



Universität für Bodenkultur Wien

**Diplomarbeit**

# **Das Gelbe vom Ei**

**Lebensmittelchemische Analytik wertgebender Inhaltsstoffe von  
Eigelb unter Einfluss von Futtermittelfermentation**

Verfasser

**SZENTE Alexander**

Wien, 08.10.2018

Betreuer: Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Schreiner  
Department für Lebensmittelwissenschaften und Lebensmitteltechnologie

## *Danksagung*

Mein Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Schreiner für die Betreuung bei der Durchführung und Erstellung dieser Diplomarbeit.

Ebenso den beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Lebensmittelwissenschaften, besonders Frau Biedermann Iris und Frau Forthofer Meltem, und des Instituts für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie.

**Meiner  
Familie**



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>13</b>
7.1	Kleie .....	13
7.2	Hühnerei .....	14
7.2.1	Eischale .....	17
7.2.2	Eigelb, Dotter .....	17
7.2.3	Eiweiß, Eiklar .....	18
7.3	Hühnerfütterung .....	19
7.4	Lipide .....	19
7.5	Fettsäuren .....	20
7.5.1	Gesättigte Fettsäuren (SFA) .....	21
7.5.2	Ungesättigte Fettsäuren (MUFA) .....	22
7.5.3	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA) .....	22
7.6	Vitamin E .....	24
<b>8</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>26</b>
8.1	Probengewinnung .....	26
8.2	Futtermittel .....	26
8.3	Physikalische Parameter .....	28
8.3.1	Gesamtgewicht Ei .....	28
8.3.2	Gewicht Eiklar .....	28
8.3.3	Gewicht Dotter .....	28
8.3.4	Haugh Unit .....	28
8.3.5	Schalengewicht .....	29
8.3.6	Schalendicke .....	29
8.3.7	Farbmessung Dotter .....	29
8.3.8	Bruchstabilität (TPA) .....	29
8.4	Trockenmasse mittels Gefriertrocknung .....	29
8.5	Rohasche .....	30

8.6	Protein nach Kjeldahl.....	31
8.7	Fettgehalt nach Soxhlet.....	33
8.7.1	Fettgehalt des Dotters .....	33
8.7.2	Gesamtfett Futtermittel.....	34
8.8	Fettsäuren .....	35
8.8.1	Herstellung Standard (C17:0; Cholestan).....	35
8.8.2	Saure Transmethylierung .....	36
8.8.3	Alkalische Transmethylierung.....	37
8.8.4	Analyse mittels GC.....	38
8.9	Tocopherole .....	39
8.9.1	Herstellung Tocopherolstandards.....	39
8.9.2	Probenaufbereitung .....	40
8.10	Statistische Auswertung .....	42
<b>9</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>43</b>
9.1	Physikalische Parameter und Trockensubstanz.....	43
9.2	Aschegehalt.....	45
9.3	Proteingehalt .....	46
9.4	Fettgehalt .....	47
9.5	Fettsäuren .....	48
9.6	Tocopherole .....	52
<b>10</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>53</b>
10.1	Physikalische Parameter und Trockensubstanz.....	53
10.2	Aschegehalt.....	53
10.3	Protein- und Fettgehalt .....	54
10.4	Fettsäureprofil .....	54
10.5	Cholesterol, SFA und MUFA .....	56
10.6	PUFA.....	56
10.6.1	$\omega$ -3-Fettsäuren und $\omega$ -6-Fettsäuren.....	56
10.6.2	$\omega$ -6 zu $\omega$ -3-Verhältnis .....	57
10.7	Tocopherole .....	57
<b>11</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
<b>13</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>71</b>

# 1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 7-1 Darstellung Aufbau Hühnerei schematisch .....	16
Abb. 7-2 Übersicht Lipidklassifikation .....	20
Abb. 7-3 Struktur Palmitinsäure.....	21
Abb. 7-4 Struktur Ölsäure .....	22
Abb. 7-5 Struktur $\alpha$ -Linolensäure .....	23
Abb. 7-6 Struktur der Tocopherole .....	24
Abb. 9-1 Rottonänderung zwischen kleiefreier Kontrollgruppe und kleiehaltigen Futtermittelgruppen .....	44
Abb. 9-2 $\omega$ 6/ $\omega$ 3-Verhältnis zwischen kleiefreier Kontrollgruppe und kleiehaltigen Futtermittelgruppen .....	51

## 2 Tabellenverzeichnis

Tab. 7-1 Zusammensetzung Weizenkleie g/100g .....	14
Tab. 7-2 Weltweite Hühnereiproduktion 2014 .....	15
Tab. 7-3 Durchschnittliche Zusammensetzung von Hühnereiern [%].....	16
Tab. 7-4 Zusammensetzung Hühnerei [%] .....	17
Tab. 7-5 Vitamin E: ausgewählte Verbindungen von Dotter in mg/100g .....	18
Tab. 7-6 Übersicht gesättigte Fettsäuren, exemplarisch .....	21
Tab. 7-7 Übersicht einfach ungesättigte Fettsäuren, exemplarisch .....	22
Tab. 7-8 $\alpha$ -Tocopherolgehalt ausgewählter Lebensmittel .....	24
Tab. 8-1 Futtermittelzusammensetzung .....	26
Tab. 9-1 Eigewicht, Gewicht Eiklar, Gewicht Eigelb, Gewicht Schale, Schalendicke.....	43
Tab. 9-2 Bruchfestigkeit, Trockensubstanz, Haugh unit, Helligkeit L*, Rotton a* und Gelbton b* ....	44
Tab. 9-3 Aschegehalt Futtermittel und Rohstoffe.....	45
Tab. 9-4 Aschegehalt Dotter in Trockensubstanz Dotter .....	45
Tab. 9-5 Proteingehalt Futtermittel und Rohstoffe .....	46
Tab. 9-6 Proteingehalt Trockensubstanz Dotter .....	46
Tab. 9-7 Fettgehalt Futtermittel und Rohstoffe.....	47
Tab. 9-8 Fettgehalt Trockensubstanz Dotter .....	47
Tab. 9-9 Fettsäuremuster in Futtermittel und Rohstoff [%] .....	48
Tab. 9-10 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g].....	50
Tab. 9-11 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g].....	51
Tab. 9-12 Gehalt an $\alpha$ -Tocopherol und $\gamma$ -Tocopherol in Futtermittel und Rohstoffen.....	52
Tab. 9-13 Gehalt an $\alpha$ -Tocopherol und $\gamma$ -Tocopherol in Trockensubstanz Dotter .....	52
Tab. 13-1 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g].....	71
Tab. 13-2 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g].....	72

### 3 Formelverzeichnis

Formel 1 Haugh Unit .....	28
Formel 2 Trockensubstanz .....	29
Formel 3 Aschegehalt.....	30
Formel 4 Proteingehalt .....	32
Formel 5 Einwaage Kjeldahl .....	32
Formel 6 Fettgehalt.....	34

## 4 Abkürzungsverzeichnis

BSTFA	Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide
DHA	Docosahexaensäure
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
EtOH	Ethanol
FS	Fettsäure
IL	Interleukin
M	Molar
MeOH	Methanol
MSB	Milchsäurebakterien
MUFA	Monounsaturated fatty acids, einfach ungesättigte Fettsäuren
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
PE	<i>Pleurotus eryngii</i>
PUFA	Polyunsaturated fatty acids, mehrfach ungesättigte Fettsäuren
p-Wert	Wahrscheinlichkeitswert
rpm	Rotations per minute
SEM	Standard error of the mean, Standardfehler
SFA	Saturated fatty acids, gesättigte Fettsäuren
TG	Testgruppe
TMCS	Trimethylchlorosilane
TPA	Texture profile analysis
TUFA	Total unsaturated fatty acids
vs.	Versus

## 5 Zusammenfassung

Weizenkleie ist ein wichtiges Nebenprodukt der Müllerei. Im Ausblick auf ressourcensparende Nutzung von Rohstoffen gewinnt Kleie aufgrund der Inhaltstoffe und des Faserreichtums zunehmend an Bedeutung in der Tier- und Humanernährung.

Ziel der Analysen war es, einen möglichen Einfluss von Kleiezugabe im Ausmaß von 15 % zu Legehennenfutter auf die Eigenschaften und Komponenten des Eies zu untersuchen. Es wurden physikalische Eigenschaften des Eies und Aschegehalt, Proteingehalt, Fettgehalt, Fettsäureprofil und Tocopherolgehalt des Dotters betrachtet.

Im Versuchsaufbau wurde eine Kontrollgruppe ohne Kleie mit drei Versuchgruppen verglichen, um generelle Unterschiede und den Einfluss der Kleiefermentation aufzuzeigen. Die Versuchsgruppenfuttermittel wurden mit nativer Kleie, mit *Pleurotus eryngii* fermentierter Kleie und Kleie fermentiert mit *Pleurotus eryngii* in Kombination mit Milchsäurebakterien ergänzt. Jeweils sechs Hühner wurden pro Gruppe 21 Tage gefüttert und die Eier von Tag 22 – 24 und 25 – 27 entnommen und gepoolt.

Es konnte durch die Reduktion des Futtermittelanteils von Mais und dessen Farbstoffen eine geringfügige Verminderung des Rottons im Dotter festgestellt werden. Andere physikalische Parameter zeigten keinen Unterschied zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe.

Aschegehalt, Proteingehalt, Fettgehalt und Tocopherolgehalt blieben ebenfalls durch Kleiezugabe unbeeinflusst.

Im Fettsäuremuster kam es zu Änderungen, vornehmlich zu einer Anreicherung von mehrfach ungesättigten Fettsäuren bei Reduktion der einfach ungesättigten Fettsäuren. Der höhere Gehalt an Linolsäure in den Versuchsgruppen spiegelt das reichliche Angebot an Linolsäure im Futtermittel wieder.  $\alpha$ -Linolensäure-Werte blieben unter den Versuchsbedingungen unverändert. Der Linolsäure/ $\alpha$ -Linolensäure-Quotient wurde um ca. 10 % gesteigert. Der summative Gehalt an  $\omega$ -6-Fettsäuren wurde durch Einsatz von Kleie ebenfalls deutlich gesteigert, besonders durch Fermentation mit *Pleurotus eryngii* in Kombination mit Milchsäurebakterien. Durch konstanten summativen  $\omega$ -3-Fettsäure-Anteil verschiebt sich daher der  $\omega$ -6/ $\omega$ -3-Fettsäurequotient negativ.

Bei ausgewogener Ernährung hat diese Verschiebung im Fettsäureprofil keine merklich negativen Einflüsse auf den Konsumenten.

Weizenkleie eignet sich somit, hinsichtlich der untersuchten Parameter, als Ersatz für andere Futtermittel wie Mais. Das Produkt Ei erleidet keine Qualitätsminderung. Die Legehennenfütterung stellt eine Möglichkeit dar, Weizenkleie einzusetzen.

## 6 Abstract

Wheat bran is a major byproduct of the milling industry. In aspect of prospective reduction in use of natural resources, bran is gaining more importance in the fields of animal feed and human nutrition due to the high amount of contents and fibres. The primary objective of the analyses was to explore a possible influence on components of chicken eggs after modification of the laying hen feed by adding 15 % wheat bran to a common feeding mix. Tested parameters were general physical aspects and in terms of yolk, ash contents, protein levels, amounts of fat, fatty acids profile and tocopherols.

The test consisted of four groups, a control group without bran added to the feed and three test groups. The test groups were each fed with bran, the first group contained native bran, the second one bran fermented with *Pleurotus eryngii* and the third group bran fermented with *Pleurotus eryngii* in combination with lactic acid bacteria. Each tested group based on a total group size of six chicken. The feeding period was determined for 21 days, first samples were picked at day 22 – 24, which were pooled up for further analyses. At day 25 – 27 a second pool of samples was collected.

Red colour intensity of yolks was reduced in all test groups, due to the lower amount of corn in the feeding mix. Other physical parameters were not affected by the feed. Further regarding the amount of ash, fat, protein and tocopherols, no significant difference between the control group and the test groups was observed.

In the fatty acids profile the total amount PUFAs increased, the total amount of MUFAs decreased. High level of linoleic acid in the yolk was promoted by the high content of linoleic acid in the feeding stuff.  $\alpha$ -linolenic acid amount was not affected by the feed. Linoleic-/ $\alpha$ -linolenic-acid ratio was increased by 10 % comparing control group to the test groups. Summative  $\omega$ 6-PUFA was especially increased by the use of fermented wheat bran containing *Pleurotus eryngii* in combination with lactic acid bacteria. Because of the constant niveau of  $\omega$ 3-PUFA the  $\omega$ 6/ $\omega$ 3-PUFA ratio increased. In aspect of a healthy nutrition a lower  $\omega$ 6/ $\omega$ 3-PUFA ratio would be preferable. On the premise of a balanced human diet the influence on human nutrition can be neglected. Wheat bran seems to be an usefull alternative feedstuff e.g. to corn suitable depending the analysed parameters. The eggs suffered no reduction of quality level. Feeding of laying hens could be a future possibility in use of wheat bran as alternativ to human edible foodstuffs.

## 7 Einleitung

Kleie ist ein Nebenprodukt der Müllerei. Bis zu 150.000 Tonnen Weizenkleie fallen weltweit jährlich an (Prückler et al., 2014; Reisinger et al., 2013; Schmidt, 2016).

Wirtschaftliche Gründe und Schonung von Umweltressourcen sind ein großer Anstoß, hinsichtlich Nutzbarkeit der Kleie, neue Wege zu erschließen. Versuche, die Kleienutzung energietechnisch weiter zu optimieren, als Futtermittel vermehrt zu implementieren oder auch als Lebensmittelzusatz sind aktuelle Themen der Forschung (Anil, 2012; Kraler et al., 2014; Prückler et al., 2015; Reisinger et al., 2013; Wanzenböck et al., 2018; Wójtowicz & Moscicki, 2011).

Im Zuge dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob sich ein Einfluss von Fermentation der Weizenkleie auf Wertstoffkomponenten und Eigenschaften des Hühnereies, ähnlich wie in der Schweinenutztierwirtschaft, zeigen (Kraler et al., 2015). Hierbei werden allerdings agrar- und nutztierwissenschaftliche Aspekte, wie etwa die Verdaulichkeit oder Einfluss auf die histologische Darmbeschaffenheit von Hühnern, nicht behandelt (Jørgensen, Zhao, Knudsen & Eggum, 1996; Walugembe, Rothschild & Persia, 2014).

Zur Analyse wurden Eier von Legehennen herangezogen, die entsprechend der Versuchplanung unterschiedliche Futtermittel mit fermentierter Kleie erhielten. Zur Fermentation wurden *Pleurotus eryngii*, der braune Kräuter-Seitling (Webster & Mellerowicz, 1983), *Pleurotus ostreatus*, der Austern-Seitling (Webster & Mellerowicz, 1983), und Milchsäurebakterien (Madigan, Martinko, Stahl & Clark, 2013) eingesetzt (Wanzenböck et al., 2017, 2018).

### 7.1 Kleie

Die Schale und der Keim machen etwa 6 – 16 % des Kornes aus und werden als Kleie bezeichnet (Karbstein & Schuchmann, 2005).

Getreide bedarf einer weitgehenden technischen Verarbeitung, um die zellulosehaltige Frucht- und Samenschale von dem Endosperm abzutrennen.

Bei der Vermahlung werden Frucht- und Samenschale, Keimling sowie Teile der Aleuronschicht als Kleie abgetrennt (Bolling, 1991).

Dieses bei der Getreidevermahlung entstehende Produkt wird vom Mehl durch Sichten oder Sieben getrennt und kommt in der Futtermitteltechnologie oder Humanernährung, vornehmlich als Ballaststoff und Mineralstoffquelle zum Einsatz (Kunz, 1993).

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Weizenkleie siehe Tab. 7-1. Für Vitamin E wird ein Literaturwert von 2700 µg pro 100g Weizenkleie angegeben. Der Nährwert von Kleie liegt bei 720 kJ/100g (Andersen & Soyka, 2018). Hinsichtlich Gehaltsangaben von Tocopherolderivaten in Weizenkleie variieren die Werte stark je nach Herkunft und Sorte des Weizens. Beispielweise für α-Tocopherol 1,28 – 21,29 und γ-Tocopherol 0,92 – 6,90 µg / g (Becker, 2013; Gupta, Jangir & Sharma, 2016; Zhou, Su & Yu, 2004; Zhou, Yin & Yu, 2005).

**Tab. 7-1 Zusammensetzung Weizenkleie g/100g**

Wasser	11,5
Eiweiß	14,9
Fett	4,7
Kohlenhydrate	17,3
Ballaststoffe	45,4
Mineralstoffe	6,2

## 7.2 Hühnerei

Eier haben seit Urzeiten einen großen Stellenwert in der Ernährung, bedingt durch die ernährungsphysiologisch hochwertige Zusammensetzung der Inhaltsstoffe sowie deren simple Resorbierbarkeit (Belitz, Grosch & Schieberle, 2007).

Im normalen Sprachgebrauch wird unter dem Begriff „Ei“ das Hühnerei beschrieben. Eier anderer Geflügelarten, z.B. Gänse, Enten oder Wachteln spielen eine deutlich untergeordnete Rolle (Belitz et al., 2007; Frede, 2010).

Die weltweite Hühnereiproduktion belief sich im Jahr 2014 auf 1,27 Billionen Stück. Auf Platz zwei der Produzenten liegt die Europäische Union, führend ist die Volksrepublik China („Kennzahlen | AMA - AgrarMarkt Austria“, 2017).

**Tab. 7-2 Weltweite Hühnereiproduktion 2014**

Menge in 1.000 Stück

China	459.063.440
EU	112.483.692
USA	100.879.000
Indien	75.970.000
Mexiko	51.343.980
Brasilien	44.811.084
Japan	41.698.683
Russland	41.313.000
<b>Österreich</b>	1.784.046
<b>Welt</b>	1.268.612.518

(„Kennzahlen | AMA - AgrarMarkt Austria“, 2017)

Im Jahr 2016 belief sich die österreichische Eiproduktion auf ca. 1,88 Mrd. Stück, was 115.814 Tonnen entspricht. Demgegenüber steht der Inlandsverbrauch 2016 an Hühnereiern mit 2,19 Mrd. Stück (134.431 Tonnen). Der Nahrungsverbrauch macht hierbei 2,05 Mrd. Stück (93,8 %) aus. Österreich hält somit für das Jahr 2016 einen Selbstversorgungsgrad von 86 %. Im Durchschnitt konsumiert jeder Österreicher pro Jahr ca. 235 Eier. Dieser Wert blieb über die letzten fünf Jahr weitgehend konstant. (Statistik Austria, 2017)

Der Aufbau des Hühnereies ist schematisch in Abb. 7-1 dargestellt.

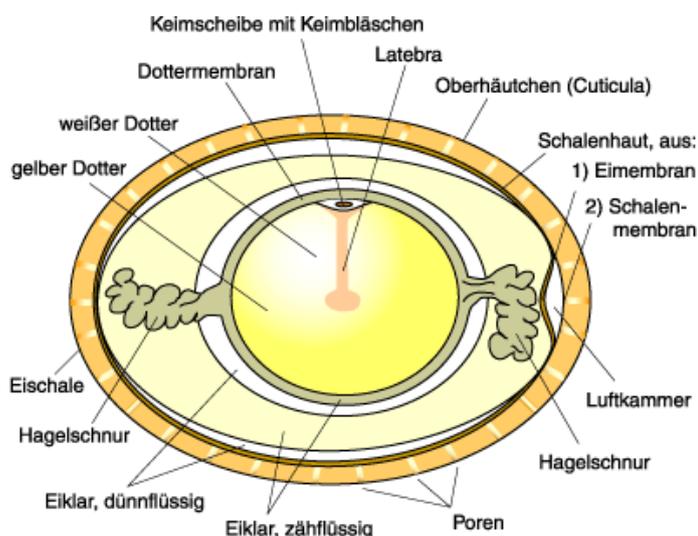


Abb. 7-1 Darstellung Aufbau Hühnerei schematisch (Eisenbrand, 2006)

Rasseabhängig wird das Ei von einer weiß bis grauen, braunen oder grünen Kalkschale umschlossen (Frede, 2010). An der Schale anliegend befindet sich eine doppelschichtige Haut, die am stumpfen Eiende eine Luftkammer bildet. Zentral befindet sich das Eigelb, auch Dotter genannt. Das Eigelb ist an der Innenhaut mittels gedrillten Hagelschnüren (Chalazen) befestigt. Den Dotter umgibt das meist klare Eiweiß (Belitz et al., 2007).

Abhängig von Rasse, Fütterung und Alter variieren die Eigenschaften des Eies (Kallweit, Fries, Kielwein & Scholtyssek, 1988). Das Gewicht des gesamten Hühnereies liegt dabei normal zwischen 30 g und 80 g (Frede, 2010).

Tab. 7-3 Durchschnittliche Zusammensetzung von Hühnereiern [%]

	Gesamt- masse	Trocken- masse	Proteine	Fette	Kohlen- hydrate	Mineral- stoffe
Schale	10,3	98,4	3,3 <sup>1</sup>			95,1
Eiklar	56,9	12,1	10,6	0,03	0,9	0,6
Eigelb	32,8	51,3	10,6	32,6	1	1,1

<sup>1</sup> Protein-Mucopolysaccharid-Komplex  
(Belitz et al., 2007)

**Tab. 7-4 Zusammensetzung Hühnerei [%]**

Wasser	74,4
Eiweiß	12,8
Fett	11,3
Kohlenhydrate	0,7
Mineralstoffe	1

(Souci, Fachmann & Kraut, 2008)

### **7.2.1 Eischale**

Die Dicke der Schale misst etwa 0,2 – 0,4 mm (Frede, 2010; Kallweit et al., 1988). Eine Schalendicke von weniger als 0,32 mm wird als „dünnchalig“ bezeichnet (Fehlhaber & Janetschke, 1992). Die Schale besteht hauptsächlich aus Calciumcarbonat, daneben geringe Mengen Magnesiumcarbonat und Phosphat (Belitz et al., 2007). Die Schale hat eine Trockenmasse von 98,4 % und einen Mineralstoffanteil von 95,1 %. Die Schalenmatrix enthält Poren, die einen ständigen Gasaustausch zulassen. Die Poren, etwa 7.000 – 17.000 pro Ei, werden zum Schutz vor mikrobiologischem Schaden von Protein-Mucopolysaccharid-Komplexen durchzogen (Belitz et al., 2007; Frede, 2010).

### **7.2.2 Eigelb, Dotter**

Das Eigelb ist zwiebelschalenartig aufgebaut (Baltus & Matissek, 2011). Dotter ist eine Fett-Wasser-Emulsion mit Trockenmasse von ca. 50 %. Hauptbestandteile des Dotters sind Fett mit 65 % und Proteine mit 31%, weiters Kohlenhydrate (4 %) und Mineralstoffe (2 %). Weitere Bestandteile des Dotters sind Vitamine, Aromastoffe und Farbstoffe aus der Gruppe der Carotinoide. Der Dotter enthält Partikel unterschiedlicher Größe, Dottertröpfchen (Durchmesser 20 – 40 µm) und Granula (1,0 – 1,3 µm). Die Tröpfchen bestehen überwiegend aus Lipiden, die teilweise von Proteinmembranen umgeben sind. Die Granula bestehen größtenteils aus Proteinen, enthalten aber auch Lipide und Mineralstoffe. Lipide und Proteine sind in Lipoproteinen organisiert und liegen in Form von LDL (low density lipoproteins mit hohem Lipidanteil) und HDL (high density lipoproteins mit niedrigerem Lipidanteil) vor (Andersen & Soyka, 2018; Belitz et al., 2007; Souci et al., 2008). Der pH-Wert von Frischei-Dotter liegt bei 6,0 und steigt bei Lagerung auf 6,4 – 6,9 (Belitz et al., 2007).

Die Keimscheibe sowie die Keimblase liegen meist seitlich am Dotter und sind Ausgangspunkt der embryonalen Entwicklung nach Befruchtung. Hierbei dient das Eigelb als Energie und Nährstofflieferant (Ternes, Täufel, Tunger & Zobel, 2005; Ternes, Acker & Scholtyssek, 1994).

**Tab. 7-5 Vitamin E: ausgewählte Verbindungen von Dotter in mg/100g**

Tocopherole gesamt	6,5
$\alpha$ -Tocopherol	5,4
$\beta$ -Tocopherol	0,12
$\gamma$ -Tocopherol	0,25
$\alpha$ -Tocotrienol	0,7

(Souci et al., 2008)

Hinsichtlich des Tocopherolgehaltes finden sich je Literaturquelle unterschiedliche Gehaltsangaben. Hier eine alternative Angabe, welche einen  $\alpha$ -Tocopherolwert für getrockneten Frischdotter mit 4,81 mg pro 100 g auszeichnet (United States Department of Agriculture & Agricultural Research Service, 2018).

### 7.2.3 Eiweiß, Eiklar

Eiweiß ist eine höherviskose, proteinhaltige (10 %-ig) wässrige Lösung. Die größte Fraktion der Eiklarproteine bildet Ovalbumin mit 54 %. Ovalbumin ist ein Glykophosphoprotein mit 3,2 % Kohlenhydraten (Mannose und Glucose), bestehend aus 385 Aminosäurenresten.

Weitere proteinogene Bestandteile sind unter anderem Conalbumin, Ovomuroid, Ovomucin, Lysozym, Ovoglobuline G2 und G3 (bekannt als gute Schaumstabilisatoren), Flavoprotein und Avidin. (Belitz et al., 2007)

Frisches Eiweiß hat einen pH-Wert im Bereich von 7,6 – 7,9. Bei Alterung des Eies steigt der pH-Wert auf 8,4 – 8,9. Ursächlich hierfür sind die unter 7.2.1 erwähnten Poren, durch die es zu CO<sub>2</sub> – Diffusion kommt. Es können teilweise pH-Werte von bis zu 9,7 gemessen werden. (Belitz et al., 2007; Frede, 2010)

Etwa die Hälfte der Kohlenhydrate liegt frei vor, der Rest proteingebunden. Glucose bildet mit 98 % die Hauptfraktion, weiters vorhanden sind Mannose, Galactose, Arabinose, Xylose, Ribose und Desoxyribose (Belitz et al., 2007).

### **7.3 Hühnerfütterung**

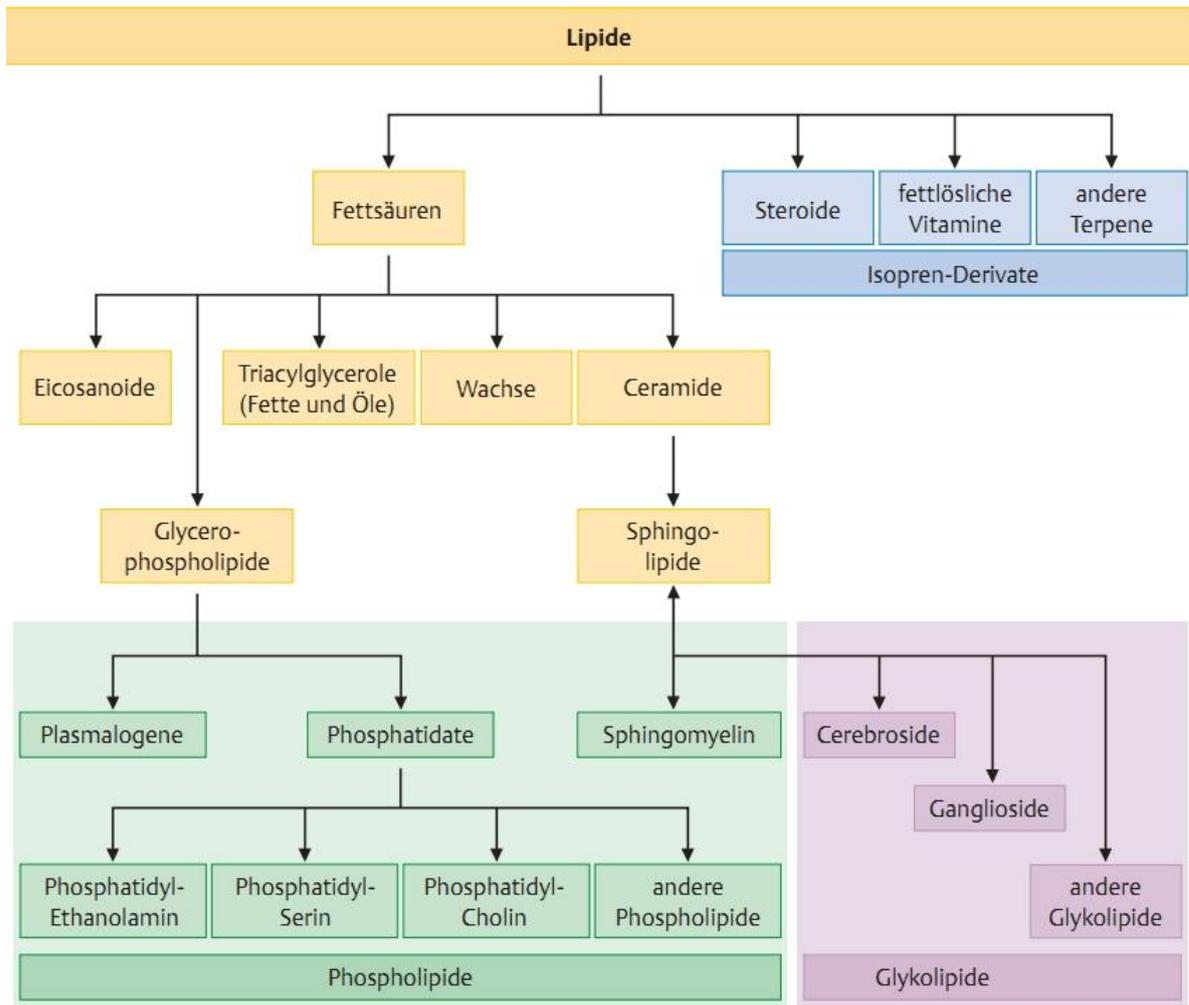
Das Ziel der Legehennenfütterung ist die effiziente Verwertung der in Futtermitteln enthaltenen Nährstoffe. Das Produkt soll ein qualitativ hochwertiges Ei sein. Es gilt hier verschiedene Aspekte zu berücksichtigen, z.B. tierphysiologische Unterschiede hinsichtlich Bedarf und Variabilität der Verdauung von Futtermittel, die Wirtschaftlichkeit der Fütterung und Einflussnahme auf die Eieigenschaften. (Schreiter & Damme, 2017)

Die Möglichkeit Einfluss auf das Hühnerei und dessen Eigenschaften und die Verdaulichkeit von Futtermittel durch Modifikation der Fütterung zu nehmen ist vielfältig. Es müssen hier sensorische, ökonomische und technologische Aspekte berücksichtigt werden. Generell können unterschiedliche Futtermittelrezepturen genutzt und phasenabhängig gefüttert werden. Sowohl unterschiedliche Anteile an Basiskomponenten wie z.B. Mais, Soja, Weizen, Gerste, Hafer oder Raps als auch gezielte Beeinflussung des Komponentenprofils durch Beimischung von Ölen und Fetten, organischen Säuren, Probiotika, Vitaminen, Farbstoffen, Enzymen oder phytogenen Stoffen kommen zum Einsatz (Ahmadi & Rahimi, 2011; Ceylan, Ciftçi, Mızrak, Kahraman & Efil, 2011; Incharoen, Maneechote, Incharoen & Maneechote, 2013; Jimenez Moreno, Frikha, de Coca-Sinova, P. Lazaro & Mateos, 2013; Kallweit et al., 1988; Kraler et al., 2014; Prückler et al., 2014; Rahman Alizadeh, Mahdavi, Rahmani & Jahanian, 2015; Ruan et al., 2015; Schreiter & Damme, 2017; Walugembe et al., 2015; Wanzenböck et al., 2017; Wójtowicz & Moscicki, 2011).

### **7.4 Lipide**

Hierbei handelt es sich um einen Sammelbegriff der Fette, Öle, Wachse und fettähnliche Stoffe bezeichnet (Clayden, Greeves & Warren, 2017). Manchmal rechnet man auch Isoprenoide wie Terpene und Steroide hinzu (Latscha, Kazmaier & Klein, 2008).

Generell zeichnen sich die Lipide durch eine ausgeprägte Hydrophobizität aus, diese nimmt mit Länge der Kohlenwasserstoffreste zu. Grundlegend können sie in verseifbare und nicht verseifbare Lipide eingeteilt werden.



**Abb. 7-2 Übersicht Lipidklassifikation** (Biesalski, Pirlich, Bischoff & Weimann, 2017)

Eine weiterführende Einteilung ist nach Komplexität möglich, man unterscheidet einfach und komplexe Lipide. Beispiele für einfache Lipide sind Triacylglyceride oder Cholesterinester, Beispiele für komplexe Lipide sind Phospholipide oder Glykolipide. (Christie, 1989; McNaught & Wilkinson, 1997; Mortimer, Müller & Beck, 2015)

## 7.5 Fettsäuren

Fettsäuren sind Monocarbonsäuren, die zumeist aus unverzweigten, geradzahigen Kohlenwasserstoffketten bestehen. Sie können nach der Länge der Acylkette, Anzahl, Position und Konfiguration der Doppelbindungen klassifiziert werden (Belitz et al., 2007). Es werden kurzkettige (4 – 6 Kohlenstoffe), mittelkettige (8 – 12 Kohlenstoffe) und langkettige ( $\geq 13$  Kohlenstoffe) Fettsäuren unterschieden. Weiters erfolgt eine Unterteilung in gesättigte, einfach ungesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Biesalski et al., 2017). Natürlich treten Fettsäuren, bedingt durch die Biosynthese aus C2-Einheiten, meist geradzahlig auf (Belitz et al., 2007). Das Fettsäuremuster in Triglyceriden ist spezifisch für die Tier-

oder Pflanzenart, von der diese stammen. Das Muster unterliegt natürlichen Schwankungen, welche bei tierischen Fetten auf Ernährung oder Züchtung, bei pflanzlichem Ursprung auf Klima, Anbaubedingungen oder Züchtung zurückzuführen sind (Clayden et al., 2017).

### 7.5.1 Gesättigte Fettsäuren (SFA)

Gesättigte Fettsäuren haben keine Doppelbindungen zwischen C-Atomen, alle C-Atome sind mit Wasserstoff gesättigt. Eine auszugweise Übersicht von gesättigten Fettsäuren ist in Tab. 7-6 angeführt. Abb. 7-3 zeigt beispielhaft die Struktur einer ungesättigten Fettsäure anhand der Palmitinsäure (Belitz et al., 2007).

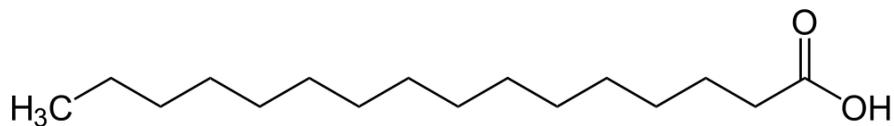


Abb. 7-3 Struktur Palmitinsäure

Tab. 7-6 Übersicht gesättigte Fettsäuren, exemplarisch

Kurzbezeichnung	Trivialname	Systematischer Name	Formel
C14:0	Myristinsäure	Tetradecansäure	C <sub>13</sub> H <sub>27</sub> COOH
C16:0	Palmitinsäure	Hexadecansäure	C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH
C18:0	Stearinsäure	Octadecansäure	C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH
C20:0	Arachinsäure	Eicosan-/Icosansäure	C <sub>19</sub> H <sub>39</sub> COOH
C22:0	Behensäure	Docosansäure	C <sub>21</sub> H <sub>43</sub> COOH
C24:0	Lignocerinsäure	Tetracosansäure	C <sub>23</sub> H <sub>47</sub> COOH

### 7.5.2 Ungesättigte Fettsäuren (MUFA)

Entsprechend 7.5.1 zeigen ungesättigte Fettsäuren C-C-Doppelbindungen, durch deren Zahl und Position eine Benennung erfolgt (Clayden et al., 2017).

Natürlich vorkommende ungesättigte Fettsäuren haben die Doppelbindung cis-ständig. Die wichtigste dieser ungesättigten Säuren ist die Ölsäure, sie bildet den Hauptbestandteil vieler natürlicher Öle. Sie findet sich vor allem in Oliven- und Mandelöl sowie im Fischtran (Habermehl, Hammann, Krebs & Ternes, 2008). Eine auszugweise Übersicht von einfach ungesättigten Fettsäuren ist in Tab. 7-7 angeführt. Abb. 7-4 zeigt beispielhaft die Struktur einer einfach ungesättigten Fettsäure anhand der Ölsäure (Belitz et al., 2007).

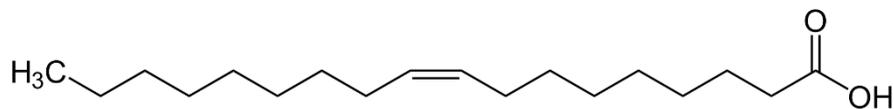


Abb. 7-4 Struktur Ölsäure

Tab. 7-7 Übersicht einfach ungesättigte Fettsäuren, exemplarisch

Kurzbezeichnung	Trivialname	Formel
C16:1 $\omega$ 7	Palmitoleinsäure	C <sub>15</sub> H <sub>29</sub> COOH
C18:1 $\omega$ 9	Ölsäure	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH
C18:1 $\omega$ 7	Iso - Ölsäure	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH
C20:1 $\omega$ 9	Gadoleinsäure	C <sub>19</sub> H <sub>37</sub> COOH
C20:1 $\omega$ 11	Gondonsäure	C <sub>19</sub> H <sub>37</sub> COOH

### 7.5.3 Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA)

Entsprechend 7.5.2 haben mehrfach ungesättigte Fettsäuren zumindest zwei C-C-Doppelbindungen. Die wichtigsten Gruppe der PUFA sind  $\omega$ -6-Fettsäuren und  $\omega$ -3-Fettsäuren. Die  $\omega$ -6-Fettsäuren stammen metabolisch von Linolsäure,  $\omega$ -3-Fettsäuren von  $\alpha$ -Linolensäure ab (Elmadfa & Leitzmann, 2015).

Der Mensch kann Doppelbindungen, die mehr als 9 C-Atome entfernt vom Carboxylende sind, nicht selbst synthetisieren. Pflanzen können zusätzliche Doppelbindungen erzeugen. Einbau dieser z.B. in Ölsäure und damit Linolsäure mit zwei Doppelbindungen (18:2 $\omega$ 6) oder  $\alpha$ -Linolensäure mit 3 Doppelbindungen (18:3 $\omega$ 3) bilden, beides essentielle Fettsäuren. Eine Konversion ineinander ist nicht möglich (Biesalski et al., 2017).

Abb. 7-5 zeigt die  $\alpha$ -Linolensäure.

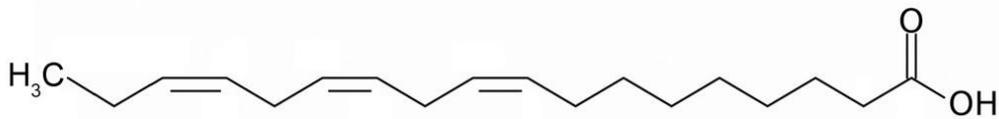


Abb. 7-5 Struktur  $\alpha$ -Linolensäure

### 7.5.3.1 $\omega$ -3 Fettsäuren

Zu den  $\omega$ -3-Fettsäuren zählt die  $\alpha$ -Linolensäure (C18:3 $\omega$ 3). Andere  $\omega$ -3-Fettsäuren stammen von  $\alpha$ -Linolensäure ab. Sie können im menschlichen Körper durch Elongation und Desaturation gebildet werden. Wichtige  $\alpha$ -Linolensäure-Quellen sind etwa Leinöl, Rapsöl, Sojaöl, Sesamöl und Walnussöl (Biesalski et al., 2017).

Langkettige  $\omega$ -3-Fettsäuren können bei Höchstdosiskonsum das Arteriosklerose- und das Herzinfarkttrisiko verringern und sind entzündungshemmend (Clayden et al., 2017).

### 7.5.3.2 $\omega$ -6 Fettsäuren

Linolsäure (C18:2 $\omega$ 6) ist die wichtigste essentielle Fettsäure. Im menschlichen Körper stellt sie die Vorstufe der Arachidonsäure (C20:4 $\omega$ 6) dar (Elmadfa & Leitzmann, 2015). Arachidonsäure ist eine wichtige Vorstufe bei Entzündungsprozessen in der Prostaglandin- und Leukotriensynthese. Linolsäure wird durch Desaturierung und Elongierungsschritte über die  $\gamma$ -Linolensäure (C18:3 $\omega$ 6) weiter zu Dihomogammalinolensäure (C20:3 $\omega$ 6) und zu Arachidonsäure metabolisiert (Pape, Kurtz & Silbernagl, 2018).

Die Linolsäure findet sich vorwiegend in Sonnenblumen-, Traubenkern-, Distel-, Raps-, Maiskeim- und Sojaöl (Biesalski et al., 2017; Elmadfa & Leitzmann, 2015).

### 7.5.3.3 $\omega$ -6- zu $\omega$ -3 Fettsäure-Verhältnis

Ernährungsphysiologische Bedeutung hat nicht nur die Menge der einzelnen Fettsäuren, sondern auch das Verhältnis von  $\omega$ -6- zu  $\omega$ -3 Fettsäuren. Das derzeit angenommene Optimum liegt bei einem Verhältnis  $\omega$ -6 zu  $\omega$ -3 von vier zu eins, kleinere Quotienten sind von gesundheitlichem Vorteil (Harnack, Andersen & Somoza, 2009; Simopoulos, 2002). Aktuelle Empfehlungen orientieren sich an diesem Richtwert. Derzeit zeichnet sich ein Trend ab, der das Verhältnis von  $\omega$ -6- zu  $\omega$ -3 Fettsäuren in Kombination mit Absolutaufnahmemengen setzt (DGE, 2015, 2018).

## 7.6 Vitamin E

Vitamin E zählt zu den fettlöslichen Vitaminen. Unter der Bezeichnung Vitamin E versteht man die Derivate des Tocols, ein Chromanderivat, der wichtigste Vertreter ist RRR- $\alpha$ -Tocopherol (5,7,8-Trimethyltocol) (Clayden et al., 2017; Habermehl et al., 2008).

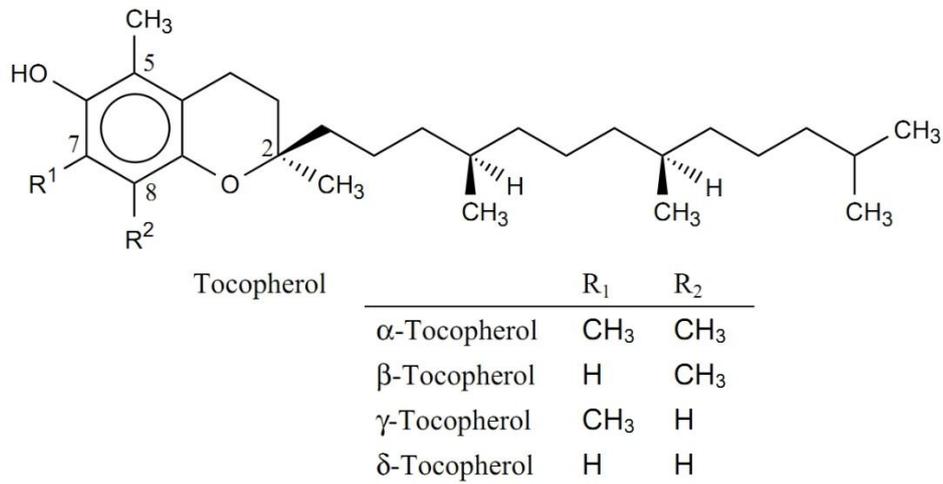


Abb. 7-6 Struktur der Tocopherole (Clayden et al., 2017)

Vitamin E ist in geringen Konzentrationen in Pflanzen weit verbreitet, reich daran sind Getreidekeimlinge und deren Öl, grüne Salate, Eidotter, Milch und Butter (Clayden et al., 2017; Habermehl et al., 2008).

In Tab. 7-8 ist der  $\alpha$ -Tocopherolgehalt ausgewählter Lebensmittel angeführt.

Tab. 7-8  $\alpha$ -Tocopherolgehalt ausgewählter Lebensmittel

Lebensmittel	$\alpha$ -Tocopherolgehalt [mg/100g]
Weizenkeimöl	200
Sonnenblumenöl	50
Olivenöl	10 – 30
Sojaöl	10
Butter	10 – 33
Fisch	4 – 33
Eier	8 - 12
Fleisch	2 – 8
Milch, im Frühjahr	1,2
Milch, im Herbst	2,2

Gemüse, Gemüseprodukte	1,0
Äpfel	1,8
Getreide, Getreideprodukte	1,0

(Daten entnommen aus Biesalski et al., 2017)

Humaner Tagesbedarf des Vitamines sind 10 – 15 mg bei einem Resorptionsgrad mit Fetten im Dünndarm zwischen 20 und 50 %.

$\alpha$ -Tocopherol ist Bestandteil aller Membranen tierischer Zellen (Biesalski et al., 2017).

Vitamin E reduziert, neben vielen weiteren Einflüssen, im Zug der Lipidperoxidation durch Reduktion der Fettsäure-Peroxyradikale den damit verbundenen Sauerstoffverbrauch, hat Einfluss auf den Kohlenhydratstoffwechsel, Wasserhaushalt, die männlichen Keimdrüsen, Funktion von Nervengewebe und Muskulatur und wirkt entzündungsreaktionshemmend (Clayden et al., 2017; Habermehl et al., 2008; Newaz & Nawal, 1998).

Eine biologische antioxidative Wirkung ist bekannt, besonders bei mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Zwischen Tocopherolen und Tocotrienolen variiert die antioxidative und Vitamin-E-Wirkung, die antioxidative Aktivität der Homologen ist nicht identisch.  $\alpha$ -Tocotrienol zu  $\alpha$ -Tocopherol hat nur etwa 30 % der Vitamin-E-Aktivität, aber eine höhere antioxidative Wirkung in biologischen Membranen.

Vitamin E hat eine starke Affinität zu Lipidperoxyl-Radikalen. Unter Entstehung von Tocopheroxyl-Radikalen wird Wasserstoff der phenolischen Hydroxylgruppe des Vitamin E auf oxidierte Fettsäuren übertragen und damit die Kettenreaktion unterbrochen. Das Tocopheroxyl-Radikal hat eine hohe Resonanzstabilität, ist reaktionsträge, und wird vermutlich durch zytosolisch vorhandene Ascorbinsäure wieder zur Vitamin E umgewandelt (Biesalski et al., 2017; Clayden et al., 2017; Habermehl et al., 2008).

Gegen Erhitzen sind Tocopherole beständig, sind aber sensitiv gegen UV-Bestrahlung und Sauerstoff (Clayden et al., 2017).

Ein Vitamin-E-Mangel führt zum Anstieg der Lipidperoxidation in Blut und Gewebe. Ein Mangel an Vitamin-E beeinflusst auch die Aktivität zahlreicher Enzyme, vor allem Membranenzyme, wobei sowohl Erhöhung als auch Erniedrigung beobachtet wurde (Biesalski et al., 2017).

## 8 Material und Methoden

### 8.1 Probengewinnung

Es wurden 24 Versuchstiere der Rasse Lohmann BROWN-Classic, mit einem durchschnittlichen Alter von 35 Wochen, eingesetzt. Die im Versuch verwendete Futtermischung ist in Tab. 8-1 beschrieben. Die Hühner aller Gruppen wurden für 21 Tage mit einer Tagesration von 120 g Futtermittel, entsprechend der Futtermittelgruppe, gefüttert. Der Anteil an Kleie liegt bei 15 % bzw. 18 g pro Tag. Nach 21 Tagen Fütterung wurden die gelegten Eier von Tag 22 – 24 als Probe herangezogen und gepoolt, weiters die gelegten Eier von Tag 25 – 27 als zweite Poolprobe.

### 8.2 Futtermittel

Im Versuchsansatz wurden vier Futtermittelmischungen mit unterschiedlicher Kleiemenge eingesetzt. Diese werden im Folgenden mit den Bezeichnungen TG1 bis TG4 bezeichnet. TG1 kleiefreie Kontrollgruppe, TG2 unfermentierte Kleie, TG3 und TG4 fermentierte Kleie.

Die native Kleie wurde extern im Vorfeld mittels Fermentation durch *Pleurotus eryngii* und *Pleurotus ostreatus*, sowie Milchsäurebakterien behandelt. Die generelle Zusammensetzung der Futtermittelbasis wird in Tab. 8-1 dargestellt.

**Tab. 8-1 Futtermittelzusammensetzung**

Inhaltsstoffe [g/kg]	Futtermittel	
	TG1	TG2
Mais	597	435
Weizenkleie	-	150
Sojaschrot ohne Schale	269	248
Pflanzenöl	29	62
Austernschale	57	58
Kalkstein	28	29
CaPO <sub>4</sub>	13	11
NaCl	4	4
Methionin	1	12
Vitamin premix	0,25	0,25

Spurenelemente premix	0,56	0,56
Cholin-Cl	0,80	0,80
Phytase	0,15	0,15
NSP – Enzyme	0,05	0,05

---

Die Futtermittel wurden durch pflanzliche Öle ergänzt um einem Mangel durch Komponentensubstitution vorzubeugen. Ein möglichst einheitliches Ausgangsfutter zur Vergleichbarkeit wurde angestrebt, dennoch sind Unterschiede durch die Zusammensetzung und der Verarbeitung nicht auszuschließen.

#### Futtermittel TG3

Das Futtermittel Code TG3 wurde in der Zusammensetzung Futtermittel TG2 gefertigt. Eingesetzt wurde Weizenkleie aus dem Fermentationsansatz mit *Pleurotus eryngii* und *Pleurotus ostreatus*.

#### Futtermittel TG4

Das Futtermittel Code TG4 wurde in der Zusammensetzung Futtermittel TG2 gefertigt. Eingesetzt wurde Weizenkleie aus dem Fermentationsansatz mit *Pleurotus eryngii* und *Pleurotus ostreatus*, in Kombination mit Milchsäurebakterien.

## 8.3 Physikalische Parameter

### Material

- Analysewaage (Sartorius, Max. 220 g, d = 0,0001 g)
- Gefriertrockner (VirTis advantage Plus wizard 2.0)
- Mikrowegaufnehmer (Eigenbau Department TTE, 0 – 25 mm, d = 0,001 mm)
- Schraubenmikrometer (Mitutoyo IP65, 0 – 25 mm, d = 0,001 mm)
- Spectrophotometer (Konica Minolta CM-600d)
- Texture Analyser (TA.HD.Plus)
- Trockenschalen
- Trockenschrank (Thermo Scientific Heraeus Oven T20P)

### 8.3.1 Gesamtgewicht Ei

Das komplette Ei wurde gewogen.

### 8.3.2 Gewicht Eiklar

Das Eiklar wurde vom Dotter getrennt und gewogen.

### 8.3.3 Gewicht Dotter

Der vom Eiklar getrennte Dotter wurde gewogen.

### 8.3.4 Haugh Unit

Die Methode wurde nach Haugh durchgeführt (Haugh, 1937).

Das Ei wurde gebrochen und auf glattem Untergrund ausgebracht. Mittels Mikrometer wurde die Höhe des direkt dem Eigelb anliegenden Eiklars bestimmt. Für die Berechnung wurde das unter 8.3.1 ermittelte Gewicht herangezogen.

Die Berechnung erfolgte nach Formel 1.

$$HU = 100 \cdot \log(h - 1,7m^{0,37} + 7,6)$$

#### Formel 1 Haugh Unit

*HU ... Haugh unit*  
*h ... Eiklarhöhe [mm]*  
*m ... Masse Ei gesamt [g]*

### 8.3.5 Schalengewicht

Die Eischale wurde von Rückständen des Eiklars und des Dotters durch Spülung mit handwarmem Wasser gereinigt und drei Stunden bei 103 °C getrocknet. Die getrockneten Schalen wurden im Exsikkator ausgekühlt und gewogen.

### 8.3.6 Schalendicke

Die Dicke der Eischalen wurde an beiden Eipolen mittels Mikrometer gemessen.

### 8.3.7 Farbmessung Dotter

Messung der Dotterfarbe mittels Spectrophotometer nach L\*a\*b\*-Farbmodell.

L als Helligkeitsindex mit Werten 0 (= Schwarz) bis 100 (= Weiß). a als Grün-Rot-Index von -170 (= Grün) bis 100 (= Rot). b als Blau-Gelb-Index von -100 (= Blau) bis +150 (= Gelb) (Richter, 1981).

### 8.3.8 Bruchstabilität (TPA)

Die Bruchstabilität des Eies wurde mittels Textureanalyser laut Betriebsanleitung bestimmt. Ergebnisausgabe mittels Herstellersoftware.

## 8.4 Trockenmasse mittels Gefriertrocknung

Als schonendes Verfahren zur Trocknung und Haltbarmachung der Dotterproben wurde die Gefriertrocknung ausgewählt. Ziel war die weitestgehende Wasserfreiheit der Probe.

Die Proben wurden in eine bereits abgewogene Petrischale eingewogen, anschließend bei -80 °C eingefroren. Der vorgekühlte Gefriertrockner wurde mit den Proben bestückt und, unter Anlegen eines Vakuums, diese für 48 h gefriergetrocknet. Abschließend erfolgte die Auswaage der Petrischalen, die Berechnung erfolgte nach Formel 2.

$$\text{Trockensubstanz [\%]} = \frac{m_2 - m_1}{EW} \cdot 100$$

#### Formel 2 Trockensubstanz

*m1 ... Petrischale leer [g]*

*m2 ... Auswaage der Petrischale mit Probenrückstand nach Trocknung [g]*

*EW ... Einwaage [g]*

Die Proben wurden nach der Auswaage mittels Mörser zerkleinert und in Schraubbehälter aus Kunststoff zur weiteren Aufbewahrung überführt.

## 8.5 Rohasche

### Material

- Analysewaage (Sartorius, Max 220 g, d = 0,0001 g)
- Exsikkator
- Gasbrenner
- Muffelofen (elektrisch beheizt, Heraeus M-110)
- Porzellantiegel
- Tiegelzange
- Uhrglas

### Durchführung

Die Bestimmung wurde im 2-fachen Ansatz durchgeführt.

Die Porzellantiegel wurden im Muffelofen zur Gewichtskonstanz ausgeglüht, anschließend im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt und das Leergewicht bestimmt. Pro Probe wurden, aufgrund der geringen verfügbaren Probenmenge, etwa 1 g homogenisierte Probe in die Tiegel eingewogen. Diese wurden mittels Bunsenbrenner vorverascht, bis kein Ruß mehr vorhanden war. Bei Brennen der Probe wurde die Flamme mittels Uhrglas gelöscht.

Danach wurden die Proben im Muffelofen bei ca. 550 °C für mindestens 18 h verascht. Die Tiegel wurden danach wieder im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt und ausgewogen. Der Rückstand sollte weiß bis leicht gräulich sein.

Die Berechnung des Rohaschegehaltes erfolgte nach Formel 3.

$$\text{Rohasche [\%]} = \frac{m_2 - m_1}{EW} \cdot 100$$

#### **Formel 3 Aschegehalt**

*m1 ... Tiegel leer [g]*

*m2 ... Auswaage des Tiegels mit Probenrückstand nach Veraschung [g]*

*EW ... Einwaage [g]*

## 8.6 Protein nach Kjeldahl

Zur Bestimmung des Proteingehaltes wurde die Methode nach Kjeldahl herangezogen.

### Material

- Analysewaage (Sartorius, Max 220 g, d = 0,0001 g)
- Büchi Distillator (Velp Scientifica UDK 142 Automatic Distillation Unit)
- Glasperlen
- Heizblock (Velp Scientifica DK 20S)
- Kjeldahl-Kolben
- Scrubber (Büchi K-415)
- Titrator (Velp Scientifica Titroline Easy)

### Chemikalien

- 0,1 M HCl
- Borsäure
- Glucose
- Kaliumsulfat
- Kupfersulfat
- Natronlauge

### Herstellung der Reagenzien

- Katalysatormischung: 2,0 g Kupfersulfat mit 500 g Kaliumsulfat gut mischen
- 2 %ige Borsäure: 2 g Borsäure in einem 100 ml Messkolben einwiegen und mit UHQ-Wasser auf 100 ml auffüllen
- 32-35 %ige Natronlauge: 700g Ätznatron einwiegen, 2000 ml destilliertes Wasser vorlegen und Ätznatron einrühren
- 0,1 M HCl: 25 ml 4 M HCl auf 1000 ml UHQ-Wasser

### Durchführung

Die Bestimmung wurde im 2-fachen Ansatz durchgeführt.

Im Kjeldahl-Kolben wurden 7,5 g Katalysatormischung und 3 Glasperlen vorgelegt. Die raumtemperierten Proben wurden im Kolben auf 0,001 g genau eingewogen, für

den Blindwert erfolgte eine Einwaage von 800 mg Glucose. Es wurden jeweils 16 ml konzentrierte Schwefelsäure zugegeben.

Die Kolben wurden in den Heizblock überführt, für 15 Minuten bei 150 °C, 15 Minuten bei 250 °C, 60 Minuten bei 380 °C und 90 Minuten bei 420 °C gekocht. Die Aufschlussflüssigkeit zeigte eine grünlich bis bläuliche Farbe ohne Trübung. Die Kolben wurden auf Raumtemperatur abgekühlt und jeweils 60 ml UHQ-Wasser beigefügt (temperiert 40 °C). Auftretende Kristalle wurden durch Schwenken gelöst.

Die Proben wurden im Kolben in die vollautomatische Destillationsanlage eingespannt. Der Probe wurden 50 ml Natronlauge zugeführt (Verfärbung der Lösung graubraun bis abschließend blau). Die Wasserdampfdestillation wurde für 3 Minuten durchgeführt. Das Destillat wurde in ein Auffangbehältnis mit 20 ml Borsäure als Vorlage eingeleitet.

Nach Kalibrierung des pH-Meters erfolgte die automatische Titration mit 0,1 M HCl bis zu einem Endpunkt von pH 4,7.

### Berechnung

Die Berechnung des Proteingehaltes der Probe erfolgte mittels Formel 4.

$$\text{Proteingehalt [\%]} = \frac{(V - BW) \cdot 0,1 \cdot 14,008 \cdot F \cdot 100}{EW}$$

#### **Formel 4 Proteingehalt**

*V ... Verbrauch Maßlösung HCl [ml]  
BW ... Verbrauch Maßlösung HCl Blindwert [ml]  
F ... Umrechnungsfaktor Proteingehalt F = 6,25  
EW ... Einwaage [g]*

Durch entsprechendes Umformen von Formel 4 wurde die Soll-einwaage der Probe errechnet. Hier war der Zielverbrauch der Titration bei 10 ml 0,1 M HCl.

$$EW [g] = \frac{10 \cdot 0,1 \cdot 14,008 \cdot F \cdot 100}{\text{Proteingehalt [\%]}}$$

#### **Formel 5 Einwaage Kjeldahl**

*V ... Verbrauch Maßlösung HCl [ml]  
BW ... Verbrauch Maßlösung HCl Blindwert [ml]  
F ... Umrechnungsfaktor Proteingehalt F = 6,25  
EW ... Einwaage [g]*

## 8.7 Fettgehalt nach Soxhlet

Zur Bestimmung des Fettgehaltes wurde die Methode nach Soxhlet herangezogen. Die Dotterproben wurden als Fett mittels direkter Extraktion aus dem getrockneten Dotter ohne Vorbehandlung näherungsweise (8.7.1), die Futtermittelproben als Gesamtfett (8.7.2) extrahiert und bestimmt.

### 8.7.1 Fettgehalt des Dotters

#### Material

- 250 ml Rundkolben
- Analysewaage (Sartorius, Max 220 g, d = 0,0001 g)
- Exsikkator
- Extraktionsapparatur nach Soxhlet
- Extraktionshülsen fettfrei
- Glasperlen
- Heizbad (GFL)
- Rotavapor (Büchi R-134 mit Büchi Vacuum Controller V-850 und Kühlung Lauda Micro Cool MC250)
- Trockenschrank (Thermo Scientific Heraeus Oven T20P)

#### Chemikalien

- Diethylether

#### Durchführung

Die Bestimmung wurde im 2-fachen Ansatz durchgeführt.

Aufgrund des hohen Fettgehaltes und entsprechenden Vorversuchen wurde die Einwaage der homogenisierten Dotterproben auf 1 – 1,5 g festgelegt.

In den 250 ml Rundkolben wurden 3 Glasperlen gegeben. Der Kolben wurde danach für 2 Stunden im Trockenschrank bei 103 °C getrocknet, anschließend im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt. Die Kolben wurden auf 0,0001 g gewogen. Die Proben wurden direkt in die fettfreien Soxhlet-Hülsen auf 0,0001 g eingewogen, mit Watte verschlossen und in die Soxhlet-Apparatur eingebaut. Die Rundkolben wurden zu zwei Drittel mit Diethylether befüllt. Der Diethylether wurde mittels

Wasserbad (Temperatur 85 °C) zum Sieden gebracht.

Ab dem ersten Destillattropfen wurde die Destillation für 6 Stunden durchgeführt. Nach Beendigung der Destillation wurde der Diethylether mittels Rotavapor abgedampft. Das Wasserbad wurde hierfür auf 50 °C temperiert. Nach Abdampfen des Lösungsmittels wurden die Kolben bei 103 °C im Trockenschrank für 2 bis 3 Stunden getrocknet. Nach Abkühlen der Kolben im Exsikkator erfolgte die Auswaage.

### Berechnung

Zur Berechnung des Fettgehaltes wurde Formel 6 herangezogen.

$$\text{Fettgehalt [\%]} = \frac{m_2 - m_1}{EW} \cdot 100$$

#### **Formel 6 Fettgehalt**

*m<sub>1</sub> ... Rundkolben leer inkl. Siedesteinen [g]*

*m<sub>2</sub> ... Auswaage der Rundkolben mit Probenrückstand nach Trocknung [g]*

*EW ... Einwaage [g]*

### **8.7.2 Gesamtfett Futtermittel**

#### Material

- 600 ml Becherglas
- Filterpapier (595)
- Heizplatte
- Materialien siehe 8.7.1
- Uhrglas

#### Chemikalien

- 3 M HCl
- Diethylether

#### Durchführung

Die Bestimmung wurde im 2-fachen Ansatz durchgeführt.

Die Säurehydrolyse wurde angewandt um eine quantitative Extraktion von Fett aus der Futtermittelmatrix mittels Diethylether zu erreichen.

2,5 g Futtermittelprobe wurden in einem 600 ml Becherglas eingewogen. 100 ml destilliertes Wasser und 60 ml 3 M HCl sowie 5 Glasperlen wurden zugegeben. Die Lösung wurde mittels Uhrglas abgedeckt und 60 Minuten gekocht. Der Lösung wurden anschließend weitere 50 ml siedendes destilliertes Wasser beigefügt. Die Lösung wurde mittels 595er Filterpapier filtriert und der Filter solange mit siedendem destillierten Wasser gewaschen, bis der Extrakt pH-neutral war.

Der Filter wurde für 3 Stunden im Trockenschrank bei 55 °C getrocknet und danach in eine Soxhlet-Hülse überführt. Die Extraktion und weitere Durchführung erfolgt analog zu 8.7.1 beschrieben.

### Berechnung

Die Berechnung des Fettgehaltes erfolgte analog zu 8.7.1 mittels Formel 6.

## **8.8 Fettsäuren**

Die schnellere, für Dotterextraktion optimierte, Methode (Liu, 1994; Schreiner, 2006; Ulberth & Henninger, 1992) der Lipidextraktion und Transmethylierung wurde der klassischen Methode der Extraktion und Aufreinigung (Bligh & Dyer, 1959) aufgrund der schnelleren und einfacheren Durchführung vorgezogen. Die quantitative und qualitative Bestimmung des Fettsäureprofils und der Cholesterolquantifizierung erfolgte gemeinsam in einer GC-Analyse um einen höheren Probendurchsatz zu erreichen. Hierfür wurden die Proben mit  $\alpha$ -Cholestanstandard versetzt und silyliert um diese in stabile und leichter zu verdampfende Derivate überzuführen.

Als Standard wurde ein gemischter Standard C17:0, als Methylesterstandard, zur Fettsäurequantifizierung der Fettsäuren, und Cholestan zur Cholesterolquantifizierung genutzt.

Mittels Kalibrationsstandards wurde der Responsfaktor Cholesterol zu Cholestan ermittelt. Dieser betrug Faktor 1,0.

### **8.8.1 Herstellung Standard (C17:0; Cholestan)**

#### Material und Chemikalien

- 200 ml Messkolben
- C17:0 Fettsäuremethylesterstandard

- Cholestanstandard
- Toluol

### Durchführung

Bei der Herstellung des internen Standards wurden in einen 200 ml Messkolben 200 mg C17:0 Fettsäuremethylesterstandard und 100 mg Cholestanstandard auf 0,1 mg eingewogen. Der Kolben wurde mit Toluol auf 200 ml aufgefüllt.

## **8.8.2 Saure Transmethylierung**

### Material

- Analysewaage (Sartorius, Max 220 g, d = 0,0001 g)
- Eindampfapparatur (Pierce 18780 Reacti-Vap)
- Messpipetten
- Pasteurpipetten
- Pyrex-Eprouvetten mit Verschlusskappe
- Trockenschrank (Thermo Scientific Heraeus Oven T20P)
- Vials
- Vortex
- Wasserbad (GFL)
- Zentrifuge (Funke Gerber Super Vario-N)

### Chemikalien

- Supelco Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide + Trimethylchlorosilane 99:1
- HCl/MeOH (10%ige Lösung)
- K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (6%ige Lösung)
- Methanol
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Pyridin
- Standard aus 8.8.1
- Toluol

### Durchführung

Die Bestimmung wurde im 2-fachen Ansatz durchgeführt.

Herstellung HCl/MeOH mittels Acetylchlorid (Christie, 1989). Hierbei handelt es sich um eine stark exotherme Reaktion. Die Lösung wurde unter ständigem Rühren mit Magnetrührer und sehr langsamem Eintropfen in MeOH hergestellt.

Es wurden 50 mg gefriergetrocknete Dotterprobe auf 0,1 mg im Pyrex-Röhrchen eingewogen. 2 ml C17:0/Cholestanstandard und 3 ml HCl/MeOH wurde zugegeben und homogenisiert. Die Röhrchen wurden verschlossen und 2 h im Wasserbad bei 70 °C inkubiert. Es wurde auf Dichtheit des Verschlusses geachtet und alle 20 Minuten erneut homogenisiert.

Nach Abkühlen wurden 5 ml K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-Lösung dazupipettiert, die Röhrchen mittels Vortex homogenisiert und für 5 Minuten bei 1100 rpm zentrifugiert.

Die obere Phase wurde entnommen, in ein leeres Pyrex-Röhrchen überführt und Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zugegeben. Die Lösung wurde geschüttelt bis eine klare Lösung vorlag. Der Überstand wurde in Vials überführt und unter Stickstoff eingedampft.

Danach wurden 100 µl Pyridin und 100 µl BSTFA + TMCS 99:1 zugegeben, homogenisiert und bei 60 °C für 30 Minuten silyliert. Die Vials wurden erneut unter Stickstoff eingedampft, mit Toluol aufgefüllt und verschlossen.

### **8.8.3 Alkalische Transmethylierung**

#### Material

- 10 ml Messkolben
- Analysewaage (Sartorius, Max 220 g, d = 0,0001 g)
- Eindampfapparatur (Pierce 18780 Reacti-Vap)
- Messpipetten
- Pasteurpipetten
- Pyrex-Eprouvetten mit Verschlusskappe
- Vials
- Vortex
- Wasserbad (GFL)

#### Chemikalien

- K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (6%ige Lösung)
- KOH/MeOH (10%ige Lösung)
- Methanol
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- Standard aus 8.8.1
- Toluol

### Durchführung

Es wurde der Fettextrakt aus 8.7.2 zur Analyse herangezogen. 10 mg Probe wurden in ein Pyrex-Röhren überführt. 3 ml KOH/MeOH wurden beigemischt und für eine Minute mittels Vortex homogenisiert. Die Probe wurde bei 1100 rpm für 5 Minuten zentrifugiert. Analog zur 8.8.2 wurde die Probe ohne Syllierung weiterführend bearbeitet.

### **8.8.4 Analyse mittels GC**

Die Proben wurden mittels Gaschromatograph GC Thermo scientific Trace ultra analysiert.

### Analysebedingungen

Injektor: Trägergas H<sub>2</sub>, Injektortemperatur 250 °C, Splitfluss 100 ml/min, Splitrate 1:50

Säule: RTX-225 (50 % Cyanopropylmethyl – 50 % Phenylmethylpolysiloxan), Länge 30 m, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 0,25 µm

Initialtemperatur 120 °C

Ramp 1: 170 °C bei Heizleistung 20 °C/min, 0 min Haltezeit

Ramp 2: 220 °C bei Heizleistung 2,5 °C/min 10 min Haltezeit

Messdauer: 34 min

Detektor: FID, Brenngas H<sub>2</sub> mit Flussrate 350 ml/min, Temperatur 250 °C, Makeup-Flow 30 ml/min

Hierbei wurde die Probe gaschromatographisch getrennt und durch Flammenionisationsdetektion detektiert.

Die qualitative Analyse der Fettsäuren erfolgte aufgrund der Retentionszeiten unter Vergleich des 37 Komponenten Fettsäuremix der Marke Supelco. Zur quantitativen Analyse der Fettsäuren wurde die Peakfläche des C17:0-Standards unter Flächennormierung in Relation der Fettsäurepeaks gesetzt. Hierdurch wurde eine

prozentuale Aufschlüsselung und unter Einbezug der Probeneinwaage eine absolute Angabe zu den einzelnen Fettsäuren errechnet.

Die Berechnung des vorhandenen Cholesterols erfolgte unter Relationssetzung der Cholesterolpeakfläche zu Fläche der Cholestanpeakfläche unter Rückrechnung mit Konzentration des bekannten Cholestanstandards.

Die Proben wurden in Doppelbestimmung gemessen. Unter Verwendung der oben angeführten Parameter erfolgte die Probenaufgabe mittels Autosampler Thermo Quest AS2000.

## **8.9 Tocopherole**

Die Proben, sowohl Dotter und Futtermittel, wurden nach Panfili aufbereitet (Panfili, Fratianni & Irano, 2003). Entsprechend einer optimalen Probenstabilität wurde auf UV-Schutz und Kühlung Lagerung der Proben geachtet.

Die Herstellung der Tocopherolstandards erfolgte nach DGF-Einheitmethoden (*DGF-Einheitmethoden*, 2012).

### **8.9.1 Herstellung Tocopherolstandards**

#### Material

- 10 ml Messkolben
- 100 ml Messkolben
- Messpipetten
- Photometer, Hitachi U-2000 Spectrophotometer

#### Chemikalien

- n-Hexan
- $\alpha$ -Tocopherol-Standard, Sigma-Aldrich 100 mg
- $\beta$ -Tocopherol-Standard, Sigma-Aldrich 100 mg
- $\gamma$ -Tocopherol-Standard, Sigma-Aldrich 100 mg
- $\delta$ -Tocopherol-Standard, Sigma-Aldrich 100 mg

#### Durchführung

Es wurden jeweils 100  $\mu$ l der in 1 ml n-Hexan gelösten 100 mg Tocopherolstandard entnommen und mit n-Hexan im Messkolben auf 100 ml aufgefüllt. Die exakte Konzentration der Stammlösungen wurde mittels Photometer gemessen und

errechnet (*DGF-Einheitsmethoden*, 2012). Aus  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Tocopherolstandard wurden jeweils 10 ml entnommen, zusammengefügt und als Mischstandard auf 100 ml mit n-Hexan aufgefüllt.

Aus der  $\delta$ -Tocopherolstandardlösung wurde ein Referenzstandard entsprechend der in der Probe erwarteten  $\alpha$ -Tocopherolwerte mittels Verdünnung durch n-Hexan hergestellt (5,4 mg/100g).

Zur Erstellung der Kalibrationsgeraden wurden vier Verdünnungsstufen aus obigem Mischstandard hergestellt. Jeder dieser Stufen wurde 1 ml  $\delta$ -Tocopherolreferenzstandard zugegeben.

### **8.9.2 Probenaufbereitung**

#### Material

- Analysewaage (Sartorius, Max 220 g, d = 0,0001 g)
- Messkolben
- Messpipetten
- Pasteurpipetten
- Pyrex-Eprouvetten mit Verschlusskappe
- Rotavapor (Büchi R-134 mit Büchi Vacuum Controller V-850 und Kühlung Lauda Micro Cool MC250)
- Wasserbad (GFL)
- Zentrifuge (Funke Gerber Super Vario-N)

#### Chemikalien

- Ethanolisches Pyrogallol (60 g/L)
- EtOH (96 %)
- KOH Lösung (600 g/L)
- NaCl Lösung (10 g/L)
- N-Hexan
- N-Hexan/Ethylacetat (90/10)
- Tocopherolstandards aus 8.9.1

### Durchführung

Die Proben wurden mittels HPLC analysiert.

### Analysebedingungen

Säule: Supelco NH2-NP, Länge 25 cm, Durchmesser 4,6 mm, Schichtdicke 5 µm, Temperatur 20 °C

Pumpe: Shimadzu LC-6A, bei konstanter Flussrate mit 1,6 ml/min

Detektor: Shimadzu Fluorescence HPLC Monitor RF-535, Response medium, Ex 298 nm, EM 330 nm

Software: Shimadzu ClassVP Chromatography Data System Version 4.3

Mobile Phase: n-Hexan/Ethylacetat (70/30)

Isokratische Elution

Es wurde 50 mg Dotterprobe bzw. 1 g Futtermittelprobe in einem Pyrex-Röhrchen eingewogen. 1 ml  $\delta$ -Tocopherolreferenzstandard, 2 ml KOH Lösung (600 g/L), 2 ml EtOH (96%), 2 ml NaCl Lösung (10 g/L) und 5 ml ethanolisches Pyrogallol (60g/L) wurden dazupipettiert. Die Proben wurden nur gut gemischt und für 45 Minuten bei 70 °C im Wasserbad inkubiert und regelmäßig aufgeschüttelt. Anschließend wurden die Proben abgekühlt und 15 ml NaCl Lösung (10g/L) beigemischt.

Es wurden nun 10 ml N-Hexan/Ethylacetat (90/10) zugegeben, homogenisiert, 5 Minuten bei 1100 rpm zentrifugiert und danach die obere Phase in einen Kolben extrahiert. Dieser Schritt wurde ein zweites Mal durchgeführt.

Der Extrakt wurde mittels Rotavapor bis zur Trockenen abgedampft. Der Rückstand wurde zweimal mit jeweils 2 ml n-Hexan resuspendiert und in einem 25 ml Messkolben mit n-Hexan aufgefüllt.

Die Proben wurden in Doppelbestimmung unter den oben angeführten Parametern gemessen.

## 8.10 Statistische Auswertung

Die erhobenen Messwerte wurden hinsichtlich Signifikanz der Prüfgruppen TG1 bis TG4 ausgewertet.

Statistische Berechnung erfolgte mittels Software SAS Enterprise Guide 6.1.

Als Modell wurde die Varianzanalyse (ANOVA) mit gemischtem Modell herangezogen. Die Gruppenanalyse wurde nach Probengruppe mit Berücksichtigung von Zufallseffekten nach Versuchshuhn ausgewertet.

Zur weiteren Auswertung wurde der Least-square Post-hoc-Test mit adjustment method nach Tukey mit einem p-Wert  $\alpha < 0,05$  eingesetzt. Die Ergebnisse werden im Folgenden als least-square-Mittelwerte angegeben. Weiters erfolgte die Berechnung des standard error of the mean (SEM).

### Kontrastanalyse

Im Folgenden werden die Kontrastanalysen folgender Vergleiche angegeben.

TG1 gegen TG2 (Kontrolle gegen unfermentierte Kleie),

TG1 gegen TG3 + TG4 (Kontrolle gegen fermentierte Kleie),

TG2 gegen TG3 + TG4 (unfermentierte Kleie gegen fermentierte Kleie) und

TG1 gegen TG2 + TG3 + TG4 (Kontrolle gegen unfermentierte und fermentierte Kleie);

## 9 Ergebnisse

### 9.1 Physikalische Parameter und Trockensubstanz

In Tab. 9-1 sind die Ergebnisse der Parameter Eigewicht, Gewicht Eiklar, Gewicht Eigelb, Gewicht Schale und Schalendicke aufgelistet. Diese zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-1 Eigewicht, Gewicht Eiklar, Gewicht Eigelb, Gewicht Schale, Schalendicke**

	TG1	TG2	TG3	TG4	p-Wert	SEM	p-Werte Kontrastanalyse			
							TG1 vs. TG2	TG1 vs. TG3 + TG4	TG2 vs. TG3 + TG4	TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4
Eigewicht [g]	68,68 ± 3,55	68,38 ± 2,98	66,93 ± 5,59	67,62 ± 3,54	0,9233	0,799	0,5440	0,8806	0,5776	0,4429
Gewicht Eiklar [g]	41,57 ± 3,69	40,05 ± 3,69	40,11 ± 5,02	42,56 ± 3,78	0,4921	0,431	0,6947	0,3813	0,3435	0,9727
Gewicht Eigelb [g]	16,68 ± 1,08	17,13 ± 1,64	16,85 ± 1,27	17,04 ± 1,73	0,9111	0,151	0,3270	0,3855	0,8807	0,3842
Gewicht Schale [g]	4,59 ± 2,65	4,72 ± 2,36	4,07 ± 2,43	5,23 ± 2,23	0,7848	0,253	0,7807	0,5852	0,5854	0,9448
Schalendicke [mm]	0,33 ± 0,07	0,35 ± 0,05	0,35 ± 0,07	0,34 ± 0,05	0,9490	0,007	0,8151	0,6520	0,6559	0,9500

In Tab. 9-2 sind die Ergebnisse der Parameter Bruchfestigkeit, Trockensubstanz, Haugh unit, Helligkeit, Rotton und Gelbton aufgelistet. Hinsichtlich der Parameter Bruchfestigkeit, Trockensubstanz, Haugh unit, Helligkeit und Gelbton zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. In der Kontrastanalyse der kleiefreien Kontrollgruppe TG1 und der unfermentierten kleiehaltigen Versuchsgruppe TG2 bzw. TG1 und aller kleiehaltigen Versuchsgruppen konnte eine signifikante Abnahme der Rottonintensität festgestellt werden.

Tab. 9-2 Bruchfestigkeit, Trockensubstanz, Haugh unit, Helligkeit L\*, Rotton a\* und Gelbton b\*

	TG1	TG2	TG3	TG4	p-Wert	SEM	p-Werte Kontrastanalyse			
							TG1 vs. TG2	TG1 vs. TG3 + TG4	TG2 vs. TG3 + TG4	TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4
Bruchfestigkeit [N]	35,94 ± 16,07	41,81 ± 11,75	43,25 ± 10,71	40,32 ± 10,22	0,5377	1,348	0,1101	0,6989	0,1343	0,1706
Trockensubstanz [%]	54,63 ± 7,31	54,89 ± 7,31	52,97 ± 5,68	55,08 ± 6,60	0,8232	0,614	0,8118	0,3082	0,6749	0,5589
Haugh unit	36,12 ± 18,00	37,54 ± 16,74	42,26 ± 8,51	43,72 ± 10,74	0,8730	3,786	0,5622	0,5726	0,8967	0,4578
Helligkeit L*	53,85 ± 2,16	52,28 ± 1,50	51,95 ± 1,85	51,42 ± 1,90	0,5380	0,538	0,0886	0,6797	0,2657	0,0807
Rotton a*	2,94 ± 1,40	2,44 ± 0,82	2,06 ± 0,68	2,26 ± 0,73	0,0704	0,106	<b>0,0044</b>	0,3131	0,0896	<b>0,0025</b>
Gelbton b*	34,38 ± 4,81	34,93 ± 3,70	34,70 ± 3,16	34,28 ± 2,72	0,9744	0,543	0,8348	0,7527	0,7239	0,9322

p-Werte < 0,05 fett markiert

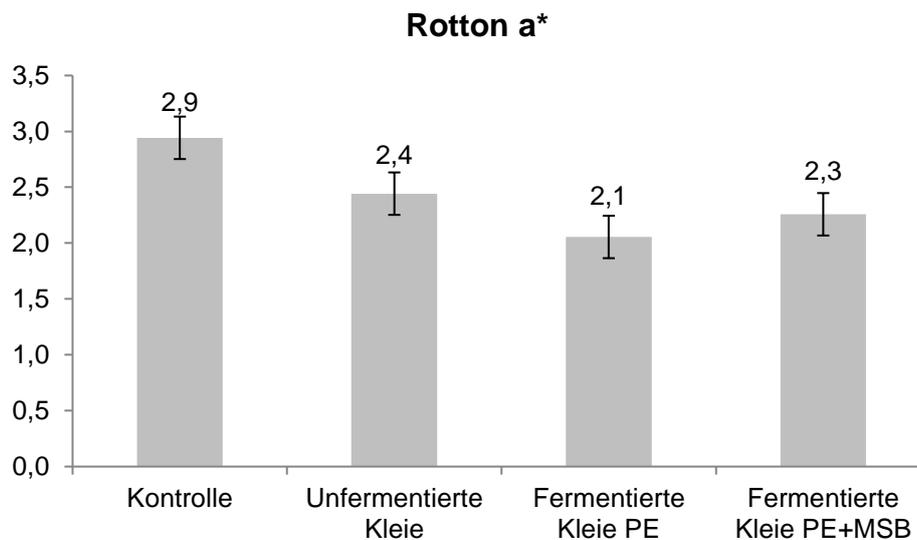


Abb. 9-1 Rottonänderung zwischen kleiefreier Kontrollgruppe und kleihaltigen Futtermittelgruppen

## 9.2 Aschegehalt

In Tab. 9-3 sind die Ergebnisse des Aschegehaltes der Futtermittel sowie der nativen und fermentierten Kleie aufgelistet.

**Tab. 9-3 Aschegehalt Futtermittel und Rohstoffe**

	Aschegehalt [%]
Native Kleie	5,96 ± 0,04
Fermentierte Kleie PE	10,86 ± 0,05
Fermentierte Kleie PE+MSB	10,81 ± 0,42
TG1	12,87 ± 0,15
TG2	12,50 ± 0,47
TG3	13,50 ± 0,11
TG4	13,89 ± 0,27

In Tab. 9-4 sind die Ergebnisse des Aschegehaltes des Dotters aufgelistet. Diese zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-4 Aschegehalt Dotter in Trockensubstanz  
Dotter**

	Aschegehalt [%]
TG1	4,28 ± 0,48
TG2	3,90 ± 0,44
TG3	4,18 ± 0,42
TG4	4,38 ± 0,65
p-Wert	0,1874
SEM	0,08
p-Werte Kontrastanalyse	
TG1 vs. TG2	0,0889
TG1 vs. TG3 + TG4	0,9674
TG2 vs. TG3 + TG4	0,0527
TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4	0,4843

### 9.3 Proteingehalt

In Tab. 9-5 sind die Ergebnisse des Proteingehaltes der Futtermittel sowie der nativen und fermentierten Kleie aufgelistet.

**Tab. 9-5 Proteingehalt Futtermittel und Rohstoffe**

	Proteingehalt [%]
Native Kleie	16,34 ± 0,07
Fermentierte Kleie PE	18,95 ± 0,27
Fermentierte Kleie PE+MSB	18,11 ± 0,05
TG1	17,55 ± 0,16
TG2	15,36 ± 0,06
TG3	17,24 ± 0,15
TG4	16,05 ± 0,11

In Tab. 9-6 sind die Ergebnisse des Proteingehaltes des Dotters aufgelistet. Diese zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-6 Proteingehalt Trockensubstanz Dotter**

	Proteingehalt [%]
TG1	32,34 ± 1,20
TG2	32,47 ± 0,80
TG3	32,48 ± 1,04
TG4	31,48 ± 1,02
p-Wert	0,9917
SEM	0,151
p-Werte Kontrastanalyse	
TG1 vs. TG2	0,6906
TG1 vs. TG3 + TG4	0,7759
TG2 vs. TG3 + TG4	0,8577
TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4	0,7122

## 9.4 Fettgehalt

In Tab. 9-7 sind die Ergebnisse des Fettgehaltes der Futtermittel sowie der nativen und fermentierten Kleie aufgelistet.

**Tab. 9-7 Fettgehalt Futtermittel und Rohstoffe**

	Fettgehalt [%]
Native Kleie	5,34 ± 0,21
Fermentierte Kleie PE	3,52 ± 0,07
Fermentierte Kleie PE+MSB	3,31 ± 0,01
TG1	6,55 ± 0,14
TG2	10,24 ± 0,08
TG3	9,13 ± 0,09
TG4	9,19 ± 0,07

In Tab. 9-8 sind die Ergebnisse des Fettgehaltes des Dotters aufgelistet. Diese zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-8 Fettgehalt Trockensubstanz Dotter**

	Fettgehalt [%]
TG1	54,38 ± 1,40
TG2	54,00 ± 0,87
TG3	54,04 ± 1,42
TG4	54,19 ± 1,48
p-Wert	0,9390
SEM	0,194
p-Werte Kontrastanalyse	
TG1 vs. TG2	0,5340
TG1 vs. TG3 + TG4	0,5850
TG2 vs. TG3 + TG4	0,8532
TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4	0,5172

## 9.5 Fettsäuren

In Tab. 9-9 sind die Ergebnisse des Fettsäuremusters der Futtermittel sowie der nativen und fermentierten Kleie aufgelistet.

Tab. 9-9 Fettsäuremuster in Futtermittel und Rohstoff [%]

	Native Kleie	Fermentierte Kleie PE	Fermentierte Kleie PE+MSB	TG1	TG2	TG3	TG4
C14:0	0,13 ± 0,01	0,27 ± 0,05	0,21 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,13 ± 0,06	0,11 ± 0,01
C15:0	0,14 ± 0,01	0,49 ± 0,01	0,42 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,08 ± 0,04	0,07 ± 0,01
C16:0	17,90 ± 0,75	16,83 ± 0,55	16,32 ± 0,51	11,35 ± 0,30	9,22 ± 0,09	9,84 ± 0,53	11,50 ± 0,69
C16:1	0,15 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,33 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,16 ± 0,04	0,13 ± 0,01
C18:0	1,33 ± 0,07	2,62 ± 0,40	2,91 ± 0,46	4,26 ± 0,17	4,35 ± 0,06	4,59 ± 0,35	4,97 ± 0,17
C18:1ω9	17,42 ± 0,60	24,73 ± 0,57	25,95 ± 0,21	25,90 ± 0,55	23,05 ± 0,12	24,24 ± 1,02	26,16 ± 0,77
C18:2ω6	56,57 ± 1,35	51,62 ± 0,70	49,06 ± 1,31	53,96 ± 0,70	59,86 ± 0,36	57,04 ± 2,32	52,39 ± 1,61
C18:3ω3	3,72 ± 0,32	1,94 ± 0,09	2,01 ± 0,09	0,76 ± 0,06	0,54 ± 0,01	0,58 ± 0,09	0,61 ± 0,05
C20:0	0,21 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,45 ± 0,03	0,33 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,44 ± 0,01
C20:1	0,66 ± 0,07	-	0,39 ± 0,04	0,21 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,21 ± 0,01
C22:0	0,22 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,43 ± 0,03	0,82 ± 0,06	0,70 ± 0,04	0,83 ± 0,23	1,11 ± 0,07
C22:1ω9	0,26 ± 0,02	-	0,20 ± 0,01	0,73 ± 0,07	0,42 ± 0,06	0,72 ± 0,01	0,92 ± 0,02
C22:1ω11	0,14 ± 0,02	-	-	-	-	0,29 ± 0,01	-
C22:2	-	-	-	0,01 ± 0,01	-	0,13 ± 0,01	-
C24:0	0,19 ± 0,01	0,49 ± 0,01	0,48 ± 0,02	0,32 ± 0,04	0,25 ± 0,01	0,32 ± 0,02	0,41 ± 0,01

Nach Auswertung mittels P-Wert des Fettsäuremusters der Dotter (siehe Tab. 13-1) sind folgende signifikante Änderungen beobachtet worden.

FS C14:0 zeigt eine signifikante Abnahme des Gehaltes in allen kleiehaltigen Futtermittelgruppen.

FS C15:0 zeigt eine signifikante Zunahme des Gehaltes durch Fermentation des Futtermittels.

FS C16:1 $\omega$ 7 zeigt eine signifikante Abnahme des Gehaltes in allen kleiehaltigen Futtermitteln.

FS C18:2 $\omega$ 6 zeigt einen signifikanten Anstieg des Gehaltes durch Zusatz von fermentierter Kleie in das Futtermittel.

FS C20:1 zeigt eine signifikante Abnahme des Gehaltes in fermentierten Futtermitteln.

FS C22:5 $\omega$ 6 zeigt eine signifikante Reduktion des Gehaltes durch Zusatz von Kleie, besonders in Kombination mit PE+MSB-Fermentation.

FS C22:6 $\omega$ 3 zeigt eine signifikante Reduktion des Gehaltes durch Zusatz von Kleie in das Futtermittel.

In Tab. 9-10 sind die Ergebnisse der Fettsäuren des Dotters aufgelistet. Diese zeigen signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-10 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g]**

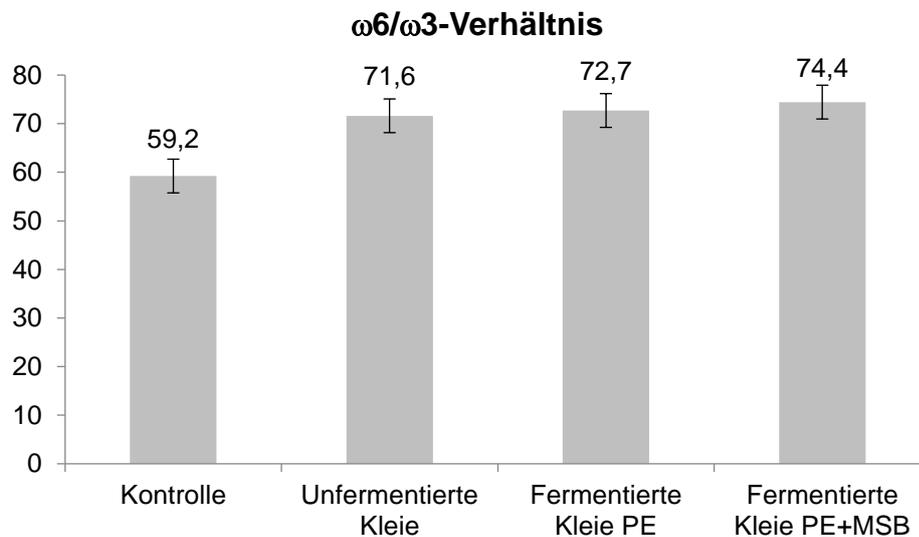
	TG1	TG2	TG3	TG4
C14:0	0,17 ± 0,05	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,04	0,14 ± 0,02
C14:1	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01
C15:0	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01
C16:0	13,71 ± 1,19	12,74 ± 1,01	12,90 ± 3,53	12,38 ± 0,66
C16:1 $\omega$ 9	0,44 ± 0,08	0,46 ± 0,08	0,49 ± 0,11	0,47 ± 0,04
C16:1 $\omega$ 7	1,00 ± 0,24	0,79 ± 0,29	0,68 ± 0,23	0,69 ± 0,21
C18:0	4,80 ± 0,48	4,53 ± 0,31	4,91 ± 1,12	4,71 ± 0,29
C18:1 $\omega$ 9	18,99 ± 2,06	17,53 ± 1,24	18,11 ± 4,43	17,35 ± 1,71
C18:1 $\omega$ 7	1,30 ± 0,12	0,63 ± 0,10	0,62 ± 0,17	0,58 ± 0,10
C18:2 $\omega$ 6	13,55 ± 2,15	15,02 ± 1,78	16,61 ± 4,39	15,33 ± 1,83
C18:3 $\omega$ 6	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,01
C18:3 $\omega$ 3	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,03
C20:0	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
C20:1	0,10 ± 0,05	0,09 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,01
C20:2	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,19 ± 0,06	0,16 ± 0,02
C20:3 $\omega$ 6	0,09 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,09 ± 0,01
C20:4 $\omega$ 6	1,12 ± 0,15	1,02 ± 0,16	1,2 ± 0,36	1,06 ± 0,07
C22:4 $\omega$ 6	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,09 ± 0,01
C22:5 $\omega$ 6	<b>0,31<sup>a</sup></b> ± 0,04	<b>0,25<sup>ab</sup></b> ± 0,05	<b>0,29<sup>ab</sup></b> ± 0,09	<b>0,24<sup>b</sup></b> ± 0,04
C22:6 $\omega$ 3	0,15 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,04	0,12 ± 0,02

Durch Zugabe von Kleie in das Futtermittel wird der MUFA-Gehalt reduziert. Durch Zugabe von fermentierter Kleie in das Futtermittel wird der PUFA-Gehalt gesteigert. Durch Zugabe von Kleie in das Futtermittel wird der Gehalt an  $\omega$ -6-FS gesteigert. Durch Zugabe von fermentierter Kleie in das Futtermittel wird das  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 – Verhältnis gesteigert.

In Tab. 9-11 sind die Ergebnisse der Fettsäuren des Dotters aufgelistet. Diese zeigen signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-11 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g]**

	TG1	TG2	TG3	TG4
Cholesterol	1,65 ± 0,28	1,71 ± 0,21	1,52 ± 0,37	1,66 ± 0,24
SFA	18,75 ± 1,44	17,46 ± 0,88	18,01 ± 0,74	17,29 ± 0,81
MUFA	21,74 ± 2,88	19,50 ± 1,53	19,99 ± 4,92	19,17 ± 2,00
PUFA	15,65 ± 2,30	16,99 ± 1,83	18,85 ± 1,27	17,27 ± 1,81
TUFA	37,38 ± 3,32	36,51 ± 1,05	38,87 ± 1,29	36,44 ± 0,96
Σω3	0,26 ± 0,05	0,23 ± 0,02	0,25 ± 0,07	0,23 ± 0,02
Σω6	15,23 ± 2,25	16,60 ± 1,81	18,40 ± 1,45	16,88 ± 1,79
ω6/ω3	<b>59,23<sup>b</sup> ± 11,57</b>	<b>71,62<sup>ab</sup> ± 11,17</b>	<b>72,72<sup>ab</sup> ± 7,54</b>	<b>74,44<sup>a</sup> ± 11,60</b>



**Abb. 9-2 ω6/ω3-Verhältnis zwischen kleiefreier Kontrollgruppe und kleiehaltigen Futtermittelgruppen**

## 9.6 Tocopherole

In Tab. 9-12 sind die Ergebnisse des Tocopherolgehaltes der Futtermittel sowie der nativen und fermentierten Kleie aufgelistet.

**Tab. 9-12 Gehalt an  $\alpha$ -Tocopherol und  $\gamma$ -Tocopherol in Futtermittel und Rohstoffen**

	$\alpha$ -Tocopherol [mg/100g]	$\gamma$ -Tocopherol [mg/100g]
Native Kleie	0,27 $\pm$ 0,01	1,10 $\pm$ 0,01
Fermentierte Kleie PE	-	-
Fermentierte Kleie PE+MSB	-	-
TG1	0,71 $\pm$ 0,02	0,35 $\pm$ 0,03
TG2	0,93 $\pm$ 0,09	0,34 $\pm$ 0,01
TG3	0,85 $\pm$ 0,03	0,28 $\pm$ 0,01
TG4	0,73 $\pm$ 0,07	0,24 $\pm$ 0,02

In Tab. 9-13 sind die Ergebnisse des Tocopherolgehaltes des Dotters aufgelistet. Diese zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

**Tab. 9-13 Gehalt an  $\alpha$ -Tocopherol und  $\gamma$ -Tocopherol in Trockensubstanz Dotter**

	$\alpha$ -Tocopherol [mg/100g]	$\gamma$ -Tocopherol [mg/100g]
TG1	5,25 $\pm$ 0,83	1,11 $\pm$ 0,37
TG2	5,36 $\pm$ 0,98	1,07 $\pm$ 0,34
TG3	5,26 $\pm$ 0,82	1,09 $\pm$ 0,41
TG4	5,22 $\pm$ 1,07	0,92 $\pm$ 0,33
p-Wert	0,9868	0,8559
SEM	0,135	0,054
p-Werte Kontrastanalyse		
TG1 vs. TG2	0,7846	0,8248
TG1 vs. TG3 + TG4	0,9717	0,6216
TG2 vs. TG3 + TG4	0,7337	0,8286
TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4	0,9282	0,6584

## **10 Diskussion**

### **10.1 Physikalische Parameter und Trockensubstanz**

Die überbegrifflich zusammengefasst als „physikalische Parameter“ und Trockenmasse erhobenen Werte zeigen nur bei den Messungen des Rottons eine Veränderung im Versuch.

Dies ist insofern zu begründen, dass durch den überschaubaren Anteil der Futtermittelmodifikation das Angebot des Nährstoffprofils nicht zu defizitären Situationen der Fütterung während der Studiendauer führte.

Hinsichtlich der Farbwerte des Dotters ist die Verminderung des Rotanteiles auf die Reduktion von Mais als Hauptfutterkomponente zurückzuführen. Diese Reduktion findet in einem nicht unwesentlichen Anteil von etwa 27 % im Vergleich TG1 zu den anderen Futtermittelgruppen statt. Daraus resultierend ist das Angebot an im Mais enthaltenen roten bzw. gelb-orangen Farbstoffen vermindert. Obwohl es sich um eine statistisch signifikante Änderung handelt, ist aufgrund des minimalen Ausmaßes zu bezweifeln, dass für einen möglichen Konsumenten eine optische Erkennbarkeit vorliegt und dadurch eine Qualitätsminderung des Produktes „Ei“ vorliegt.

Die allgemeine Legeleistung der Hühner wurde über den beobachteten Zeitraum nicht negativ durch diese Form der isokalorischen Diät beeinflusst. Es zeigte sich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppen kein Unterschied.

### **10.2 Aschegehalt**

Hinsichtlich des Rohaschegehaltes konnte keine Änderung des Gehaltes festgestellt werden. Weizenkleie zeichnet sich als guter Mineralstofflieferant aus und gewährleistet eine adäquate Abdeckung.

Im Vergleich zu Mais, hat Weizenkleie einen höheren Mineralstoffanteil. Dieser liegt bei Mais in etwa bei 1,3 g/100g, mit starken Schwankungen hinsichtlich Sorte und Ursprung nach Anbaugebiet (Andersen & Soyka, 2018; United States Department of Agriculture, 2018). Demzufolge wurde das Mineralstoffangebot aus ernährungsphysiologischer Sicht hinlänglich abgedeckt. Die Ergebnisse der Futtermittelanalysen bestätigten den Ascheanteil von Weizenkleie mit etwa 6 %. Im Zuge des Fermentationsprozesses nimmt der Rohascheanteil auf 10,8 % zu, im fertig gemischten Futtermittel liegt dieser final bei einem Bereich um 13 %, abhängig von der Gruppe.

### **10.3 Protein- und Fettgehalt**

Basierend auf dem ausreichenden Angebot an Protein aus Mais, Soja und, je nach Futtermittel, Kleie in den Futtermittelgruppen kam es zu keiner Änderung des Proteingehaltes im Dotter. Die Ergebnisse von rund 32 % entsprechen den erwarteten Resultaten in Anbetracht der Literaturangaben.

Durch Fermentation der nativen Kleie wurde der Proteingehalt um ca. 2 % gesteigert.

Der Fettgehalt der Dotter liegt mit 54 % knapp über der Angabe der Literatur mit 51 % (Belitz et al., 2007). Im Vergleich mit anderen Literaturangaben zeigt sich auch hier das Ergebnis in der Größenordnung der Literatur (United States Department of Agriculture & Agricultural Research Service, 2018).

Eine Fettgehaltsreduktion der Kleie konnte bei Fermentation abgebildet werden, um ca. 1,5 % im Vergleich zur nativen Kleie. Durch Zugabe von pflanzlichen Ölen wurde das Angebot im Futtermittel wieder ausgeglichen um hier einen möglichen Einfluss auszuschließen.

Betreffend der Methodik der Fettanalytik des Dotters sei angemerkt, dass es sich um eine Näherung der Ergebnisse handelt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit vorangegangenen Studien wurde auf einen Aufschluss der gefriergetrockneten Dotter z.B. in klassischer Methoden nach Weibull-Stoldt oder Röse-Gottlieb verzichtet (Matissek, Fischer & Steiner, 2018).

### **10.4 Fettsäureprofil**

Die Weizenkleie hat als Fettquelle im Futtermittel nur geringe Relevanz. Die Fettprofileigenschaften der Kleie sind abhängig von Mahlverfahren und den Keimlingeigenschaften, durch dessen Mitvermahlung (Bolling, 1991; Johri, 1984). Dementsprechend waren starke Änderungen betreffend des Fettsäuremusters nicht zu erwarten.

Der Ölsäuregehalt, C18:1 $\omega$ 9, liegt bei allen Gruppen um die 18 mg/100g. Dies entspricht 32,8 % am Gesamtfettsäureanteil und stellt den größten Fraktionsanteil im Fettsäureprofil vor der Linolsäure mit 27,3 % und der Palmitinsäure mit 23,4 %. Weder Ölsäure noch Palmitinsäure zeigen, betreffend des Gehaltes, kennzeichnende Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

Palmitoleinsäure wird durch Zugabe von Kleie ins Futter deutlich reduziert.

Aktuelle Forschungen zeichnen ab, dass C16:1 $\omega$ 7 (Palmitoleinsäure) positive Aspekte im Glucose- und Fettstoffwechsels des Menschen haben (Alonso-Vale, Cruz, Bolsoni-Lopes, de Sá & de Andrade, 2015). Gegensätzlich zeigt sich allerdings auch, dass bei hohen Dosen eine trainingsinduzierte Cardiomyohypertrophie (Foryst-Ludwig et al., 2015) gefördert wird. Physiologisch wird die nicht-essentielle Palmitoleinsäure aus Palmitinsäure umgewandelt. Sie kommt oft gemeinsam mit Ölsäure vor (Harper, Martin, Mayes & Rodwell, 2013). Dennoch ist der Gesamtgehalt von Fettsäure C16:1 $\omega$ 7, C14:0 und C15:0 relativ gering und daher die Änderungen durch Kleiezugabe im Futtermittel nicht relevant, diese Fettsäuren ernährungsphysiologisch betreffend.

Der höhere Gehalt an Linolsäure (C18:2 $\omega$ 6) lässt sich durch die Zugabe der pflanzlichen Öle in das Futtermittel begründen. Als essentielle Fettsäure ist ein gesteigerter Gehalt als positiv anzusehen, dennoch wird bei chronischen entzündlichen Erkrankungen, wegen des Metabolismus zu Arachidonsäure, eine reduzierte Aufnahme empfohlen (Adolph et al., 2018).

Die  $\alpha$ -Linolensäure (C18:3 $\omega$ 3) bleibt unter Futtermodifikation auf konstantem Niveau. Das Verhältnis Linolsäure zu  $\alpha$ -Linolensäure ist in den Gruppe TG2 bis TG4 um etwa 10 % höher, als in der Kontrollgruppe.

In der Futtermittelanalyse wurde in TG3 die Fettsäure C22:1 $\omega$ 11 detektiert. Diese Fettsäure ist meist maritimen Ursprungs oder begründet sich auf mikrobiellem Stoffwechsel. Da in keiner anderen Futtermittelprobe diese Fettsäure detektiert wurde ist hier von einer falschen Bestimmung auszugehen. Dieser Fehler beruhte vermutlich auf der reinen Detektion mittels Retentionszeiten, der Ursprung der Fettsäure kann auf Basis der vorliegenden Informationen anders nicht nachvollzogen werden.

Der Gehalt an C22:5 $\omega$ 6 wurde in allen kleiehaltigen Gruppen reduziert. Zwischen Kontrollgruppe und Futtermittelgruppe TG4 (fermentierte Kleie mit PE und MSB) zeigte sich die stärkste Abnahme des Fettsäuregehaltes von C22:5 $\omega$ 6. Im Gegensatz zu TG2 sowie TG3 ist es zu einer signifikanten Reduktion im Gruppenvergleich zur Kontrollgruppe bei TG4 gekommen. Die Verminderung der Fettsäure bildet einen Mangel an  $\omega$ -3-Fettsäuren in der Versuchsfütterung ab.

Ein Rückschluss wäre, dass sich ein erhöhtes Angebot an  $\omega$ -3-Fettsäuren in den Futtermitteln TG2 bis TG4 dadurch reduzierend auswirkt.

C22:6 $\omega$ 3, Docosahexaensäure, ist eine essentielle Fettsäure. DHA ist essentiell für die Entwicklung des Zentralnervensystems und des Sehvermögens im Kindesalter. Säuglinge erhalten während der Stillzeit eine ausreichende Versorgung über die Muttermilch. Die Konzentration an DHA in der Muttermilch ist über Diät steuerbar. In den westlichen Industrienationen bzw. allgemein bei geringem Fischkonsum und bei landlebenden Säugetieren stellen Eier die wichtigste Quelle für DHA dar (Heird, 2001; Marszalek & Lodish, 2005)

## **10.5 Cholesterol, SFA und MUFA**

Cholesterolgehalt und Gesamtmenge an gesättigten Fettsäuren sind durch alle Futtergruppe unverändert. SFAs werden hauptsächlich aus Eigensynthese bezogen. Die SFAs werden physiologisch generell weitestgehend im Muster konstant gehalten, besonders im Hinblick auf fütterungsabhängige Änderungen (Baucells, Crespo, Barroeta, López-Ferrer & Grashorn, 2000; Herber & Van Elswyk, 1996).

Der Gehalt an einfach ungesättigten Fettsäuren ist bei den Dottern kleiehaltiger Futtermittel reduziert. Die mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind bei Dottern mit fermentiertem Futtermittel erhöht. Ursächlich hierfür sind einerseits die unterschiedlichen Fettsäureprofile der Futtermittel durch Fermentation und Zusatz von Ölen, ebenso aber auch die direkte Abhängigkeit von MUFA- zu PUFA-Anteil. Reduzierte MUFA-Anteile gehen mit einer Erhöhung der PUFAs einher (Cherian & S. Sim, 1991). Dies beruht auf einer Inhibition der delta-9-Desaturase. Diese ist für die Bildung von Ölsäure verantwortlich (Garg, Sebokova, Wierzbicki, Thomson & Clandinin, 1988).

## **10.6 PUFA**

Der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren konnte durch fermentierte Kleie im Futtermittel signifikant gesteigert werden. Wie bereits unter 10.5 angeführt, verhält sich der PUFA-Gehalt indirekt proportional zum MUFA-Anteil.

### **10.6.1 $\omega$ -3-Fettsäuren und $\omega$ -6-Fettsäuren**

Der summative Anteil der  $\omega$ -3-Fettsäuren beläuft sich auf 0,25 mg/100g in allen Gruppen und zeigt keine bedeutsame Schwankung.

Im Vergleich dazu liegt der  $\omega$ -6-Wert deutlich darüber. Es konnte ein Trend aufgezeigt werden, dass durch Zugabe der Kleie der  $\omega$ -6-Anteil im Fettsäuremuster deutlich gesteigert wurde. Dieser Effekt lässt sich durch den Reichtum an Linolsäure im Futtermittel erklären. Durch gezielte Erhöhung des Angebots von Linolsäure in der Tiernahrung kann dieser Effekt ausgelöst werden (Baucells et al., 2000; Meluzzi, Sirri, Manfreda, Tallarico & Franchini, 2000).

### **10.6.2 $\omega$ -6 zu $\omega$ -3-Verhältnis**

Das  $\omega$ -6/ $\omega$ -3-Verhältnis nimmt bedingt durch die Zunahme an  $\omega$ -6-Fettsäuren demzufolge zu. Wie in Abb. 9-2 dargestellt zeigt sich die Änderung deutlich, besonders durch die Fermentationsführung des Futtermittels TG4.

Das Verhältnis wird als Marker für die ernährungsphysiologische Qualität der mehrfach ungesättigten Fettsäuren betrachtet, mit einem Optimum von 4/1 (Harnack et al., 2009; Simopoulos, 2002). Die Kontrollgruppe zeigt bereits einen hohen Quotienten von 60, der durch Kleiebeimengung noch auf über 70 zunimmt. Dieser sehr hohe Quotient bestätigt den  $\omega$ -3-Fettsäuremangel. Generell muss der  $\omega$ -3-FS-Anteil im Legehennenfutter nicht besonders hoch, aber sollte konstant in ausreichender Menge vorhanden sein. Die im Versuch eingesetzten Futtermittel decken den Bedarf nicht adäquat ab und bedürfen einer stärkeren Ergänzung durch  $\omega$ -3-Fettsäuren. Durch die generell stark ausgeprägte Fütterung mit Mais und Kleie als potente Linolsäurelieferanten spiegelt sich dies im Quotienten wieder. Aus ernährungsphysiologischer Sicht leidet die Qualität des Fettsäureprofils darunter. Eine deutliche überhöhte Aufnahme von  $\omega$ -6-Fettsäuren führt zu Steigerung der Inzidenz von unter anderem Arteriosklerose, thrombotischen Geschehen, Sehstörungen und rheumatischen Arthritiden (Farrell, 1995).

## **10.7 Tocopherole**

Der  $\alpha$ -Tocopherolgehalt liegt mit 5,3 mg/100g annähernd am bekannten Vergleichswert mit 5,4 mg/100g für Dotter. Ein Gehalt an  $\beta$ -Tocopherolen konnte weder im Dotter, noch in den Futtermittelproben bestimmt werden, da hierfür keine ausreichende Signalintensität detektiert werden konnte. Der  $\gamma$ -Tocopherolgehalt wurde mit 1,1 mg/100g für die Futtermittel TG1 bis TG3 gemessen. Bei Futtermittel T4 wurde ein Wert von 0,9 mg/100g festgestellt. Diese Schwankung zeigt hinsichtlich des Versuchsaufbaues keine Signifikanz und wurde auf physiologische Schwankungen zurückgeführt. Hinsichtlich des  $\gamma$ -Tocopherolgehaltes ist aber

anzumerken, dass die Ergebnisse für alle Gruppen um das Vierfache über dem Literaturwert (Andersen & Soyka, 2018; Ternes et al., 1994) liegen, aber keine repräsentativen Unterschiede in den Versuchsgruppen aufgetreten sind. Dieser Unterschied könnte auf rassenspezifische oder fütterungsspezifische Parameter zurückzuführen sein, die hinsichtlich dieser Untersuchung nicht beleuchtet wurden.

In Lebensmitteln tierischen Ursprungs erfolgt hauptsächlich eine Anreicherung von  $\alpha$ -Tocopherol. Für andere Tocopherole stellen diese Lebensmittel keine relevante Quelle dar. Die Analyse des  $\beta$ -Tocopherols in den Dotterproben wurde durchgeführt um eine mögliche Wiederfindung durch Anreicherung aus Weizenkleie abzubilden. Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

In den fermentierten Rohstoffkleien konnte keine signifikante Menge an  $\alpha$ -Tocopherol sowie  $\gamma$ -Tocopherol nachgewiesen werden. Dies ist auf den Autoklavierungsprozess im Zuge der Herstellung zurückzuführen. Die im Folgenden wieder vorgefundenen Tocopherolgehalte in TG1 bis TG4 sind bedingt durch die nachträgliche Beimengung des Vitamin premix. Es ist zu erkennen, dass sich das Verhältnis  $\alpha$ - zu  $\gamma$ -Tocopherol dadurch von etwa 1:4 auf 4:1 umkehrt. Auch in den Futtermitteln konnte kein  $\beta$ -Tocopherol nachgewiesen werden.

## 11 Schlussfolgerungen

Der Einsatz von Kleie als Futtermittelanteil in der Legehennenfütterung hat Aussichten als rohstoffschonende Option verwendet zu werden. Im Zuge des Versuches konnte gezeigt werden, dass durch Substitution von Mais durch Kleie die untersuchten Faktoren des Hühnereies nicht negativ beeinflusst werden. Es konnte aber nicht gezeigt werden, dass die Fermentation der Futtermittel besonders nützliche Aspekte mit sich bringt, die den Prozessaufwand bezogen auf die Eiqualität rechtfertigen.

Eigenschaften betreffend Schale, Bruchfestigkeit und Gewichtsverhältnisse von Ei und Eikomponenten zeigten keinen Unterschied zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe. Die Farbänderung des Dotters ist auf den reduzierten Maisanteil zurückzuführen und stellt, betreffend der geringen Diskrepanz, keinen qualitätsmindernden Aspekt für den Endverbraucher dar.

Betreffend Aschegehalt, Proteingehalt und Fettgehalt des Dotters wurde bestätigt, dass durch Kleiezufütterung Produkte üblicher Wertigkeit erzeugt werden konnten. Das Fettsäureprofil wies signifikante Trends durch Zugabe der Kleie auf. Der Palmitoleinsäuregehalt wurde reduziert. Linolsäure im Dotter wurde durch das reiche Angebot im Futter und Zugabe von pflanzlichen Ölen vermehrt.

$\alpha$ -Linolensäure wurde durch Einsatz von Kleie nicht beeinflusst. Der Quotient Linolsäure/ $\alpha$ -Linolensäure wurde in den Versuchsgruppen um etwa 0,1 – 0,15 erhöht. Der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren konnte signifikant durch die Fermentation der Kleie, im Vergleich zu nativer Kleie sowie der Kontrollgruppe, gesteigert werden. Begründet auf der  $\omega$ -6-lastigen Fütterung durch eine zusätzliche Quelle an  $\omega$ -6-Fettsäuren mit Kleie ist das Ergebnis einer Zunahme der  $\omega$ -6-Fettsäuresumme zu erklären. Der  $\omega$ -6/ $\omega$ -3-Fettsäurequotient wird allerdings dadurch negativ unter dem Gesichtspunkt einer  $\omega$ -3-reichen Ernährung verändert. Die  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Tocopherolwerte bleiben in allen Gruppen auf konstantem Niveau, unverändert im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Kleie.

Es ist festzuhalten, dass Kleie im Ausmaß von 15% des Futtermittels keine Minderung der Eiqualität hinsichtlich der Eigenschaften und wertgebenden Inhaltsstoffe im Vergleich zur konventionellen maisbasierten Fütterung nach sich zieht, obwohl ein

Mangel an  $\omega$ -3-Fettsäuren aufgezeigt wurde. Die Änderungen im Fettsäuremuster des Dotters sind unter Voraussetzung einer normalen ausgewogenen humanen Ernährung als äußerst geringfügig zu betrachten.

Die Möglichkeit in der Hühnerfütterung für Legehennenbetriebe einen anteiligen Abnehmer für Müllereinebenenprodukte in Form von Weizenkleie zu finden wurde durch die erhaltenen Ergebnisse betreffend des Endprodukts Ei als zukünftige Möglichkeit bestätigt. Es sei dennoch anzumerken, dass die Untersuchten Parameter in Relation zur generellen Legeleistung zu betrachten sind. Bei defizitärer Futtersituation tritt vornehmlich eine Reduktion der Legeleistung ein, eine Qualitätsminderung einzelner Eiparameter bei konstant bleibender Legeleistung ist untypisch.

Weiterführend sei anzumerken, dass Studien erfolgen sollten, wieweit die Fütterung mit Kleie und fermentierter Kleie generellen Einfluss auf die Verdaulichkeit des Futtermittels haben. Eventuell kann durch die Fermentation der Kleie eine Verbesserung der Verdaulichkeit im Vergleich zu unfermentierter Kleie bewirkt werden und so die arbeitsintensive Prozessierung der Fermentation gerechtfertigt werden. Potentielles Probematerial könnten hierbei Kotproben sein, um auf die Verdaulichkeit des Futtermittels rückzuschließen. Als relevante Parameter der Untersuchung würden sich z.B. Trockenmasse, Stärkegehalt, Faseranteil, Protein- und Fettgehalt sowie Mineralstoffe eignen um eine Änderung der Verdaulichkeit abzubilden und zu bilanzieren. Histologische Untersuchungen der Darmzotten auf mögliche Veränderungen wäre ebenfalls anzustreben.

## 12 Literaturverzeichnis

- Adolph, M., Arends, J., Arens-Azevedo, U., von Arnim, C. A. F., Biesalski, H. K., Bischoff, S. C. et al. (2018). *Ernährungsmedizin* (Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer) (5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.  
<https://doi.org/10.1055/b-004-132260>
- Ahmadi, F. & Rahimi, F. (2011). Factors Affecting Quality and Quantity of Egg Production in Laying Hens: A Review. *World Applied Sciences Journal*, (12 (3)), 372–384.
- Alonso-Vale, M. I., Cruz, M., Bolsoni-Lopes, A., de Sá, R. & de Andrade, P. (2015). Palmitoleic Acid (C16:1n7) Treatment Enhances Fatty Acid Oxidation and Oxygen Consumption in White Adipocytes. *The FASEB Journal*, 29 (1\_supplement), 884.25.  
[https://doi.org/10.1096/fasebj.29.1\\_supplement.884.25](https://doi.org/10.1096/fasebj.29.1_supplement.884.25)
- Andersen, G. & Soyka, K. (2018). *Der kleine Souci/Fachmann/Kraut. Lebensmitteltabelle für die Praxis* (6. Auflage.). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.
- Anil, M. (2012). Effects of wheat bran, corn bran, rice bran and oat bran supplementation on the properties of pidgeon. *Journal of Food Processing & Preservation*, 36. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00592.x>
- Baltes, W. & Matissek, R. (2011). *Lebensmittelchemie* (Springer-Lehrbuch) (7. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Zugriff am 20.5.2018. Verfügbar unter: [//www.springer.com/de/book/9783642165382](http://www.springer.com/de/book/9783642165382)
- Baucells, M. D., Crespo, N., Barroeta, A. C., López-Ferrer, S. & Grashorn, M. A. (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science*, 79 (1), 51–59. <https://doi.org/10.1093/ps/79.1.51>
- Becker, F. (2013, Dezember 4). Tocopherols in wheat and rye. First cycle, G2E, . Zugriff am 18.7.2018. Verfügbar unter: <https://stud.epsilon.slu.se/6265/>

- Belitz, H.-D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2007). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie* (6. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer.
- Biesalski, H. K., Pirlich, M., Bischoff, S. C. & Weimann, A. (2017). *Ernährungsmedizin: Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer* (5., vollständig überarbeitete und erweiterte.). Stuttgart New York: Thieme.
- Bligh, E. G. & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37 (8), 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Bolling, H. (1991). Müllerei-Technologie. *Taschenbuch für Lebensmittelchemiker und -technologien* (S. 139–150). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-58220-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-58220-2_11)
- Ceylan, N., Ciftçi, I., Mızrak, C., Kahraman, Z. & Efil, H. (2011). Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20 (1), 71–83. <https://doi.org/10.22358/jafs/66159/2011>
- Cherian, G. & S. Sim, J. (1991). Effect of Feeding Full Fat Flax and Canola Seeds to Laying Hens on the Fatty Acid Composition of Eggs, Embryos, and Newly Hatched Chicks. *Poultry Science*, 70, 917–922. <https://doi.org/10.3382/ps.0700917>
- Christie, W. W. (1989). *Gas Chromatography and Lipids: A Practical Guide* (First Edition.). Ayr, Scotland: Oily Press Ltd.
- Clayden, J., Greeves, N. & Warren, S. (2017). *Organische Chemie*. (F. Glauner, K. Mühle & K. von der Saal, Übers.) (2. Aufl. 2013, 2., korr. Nachdruck 2017, Korr. Nachdruck 2017.). Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- DGE. (2015). *Evidenzbasierte Leitlinie: „Fettzufuhr und Prävention ausgewählter ernährungsmitbedingter Krankheiten“* (2.). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. Verfügbar unter: <https://www.dge.de/wissenschaft/leitlinien/leitlinie-fett/>

DGE. (2018). Fett, essenzielle Fettsäuren, Richtwerte der Zufuhr. Zugriff am 3.10.2018. Verfügbar unter:

<https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/fett/>

*DGF-Einheitsmethoden: zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen.* (2012). (2., Aufl. inkl. 16. Akt.lfg.). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Eisenbrand, G. (o. J.). Eisenbrand / Schreier | RÖMPP Lexikon

Lebensmittelchemie, 2. Auflage, 2006 | 2., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage | 2014. Zugriff am 18.5.2018. Verfügbar unter: <http://www.beck-shop.de/eisenbrand-schreier-rmpp-lexikon-lebensmittelchemie-2-auflage-2006/productview.aspx?product=14337373>

Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen* (5. Auflage). Stuttgart: UTB GmbH.

Farrell, D. J. (1995). The hearty egg is good for you. (*World Poultry Misset*), (11), 27–29.

Fehlhaber, K. & Janetschke, P. (1992). *Veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene.* Enke.

Foryst-Ludwig, A., Kreissl, M. C., Benz, V., Brix, S., Smeir, E., Ban, Z. et al. (2015). Adipose Tissue Lipolysis Promotes Exercise-induced Cardiac Hypertrophy Involving the Lipokine C16:1n7-Palmitoleate. *The Journal of Biological Chemistry*, 290 (39), 23603–23615. <https://doi.org/10.1074/jbc.M115.645341>

Frede, W. (2010). *Handbuch für Lebensmittelchemiker: Lebensmittel – Bedarfsgegenstände – Kosmetika – Futtermittel* (3. Auflage). Berlin: Springer.

Garg, M. L., Sebokova, E., Wierzbicki, A., Thomson, A. B. R. & Clandinin, M. T. (1988). Differential effects of dietary linoleic and  $\alpha$ -linolenic acid on lipid metabolism in rat tissues. *Lipids*, 23 (9), 847–852. <https://doi.org/10.1007/BF02536203>

Gupta, S., Jangir, D. (Prof. )O. P. & Sharma, M. (2016). ASSESSMENT OF PHYTOCHEMICALS,  $\alpha$ -TOCOPHEROL,  $\beta$ -CAROTENOID AND

ANTIOXIDANT POTENTIAL OF WHEAT BRAN (TRITICUMAESTIVUM).

*International Journal of Advanced Research*, 4, 1130–1136.

<https://doi.org/10.21474/IJAR01/1313>

Habermehl, G., Hammann, P., Krebs, H. C. & Ternes, W. (2008). *Naturstoffchemie: Eine Einführung* (3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2008.). Berlin: Springer.

Harnack, K., Andersen, G. & Somoza, V. (2009). Quantitation of alpha-linolenic acid elongation to eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid as affected by the ratio of n6/n3 fatty acids. *Nutrition & Metabolism*, 6, 8.

<https://doi.org/10.1186/1743-7075-6-8>

Harper, H. A., Martin, D. W., Mayes, P. A. & Rodwell, V. W. (2013). *Medizinische Biochemie*. Springer-Verlag.

Haugh, R. (1937). The Haugh unit for measuring egg quality. *US egg poult*, (43), 552–555, 572–573.

Heird, W. C. (2001). The role of polyunsaturated fatty acids in term and preterm infants and breastfeeding mothers. *Pediatric Clinics of North America*, 48 (1), 173–188.

Herber, S. M. & Van Elswyk, M. E. (1996). Dietary marine algae promotes efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. *Poultry Science*, 75 (12), 1501–1507. <https://doi.org/10.3382/ps.0751501>

Incharoen, T., Maneechote, P., Incharoen, T. & Maneechote, P. (2013). The Effects of Dietary Whole Rice Hull as Insoluble Fiber on the Flock Uniformity of Pullets and on the Egg Performance and Intestinal Mucosa of Laying Hens. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 8 (4), 323–329. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2013.323.329>

Jimenez Moreno, E., Frikha, M., de Coca-Sinova, A., P. Lazaro, R. & Mateos, G. (2013). Oat hulls and sugar beet pulp in diets for broilers. 2. Effects on the development of the gastrointestinal tract and on the structure of the jejunal mucosa. *Animal Feed Science and Technology*, 182, 44–52.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.03.012>

- Johri, B. M. (Hrsg.). (1984). *Embryology of Angiosperms*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Zugriff am 3.10.2018. Verfügbar unter: [//www.springer.com/de/book/9783642693045](http://www.springer.com/de/book/9783642693045)
- Jørgensen, H., Zhao, X. Q., Knudsen, K. E. & Eggum, B. O. (1996). The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *The British Journal of Nutrition*, 75 (3), 379–395.
- Kallweit, E., Fries, R., Kielwein, G. & Scholtyssek, S. (1988). *Qualität tierischer Nahrungsmittel. Fleisch, Milch, Eier*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- Karbstein, H. P. & Schuchmann, H. (2005). *Lebensmittelverfahrenstechnik: Rohstoffe, Prozesse, Produkte* (1.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Kennzahlen | AMA - AgrarMarkt Austria. (2017, April 24). . Zugriff am 18.5.2018. Verfügbar unter: <https://www.ama.at/Marktinformationen/Eier-und-Geflugel/Kennzahlen>
- Kraler, M., Schedle, K., Domig, K. J., Heine, D., Michlmayr, H. & Kneifel, W. (2014). Effects of fermented and extruded wheat bran on total tract apparent digestibility of nutrients, minerals and energy in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.010>
- Kraler, M., Schedle, K., Schwarz, C., Domig, K. J., Pichler, M., Oppeneder, A. et al. (2015). Fermented and extruded wheat bran in piglet diets: impact on performance, intestinal morphology, microbial metabolites in chyme and blood lipid radicals. *Archives of Animal Nutrition*, 69 (5), 378–398. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2015.1075671>
- Kunz, B. (1993). *Lexikon der Lebensmitteltechnologie* (Softcover reprint of the original 1st ed. 1993.). Springer Verlag.
- Latscha, H. P., Kazmaier, U. & Klein, H. A. (2008). Lipide (Springer-Lehrbuch). *Organische Chemie* (S. 436–441). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-77107-4\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77107-4_30)

- Liu, K.-S. (1994). Preparation of fatty acid methyl esters for gas-chromatographic analysis of lipids in biological materials. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71 (11), 1179–1187. <https://doi.org/10.1007/BF02540534>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Stahl, D. A. & Clark, D. P. (2013). *Brock Mikrobiologie* (13., aktualisierte.). Harlow: Pearson Studium.
- Marszalek, J. R. & Lodish, H. F. (2005). Docosahexaenoic acid, fatty acid-interacting proteins, and neuronal function: breastmilk and fish are good for you. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 21, 633–657. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.21.122303.120624>
- Matissek, R., Fischer, M. & Steiner, G. (2018). *Lebensmittelanalytik* (6., erw. u. vollst. überarb. Aufl. 2018.). S.l.: Springer Spektrum.
- McNaught, A. D. & Wilkinson, A. (1997). *Compendium of Chemical Terminology: IUPAC Recommendations* (2. Auflage). Blackwell Science.
- Meluzzi, A., Sirri, F., Manfreda, G., Tallarico, N. & Franchini, A. (2000). Effects of dietary vitamin E on the quality of table eggs enriched with n-3 long-chain fatty acids. *Poultry Science*, 79 (4), 539–545. <https://doi.org/10.1093/ps/79.4.539>
- Mortimer, C. E., Müller, U. & Beck, J. (2015). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (12., korrigierte und aktualisierte.). Stuttgart New York: Thieme.
- Newaz, M. A. & Nawal, N. N. (1998). Effect of alpha-tocopherol on lipid peroxidation and total antioxidant status in spontaneously hypertensive rats. *American Journal of Hypertension*, 11 (12), 1480–1485.
- Panfili, G., Fratianni, A. & Irano, M. (2003). Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (14), 3940–3944. <https://doi.org/10.1021/jf030009v>
- Pape, H.-C., Kurtz, A. & Silbernagl, S. (2018). *Physiologie* (8., unveränderte Auflage.). Stuttgart New York: Thieme Georg Verlag.

- Prückler, M., Lorenz, C., Endo, A., Kraler, M., Dürrschmid, K., Hendriks, K. et al. (2015). Comparison of homo- and heterofermentative lactic acid bacteria for implementation of fermented wheat bran in bread. *Food Microbiology*, 49, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.02.014>
- Prückler, M., Siebenhandl-Ehn, S., Apprich, S., Höltinger, S., Haas, C., Schmid, E. et al. (2014). Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT - Food Science and Technology*, 56 (2), 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.004>
- Rahman Alizadeh, M., Mahdavi, A. H., Rahmani, H. & Jahanian, E. (2015). Effects of different levels of clove bud (*Syzygium aromaticum*) on yolk biochemical parameters and fatty acids profile, yolk oxidative stability, and ovarian follicle numbers of laying hens receiving different n-6 to n-3 ratios. *Animal Feed Science and Technology*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.05.007>
- Reisinger, M., Tirpanalan, O., Prückler, M., Huber, F., Kneifel, W. & Novalin, S. (2013). Wheat bran biorefinery--a detailed investigation on hydrothermal and enzymatic treatment. *Bioresource technology*, 144, 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.088>
- Richter, M. (1981). *Einführung in die Farbmeterik* (2. Auflage. Reprint 2011.). Berlin: de Gruyter.
- Ruan, D., Lin, Y. C., Chen, W., Wang, S., Xia, W. G., Fouad, A. M. et al. (2015). Effects of rice bran on performance, egg quality, oxidative status, yolk fatty acid composition, and fatty acid metabolism-related gene expression in laying ducks. *Poultry Science*, 94 (12), 2944–2951. <https://doi.org/10.3382/ps/pev286>
- Schmidt, V. (2016, Juni 17). Aus Weizenkleie Gold machen - Wiener Forscher zerlegen die Schutzhülle des Weizenkorns in ihre Bestandteile, um dieses Nebenprodukt wieder wertvoll zu nutzen. *Die Presse*.

- Schreiner, M. (2006). Optimization of Solvent Extraction and Direct Transmethylation Methods for the Analysis of Egg Yolk Lipids. *International Journal of Food Properties*, 9 (3), 573–581.  
<https://doi.org/10.1080/10942910600596290>
- Schreiter, R. & Damme, K. (2017). Legehennenfütterung. In Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), (2. Auflage). Kitzingen.
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy = Biomedecine & Pharmacotherapie*, 56 (8), 365–379.
- Souci, S. W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2008). *Food Composition and Nutrition Tables/Die Zusammensetzung Der Lebensmittel Nährwert-Tabellen/La Composition Des Aliments Tableaux Des Valeurs Nutritiv* (7.). Stuttgart: Crc Pr Inc.
- Statistik Austria. (2017, August 31). Versorgungsbilanzen für Eier 2011 bis 2016. *Statistik Austria*. Zugriff am 19.5.2018. Verfügbar unter:  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/land\\_und\\_forstwirtschaft/preise\\_bilanzen/versorgungsbilanzen/114107.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/114107.html)
- Ternes, P. D. W., Täufel, A., Tunger, L. & Zobel, P. D. M. (2005). *Lebensmittel Lexikon* (Auflage 2005.). Hamburg: Behr's GmbH.
- Ternes, W., Acker, L. & Scholtyssek, S. (1994). *Ei und Eiprodukte* (1., Auflage 1994.). Berlin u.a.: Behr's Verlag.
- Ulberth, F. & Henninger, M. (1992). One-step extraction/methylation method for determining the fatty acid composition of processed foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69 (2), 174–177.  
<https://doi.org/10.1007/BF02540571>
- United States Department of Agriculture. (2018, Juli 23). Food Composition Databases - Corn grain, yellow. Zugriff am 23.7.2018. Verfügbar unter:  
<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/20014?fgcd=&manu=&format=&cou>

nt=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=corn&ds=&qt=&qp=  
&qa=&qn=&q=&ing=

United States Department of Agriculture & Agricultural Research Service. (2018, Juli 5). Food Composition Databases - Egg, yolk, dried. Zugriff am 5.7.2018.

Verfügbar unter:

<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/299405?manu=&fgcd=&ds=&q=Egg,%20yolk,%20dried>

Walugembe, M., Hsieh, J. C. F., Koszewski, N. J., Lamont, S. J., Persia, M. E. & Rothschild, M. F. (2015). Effects of dietary fiber on cecal short-chain fatty acid and cecal microbiota of broiler and laying-hen chicks. *Poultry Science*, *94* (10), 2351–2359. <https://doi.org/10.3382/ps/pev242>

Walugembe, M., Rothschild, M. F. & Persia, M. E. (2014). Effects of high fiber ingredients on the performance, metabolizable energy and fiber digestibility of broiler and layer chicks. *Animal Feed Science and Technology*, *188*, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.012>

Wanzenböck, E., Apprich, S., Tirpanalan, Ö., Zitz, U., Kracher, D., Schedle, K. et al. (2017). Wheat bran biodegradation by edible *Pleurotus* fungi - a sustainable perspective for food and feed. *LWT - Food Science and Technology*, *86*, 123–131.

Wanzenböck, E., Schreiner, M., Zitz, U., Bleich, B., Figl, S., Kneifel, W. et al. (2018). A Combination of Wheat Bran and Vegetable Oils as Feedstuff in Laying Hens' Diet: Impact on Egg Quality Parameters. *Agricultural Sciences*, *09*, 676. <https://doi.org/10.4236/as.2018.96047>

Webster, J. & Mellerowicz, H. (1983). *Pilze: Eine Einführung*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

Wójtowicz, A. & Moscicki, L. (2011). Effect of wheat bran addition and screw speed on microstructure and textural characteristics of common wheat precooked pasta-like products. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *61*, 101–107.

- Zhou, K., Su, L. & Yu, L. L. (2004). Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (20), 6108–6114. <https://doi.org/10.1021/jf049214g>
- Zhou, K., Yin, J.-J. & Yu, L. (Lucy). (2005). Phenolic Acid, Tocopherol and Carotenoid Compositions, and Antioxidant Functions of Hard Red Winter Wheat Bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (10), 3916–3922. <https://doi.org/10.1021/jf050117c>

# 13 Anhang

Tab. 13-1 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g]

	TG1	TG2	TG3	TG4	p-Wert	SEM	p-Werte Kontrastanalyse			
							TG1 vs. TG2	TG1 vs. TG3 + TG4	TG2 vs. TG3 + TG4	TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4
C14:0	0,17 ± 0,05	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,04	0,14 ± 0,02	0,2613	0,006	0,2070	<b>0,0278</b>	0,4826	<b>0,0373</b>
C14:1	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,3080	0,001	0,5466	0,2180	0,6531	0,2511
C15:0	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,2633	0,001	0,7133	<b>0,0231</b>	0,0783	0,0755
C16:0	13,71 ± 1,19	12,74 ± 1,01	12,90 ± 3,53	12,38 ± 0,66	0,5066	0,295	0,2381	0,1417	0,9476	0,1257
C16:1ω9	0,44 ± 0,08	0,46 ± 0,08	0,49 ± 0,11	0,47 ± 0,04	0,5680	0,012	0,4603	0,1387	0,5621	0,1747
C16:1ω7	1,00 ± 0,24	0,79 ± 0,29	0,68 ± 0,23	0,69 ± 0,21	0,0510	0,041	<b>0,0400</b>	<b>0,0010</b>	0,3517	<b>0,0016</b>
C18:0	4,80 ± 0,48	4,53 ± 0,31	4,91 ± 1,12	4,71 ± 0,29	0,6193	0,096	0,447	0,9777	0,2779	0,7036
C18:1ω9	18,99 ± 2,06	17,53 ± 1,24	18,11 ± 4,43	17,35 ± 1,71	0,5097	0,401	0,2106	0,2020	0,8366	0,1540
C18:1ω7	1,30 ± 0,12	0,63 ± 0,10	0,62 ± 0,17	0,58 ± 0,10	0,3370	0,160	0,1505	0,0765	0,9355	0,0659
C18:2ω6	13,55 ± 2,15	15,02 ± 1,78	16,61 ± 4,39	15,33 ± 1,83	0,1492	0,436	0,2142	<b>0,0187</b>	0,3789	<b>0,0291</b>
C18:3ω6	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,2679	0,003	0,1806	0,6412	0,0556	0,8095
C18:3ω3	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,5727	0,003	0,9489	0,4961	0,5695	0,6110
C20:0	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,3093	0,009	0,0876	0,0666	0,9602	0,0555
C20:1	0,10 ± 0,05	0,09 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,2341	0,005	0,1527	<b>0,0412</b>	0,7175	<b>0,0412</b>
C20:2	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,19 ± 0,06	0,16 ± 0,02	0,3447	0,006	0,7082	0,2241	0,4643	0,3085
C20:3ω6	0,09 ± 0,02	0,014 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,4545	0,012	0,1447	0,6850	0,2060	0,3653
C20:4ω6	1,12 ± 0,15	1,02 ± 0,16	1,2 ± 0,36	1,06 ± 0,07	0,3310	0,033	0,3169	0,8979	0,2151	0,7386
C22:4ω6	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,4914	0,003	0,5366	0,5529	0,8920	0,4969
C22:5ω6	<b>0,31<sup>a</sup></b> ± 0,4	<b>0,25<sup>ab</sup></b> ± 0,05	<b>0,29<sup>ab</sup></b> ± 0,09	<b>0,24<sup>b</sup></b> ± 0,04	<b>0,0302</b>	0,010	0,0239	0,0542	0,4464	<b>0,0216</b>
C22:6ω3	0,15 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,13 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,1011	0,005	<b>0,0500</b>	0,0711	0,6027	<b>0,0366</b>

p-Werte < 0,05 fett markiert

Tab. 13-2 Fettsäuren in Trockensubstanz Dotter [mg/100g]

	TG1	TG2	TG3	TG4	p-Wert	SEM	p-Werte Kontrastanalyse			
							TG1 vs. TG2	TG1 vs. TG3 + TG4	TG2 vs. TG3 + TG4	TG1 vs. TG2 + TG3 + TG4
Cholesterol	1,65 ± 0,28	1,71 ± 0,21	1,52 ± 0,37	1,66 ± 0,24	0,2434	0,042	0,6077	0,5640	0,2659	0,8480
SFA	18,75 ± 1,44	17,46 ± 0,88	18,01 ± 0,74	17,29 ± 0,81	0,5670	0,377	0,2366	0,2397	0,8225	0,1847
MUFA	21,74 ± 2,88	19,50 ± 1,53	19,99 ± 4,92	19,17 ± 2,00	0,2804	0,482	0,1035	0,0648	0,9341	<b>0,0476</b>
PUFA	15,65 ± 2,30	16,99 ± 1,83	18,85 ± 1,27	17,27 ± 1,81	0,1804	0,477	0,3019	<b>0,0329</b>	0,3706	0,0520
TUFA	37,38 ± 3,32	36,51 ± 1,05	38,87 ± 1,29	36,44 ± 0,96	0,6820	0,768	0,6954	0,8820	0,5629	0,9520
Σω3	0,26 ± 0,05	0,23 ± 0,02	0,25 ± 0,07	0,23 ± 0,02	0,4119	0,007	0,1702	0,3036	0,5600	0,1927
Σω6	15,23 ± 2,25	16,60 ± 1,81	18,40 ± 1,45	16,88 ± 1,79	0,1730	0,468	0,2851	0,2960	0,3704	<b>0,0469</b>
ω6/ω3	<b>60,42<sup>b</sup></b> ± 11,58	<b>72,25<sup>ab</sup></b> ± 11,17	<b>73,03<sup>ab</sup></b> ± 7,54	<b>75,22<sup>a</sup></b> ± 11,60	<b>0,0416</b>	1,788	<b>0,0100</b>	<b>0,0010</b>	0,7656	<b>0,0008</b>

p-Werte < 0,05 fett markiert