Fettsäureprofils LNA in größeren Mengen vorhanden ist als DHA. Dies zeugt davon, dass den D3-Hühnern LNA ausreichend aus der Nahrung für die Konvertierung zu DHA zur Verfügung stand. Die Eisorte D3 stach auch hinsichtlich ihres EPA-Gehaltes hervor. Wie in Abb.6.6.1 ersichtlich, übertraf diese Eisorte mit 0,5 mg EPA pro Gramm Dotter deutlich alle anderen Eier dieser Gruppe. Das Huhn der D3-Eier schien durch Aufnahme von EPA-haltigen Moosen und Flechten besonders vom Freilauf profitiert zu haben, was sich in einem höheren EPA-Gehalt niederschlug.

Tab. 6.6.1: Omega-3-, Omega-6- SAFAs, MUFAs, PUFAs und Gesamtlipidgehalt in mg/g Dotter Gesamtfettsäuren der Eigruppe ST

	%											
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	D3	E1	E2	
SAFAs	33,2	35,4	35,5	34,7	34,0	35,0	33,5	35,9	43,2	32,7	38,3	
MUFAs	45,7	41,1	47,9	49,5	50,9	48,6	53,4	48,1	41,2	46,9	43,5	
C18:2n-6	16,8	18,4	10,7	21,6	10,4	11,5	18,3	11,4	9,9	15,2	13,0	
C20:4-n-6	2,4	2,6	2,3	3,8	2,0	1,6	5,0	1,7	1,4	2,7	1,8	
∑n-6	19,9	21,8	13,6	13,2	12,8	13,5	10,6	13,6	11,8	18,7	15,3	
C18:3n-3	0,4	0,6	0,9	0,8	0,7	1,1	0,5	0,9	1,8	0,6	1,1	
C20:5n-3	n.d.	n.d.	0,1	0,1	n.d.	0,04	n.d.	0,03	0,3	n.d.	0,1	
C22:5n-3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	
C22:6n-3	0,7	0,9	1,8	1,6	1,3	1,4	1,7	1,4	1,5	1,0	1,4	
∑n-3	1,2	1,7	3,1	2,6	2,3	2,8	2,5	2,4	3,8	1,8	2,9	
PUFAs	21,1	23,4	16,6	15,9	15,2	16,3	13,1	16,0	15,6	20,4	18,3	
∑FS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

n.d.: nicht detektiert; SAFAs = gesättigte Fettsäuren, MUFAs = einfach ungesättigte Fettsäuren, PUFAs = mehrfach ungesättigte Fettsäuren

Tab. 6.6.2: Omega-3-, Omega-6- SAFAs, MUFAs, PUFAs und Gesamtlipidgehalt in mg/g Dotter Gesamtfettsäuren der Eigruppe ST

	mg										
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	D3	E1	E2
SAFAs	79,6	78,5	77,9	69,3	71,0	69,1	79,4	83,7	81,4	81,2	87,5
MUFAs	109,5	91,1	105,1	98,7	106,2	95,8	126,4	112,1	77,7	116,6	99,5
C18:2n-6	40,6	41,1	23,4	21,6	21,6	22,7	18,7	26,6	18,7	37,7	29,8
C20:4-n-	5,8	5,9	5,1	3,8	4,2	3,2	5,2	3,9	2,7	6,8	4,0
Σn-6	47,7	48,4	29,8	26,4	26,8	26,7	25,1	31,6	22,3	46,4	35,1
C18:3n-3	1,0	1,3	2,0	1,6	1,4	2,2	1,3	2,0	3,4	1,4	2,6
C20:5n-3	n.d.	n.d.	0,2	0,1	n.d.	0,1	n.d.	0,1	0,5	n.d.	0,2
C22:5n-3	0,2	0,3	0,7	0,4	0,7	0,5	0,7	0,3	0,5	0,6	0,6
C22:6n-3	1,7	2,0	3,9	3,2	2,8	2,7	4,0	3,3	2,8	2,4	3,3
Σn-3	2,9	3,7	6,7	5,3	4,8	5,6	5,9	5,7	7,1	4,4	6,7
PUFAs	50,6	51,9	36,5	31,6	31,7	32,2	30,9	37,3	29,4	50,8	41,8
ΣFS	239,6	221,6	219,6	199,6	208,9	197,1	236,7	233,1	188,5	248,6	228,8

n.d.: nicht detektiert; SAFAs = gesättigte Fettsäuren, MUFAs = einfach ungesättigte Fettsäuren, PUFAs = mehrfach ungesättigte Fettsäuren

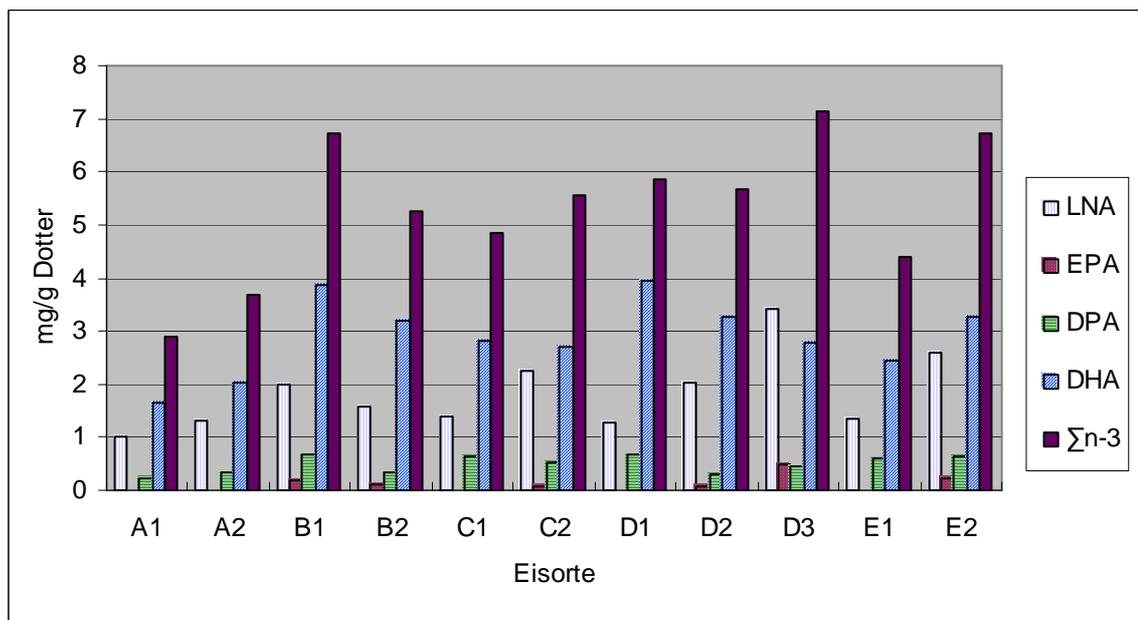


Abb. 6.6.1: Omega-3-Fettsäuren LNA (α -Linolensäure), EPA (Eicosapentaensäure), DPA (Docosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure) der ST-Eier in mg/g Dotter

6.7 Fettsäurevergleich in Eiern aus privaten landwirtschaftlichen Betrieben (SV)

Wie bei den ST-Eiern im vorangegangenen Kapitel handelte es sich aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit an Probenmaterial bei den angeführten Ergebnissen ebenfalls um Mittelwerte aus einer Doppelbestimmung je Sorte.

Die Analyse des Fettsäureprofils zeigte bei allen Eisorten ähnliche Werte an SAFAs, bei MUFAs und PUFAs waren jedoch abhängig von der Fütterung unterschiedliche Ergebnisse festzustellen.

Das Huhn der Eisorte SV37 etwa wurde ausschließlich mit Hafer gefüttert. Diese Eier zeigten mit rund 19% gesteigerte Mengen an n-6-Fettsäuren, was auf eine hohe Zufuhr von LA aus dem Hafer zurückzuführen war. Dieser hohe n-6-Fettsäuregehalt resultierte auch in einem hohen PUFA-Gehalt, der mit 21% die anderen Eisorten um etwa 1/3 übertraf.

Die geringsten n-6-Fettsäuremengen wiesen die SV35-Eier auf, dies allerdings bei höchsten n-3-Fettsäuremengen. Das SV35-Huhn erhielt neben Essensresten ausschließlich Weizen als Futter verabreicht. Mit 3,7% bzw. 9,5 mg/g Dotter wies das SV35-Ei mit Abstand die höchsten n-3-Fettsäuremengen unter allen analysierten Eiern auf und übertraf die anderen Eisorten teils sogar um das Doppelte bis Dreifache. Der hohe n-3-Fettsäuregehalt ergab sich vor allem durch den sehr hohen Gehalt an LNA. Dies kann auf die Fütterung mit Weizen und Essensresten zurückzuführen sein, die eine höhere Zufuhr an LNA geboten haben könnten.

Aufgrund des Weizens als LNA Lieferant waren auch die Konvertierungsprodukte aus LNA, die DPA und DHA mit 1 mg bzw. 1,7 mg/g Dotter im Vergleich zu den anderen Sorten ebenfalls in weitaus höheren Anteilen vertreten.

Auffallend war auch der geringere Gehalt an LA aufgrund des Verzichts von Mais als Futtermittel.

Tab. 6.7.1: Omega-3, Omega-6, SAFAs, MUFAs, PUFAs und Gesamtlipidgehalt in mg/g Dotter und % der Gesamtfettsäuren der Eigruppe SV

	%				mg			
	SV34	SV35	SV36	SV37	SV34	SV35	SV36	SV37
SAFAs	33,0	34,7	33,2	32,8	84,1	89,0	81,4	84,0
MUFAs	50,6	50,5	53,2	46,1	129,1	129,5	130,4	118,0
C18:2n-6	12,4	8,8	10,1	16,0	31,5	22,6	24,8	41,0
C20:4-n-6	1,9	1,8	1,7	2,2	4,7	4,7	4,2	5,6
∑ n-6	14,9	11,1	12,3	18,9	37,4	28,5	30,0	48,4
C18:3n-3	0,5	1,4	0,4	0,6	1,3	3,7	1,0	1,6
C20:5n-3	n.d.	0,2	n.d.	0,03	n.d.	0,4	n.d.	0,1
C22:5n-3	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	1,0	0,3	0,5
C22:6n-3	1,1	1,7	0,9	1,4	2,7	4,5	2,1	3,6
∑ n-3	1,7	3,7	1,4	2,2	4,4	9,5	3,4	5,7
PUFAs	16,4	14,8	13,6	21,1	41,8	38,0	33,5	54,1
∑FS	100	100	100	100	255,0	256,5	245,2	256,2

n.d.: nicht detektiert; SAFAs = gesättigte Fettsäuren, MUFAs = einfach ungesättigte Fettsäuren, PUFAs = mehrfach ungesättigte Fettsäuren

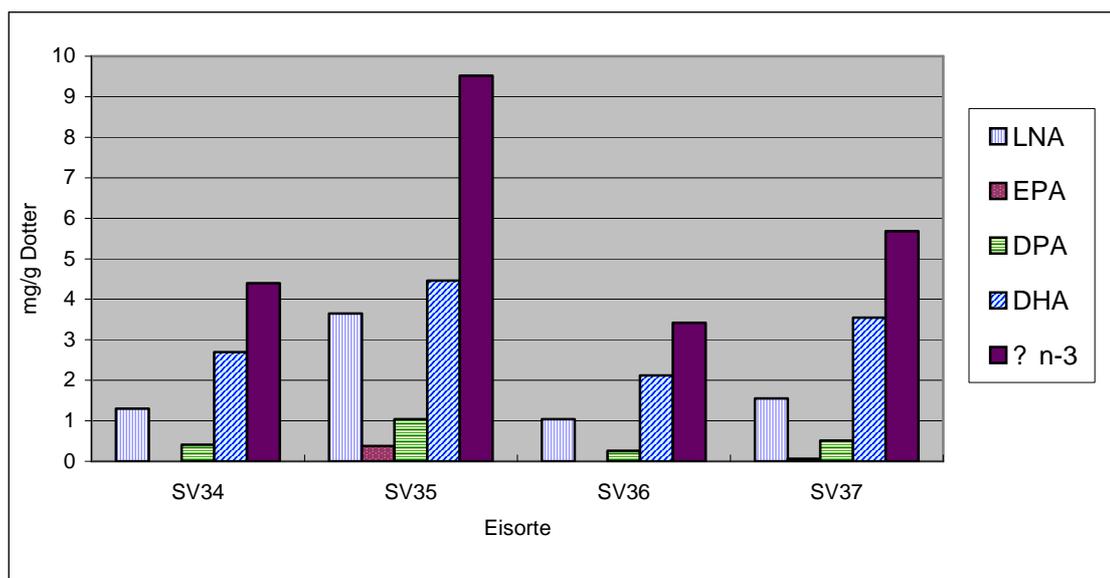


Abb. 6.7.1: Omega-3-Fettsäuren LNA (α -Linolensäure), EPA (Eicosapentaensäure), DPA (Docosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure) der SV-Eier in mg/g Dotter

6.8 Der Omega-6/Omega-3-Quotient

Der Vergleich der analysierten Eigruppen zeigte, dass BIO-, FL-, BH- und KH-Eier mit einem Zahlenwert von rund 14 einen doppelt so hohen Quotienten wie ST- und SV-Eier aufwiesen. Signifikanz gegenüber BIO-FL-, BH- und KH-Eiern

zeigen jedoch nur die ST-Eier ($p < 0,05$). Gemessen am Anteil an PUFAs bedeutet dies, dass die ST-Eier gegenüber den genannten Eigruppen verhältnismäßig mehr n-3-Fettsäuren enthielten. Wie in Kapitel 6.6 festgestellt, weisen beispielsweise die BIO-Eier zwar deutlich höhere n-6-Fettsäuremengen bzw. PUFAs als die SV- oder ST-Eier auf, verbunden mit nahezu gleichen Mengen an n-3-Fettsäuren in den ST- und SV-Eiern resultiert dies jedoch insgesamt in einem niedrigeren n-6/n-3-Quotient der SV- und ST-Eier, der als physiologisch besser zu beurteilen ist.

Tab. 6.8.1: Omega-6/Omega-3-Quotient

	n-6/n-3
ST	$7,1 \pm 4,3^a$
BIO	$14,6 \pm 5,7^b$
FL	$14,8 \pm 2,0^b$
BH	$14,6 \pm 2,9^b$
KH	$14,4 \pm 6,4^b$
SV	$7,2 \pm 2,8^{ab}$

a,b,...Werte in einer Spalte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich ($p < 0,05$)

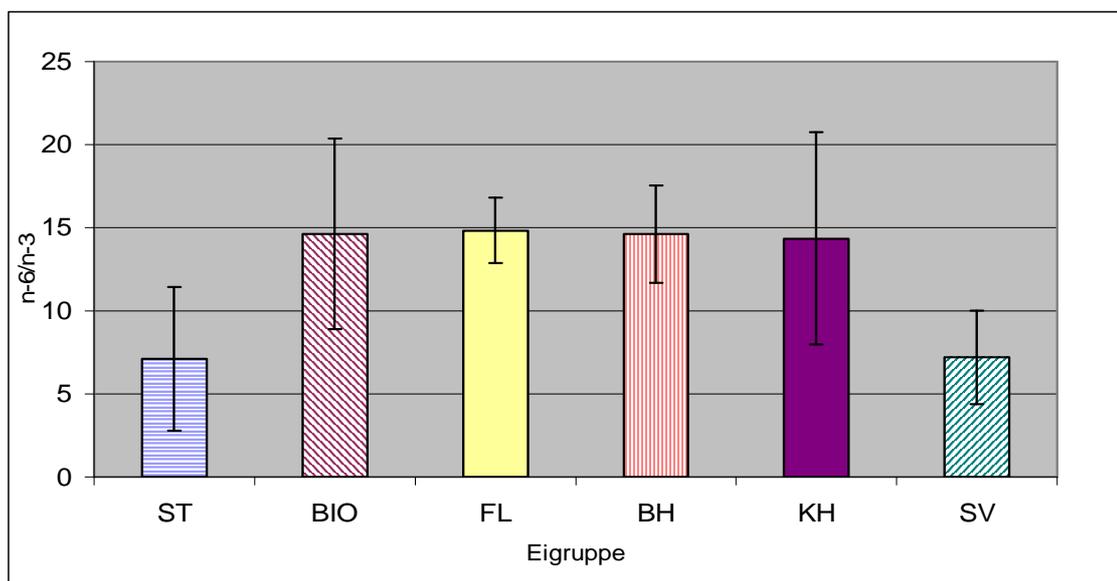


Abb. 6.8.1: Omega-6/Omega-3-Quotient

7 DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE

7.1 Lipidgehalt im Eidotter

Ein Vergleich der Gesamtlipide zeigte die ST-Eier als jene Eigruppe mit dem geringsten Lipidgehalt im Dotter ($p < 0,05$).

Der Lipidgehalt im Eidotter kann durch Rasse, Fütterung und Alter beeinflusst werden (CHERIAN et al. 1995, COBOS et al. 1995). Vor allem Alter und Rasse bedingen Unterschiede in Lipidmetabolismus und Lipogenese, die maßgeblich für den Lipidgehalt sind (CHERIAN et al., 1995).

Die Tatsache, dass es sich bei den untersuchten ST-Eiern vorwiegend um verschiedene Rassen abseits der gängigen Hochleistungslegehennen handelte, kann deshalb Erklärung für den geringeren Dotterlipidgehalt sein.

7.2 Gesättigte Fettsäuren

Die Analyse der gesättigten Fettsäuren (SAFAs) zeigte, dass die BIO-Eier im Vergleich zu den ST-Eiern einen geringeren Gehalt aufweisen ($p < 0,05$).

Studien lassen vermuten, dass ein geringer Gehalt an SAFAs durch eine Hemmung der Lipogenese auf Grund einer höheren Aufnahme an mehrfach ungesättigten Fettsäuren bedingt sein kann (AYERZA et al., 2000). Dies bestätigte auch der höhere PUFA-Gehalt der BIO-Eier ($p < 0,05$).

Hinsichtlich der Verteilung der einzelnen gesättigten Fettsäuren war die Stearinsäure in den ST-Eiern in höheren Anteilen enthalten ($p < 0,05$). Bei der Palmitinsäure als mengenmäßig bedeutendste Fettsäure waren innerhalb der verschiedenen Eigruppen hingegen keine Unterschiede festzustellen. Diese ähnlich hohen Mengen gingen mit der gängigen Ansicht konform, dass der Gehalt an SAFAs im Eidotter relativ konstant gehalten wird und gegen fütterungsbedingte Veränderungen im Dotterfettsäuremuster relativ resistent ist.

(BAUCELLS et al., 2000, CHERIAN et. al, 1995, CHERIAN und SIM, 1991; HERBER und VAN ELSWYK, 1996, HARGIS et al. 1991).

7.3 Einfach ungesättigte Fettsäuren

Verglichen mit den SV-Eiern waren in den BIO-Eiern weniger einfach ungesättigte Fettsäuren enthalten ($p < 0,05$). Dieser Unterschied entstand vor allem aus der Kombination der geringeren Mengen der Fettsäuren C18:1n-9 und C16:1n-7 in den BIO-Eiern.

Studien haben gezeigt, dass eine vermehrte Zufuhr von einfach ungesättigten Fettsäuren über das Nahrungsfett den Gehalt in den Dotterlipiden beeinflussen kann (WATKINS und ELKIN, 1992). Diese Änderungen sind allerdings nicht enorm, da ähnlich der SAFAs das Huhn den Grad der einfach ungesättigten Fettsäuren in sehr engen Grenzen hält und trotz hoher Gaben von etwa Rapsöl als Quelle von Ölsäure eine Steigerung von nur etwa 5% erreicht wurden (BAUCELLS et al., 2000). Die ähnlich große Differenz im MUFA-Gehalt zwischen den SV-Eiern und den restlichen Eigruppen könnte darauf hinweisen, dass den SV-Eiern eine höhere Zufuhr an MUFAs aus dem Futter zugekommen sein, was in einem höheren MUFA-Gehalt im Eidotter resultierte.

Einen weiteren Einfluss auf den Gehalt der MUFAs haben die PUFAs. Studien zeigen einen verminderten Gehalt an MUFAs in Verbindung mit hohen PUFA-Werten (CHERIAN und SIM, 1991; HARGIS et al., 1991). Dies ist auf eine Hemmung der Δ -9 Desaturase zurück zu führen, die für die Bildung von Ölsäure notwendig ist (GARG et al., 1988). Zudem ist aus der Fettsäurepositionsanalytik bekannt, dass die MUFAs negativ mit LA und LNA korrelieren, da sie an denselben Positionen in den Dotter-Triglyceriden vorkommen (SCHREINER et al., 2005).

Beispiel hierfür waren die BIO-Eier, die einen sehr hohen Gehalt an PUFAs bei einem gleichzeitig verhältnismäßig geringen Gehalt an Ölsäure aufwiesen (Kapitel 6.2 und 6.4). Dies ließ schließen, dass der in den BIO-Eiern vorliegende hohe PUFAs-Gehalt neben der geringeren Zufuhr an MUFAs aus

dem Futter auch zum insgesamt geringeren MUFAs-Gehalt in den BIO-Eiern beitrug.

7.4 Mehrfach ungesättigte Fettsäuren

7.4.1 Omega-6-Fettsäuren

Unter den untersuchten Eigruppen lagen in den BIO-Eiern die höchsten Mengen an n-6-Fettsäuren vor ($p < 0,05$). Ausschlaggebend hierfür war der hohe LA-Gehalt ($p < 0,05$). Bedingt durch ihren hohen n-6-Fettsäuregehalt wiesen die BIO-Eier auch die größten Mengen an PUFAs auf.

Durch geeignete Fettquellen können vor allem die mehrfach ungesättigten Fettsäuren in den Dotterlipiden verändert werden. Vor allem linolsäurereiches Futter korreliert mit hohen n-6-Fettsäuregehalten im Dotter (MELUZZI et al., 2001; BAUCELLS et al., 2000; COBOS et al., 1995). So kann etwa durch verstärkte Maisfütterung der n-6-Fettsäuregehalt gesteigert werden.

Der höhere Gehalt an LA in den BIO-Eiern deutete deshalb darauf hin, dass das Futter der Hühner der BIO-Eier eine größere Versorgung an LA geboten haben musste. Dies ließe auf eine maisbetontere Fütterung im Vergleich zu den anderen Eigruppen rückschließen.

Die neben der Linolsäure als n-6-Fettsäure vorkommende Arachidonsäure wird im Zuge von enzymatischer Elongation und Desaturation aus LA gebildet (BAUCELLS et al., 2000; MILINSK et al., 2003), wobei der Konvertierungsprozess einem Feedback-Mechanismus unterworfen ist (NAKAMURA und NARA, 2004) (Kapitel 2.1.1.2.2). Ein Überschuss an LA kann somit hemmend auf die Konvertierung zu AA wirken (MOHRHAUER und HOLMAN, 1963). Zudem kann auch die Zufuhr von n-3-Fettsäuren aus der Nahrung hemmend auf die Konvertierung von LA zu AA wirken, da diese eine höhere Affinität zur $\Delta 6$ -Desaturase besitzen (HERBER und VAN ELSWYK, 1996).

Dies zeigte sich am Beispiel der BIO-Eier: Trotz erhöhten LA-Anteils verglichen mit den anderen Eigruppen lag die AA in den BIO-Eiern nicht im gleichen Maße erhöht vor.

7.4.2 Omega-3-Fettsäuren

Die n-3-Fettsäuren waren verglichen mit anderen Fettsäuregruppen wie etwa den n-6-Fettsäuren in relativ geringen Mengen in den Dotterlipiden vorhanden. Dennoch kommt ihnen auf Grund ihrer positiven physiologischen Wirkungen hinsichtlich CDV eine große Bedeutung zu.

Die Anteile der n-3-Fettsäuren in den untersuchten Eigruppen bewegten sich in einem engen Bereich von 1,3 bis 2,5%, so dass hinsichtlich des n-3-Fettsäuregehalts keine signifikanten Unterschiede zwischen den Eigruppen festzustellen waren. Auffallend war die sehr hohe Streuung der Werte der ST-Eier und SV-Eier, die zeigte, dass innerhalb dieser Gruppen einzelne Eier mit besonders hohen n-3-Fettsäuremengen vorzufinden waren.

Betrachtet man die einzelnen n-3-Fettsäuren, so enthielten die ST-Eier sowohl höhere Mengen an DHA ($p < 0,05$) als auch DPA ($p < 0,05$). Die LNA hingegen lag in allen untersuchten Eigruppen in ähnlich hohen Mengen vor.

Die DHA im Eidotter bildet sich entweder durch direkte Zufuhr von DHA oder aus der Bildung aus LNA, die enzymatischer Elongation und Desaturation unterzogen wird (CHERIAN und SIM, 1991; EDER et al., 1998; HARGIS et al., 1991; BAUCCELLS et al., 2000; SHIMIZU et al., 2001). Da aufgrund der Haltung und der bekannten Fütterung bei den kommerziell gehaltenen Hühnern eine direkte Zufuhr von DHA aus Marinen Quellen wie etwa Fischöl auszuschließen war, gründete der Gehalt an DHA hauptsächlich auf der Bildung aus LNA.

Zudem ließen die im Vergleich zu den anderen Eigruppen höheren DHA-Mengen bei gleichen LNA-Werten vermuten, dass die ST- Eier zusätzlich mehr DHA aus tierischer Nahrung wie Würmern oder niedrigen Pflanzen wie Moosen oder Flechten aufgenommen haben. Moose oder Flechten enthalten auch EPA, die ebenfalls nur in den ST- und den SV-Eiern zu detektieren war. Ähnliches gilt

für DPA, die durch enzymatische Elongations- und Desaturationsschritte aus LNA oder EPA gebildet und im Vergleich zu den anderen Eigruppen in den ST-Eiern auch in höheren Mengen vorkam. Daraus ließe sich ableiten, dass insbesondere die ST-Eier im Zuge der Freilandhaltung besseren Zugang zu diesen n-3-Fettsäurequellen gehabt haben mussten.

7.4.3 Fettsäureprofil und Omega-3-Fettsäuren in den ST-Eiern

Innerhalb der Gruppe der ST-Eier sind die Eier der Eisorten A, E und D hervorstreichend:

Die Sorten A1, A2, E1 und E2 waren durch einen besonders hohen n-6-Fettsäuregehalt gekennzeichnet, der in einem hohen PUFA-Gehalt resultierte. Bei den Eisorten A1 und A2 könnte dies auf die Fütterung zurückzuführen sein, da diese Hühner neben herkömmlichem, maisbetontem Legehennenfutter zusätzlich Salatöl verabreicht bekamen, das eine zusätzliche Quelle an LA darstellte.

Die Hühner der Gruppen B1 und B2 wurden nur mit Mais gefüttert, dem entgegen zeigten diese Eier allerdings keine erhöhten LA-Mengen. Dies könnte rassebedingte Ursachen haben.

Hinsichtlich der n-3-Fettsäuren ragte die Eisorte D3 mit einem Gehalt von 7,14 mg heraus und übertraf damit die Ergebnisse aller Eier aus konventioneller Haltung (FL-, BH-, KH-, BIO-Eier) deutlich.

Die D3-Hühner wurden mit wenig Mais und vorwiegend Weizenkörnern gefüttert, zudem hatten sie Freilauf. Der geringe Anteil an Mais im Futter spiegelte sich im sehr geringen n-6-Fettsäuregehalt im Dotter wider. Der hohe n-3-Fettsäuregehalt manifestierte sich vor allem durch den deutlich höheren Gehalt an LNA im Vergleich zu den anderen Eisorten.

Durch den hohen Anteil an Weizen im Futter stand LNA ausreichend über die Nahrung zur Verfügung, sodass genügend DHA aus LNA gebildet werden konnte. Folglich war einzig bei dieser Eisorte ein höherer LNA- als DHA -Gehalt vorhanden. Auch der EPA-Gehalt war mit 0,5 mg/g Dotter der höchste unter

allen untersuchten Eiern. Wie schon in Kapitel 6.6 angedeutet, wurden von diesem Huhn im Zuge der freien Haltung wahrscheinlich vermehrt EPA enthaltende Moose und Flechten aufgenommen. Dies wird durch die Tatsache gestützt, dass es sich bei diesem Huhn um ein Perlhuhn handelte, das laut Züchter ein sehr selektives Fressverhalten zeigte und vermehrt vermutlich n-3 reiches Futter wie Würmer etc. im Freilauf suchte.

Dem gegenüber standen die Eier A1 und A2, die keinen Freilauf erhielten und ausschließlich mit handelsüblichem Legehennenfutter gefüttert wurden. Diese Eisorte wies den geringsten Gehalt an n-3-Fettsäuren bei gleichzeitig hohen Mengen an n-6-Fettsäuren auf (Tab. 6.6.1). Die Absenz von EPA konnte auf den nicht vorhandenen Freilauf und der damit fehlenden Möglichkeit der Aufnahme von Grünzeug wie Moose und Flechten zurückzuführen sein.

7.4.4 Fettsäureprofil und Omega-3-Fettsäuren in Eiern privater landwirtschaftlicher Betriebe

Je nach Fütterung konnten innerhalb dieser Gruppe insbesondere bei den PUFAs Unterschiede festgestellt werden.

Die Eisorte SV37, die ausschließlich mit Hafer gefüttert wurde, zeigte deutlich erhöhte Mengen an n-6-Fettsäuren sowie hohe Mengen an Gesamt-PUFAs. Dies war auf den verfütterten Hafer zurückzuführen, der eine reiche n-6-Fettsäurequelle darstellte. Die geringsten Mengen an n-6-Fettsäuren zeigten die SV35-Eier, die nur mit Weizen gefüttert wurden. Der Verzicht auf Futtermais oder Hafer wurde hier durch einen relativ geringen n-6-Fettsäuregehalt im Fettsäureprofil des Dotters reflektiert.

Dem niedrigen n-6-Fettsäuregehalt standen hingegen hohe n-3-Fettsäuremengen gegenüber: Mit rund 9,5 mg/g Dotter war in den SV35 Eiern unter allen untersuchten Eiern der höchste Gehalt an n-3-Fettsäuren zu finden. Sie erreichten damit sogar Werte, die etwa erst durch Anreicherung des Futters mit Menhaden-Fischmehl bzw. Menhadenöl erzielt werden konnten (NASH et al., 1996; GONZALES-ESQUERRA und LEESON, 2000) (vgl Tab. 2.3.2).

Der hohe n-3-Fettsäuregehalt entstand vor allem durch die hohen LNA-Mengen, die in den SV35-Eiern mit 1,4% verglichen mit allen anderen Eiern in den größten Mengen vorhanden waren. Zusätzlich waren auch hohe Mengen an DHA und DPA enthalten. DHA und DPA wurden aus LNA gebildet, die aufgrund der LNA-reichen Fütterung durch den Weizen in reichlichen Mengen vorhanden war und somit ausreichend Substrat für die Bildung der beiden Konvertierungsprodukte geboten hat.

7.4.5 Omega-6/Omega-3-Quotient

Der n-6/n-3-Quotient dient als Beurteilungskriterium der physiologischen Wertigkeit der enthaltenen PUFAs (SIMOPOULOS, 2002). Entscheidend ist dabei die Art und Verteilung der enthaltenen n-3 und n-6-Fettsäuren. Ein niedriger Quotient ist als vorteilhaft zu bewerten, da mit einer erhöhten n-3-Fettsäurezufuhr ein geringeres Risiko für CVD einhergeht.

Bei Betrachtung der n-6/n-3-Quotienten wiesen die ST- und die SV-Eier im Vergleich zu den restlichen Eigruppen deutlich bessere Werte auf. Die Werte von etwa 7,1 bzw. 7,2 kamen dem empfohlenen Verhältnis von 5:1 (DACH, 2001) bzw. 4:1 – 1:1 (SIMOPOULOS, 2002) am nächsten. Die Eier von Hühnern aus kommerzieller Haltung (Gruppen KH, BH, BIO und FL) wiesen dagegen mit Quotienten zwischen 14,4 und 14,8 einheitlich doppelt so hohe Werte auf.

Dieses Ergebnis eines höheren n-6/n-3- Quotienten spiegelte eine n-6-fettsäurebetontere Fütterung der Legehennen der Supermarkteier wider. Sehr klar ersichtlich wurde dies bei der Gegenüberstellung von BIO- und SV- bzw. ST-Eiern: Während die untersuchten BIO-Eier extrem hohe Mengen an n-6-Fettsäuren enthielten, wiesen die SV- und ST-Eier deutlich weniger auf. Bei ähnlichen n-3 Mengen wie in den BIO-Eiern resultierte dies in einem wesentlich geringen n-6/n-3-Quotienten der SV- und ST-Eier.

Hinsichtlich des n-6/n-3 Quotienten waren somit die ST-Eier im Vergleich zu den anderen Eigruppen als ernährungsphysiologisch am besten zu beurteilen.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Untersuchung des Fettsäureprofils der unterschiedlichen Eigruppen zeigte, dass Eier von Hühnern aus kommerzieller Haltung tendenziell höhere n-6-Fettsäuren als die Eier von Hühnern aus traditioneller Haltung (ST- und SV-Eier) aufwiesen.

Insbesondere in den BIO-Eiern war ein stark erhöhter n-6-Fettsäuregehalt und in weiterer Folge ein sehr hoher PUFA-Gehalt festzustellen. Dies zeugt von der Verwendung von handelsüblichem Legehennenfutter, welches hohe Mengen an Mais, und somit n-6-Fettsäuren enthält.

Bei Hühnern, die abweichend vom konventionellen Legehennenfutter gefüttert wurden, konnte eine positive Veränderung des Fettsäureprofils in Richtung der n-3-Fettsäuren beobachtet werden. Die Eier mit den höchsten n-3-Fettsäurewerten waren in den Gruppen nicht konventioneller Haltung zu finden. Diese waren vor allem durch hohe LNA- und DHA-Werte charakterisiert, denen eine höhere n-3-Fettsäurezufuhr aus dem Futter vorausging. Dies konnte etwa durch eine gesteigerte Weizenaufnahme erzielt werden.

Abseits davon ließen die Ergebnisse den Freilauf für Hühner als vorteilhaft bewerten, da die Aufnahme von Grünzeug eine zusätzliche Quelle an n-3-Fettsäuren darstellen kann. Kennzeichnend hierfür war die Präsenz von EPA, die durch Aufnahme von Flechten und Moosen zu einem höheren n-3-Fettsäuregehalt in den Dotterlipiden beitragen kann.

Die ernährungsphysiologische Beurteilung der untersuchten Eigruppen ergab hinsichtlich der n-3-Fettsäuren, dass die ST-Eier aus nicht konventioneller Haltung im Vergleich zu den Supermarkteiern als besser einzustufen waren.

Die ST-Eier zeigten das ausgewogenste Verhältnis an n-3 und n-6-Fettsäuren, das sich in einem deutlich niedrigerem n-6/n-3-Quotienten ausdrückt.

In Zusammenhang mit der Reduktion des Risikos an CVD waren deshalb die ST-Eier mit einem nur halb so großen n-6/n-3 Quotient gegenüber den anderen Eigruppen als besser zu beurteilen.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Omega-3-Fettsäuren spielen in der menschlichen Ernährung eine wichtige Rolle, da sie im Zusammenhang mit dem Eicosanoidstoffwechsel der Entstehung von Herz-Kreislaufkrankungen, rheumatoider Arthritis oder Bluthochdruck vorbeugen können. Hauptquelle der Omega-3-Fettsäuren sind Lebensmittel wie Fisch, die in der westlichen Ernährung jedoch nicht in ausreichend hohen Mengen konsumiert werden. Das Ei als traditionelles Lebensmittel kann daher einen wichtigen Lieferant an den physiologisch wertvollen Omega-3-Fettsäuren darstellen.

Gegenstand dieser Studie war die Untersuchung des Fettsäureprofils von Eiern verschiedener Haltungformen und Fütterung unter besonderer Berücksichtigung des Omega-3-Fettsäuregehalts. Als Probenmaterial dienten dabei Supermarkteier (Bioeier und Eier aus Freiland-, Boden- und Käfighaltung), sowie Eier aus privaten landwirtschaftlichen Betrieben nicht intensiver Haltung. Dabei galt es zu ermitteln, ob abhängig von Haltung und Fütterung Unterschiede im Fettsäuremuster und dem Omega-3-Fettsäuregehalt festzustellen sind. Die Bestimmung der Fettsäurekonzentrationen erfolgte gaschromatographisch mittels Flammenionisationsdetektor nach einer Ein-Schritt-Extraktion / Transmethylierungsmethode.

Die Supermarkteier waren durch verhältnismäßig hohe Omega-6-Fettsäuren gekennzeichnet, insbesondere die BIO-Supermarkteier. Dies unterstreicht die maisbetonte konventionelle Fütterung. Die Eier nicht-konventioneller Haltung zeigten diesbezüglich tendenziell geringere Mengen bei verhältnismäßig höheren Werten an Omega-3-Fettsäuren. Bei einzelnen Eisorten konnte fütterungsbedingt eine Erhöhung der Omega-3-Fettsäuren beobachtet werden. Dies konnte vor allem durch eine Steigerung der α -Linolensäure im Zuge einer erhöhten Zufuhr von Weizen über das Futter erzielt werden. Die Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass eine Haltung mit Freilauf in Verbindung mit dem Zugang zu n-3-Fettsäurequellen wie Moosen oder Flechten einen höheren Gehalt an Omega-3-Fettsäuren begünstigen kann. Hinsichtlich der Wertigkeit

als Fettsäurelieferant waren die Eier aus nicht konventioneller Haltung als besser zu beurteilen, weil diese ein ausgewogeneres Verhältnis von Omega-6 und Omega-3-Fettsäuren aufwiesen.

SUMMARY

Omega-3 fatty acids play an important role in human nutrition as they counteract coronary heart disease, rheumatoid arthritis or high blood pressure by participating in the eicosanoid metabolism. The main source of omega-3 fatty acids is marine food. However, fish is underrepresented in the western diet. Thus, eggs as a traditional food can pose an important source of the physiologically valuable omega-3 fatty acids.

In this study, the fatty acid profile emphasising on the omega-3 fatty content of eggs marketed in Austrian supermarkets (eggs produced according to “BIO” guidelines, as well as from layers kept in cages or freeland) and eggs from private Austrian farms were examined. The aim was to determine whether dependent on the husbandry differences in the fatty acid profile and the omega-3 fatty acid content are given. The fatty acid concentrations were measured by gas chromatography with flame ionisation detection after a one-step-extraction/transmethylation method.

The supermarket eggs, especially the “BIO” eggs – were characterized by a high content of n-6 fatty acids. This confirms the corn-intensive, conventional feeding of layers, which is reflected in the yolk lipids.

In contrast, the eggs of the private farms showed smaller amounts of these fatty acids but proportionally higher values for the omega-3 fatty acids. By means of the modulation of food composition the omega-3 fatty content of some eggs could be increased. This could be achieved by increasing the supply of α -linolenic acid in the form of higher wheat proportions in the feed. Apart from that the results indicated that the free roaming in the barnyard can benefit a higher content of omega-3 fatty acids by having access to sources rich in n-3 fatty acids such as moss and lichen.

The evaluation of the nutritional value as a supplier of fatty acids was in favour of the eggs of the private farms of non intensive husbandry as they showed a more balanced ratio of omega -6 and omega-3 fatty acids.

10 LITERATUR

ALBERT, C.M., CAMPOS, H., STAMPFER, M.J., RIDKER, P.M., MANSON, J.E., WILLETT, W.C. and J. MA: Blood levels of long-chain n-3 fatty acids and the risk of sudden death. *N. Engl. J. Med.* 346 (2002) 1113-8.

AMERICAN HEART ASSOCIATION (AHA): Fish Consumption, Fish Oil, Omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Atheroscler. Thromb. Vasc. Biolog.* 23 (2003) e20-e31.

ANDERSON, G.J., CONNOR, W.E. and J.D. CORLISS: Docosahexaenoic acid is the preferred dietary n-3 fatty acid for the development of the brain and retina. *Pediatr. Res.* 27 (1990) 89-97.

ARBEITSKREIS OMEGA-3: Bedeutung und empfehlenswerte Höhe der Zufuhr langkettiger Omega-3-Fettsäuren: Ein Konsensus-Statement des Arbeitskreises Omega-3. *Ernährungs-Umschau* 49 (2002) 94-98.

AYERZA, R. and W. COATES: Dietary Levels of Chia: Influence on Yolk Cholesterol, Lipid Content and Fatty Acid Composition for Two Strains of Hens. *Poult. Sci.* 79 (2000) 724-739.

BAUCCELLS, M.D., CRESPO, N., BARROETA, A.C., LOPEZ-FERRER, S. and M.A. GRASHORN: Incorporation of Different Polyunsaturated Fatty acids into Eggs. *Poult. Sci.* 79 (2000) 52-59.

BELITZ H.-D., GROSCH und P. SCHIEBERLE: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie.* Springer-Verlag, Berlin (2001).

BEMELSMANS, W.J.E., BROER, J., FESKENS, E.J.M., SMIT, A. J., MUSKIET, F.A.J., LEFRANDT, J.D., BOM, V.J.J., MAY, J.F. and B. MEYBOOM –DE JONG: Effect of an increased intake of α -linolenic acid and group nutritional education on cardiovascular risk factors: The Mediterranean alpha-linolenic enriched Groningen dietary intervention (MARGARIN) study. *Am. J. Clin. Nutr.* 75 (2002), 221-227.

BLIGH, E.G. and W.J. DYER: A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37 (1959), 911-917.

BRENNER, R.R.: The desaturation step in the animal biosynthesis of polyunsaturated acids. *Lipids* 6 (1971) 567-575.

BROUGHTON, K.S., JOHNSON, C.S., PACE, B.K., LIEBMAN, M. and K.M. KLEPPINGER: Reduced asthma symptoms with n-3 fatty acid ingestion are related to 5-series leukotrien production. *Am. J. Clin. Nutr.* 65 (1997) 1011-7.

BURR, G.O. and M.M. BURR: A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. *J. Biol. Chem.* 82 (1929) 345-67.

BURR, M.L., FEHILY, A.M., GILBERT, J.F., ROGERS, S., HOLLIDAY, R.M., SWEETNAM, P.M., ELWOOD, P.C. and N.M. DEADMAN: Effects of changes in fat, fish and fibre intake on death and myocardial reinfarction: Diet and reinfarction trial (DART). *Lancet* (1989) 757-761.

CARLSON, S. E., COOKE, R.J., RHODES, P.G., PEEPLES, J.M. and S.H. WERKMAN: Effect of vegetable and marine oils in preterm infant formulas on blood arachidonic and docosahexaenoic acids. *J. Ped.* 120 (1992) 159-167.

CARLSON, S.E. and M. NEURINGER: Polyunsaturated fatty acid status and neurodevelopment: a summary and critical analysis of the literature. *Lipids* 34 (1999), 171-178.

CHERIAN G., LI, S.X. and S.J. SIM: Dietary α -Linolenic acid and laying hen strain: Fatty acids of liver, adipose tissue, white meat, dark meat, and egg yolk. *J. Agric. Food Chem.* 43 (1995) 2553-2559.

CHERIAN, G. and J.S. SIM: Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks. *Poult. Sci.* 70 (1991) 917-922.

CHO, H.P., NAKAMURA M. and M.D. CLARKE: Cloning, expression, and fatty acid regulation of the human delta-5-desaturase. *J. Biol. Chem.* 274 (1999) 335-339.

CHO, H.P., NAKAMURA M. and M.D. CLARKE: Cloning, expression, and nutritional regulation of the mammalian delta-6 desaturase. *J. Biol. Chem.* 274 (1999) 417-477.

CHRISTENSEN, J.H., CHRISTENSEN, M.J., DYERBERG, J. and E.B. SCHMIDT: Heart rate variability and fatty acid content of blood cell membranes: a dose-response study with n-3 fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.* 70 (1999) 331-337.

CHRISTENSEN, J.H, GUSTENHOFF, P., KORUP, E., AAROE, J., TOFT, E., MOELLER, J., RASMUSSEN, K., DYERBERG, J. and E. BERG: Effect of fish oil on heart rate variability in survivors of myocardial infarction: A double blind randomized controlled trial. *B.M.J.* 412 (7032) (1996) 677-8.

CHRISTIE, W.W.: Gas chromatography and lipids. The oily press, Ayr (1989).

CLANDININ, M.T., CHAPPELL, J.E., LEONG, S., HEIM, T., SWYER, P.R. and G.W. CHANCE: Intrauterine fatty acid accretion in infant brain: implications for fatty acid requirements. *Early Hum. Dev.* 4 (1980) 121-129.

CLELAND, L., JAMES; M. and S. PROUDMAN: The role of fish oils in the treatment of rheumatoid arthritis. *Drugs* 63 (2003) 845-853.

COBOS, A., HOZ, L., CAMBERO, I.M. and J.A: ORDONEZ: Dietary modification and hen strain dependence of egg yolk lipids. *Food Res. Int.* 28 (1995) 71-76.

COOK, W.H. and W.G. MARTIN: Structural and Functional Aspects of Lipoproteins in Living systems. Academic Press (1969), New York, 589-615.

CUNNANE S.C.: Problems with essential fatty acids: time for a new paradigm? *Prog. Lipid Res.* 42(2003) 544-568.

DACH Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE) und Schweizerische Vereinigung für Ernährung (SVE): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau Braus, Frankfurt am Main (2000).

DARLINGTON, L.G. and T.W. STONE: Antioxidants and fatty acids in the amelioration of rheumatoid arthritis and related disorders. *Brit. J. Nutr.* 85 (2001) 251-269.

DE LORGERIL, M., SALEN, P., MARTIN, J.L., DELAYE, J. and N. MAMELLE: Mediterranean diet, traditional risk factors, and the rate of cardiovascular complications after myocardial infarction: final report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation* 99 (1999) 779-785.

DEWAILLY, E., BLANCHET, C., GINGRAS, S., LEMIEUX, S. and B.J. HOLUM: Fish consumption and blood lipids in the ethnic groups of Quebec (Canada). *Lipids* 38 (2003) 359-365.

DJOUSSE, L., PANKOW, J.S. and J.H. ECKFELDT: Relation between dietary linolenic acid and coronary artery disease in the National Heart, Lung and Blood Institute Family Heart Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 74 (2001) 612-619.

DYERBERG, J., BANG, H.O. and N. HJOERNE: Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos. *Am. J. Clin. Nutr.* 28 (1975), 958-966.

EDER, K., ROTH-MAYER, A. and M. KIRCHGESSNER: Laying hen performance and fatty acid composition of egg yolk lipids of hens fed diets with various amounts of ground or whole flax seed. *Arch. Geflügelk.* 62 (1998) 223-228.

ELMADFA I. und C. LEITZMANN: Ernährung des Menschen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (1998).

FORTIN, P. R., LEW, R.A., LIANG, M.H., WRIGHT, E.A., BECKET, L.A., CHALMERS, D.C. and R.I. SPERLING: Validation of a meta analysis: the effects of fish oil in rheumatoid arthritis. *J. Clin. Epidemiolog.* 48 (1995) 1379-1390.

GARG, M.L., SEBOKOVA, E., WIERZBICKI, A., THOMSON, A.B.R. and M.T. CLANDININ: Differential effects of dietary linoleic and alpha-linolenic acid on lipid metabolism in rat tissues, *Lipids* 23 (1988) 847-852.

GISSI Prevenzione Investigators: Dietary supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction: results of the GISSI-Prevenzione trial. *Lancet* 345 (1999) 447-455.

GONZALEZ-ESQUERRA, R. and S. LEESON: Effect of feeding hens regular or deodorized menhaden oil on production parameters, yolk fatty acid profile, and sensory quality of eggs. *Poul. Sci.* 79 (2000) 1597-1602.

GORNALL, D. A. and A. KUKSIS: Molecular species of glycerophosphatides and triglycerides of egg yolk lipoproteins. *Can. J. Biochem.* 49 (1971) 51-60.

GRAUVOGL A., PIRKELMANN H., ROSENBERGER G. und H. ZERBONI DI SPOSETTI: Artgemäße und rentable Nutztierhaltung. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, Wien, Zürich (1997).

GRIMSGAARD, S., BONAA, K.H. and J.B. HANSEN: Highly purified eicsoapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in humans have similar triacylglycerol-lowering effects but divergent effects on serum fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.* 66 (1997) 649-659.

GUNSTONE F.D.: Fatty acid and lipid chemistry. Blackie Academic & Professional, London (1996).

GUNSTONE F.D.: The chemistry of oils and fats. Blackwell, Oxford (2004).

HARGIS, P.S., VAN ELSWYK, M.E. and B.M. HARGIS: Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. *Poult. Sci.* 70 (1991) 874-884.

HARRIS, W.S., RAMBJOR, G.S. and S.L. WINDSOR: N-3 fatty acids and urinary excretion fo nitric oxide metabolites in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 65 (1997) 459-464.

HERBER, S.M. and M.E. VAN ELSWYK: Dietary marine algae promotes efficient deposition of n-3-fatty acids for the production of enriched shell eggs. *Poult. Sci.* 75 (1996) 1501-1507.

HIBBELN, J.R.: Fish consumption and major depression. *Lancet* 351 (1998) 1213.

HIRAI, A., HAMAZAKI, T., TERANO, T., NISHIKAWA T., TAMURA, Y., KUMAGAI, A. and J. SAJIKI: Eicosapentaenoic acid and platelet function in Japanese. *Lancet* 2 (1980), 1132-3.

HOWE, P.R.: Dietary fats and hypertension: focus on fish oil. *Ann N.Y. Acad. Sci.* 827 (1997) 339-352.

HU, F.B., CHO, E., REXRODE, K.M., ALBERT, C.M. and J.E. MANSON: Fish and omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in women. *J. Am. Med. Assoc.* 287 (2002) 1815-1821.

JEROCH, H.: Eier. In: *Nutztierernährung*. Ed.: A. ABEL, G. FLACHOWSKY, H. JEROCH und S. MOLNAR. Gustav Fischer Verlag, Jena (1995) 419-431.

JEROCH, H., W. DROCHNER und O. SIMON: *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (1999) 506.

JORGENSEN, M.H., HERNELL, O., HUGHES, E. L. and K.F. MICHAELSEN: Is there a relationship between docosahexaenoic acid concentration in mother's milk and visual development in term infants? *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 32 (2001) 293-296.

KALLWEIT, E.: *Qualität tierischer Lebensmittel Fleisch-Milch-Eier*. Schöningh-Verlag, Paderborn (1988).

KALMIJN, S., LAUNER, L.J., OTT, A., WITTEMAN, J.C., HOFMAN, A. and M.M. BRETELER: Dietary fat intake and the risk of incident dementia in the Rotterdam Study. *Ann. Neurol.* 42 (1997) 776-782.

KARVONEN, H.M., ARO, A., TAPOLA, N.S., SALMINEN, I., UUSITUPA, M.I. and E.S. SARKKINEN: Effects of alpha-linolenic acid-rich *Camelina sativa* oil on

serum fatty acid composition and serum lipids in hypercholesterolemic subjects. *Metabolism* 51 (2002) 1253-1260.

KINSELLA, J.E.: Sources of omega-3-fatty acids in human diets. In: Omega-3-fatty acids in health and disease. Hrsg.: R.S: LEES, M.KAREL. Marcel Dekker, New York (1990) 157-195.

KRIS-ETHERTON, P.M., HARRIS, W.S. and L.J. APPEL for the AHA (American Heart Association) Nutrition Committee: Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: new recommendations from the American Heart Association. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 23 (2003) 151-152.

KUKSIS, A.: Yolk Lipids. *Biochem. Biophys. Acta* 1124 (1992) 205-222.

LAYNE, K.S., GOH, Y.K., JUMPSSEN, J.A., RYAN, E.A., CHOW, P. and M.T. CLANDININ: Normal subjects consuming physiologic levels of 18:3n-3 and 10:5n-3 from flaxseed or fish oils have characteristic differences in plasma lipid and lipoprotein fatty acid levels. *J. Nutr.* 126 (1996) 2130-2140.

LEAF, A., KANG, J.X., XIAO, Y.-F., and E. BILLMAN: N-3-fatty acids in the prevention of cardiac arrhythmias. *Lipids* 34 (1999) 187-189.

LEYTON, J., DRURY, P.J. and M.A. CRAWFORD: Differential oxidation of saturated and unsaturated fatty acids in vivo in the rat. *Brit. J. Nutr.* 57 (1987) 383-393.

MARCEL, Y.L. and K. CHRISTIANSEN: The preferred metabolic pathway from linoleic acid to arachidonic acid in vitro. *Biochim. Biophys. Acta* 164 (1968) 25-34.

MARTIN, W.G., TATTRIE, N.H. and W.H. COOK: Lipid extraction and distribution studies of egg yolk lipoproteins. *Can. J. Biochem. Physiol.* 41 (1963) 657-666.

MCCULLY, K.A., MOK, C.C., and R.H. COMMON: Paper electrophoresis characterization of proteins and lipoproteins of hen's egg yolk. *Can. J. Biochem. Physiol.* 40 (1962) 937-952.

MELUZZI, A., SIRRI, F., TALLARICO, N. and A. FRANCHINI: Effect of different vegetable lipid sources on the fatty acid composition of egg yolk and on hen performance. *Arch. Gflügelk.* 65 (2001) 207-213.

METZ G.: Omega-3-Fettsäuren. *Forum Medizin, Stockdorf* (2000), 22-44.

MEYER, B.J., MANN, N.J., LEWIS, J.L., MILLIGAN, G.C., SINCLAIR, A.J. and R.C. HOWE: Dietary intakes and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids* 38(4) (2003) 391-398.

MOHRHAUER, H. and R.T. HOLMAN: Effect of Linolenic Acid upon the metabolism of linoleic acid. *J. Nutr.* 81 (1963) 67-74.

MORRIS, M.C., EVANS, D.A., BIENIAS, J.T., TANGNEY, C.C., BENNETT, D.A., WILSON R.S., AGGARWAL, N. and J. SCHNEIDER: Consumption of fish and n-3-fatty acids and risk of incident Alzheimer disease. *Arch. Neurol.* 60 (2003) 940-946.

MILINSK, M.C., MURAKAMI, A.E., GOMES, S.T:M., MATSUSSHITA, M. and N.E. de SOUZA: Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. *Food Chem.* 83 (2003) 287-292.

NAKAMURA, M.T. and T.Y. NARA: Structure, function and dietary regulation of $\Delta 6$ -, $\Delta 5$ -, and $\Delta 9$ -Desaturases. In: Annual Review of Nutrition Vol.24. (2004) Hrgb.:D.B.

NAPOLITANO, G.E.: Fatty acids as trophic and chemical markers in freshwater ecosystems, in lipids in freshwater ecosystems. M.T. Arts and B.C. Wainman, Editors. 1998, Springer-Verlag: New York. p. 21-43.

NATIONAL HEART FOUNDATION OF AUSTRALIA (NHF): A review of the Relationship between dietary fat and cardiovascular diseases. Austr. J. Nutr. Diet. 56 (4S) (1999) S5-S22.

NASH, D.M, HAMILTON, R.M.G. and H.W. HULAN: The effect of dietary herring meal on the omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens. Can. J. Anim. Sci. 75 (1995) 247-253.

NASH, D.M., HAMILTON, M.G., SANFORD, K.A. and H.W. HULAN: The effect of dietary menhaden meal and storage on the omega-3 fatty acids and sensory attributes of egg yolk in laying hens. Can. J. Anim. Sci. 76 (1996) 377-383.

NETTLETON J.A.: Omega-3 fatty acids and health. Chapman & Hall, London (1995).

OTTO, S.J., HOUWELINGEN, A.C., ANTAL, M., MANNINEN, A., GODFREY, K. and J.P. LOPEZ: Maternal and neonatal essential fatty acid status in phospholipids: an international comparative study. Eur. J. Clin. Nutr. 51 (1997) 232-242.

PRIVETT, O. S., BLANK, M. L. and J.A. SCHMITT: Composition of egg lipid. J. Food Sci. 27 (1962) 463-468.

SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE ON NUTRITION (SACN): Advice on fish consumption: benefits and risks. FSA, London (2004).

SCHMITT B., STRÖHLE, A., WATKINSON, B.M. und A. HAHN: Wirkstoffe funktioneller Lebensmittel in der Prävention der Arteriosklerose. Teil 2: Omega-3-Fettsäuren-Versorgungssituation und Zufuhrempfehlung. Ernährungs-Umschau 49 (2002) 223-226.

SCHREINER, M. (2006): Optimization of solvent extraction and direct transmethylation methods for the analysis of egg yolk lipids. Int. J. Food Prop. (in press)

SCHREINER, M., HULAN, H.W., RAZZAZI-FAZELI, E., BÖHM, J. and C. IBEN: Feeding laying hens seal blubber oil: effects on yolk incorporation, stereospecific distribution on omega-3-fatty acids, and sensory aspects. Poult. Sci. 83 (2004) 462-473.

SCHREINER, M., MERAJI, S. and R.MOREIRA: Omega-3 enriched eggs: Positional distribution of fatty acids in response to different dietary lipids. Lip. Technol. 17 (2005) 271-275.

SHIMIZU, Y., ARAI, K., ISE, S. and H. SHIMASAKI: Dietary fish oil for hens affects the fatty acid composition of egg yolk phospholipids and gives a valuable food with an ideal balance of n-6- and n-3-essential fatty acids for human nutrition. J. Oleo Sci. 50 (2001) 597-803.

SIMOPOULOS, A.P., LEAF, A. and N. SALEM: Workshop of the essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. Food Aust. 51. (1999) 332-333.

SIMOPOULOS, A.P.: The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. Biomed. Pharmacother. 56 (2002) 365-379.

SINGER P.: Was sind, wie wirken Omega-3-Fettsäuren? Umschau Zeitschriftenverlag, Frankfurt am Main (1994).

SINGER, P., BENSHEIM, A. and M. WIRTH: Günstiger Einfluss von n-3-Fettsäuren auf Herzrhythmusstörungen. Ernährungs-Umschau 49 (5) (2002) 178-181.

SPRECHER, H.: Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6-fatty Acids. Biochim. Biophys. Acta 1468 (2000) 219-231.

STADELMANN, W.J. and D.E. PRATT: Factors influencing composition of the hens's eggs. World's Poult. Sci. 45 (1989) 247-266.

SWOBODNIK W.: Omega-3-Fettsäuren-Workshop. VCH-Verlag, Neu-Ulm (1989).

TERNES W., ACKER, L. und S. SCHOLTYSSSEK: Ei und Eiprodukte. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg (1994).

ULBERTH, F. and M.HENNINGER: One-step extraction/methylation method for determining the fatty acid composition of processed foods. JAOCS, 69 (1992) 174-176.

VERORDNUNG (EWG) Nr.2092/91: Verordnung über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel.http://europa.eu.int/eur-lex/de/consleg/main/1991/de_1991R2092_index.htm

VERORDNUNG (EG) Nr.2295/2003: Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EWG) Nr. 1907/90 des Rates über bestimmte Vermarktungsnormen für Eier. <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003R2295:DE:HTML>

WATKINS, B.A. and R.G. ELKIN: Dietary modulation of oleic and stearic acids in egg yolks. J. Food Comp. Analysis 5 (1992) 209-215.

11 LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name: Claudia Schöftner
Geboren am: 11.05.1981 in Linz/OÖ

Beruflicher Werdegang

seit 01/2006 Produktentwicklerin bei Frenzel*** Austria Frost GmbH
01/2005 – 12/2005 Produktentwicklerin bei 11er Austria Frost Nahrungsmittel GmbH

Ausbildung

1999-2006 Studium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien
Wahlschwerpunkt Lebensmitteltechnologie
03/2004 Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur
08/2003 bis 01/2004 Studienauslandssemester an der University of Leicester (UK)
03/2001 Inskription BWL an der Wirtschaftsuniversität Wien als Zweitstudium
1991-1999 Europagymnasium Linz, Naturwissenschaftlicher Schulzweig

Praktika

09/2004 Praktikum bei Austriafrost Nahrungsmittel GmbH, Abteilung Entwicklung und Qualitätssicherung
09-10/ 2002 Praktikum bei Almi Gewürzindustrie Linz, Qualitätskontrolle
07/ 2001 Praktikum am Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien (Laborarbeit, Studienmitarbeit)

Studienbegleitende Tätigkeiten

2004 Organisationstätigkeit bei ESN (Erasmus Student Network)