



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Nährwert-Analyse von pasteurisierten Flüssigvolleiern
mit speziellem Fokus auf Lipide und fettlösliche
Komponenten sowie deren Veränderung durch
Sprühtrocknung“

verfasst von / submitted by

Silke Großhagauer BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 659

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium
Lebensmittelchemie

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Veronika Somoza

Danksagung

Diese Masterarbeit entstand am Institut für Physiologische Chemie an der Universität Wien unter der Leitung von Frau Univ.-Prof. Mag. Dr. Veronika Somoza und Herrn Univ.-Prof. Dr. Tilman Grune.

Ich möchte auf diesem Weg vielen Personen DANKE sagen, die mich in der Zeit begleitet haben und mir einerseits bei fachspezifischen Fragestellungen Hilfe leisteten, andererseits mich auf persönlicher Ebene immer wieder motivierten, wenn Zweifel aufkamen.

Ganz besonderer Dank gilt Univ.- Prof. Mag. Dr. Veronika Somoza für die Ermöglichung und Betreuung dieser Masterarbeit. Durch Sie gewann ich Einblick in die Forschungsarbeiten und konnte meine Liebe für die Labortätigkeit entdecken. Ich möchte mich für die allzeitige Betreuung trotz örtlicher Distanz bedanken und für Ihre fachliche Expertise, die in vielen Situationen sehr hilfreich war. Ihr Vertrauen in mich und meine Arbeit gaben mir stets neuen Ansporn.

Ein großes Dankeschön gebührt auch Dr. Klaus Krämer und der Stiftung *Sight and Life*, die dieses Projekt ins Leben gerufen und finanziert haben, dem Engagement mit dem geforscht wird und dem Vertrauen, das mir entgegengebracht wurde. Ein herzliches Danke möchte ich auch an Herrn Dr. Schneppe von Ovobest aussprechen, dessen Expertise ausschlaggebend für dieses Projekt war und der bei Fragen stets zur Seite stand.

Bedanken möchte ich mich auch bei Ass.-Prof. Mag. Dr. Marc Pignitter sowohl für die Unterstützung im Laufe der gesamten praktischen Arbeit sowie bei theoretischen Fragestellungen. Die Gespräche waren sehr bereichernd und auch in stressigen Situationen hatte er stets ein offenes Ohr.

Ein großer Dank gilt auch Sebastian Bayer, B.Sc, der mich in der täglichen Durchführung der Versuche unterstützte, viel Vorarbeit dafür leistete und immer wieder motivierende Worte fand.

Mein größter Dank gilt meinem Partner Jodok, ohne dessen Unterstützung ich nicht so weit gekommen wäre, für die zahlreichen aufbauenden Gespräche, wenn Zweifel hochkamen und dafür, dass ich mich immer auf ihn verlassen kann.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern Regina und Karl bedanken, die mich in meinem Studium finanziell unterstützten und meinen Freunden, die stets gute Ratschläge parat hatten und immer hinter mir stehen.

Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich eidesstaatlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht und die herangezogenen Quellen sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Wien, den _____

Silke Grosshagauer

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Eidesstaatliche Erklärung	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung und Fragestellung	1
2 Literaturübersicht und wissenschaftliche Grundlagen	4
2.1 Geschichtlicher Rückblick & aktuelle Trends	4
2.2 Durchschnittliche Nährwertzusammensetzung von Hühnerei	5
2.3 Einflussgrößen der Nährwertgehalte im Hühnerei	7
2.4 Die ernährungsphysiologische Bedeutung der lipophilen Komponenten im Hühnerei	8
2.4.1 Fettgehalt und Fettsäuren	9
2.4.2 Vitamin E	13
2.4.3 Vitamin A	16
2.4.4 Carotinoide	19
2.4.5 Peroxidzahl	22
2.5 Verarbeitung von Hühnerei zu Eipulver	24
2.6 Die Verfahrenstechnik der Sprühtrocknung	25
2.7 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Nährwertwert von Hühnerei	26
2.7.1 Vitamin E	26
2.7.2 Vitamin A	27
2.7.3 Carotinoide	28
2.7.4 Peroxidzahl	30
3 Methoden	32
3.1 Studiendesign	32
3.1.1 Zusammensetzung der Futtermittelmischungen 1-4	33
3.1.2 Rasse und Alter der Legehennen	37
3.1.3 Legezeitraum und Legeleistung	38
3.1.4 Herstellung von Flüssigvollei und Volleipulver	40
3.2 Probenmaterial	41
3.3 Chemikalien, Verbrauchsmaterial, Geräte und Software	41
3.4 Detaillierte Beschreibung der Methoden	46
3.4.1 Bestimmung des Fettgehaltes nach Folch et al. [76]	46
3.4.2 Analyse der Fettsäuren mittels GC-FID	46
3.4.3 Bestimmung von Vitamin E mittels HPLC-UV	50

Inhaltsverzeichnis

3.4.4	Bestimmung von Vitamin A (Retinol) mittels HPLC-UV	53
3.4.5	Bestimmung von Carotinoiden (Lutein, Zeaxanthin) mittels LC-MS/MS.....	56
3.4.6	Bestimmung der Peroxidzahl mittels FOX-Assay	58
3.5	Umrechnungsfaktor Flüssigkei auf Trockenei.....	60
3.6	Statistische Auswertung	60
4	Ergebnisse und Diskussion	61
4.1	Trockensubstanz.....	61
4.2	Fettgehalt und Verteilung der Fettsäuren	62
4.2.1	Der Fettgehalt und die Fettsäure-Verteilung in Flüssigvollei	62
4.2.2	Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Fettgehalt und die Fettsäure-Verteilung.....	66
4.3	Vitamin E.....	70
4.3.1	Der Vitamin E-Gehalt von Flüssigvollei.....	70
4.3.2	Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Vitamin E-Gehalt	72
4.4	Vitamin A.....	76
4.4.1	Der Vitamin A-Gehalt von Flüssigvollei.....	76
4.4.2	Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Vitamin A-Gehalt	78
4.5	Carotinoide.....	81
4.5.1	Der Carotinoid-Gehalt von Flüssigvollei.....	81
4.5.2	Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Carotinoid-Gehalt	83
4.6	Peroxidzahl	86
4.6.1	Der Peroxid-Gehalt von Flüssigvollei.....	86
4.6.2	Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Peroxid-Gehalt	87
5	Schlussbetrachtung und Ausblick.....	89
6	Zusammenfassung.....	98
7	Summary.....	99
8	Literaturverzeichnis	100
9	Anhang.....	i

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Einflussgrößen auf die Nährwerte von Eiern	7
Abbildung 2 Empfehlung der Energiezufuhr nach den D-A-CH Gesellschaften.....	10
Abbildung 3 Chemische Grundstruktur der Tocopherole.....	13
Abbildung 4 Chemische Struktur von A all-trans-Retinol; B all-trans-Retinal und C Retinsäure.....	16
Abbildung 5 Chemische Struktur von A β -Carotin, B Lutein und C Zeaxanthin	19
Abbildung 6 Sprühtrocknungsanlage der Firma OVOBEST (Marke Sanovo)	25
Abbildung 7 Übersicht des Studiendesigns (Futter 1 – 4 = Futtermittelmischung 1 – 4).....	32
Abbildung 8 Prozentuale Aufschlüsselung des für die Erzeugung der einzelnen Eichargen verwendeten Hühnerfutters	35
Abbildung 9 Übersicht der beteiligten Farmen und ihren Hühnerherden je Charge.....	37
Abbildung 10 Kalibriergeraden der Fettsäuren und des internen Standards (HME)	49
Abbildung 11 Kalibriergeraden der Tocopherole	52
Abbildung 12 Kalibriergerade Retinol.....	55
Abbildung 13 Standardgerade Peroxidzahl (angegeben als Fe^{3+} Konzentration) in $\mu\text{g}/10\text{ mL}$	59
Abbildung 14 Fettgehalt von Flüssigeier der Chargen 1-4 in $\text{g}/100\text{ g TM}$	62
Abbildung 15 Fettsäure-Verteilung von Flüssigvolleiern der Chargen 1-4 in Prozent bezogen auf den Gesamtfett-Gehalt..	63
Abbildung 16 P/S Index der Flüssigvolleier und Trockeneier der Chargen 1-4.).....	64
Abbildung 17 Vergleich des Fettgehaltes zwischen Flüssigvolleiern der Charge 1-4 und der jeweiligen Trockeneiprobe in $\text{g}/100\text{ g TM}$	66
Abbildung 18 Fettsäure-Muster (TM) der Flüssigeier im Vergleich zu sprühgetrocknetem Eipulver (Charge 1-4).	68
Abbildung 19 Fettsäure-Konzentrationen in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG).....	69
Abbildung 20 Tocopherol-Gehalt der Flüssigeier Charge 1-4 in $\text{mg}/100\text{ g TM}$	71
Abbildung 21 Vergleich der Tocopherol-Homologe zwischen Flüssigvollei und Volleipulver in $\text{mg}/100\text{ g TM}$	72
Abbildung 22 Vitamin E-Konzentration in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)	73

Abbildung 23 Vergleich des Retinol-Gehalts von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ TM.....	76
Abbildung 24 Vergleich der Retinol-Gehalte zwischen Flüssigvolleier und Volleipulver in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ TM.....	78
Abbildung 25 Retinol-Konzentration in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)	79
Abbildung 26 Lutein- und Zeaxanthin-Gehalt in Flüssigvolleiern in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ TM	81
Abbildung 27 Vergleich der Lutein- und Zeaxanthin-Konzentration von Flüssigvolleiern und Volleipulver in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ TM.....	83
Abbildung 28 Carotinoid-Konzentrationen in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)	85
Abbildung 29 Vergleich der Peroxidzahl in meq O_2/kg Fett zwischen Flüssigeiern der Charge 1-4	86
Abbildung 30 Vergleich der Peroxidzahl zwischen Flüssigvollei und Volleipulver in meq O_2/kg Fett	87
Abbildung 31 Vereinfachte Darstellung der CML-Entstehung, adaptiert nach Thorpe und Baynes	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Durchschnittliche Nährwert- und Vitaminzusammensetzung von Hühnerei,	6
Tabelle 2 Durchschnittlicher Mineralstoffgehalt im Hühnerei	7
Tabelle 3 Vergleich der Tocopherol-Gehalte in flüssigem und sprühgetrocknetem Ei bei unterschiedlich hoher Vitamin E-Anreicherung des Futters	27
Tabelle 4 Auswirkung der Pasteurisierung und Sprühtrocknung auf den Xanthophyll-Gehalt in µg/100 g Eidotter (FG)	28
Tabelle 5 Zusammensetzung der Futtermittelmischungen (Futter) 1 - 4	33
Tabelle 6 Zusammensetzung Premix (Futter 1-4)	34
Tabelle 7 Futtermittelzusammensetzung berechnet für Charge 1-4	36
Tabelle 8 Nowitolzusatz: Prozentualer Anteil (%) bezogen auf die gesamten Futtermittelmischungen der Eier, die aus den Chargen 1 – 4	37
Tabelle 9 Legeleistung der Hühner in den unterschiedlichen Farmen	39
Tabelle 10 Analysebedingungen des GC-FID-Systems	47
Tabelle 11 Verlauf des GC-Temperaturgradienten	47
Tabelle 12 Retentionszeiten (min) der Fettsäuren	48
Tabelle 13 Analysebedingungen des RP-HPLC/UV-Systems (Vitamin E)	51
Tabelle 14 Gradientenverlauf der mobilen Phase (Vitamin E)	51
Tabelle 15 Retentionszeiten (min) der Tocopherol-Einzelstandards	52
Tabelle 16 Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der Tocopherole	53
Tabelle 17 Analysebedingungen des RP-HPLC/UV-Systems (Vitamin A)	54
Tabelle 18 Nachweis- und Bestimmungsgrenze von Retinol	55
Tabelle 19 Analysebedingungen der chromatographischen Auftrennung (Carotinoide)	57
Tabelle 20 Gradientenverlauf der mobilen Phase (Carotinoide)	57
Tabelle 21 Analysebedingungen des MS/MS-Experiments (Carotinoide)	57
Tabelle 22 Retentionszeiten (min) der Carotinoid-Einzelstandards	58
Tabelle 23 Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Peroxidzahl	59
Tabelle 24 Trockensubstanz der Flüssigvolleier und Volleipulver (%)	61

Tabelle 25 Vergleich der Vitamin E-Gehalte (in mg/100 g) zwischen Flüssig- und Trockenei	74
Tabelle 26 Trocknungsfaktor der Eier aus Charge 1-4 (Chemisches Institut Burkon).....	i
Tabelle 27 Fettgehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	i
Tabelle 28 Fettgehalt von Volleipulver der Charge 1-4.....	ii
Tabelle 29 Palmitinsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	ii
Tabelle 30 Stearinsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	iii
Tabelle 31 Ölsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	iii
Tabelle 32 Linolsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	iv
Tabelle 33 Linolensäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	iv
Tabelle 34 Pamitin- und Stearinsäure-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4.....	v
Tabelle 35 Öl- und Linolsäure-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4.....	v
Tabelle 36 Linolensäure-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4	vi
Tabelle 37 α -Tocopherol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	vi
Tabelle 38 γ -Tocopherol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	vii
Tabelle 39 δ -Tocopherol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	vii
Tabelle 40 α -, γ - und δ -Tocopherol -Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4	viii
Tabelle 41 Retinol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)	viii
Tabelle 42 Retinol-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4.....	ix
Tabelle 43 Peroxidzahl von Flüssigvolleiern und Volleipulver der Charge 1-4.....	ix

Abkürzungsverzeichnis

ALA	α -Linolensäure
ANOVA	Einfaktorielle Varianzanalyse
APCI	Chemische Ionisation bei Atmosphärendruck (Atmospheric Pressure Chemical Ionization)
BHT	Butylhydroxytoluol
CHP	Cumarolhydroperoxid
CML	N(ϵ)-Carboxymethyllysin
COP	Cholesterol-Oxidationsprodukt
D-A-CH	Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung
Dest.	Destilliert
DHA	Docosahexaensäure
DHSC	Ministerium für Gesundheit und Soziales von Großbritannien (U.K. Department of Health and Social Care)
TM	Trockenmasse
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority)
EPA	Eicosapentaensäure
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
FID	Flammenionisationsdetektion
FOX	Ferrous oxidation-xylene orange
FG	Frischgewicht
HDL	Lipoprotein hoher Dichte (High Density Lipoprotein)
HME	Heptadecansäure-Methylester

Abkürzungsverzeichnis

HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (High Performance Liquid Chromatography)
GC	Gaschromatographie
KHK	Koronare Herzkrankheit
LA	Linolsäure
LC	Flüssigchromatographie (Liquid chromatography)
LDL	Lipoprotein niedriger Dichte (Low density lipoprotein)
LZR	Legezeitraum
mAU	Milliabsorptionseinheiten (Milli absorbance units)
meQ	Milliequivalent
MDA	Malondialdehyd
MRM	Multiple Reaction Monitoring
MS	Massenspektrometer
MUFA	Einfach ungesättigte Fettsäuren (Monounsaturated Fatty Acids)
MW	Mittelwert
PUFA	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Polyunsaturated Fatty Acids)
RP	Umkehrphase (Reversed Phase)
rpm	Umdrehungen pro Minute (Revolutions per minute)
SD	Standardabweichung
SFA	Gesättigte Fettsäuren (Saturated Fatty Acids)
SFK	Souci Fachmann Kraut
UNICEF	Kinderhilfswerk der Vereinten Nationen (United Nations International Children's Emergency Fund)
USDA	Landwirtschaftsministerium der Vereinigten Staaten (U.S. Department of Agriculture)
UV	Ultraviolett

Abkürzungsverzeichnis

W	Wochen
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)

1 Einleitung und Fragestellung

Der/Die österreichische DurchschnittsbürgerIn verzehrte 2019 im Schnitt 242 Eier, was in etwa einem wöchentlichen Konsum von 4-5 Eiern entspricht [1]. Als Lebensmittel nimmt das Hühnerei nicht nur in Europa einen hohen Stellenwert ein, sondern wird auch global gesehen als preiswertes, nährstoffreiches und technologisch vielseitig einsetzbares Nahrungsmittel geschätzt.

Dass es sich bei Vollei um eine wertvolle Proteinquelle handelt, wird vor allem durch die biologische Wertigkeit von 100 % deutlich. Vollei dient dabei als Referenzwert für andere Lebensmittel und gibt an, wie effizient das Nahrungsprotein als körpereigenes Protein verwertet werden kann [2]. Wie schon die alte Redewendung „das Gelbe vom Ei sein“ vermuten lässt, liegen im Eidotter besonders viele essentielle Nährstoffe vor. Dabei handelt es sich - in Abhängigkeit der verabreichten Futters - zum einen um die fettlöslichen Vitamine A und E, zum anderen um wichtige Fettsäuren, wie etwa die mehrfach ungesättigte omega-3 Fettsäure Linolensäure.

Im Fokus von vielen wissenschaftlichen Untersuchungen stand und steht weiterhin die Frage, in wie weit sich der Nährstoffgehalt von Eiern durch eine Anreicherung über das Futter beeinflussen lässt. Besondere Aufmerksamkeit kam diesen Untersuchungen zu, als in den 1980er Jahren eine Korrelation zwischen einem hohen Cholesteringehalt in der Nahrung und hohen Inzidenzen an Koronaren Herzkrankheiten (KHK) festgestellt wurde. Mit der im Folgenden gewonnenen Erkenntnis, dass das Nahrungscholesterin zwar nicht ganz außer Acht gelassen werden sollte, aber nicht die Hauptursache für einen hohen Serum-Cholesterinspiegel darstellt, konnte die negative Einstellung vieler Konsumenten hinsichtlich des Verzehrs von Eiern wieder etwas relativiert werden [3]. Vielmehr zeigten Studien, dass eine Reduktion des Serumcholesterinspiegels eher durch eine Verringerung des Anteils an gesättigten Fettsäuren (SFA) bei gleichzeitig erhöhtem Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) in der Diät erzielt werden kann als durch die Reduktion des Nahrungscholesterins [3]–[5]. Mit dieser Motivation und der Erkenntnis, dass sich Eier für eine Anreicherung mit omega-3 Fettsäuren sehr gut eignen, erfolgte die Entwicklung der sogenannten „Omega-3-Eier“, die bereits in vielen Supermärkten der Industriestaaten erhältlich sind [6]–[8]. Basis für diese Entwicklung sind Fütterungsstudien, die sich nicht nur der Fettsäurezusammensetzung, sondern auch einer möglichst effizienten Anreicherung von antioxidativ wirksamen Nährstoffen, wie zum Beispiel Carotinoiden und Vitamin E, zum Schutz vor Lipidperoxidation widmen [9]–[11]. Mit zunehmenden Kenntnissen zur effizienten Anreicherung von fettlöslichen Vitaminen im Eigelb stellt sich die Frage nach einem Einsatz von Hühnerei als wirksame Maßnahme gegen einen ernährungsbedingten Mangel dieser essentiellen Nährstoffe, zum Beispiel in Entwicklungsländern [12], [13]. Vor allem hier ist

Vitamin A-Mangel weit verbreitet und bringt enorme Einbußen des Sehvermögens mit sich [14]. Ebenso zeigten Verzehrsstudien aus Europa und Amerika, dass die Vitamin E-Zufuhr nur in den wenigsten Fällen den Empfehlungen entsprach [15]. Da Eier vom Großteil der Bevölkerung regelmäßig verzehrt werden, können diese einen wichtigen Beitrag zur Bedarfsdeckung dieser fettlöslichen Nährstoffe leisten. Zur Umsetzung der Strategie, den Konsum von Hühnereiern als Lieferanten wertvoller essenzieller Nährstoffe zu erhöhen, sind jedoch nicht nur Kenntnisse über die Effizienz und technologische Umsetzung einer Nährstoffanreicherung notwendig, auch wirtschaftliche und kulturelle Faktoren sollten berücksichtigt werden. Gerade in Gebieten, in denen Mangelernährung zum Alltag gehört, stehen pro Person zum Teil nur zwei Eier pro Monat zur Verfügung. Ein von der *Sight and Life Foundation* ins Leben gerufenes Projekt soll diese Situation durch Zusammenschluss mehrerer kleinerer und mittlerer Hühnerfarmen derselben Region zu Clustern sowie Investmentförderungen und Wissensvermittlung verbessern [13].

Aus technologischen sowie sicherheitsrelevanten Gründen wird in der Lebensmittelindustrie vermehrt Trockenei in all seinen Varianten – Volleipulver, Eigelbpulver, Eiklarpulver – eingesetzt. Im Gegensatz zu Trockenei benötigen Schaleneier nicht nur viel Lagerplatz, sie sind auch anfälliger für mikrobiellen Verderb und bergen ein höheres Salmonellen-Risiko. Für den lebensmitteltechnologischen Einsatz werden Schaleneier daher oft homogenisiert und pasteurisiert, wodurch die Gefahr einer Salmonellen-Übertragung reduziert wird. Eine nachfolgende Trocknung der Eier verschafft außerdem den Vorteil, dass der Wassergehalt auf ein Minimum reduziert und somit eine längere Haltbarkeit erzielt wird. Der geringe Wassergehalt sorgt dafür, dass bakterielles Wachstum unterbunden wird. Ein weiterer Nutzen liegt darin, dass Trockeneier vor allem im Großindustrie-Maßstab eine gewisse „Convenience“ bieten, indem sie nicht erst aufgeschlagen und gegebenenfalls in Eiklar und Eidotter getrennt werden müssen. Durch die Trocknung wird eine Reduktion des Gewichtes sowie des Volumens erzielt, sodass eine Aufkonzentrierung der Nährstoffe die Folge ist [16].

Obwohl die Weiterverarbeitung zum Eipulver in der Lebensmittelindustrie immer mehr an Bedeutung gewinnt, gibt es bisher kaum Kenntnisse darüber, wie sich dieser Prozess auf den Nährstoffgehalt tatsächlich auswirkt. Eine von Abreha et al. [17] erst kürzlich erschienene Studie verglich bereits den Fett- und Proteingehalt von Eipulver, welches von Eieren einer äthiopischen und einer nach Äthiopien importierten Hühnerrasse hergestellt worden war, und kamen zu dem Fazit, dass diese Volleipulver ein sehr hohes Potenzial besitzen als Ergänzungsnahrung eingesetzt zu werden. In dieser Studie wurde außerdem der Mineralstoff-Gehalt ermittelt, eine Analyse der Fettsäure-Verteilung sowie der Auswirkung auf die Vitamine bzw der Bildung von Peroxiden wurde jedoch nicht durchgeführt.

Einleitung

In der vorliegenden Masterarbeit wurde daher den Fragen nachgegangen, inwieweit sich eine Weiterverarbeitung durch Sprühtrocknung auf die Gehalte der fettlöslichen Vitamine A und E sowie der Caroinoide auswirkt. Es wurde außerdem ein Vergleich des Fettsäuremusters zwischen Flüssigkei und Trockenei erstellt.

Die im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführte Fütterung zielte nicht darauf ab, den omega-3 PUFA-Gehalt in Eiern zu erhöhen, sondern stellte vielmehr eine Bestandsaufnahme der Fettsäureverteilung dar. Dabei wurden vor allem die Gehalte der Fettsäuren Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure und Linolsäure in Eiern aus insgesamt vier Chargen bei einer sehr ähnlich zusammengesetzten Fütterung ermittelt.

Höhere Temperaturen sowie der Kontakt mit Sauerstoff bedeuten oftmals auch eine Begünstigung der Lipidoxidation. Ob und inwieweit die Peroxidzahl durch Sprühtrocknung tatsächlich ansteigt, war ebenso Teil der chemisch-analytischen Fragestellung dieser Masterarbeit. Ein weiteres Ziel war es, die Auswirkung der unterschiedlichen Sprühtrocknungstemperatur (160 °C und 180 °C) auf soeben genannte Parameter zu untersuchen.

Anhand dieser Untersuchungen sollte eruiert werden, ob Trockeneier das Potenzial aufweisen, als Zusatz zu fettbasierter Ergänzungsnahrung den täglichen Vitaminbedarf zu decken oder ob der Konsum von Flüssigvollei in Bezug auf den Nährstoffgehalt hier doch vorteilhafter wäre.

2 Literaturübersicht und wissenschaftliche Grundlagen

2.1 Geschichtlicher Rückblick & aktuelle Trends

Eier haben in der täglichen Ernährung seit jeher für viele Bevölkerungsgruppen einen hohen Stellenwert. So geht die erste Domestizierung des Huhnes über 8000 Jahre zurück. Noch heute stellen kleinere Hühnerfarmen, sowie im letzten Jahrzehnt auch zunehmend größer werdende Farmen mit Legehennen und Masthühnern, die Versorgung mit Eiern und Fleisch für die Menschen weltweit sicher. In Österreich stieg der Pro-Kopf-Verbrauch von Hühnerei vor allem zwischen 1950 und 1960 um 140 % rasant von 86 Stück auf 206 Stück pro Jahr an [18]. Im Jahr 1995 wurden in Österreich bereits 230 Eier pro Person verzehrt, während 2019 der Konsum mit 242 Eiern nochmal etwas höher lag [1]. Deutschland verzeichnete mit einem Verzehr von 236 Eiern im Jahr 2019 etwas niedrigere Werte als Österreich [19]. Der starke Anstieg des Eikonsums in den Jahren 1950 – 1960 schuf u.a. Anreize für die Kreuzung diverser Hühnerrassen zu sogenannten Hybridhennen, die sich durch eine stärkere Legeleistung auszeichneten [19], [20]. Lag die Legeleistung im Jahr 1950 noch bei 120 Eiern pro Jahr, konnte 2015 ein Anstieg auf fast 300 Eier pro Jahr erzielt werden [21]. Dabei zeigen Weißleger Rassen, wie etwa Lohmann LSL Classic, eine etwas höhere Legeleistung als Braunleger, wie zB. Lohmann Brown-Classic. Da die Züchtungen zugunsten einer besseren Legeleistung bereits sehr weit optimiert wurden, wurde in den letzten Jahren der Fokus zunehmend auf eine Verlängerung der Legedauer bzw. auf eine höhere Robustheit der Tiere gesetzt [22]. Für die KonsumentInnen rückt dabei das Tierwohl verbunden mit einer tiergerechten Haltungsform und die Qualität der Eier immer mehr in den Vordergrund. Die vielseitig umstrittene Käfighaltung wurde am 1.1.2009 mit einer Übergangsfrist von 15 Jahren in Österreich verboten. Österreich setzte damit als erstes Land Europas ein Zeichen und war somit Vorreiter in einer käfigfreien Haltung der Legehennen. Seit 1.1.2020 sind in Österreich keine Eier aus Käfighaltung mehr erhältlich [23]. In Deutschland gilt die Übergangsregelung für ausgestaltete Käfige noch bis 2025 und soll bis dahin ebenso vollständig auf Bodenhaltung und alternative Haltungsformen umgestellt sein [24].

Nicht nur das Wohlergehen der Tiere, sondern auch das Hühnerei als Lebensmittel standen immer wieder im Diskussionsmittelpunkt. Forschungsergebnisse in den 1970er Jahren zeigten eine positive Korrelation zwischen Herz-Kreislauf-Erkrankungen und erhöhten Blut-Cholesterinwerten, was vor allem cholesterinreiche Lebensmittel wie Eier in ein negatives Licht rückten [4], [25]. Aus nachfolgenden Forschungen ging jedoch hervor, dass Nahrungscholesterin nur einen moderaten Einfluss auf Blutcholesterinwerte hat, von Mensch zu Mensch in unterschiedlichem Ausmaß aufgenommen wird und einen geringeren Einfluß besitzt als die Aufnahme an gesättigten Fettsäuren [3], [5].

Im Gegensatz werden nun sogar die hohe Nährstoffdichte, die hohe biologische Verfügbarkeit der Proteine sowie das Vorkommen von nahezu allen Vitaminen und Mineralstoffen in Eiern vermehrt beworben. Mit diversen Fütterungsstudien konnte außerdem gezeigt werden, dass sich gewisse Nährstoffe im Ei, wie zum Beispiel die Vitamine D₃, E, K und B₁₂ sehr gut, andere, wie zum Beispiel Niacin, Vitamin B₁ und B₆ wiederum eher schlecht durch Anreicherung und Optimierung des Hühnerfutters beeinflussen lassen [26]. Die Anreicherung von bestimmten Nährstoffen, wie zB. Vitamin A, ist gesetzlich geregelt und kann nicht in beliebig hohen Konzentrationen erfolgen. Mittlerweile sind auch sogenannte „Omega-3-Plus-Eier“ in den Supermärkten erhältlich. Ein Hersteller dieser Produkte gibt einen im Vergleich zu nicht angereicherten Produkten 8-fach höheren Gehalt an omega-3 Fettsäuren an, welcher etwa durch Zugabe von Leinsamen oder Algen zum Hühnerfutter erreicht werden konnte [8]. Da es eine sehr breite Variation an Hühnerfutter gibt, variieren dementsprechend auch die Nährwerte der Eier. Auf die verschiedenen Einflussgrößen der Nährwertzusammensetzung wird im nächsten Unterkapitel näher eingegangen.

2.2 Durchschnittliche Nährwertzusammensetzung von Hühnerei

Für eine klare Übersicht wurden die Nährwerte von Hühnerei anhand der Souci-Fachmann-Kraut (SFK)-Datenbank in **Tabelle 1** dargestellt. Das Hühnerei ist mit einem Anteil von unter 1 % kohlenhydratarm, zeichnet sich jedoch durch einen hohen Eiweiß- und Fettgehalt von 12,5 % bzw. 11,4 % aus [27]. Während Proteine sowohl im Eiklar als auch im Eigelb zu finden sind, liegen Fette ausschließlich im Eigelb vor, dessen Gewichtsanteil in etwa 30 % vom Hühnerei ausmacht. Neben Palmitin- und Stearinsäure, die zu den gesättigten Fettsäuren zählen, kommen außerdem auch ungesättigte Fettsäuren vor. Die Ölsäure macht dabei mit einem durchschnittlichen Wert von 4,3 % den Hauptanteil aus, aber auch mehrfach ungesättigte Fettsäuren wie Linol- und Linolensäure sind Bestandteil der Fettzusammensetzung. Der durchschnittliche Cholesterinwert beträgt 396 mg/100 g [27].

Hühnerei enthält, abgesehen von Vitamin C, alle Vitamine und stellt daher eine wichtige Aufnahmequelle für Vitamine dar. Die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K kommen ausschließlich im Eigelb vor, der durchschnittliche Gehalt je 100 g Ei beläuft sich jeweils auf 276 µg Retinol, 2,3 mg Gesamt-Tocopherol, 2,9 µg Vitamin D und 8,9 µg Vitamin K. Eier leisten somit einen wichtigen Beitrag, um den täglichen Vitaminbedarf von 0,8-1 mg an Vitamin A, 12-15 mg an Vitamin E, 20 µg an Vitamin D und 60-70 µg an Vitamin K zu decken [28]. Vor allem für VegetarierInnen ist der hohe Vitamin B₁₂-Gehalt von 1,9 µg/100 g Ei vorteilhaft, da der tägliche Bedarf von 4 µg durch Verzicht auf Fleischprodukte und Nahrungsergänzungsmittel andernfalls nur schwer erreicht werden kann [28]. Auch andere B-

Vitamine wie Riboflavin (B₂) und Pyridoxin (B₆) kommen in Hühnerei vor. Beachtlich ist hier der Gehalt an Biotin, der mit 25 µg/100 g nahezu an den Tagesbedarf von 30-60 µg reicht.

Tabelle 1 Durchschnittliche Nährwert- und Vitaminzusammensetzung von Hühnerei, adaptiert aus SFK [27]

Nährwerte	je 100 g	Vitamine	je 100 g
Brennwert kJ (kcal)	646 (155)	Retinol (µg)	276
Fett (g)	11,4	Carotinoide (µg)	13,0
davon gesättigte Fettsäuren (g)	3,3	Gesamt-Tocopherole (mg)	2,3
Myristinsäure C14:0 (g)	0,04	α-Tocopherol (mg)	2,0
Palmitinsäure C16:0 (g)	2,58	β-Tocopherol (mg)	0,04
Stearinsäure C18:0 (g)	0,72	γ-Tocopherol (mg)	0,08
davon einfach ungesättigte Fettsäuren (g)	4,28	Vitamin D (µg)	2,9
Ölsäure C18:1 (g)	4,28	Vitamin K (µg)	8,9
davon mehrfach ungesättigte Fettsäuren (g)	1,8	Vitamin B ₂ (µg)	408
Linolsäure C18:2 (g)	1,66	Nicotinamid (µg)	83
Linolensäure C18:3 (g)	0,1	Pantothensäure (mg)	1,6
Arachidonsäure C20:4 (g)	0,07	Vitamin B ₆ (µg)	77
Cholesterin (g)	0,4	Biotin (µg)	25
Kohlenhydrate (g)	0,7	Folsäure (µg)	67
Eiweiß (g)	12,5	Vitamin B ₁₂ (µg)	1,9

Im Hühnerei kommt neben den Vitaminen auch eine Vielzahl von Mineralstoffen in nennenswerten Mengen vor, welche in **Tabelle 2** dargestellt wurden. Einhundert Gramm Hühnerei enthalten demnach durchschnittlich 210 mg Phosphor, 51 mg Calcium und 11 mg Magnesium. Durch das Vorkommen von Eisen, Zink und Selen können Eier einen wichtigen Beitrag leisten, den durchschnittlichen Bedarf eines Erwachsenen von 8-14 mg/Tag (Zink), 10-15 mg/Tag (Eisen) bzw. 60-70 µg/Tag (Selen) zu decken [28].

Tabelle 2 Durchschnittlicher Mineralstoffgehalt im Hühnerei, adaptiert aus SFK [27]

Mineralstoffe	je 100 g		Je 100 g
Natrium (mg)	144	Mangan (µg)	71
Kalium (mg)	147	Eisen (mg)	1,8
Magnesium (mg)	11	Zink (mg)	1,2
Calcium (mg)	51	Selen (µg)	10
Phosphor (mg)	210	Nickel (µg)	9,1

2.3 Einflussgrößen der Nährwertgehalte im Hühnerei

Wie bei vielen Lebensmitteln, unterliegen auch die Nährwerte von Hühnerei gewissen Schwankungen. Diese sind einerseits auf erblich bedingte Faktoren oder das Alter des Huhnes zurückzuführen, können aber andererseits auch durch die Haltungsform (Käfighaltung, Bodenhaltung, Freiland- und biologische Haltung) beeinflusst werden. Zudem leisten adäquate Lagerbedingungen einen wesentlichen Beitrag zum Erhalt wichtiger Nährstoffe sowie zur Vorbeugung von vorzeitigem Verderb.

Zwei maßgebliche Einflussgrößen der Zusammensetzung von Hühnerei stellen das Futter der Hühner und die

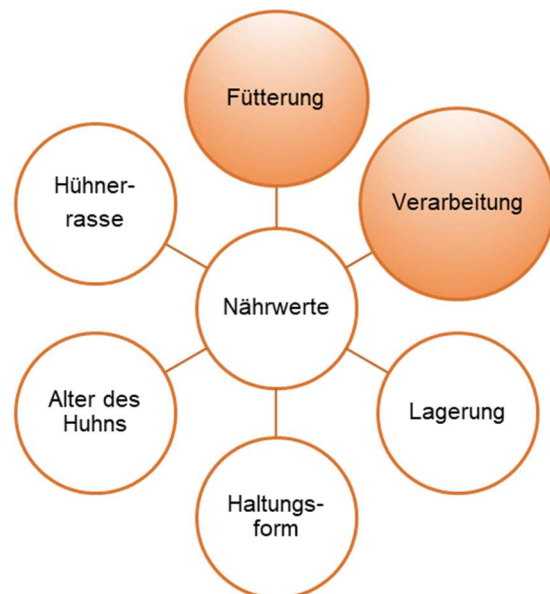


Abbildung 1 Einflussgrößen auf die Nährwerte von Eiern

Weiterverarbeitung des Hühnereis, etwa zu Eipulver, dar.

In der vorliegenden Masterarbeit lag das Hauptaugenmerk vor allem auf dem experimentell ermittelten Vergleich der Nährwertzusammensetzung zwischen pasteurisierten Flüssigvolleiern und dem daraus durch Sprühtrocknung erzeugten Volleipulver. Ein weiterer Abschnitt befasste sich außerdem mit dem bisherigen Kenntnisstand zur Futtermittelanreicherung.

Im Konkreten können etwa gewisse Vitamine oder Fettsäuren durch eine adaptierte Zusammensetzung des Futtermittels beeinflusst werden. Ein hohes Interesse vieler Studien bestand darin, den omega-3-Gehalt von Eiern durch Zusatz von Leinsamen oder Algen zum Futter zu steigern [8]. Auf dem Gebiet der Futtermittelanreicherung wurde bereits intensiv geforscht, vor allem mit dem Bestreben, so viel von einem bestimmten Nährstoff zuzusetzen, dass eine möglichst hohe Übertragungseffizienz ins Hühnerei erfolgt, ohne dabei den Gehalt an anderen Nährstoffen in beträchtlichem Ausmaß zu reduzieren. Bekannt ist diese gegenseitige Beeinflussung zum Beispiel bei Vitamin A und E – dies wurde im folgenden Kapitel *2.4 Die ernährungsphysiologische Bedeutung der lipophilen Komponenten im Hühnerei* näher beschrieben.

Die intensivere Nutzung von Eipulver macht es notwendig, den Blick zudem auf etwaige Änderungen der Nährwertzusammensetzung im Vergleich zu rohem Hühnerei zu richten. Die Involvierung von Hitze in den Verarbeitungsschritten, wie etwa der Sprühtrocknung, legt nahe, dass hier nicht nur hitzelabile Vitamine (negativ) beeinflusst werden könnten, sondern es durch die gleichzeitige Anwesenheit von reduzierenden Zuckern und Proteinen auch zu einer Neubildung von sogenannten Maillard-Reaktionsprodukten, wie etwa N(ε)-Carboxymethyllysine (CML) kommen kann.

2.4 Die ernährungsphysiologische Bedeutung der lipophilen Komponenten im Hühnerei

Die folgenden Unterkapitel geben eine Zusammenfassung der Lipide und fettlöslichen Komponenten im Hühnerei. Dazu werden vor allem die Gehalte an Fettsäuren, den fettlöslichen Vitaminen A und E, und den Carotinoiden näher beschrieben sowie auf deren physiologischen Bedeutung eingegangen. Ebenso umfasst dieses Kapitel den Einfluss der Futtermittel-Anreicherung auf soeben genannte Parameter. Abschließend wird der Aspekt der Lipidoxidation, im Konkreten der Peroxidzahl, näher betrachtet.

2.4.1 Fettgehalt und Fettsäuren

Der Fettanteil im Hühnerei beträgt nach Angaben im SFK [27] in etwa 11,4 g/100 g, dies entspricht 5,7 g bei einem durchschnittlichen Eigewicht von 50 g. Dabei liegen diese Lipide fast ausschließlich im Eidotter vor, wogegen im Eiklar nur vernachlässigbar geringe Mengen nachweisbar sind. Die Hauptkomponenten der Eidotterlipide sind mit 66 % vor allem Triacylglyceride. Aber auch komplexe Phospholipide, zu denen die Lecithine und Kepheline gehören, machen mit etwa 28 % einen großen Anteil der Lipidfraktion aus [29]. Etwa 6 % fallen auf Cholesterol, das für den schlechten Ruf der Eier in den 1970er Jahren sorgte. Sowohl Triacylglyceride als auch Cholesterol liegen in Form von Lipoproteinen vor, welche sich mengenmäßig im Eidotter auf 68 % Low-Density-Lipoprotein (LDL) und 16 % High-Density-Lipoprotein (HDL) aufteilen. Die restlichen Bestandteile teilen sich auf in globuläre Proteine, den Livetinen (10 %), und Glykophosphoproteine, den Phosphitinen (4 %), auf [29].

Was die Fettsäureverteilung betrifft, kann der Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren (MUFA), insbesondere der Ölsäure, hervorgehoben werden. Dieser macht in etwa 4,3 g der von SFK angegeben Lipide je 100 g Eier aus. Zusätzlich fallen durchschnittlich 1,8 g auf mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA), unter anderem Linol- oder Linolensäure. Der Anteil an gesättigten Fettsäuren (SFA) macht ca. 3,3 g aus, wobei deren Hauptvertreter Palmitin- und Stearinsäure sind. Da das Fettsäuremuster von Hühnerei auch von der Hühnerrasse, dem Alter und besonders der Fütterung abhängig ist, werden von anderen Institutionen, wie beispielsweise dem U.S. Department of Agriculture (USDA) oder dem U.K. Department of Health and Social Care (DHSC), etwas unterschiedliche Gehalte als Durchschnittswerte angegeben. So liegt der Fettgehalt im Ei laut USDA mit 9,5 g/100 g niedriger als die im SFK ausgewiesenen Werte [30]. Davon entfallen durchschnittlich 3,1 g auf SFA, 3,7 g auf MUFA und 1,9 g auf PUFA. Das DHSC gibt mit 9 g/100 g Gesamtfett, 2,52 g SFA, 3,42 g MUFA und 1,44 g PUFA ähnliche Gehalte an [31].

Um nachvollziehen zu können, warum es oft ein Anliegen ist, mehrfach ungesättigte Fettsäuren auf Kosten der gesättigten Fettsäuren im Hühnerei anzureichern, muss zunächst deren Bedeutung in der Begünstigung bzw. Vermeidung bestimmter ernährungsbedingter Erkrankungen näher erklärt werden.

Ernährungsphysiologische Bedeutung von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren (SFA, PUFA)

Der Fokus in zahlreichen Untersuchungen lag oft auf der Reduktion Koronarer Herzkrankheiten (KHK), da diese laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) als Todesursache Nummer 1 in den westlichen Industriestaaten gelten [32]. Charakteristisch für diese Erkrankung sind vor allem Ablagerungen von LDL-Cholesterin, welche meist mit

Entzündungsreaktionen einhergehen und die Entstehung von Arteriosklerose bedingen. Hierbei nehmen weiße Blutkörperchen bzw. Makrophagen LDL-Partikel auf und schwellen dabei zu sogenannten Schaumzellen an, die in Folge weitere Entzündungen hervorrufen. Durch diese Prozesse werden Herzkranzgefäße verengt, sodass nur mehr wenig Sauerstoff zu den Zellen transportiert wird und Herzinfarkte ausgelöst werden können [33], [34].

Da Untersuchungen in Bezug auf die Begünstigung von KHK durch die Aufnahme von SFA zu unterschiedlichen Ergebnissen kamen, verfassten Nettleton et al. [35] eine ausführliche Übersicht. In diesem Übersichtsartikel wurde unter anderem eine Meta-Analyse aus prospektiven Beobachtungsstudien vorgestellt, die keinen kausalen Zusammenhang zwischen einem hohen Konsum an SFA und erhöhtem Risiko für KHK zeigten [36]. Wichtig zu erwähnen ist hier jedoch, dass diese Studien nicht berücksichtigten, mit welchen Makronährstoffen eine eventuell reduzierte SFA-Aufnahme kompensiert wurde. Dass dies definitiv von Bedeutung ist, zeigten elf in Amerika und Europa durchgeführte Kohortenstudien, die in Form einer Meta-Analyse zusammenfassend ausgewertet wurden [5]. Die Studien, die sich auf Zeiträume von 4-10 Jahren erstreckten, umfassten insgesamt über 344.000 TeilnehmerInnen. Wurden 5 % der durch SFA zugeführten Energie stattdessen mit cis-PUFA ersetzt, konnte das Risiko gegenüber einer KHK um signifikante 13 % gesenkt werden. Außerdem wurde eine um 26 % reduzierte, durch eine KHK bedingte, Mortalität festgestellt. Wurde der Nahrungsanteil an SFA jedoch durch Kohlenhydrate kompensiert, kam es zu einem moderaten, jedoch signifikanten Anstieg des Risikos um 7 %, eine KHK zu erleiden. Ebenso kam ein von der WHO veröffentlichter systematischer Review zu dem Ergebnis, dass ein Teil der SFA am besten durch cis-PUFA und nicht durch Kohlenhydrate ersetzt werden sollte, um das Risiko für KHK effektiv zu senken [37].

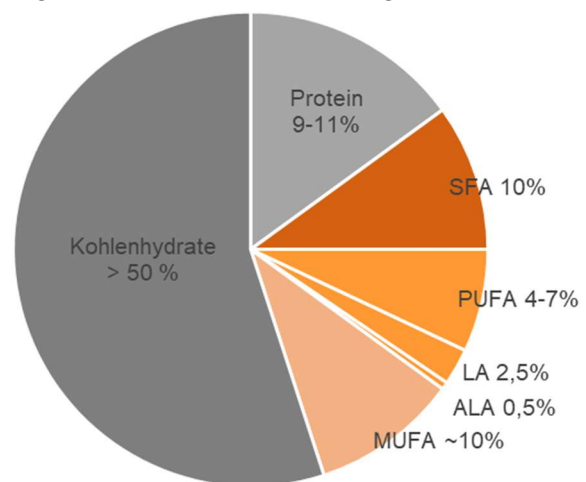


Abbildung 2 Empfehlung der Energiezufuhr nach den D-A-CH Gesellschaften [27]

Aktuelle Empfehlungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), der WHO und auch der Deutschen, Österreichischen, sowie Schweizerischen Gesellschaften für Ernährung und Ernährungsforschung (D-A-CH) sehen vor, den Konsum von SFA auf maximal 10 % der Gesamtenergieaufnahme zu beschränken [38], [39]. Diese Empfehlungen gewinnen besonderen Stellenwert, da eine Auswertung diverser Ernährungserhebungen von Erwachsenen im Zeitraum von 1995 bis 2015 aus 24 europäischen Nationen zeigte, dass der Großteil dieser Länder im Durchschnitt deutlich mehr als die empfohlene Maximalzufuhr an SFA zu sich nahm [40]. So lag die mittlere SFA-Aufnahme aller betrachteten Länder zwischen

8,9 - 15,5 %, wobei die Aufnahme bei EinwohnerInnen Österreichs und Deutschlands jeweils mit 14,5 % und 14,4 % im oberen Bereich lag. Nur in Portugal und Israel wurde die Empfehlung der WHO/FAO eingehalten [38], [40]. Zu den Hauptaufnahmekquellen von SFA zählten vor allem Milch und Milchprodukte, zugesetzte Öle und Fette sowie Fleisch. Die Aufnahme an PUFA lag bei 15 der 24 untersuchten Länder innerhalb der Empfehlungen der WHO von 6-11 Energie-Prozent [38], [40]. Spanien stellte dabei mit einer PUFA-Aufnahme von 3,9 % der Gesamtenergie das Schlusslicht dar, während Bulgarien mit 11,3 % an der oberen Spitze lag. Die D-A-CH Gesellschaften sprechen eine ähnliche Empfehlung der PUFA-Zufuhr von 7 bis max. 10 % der Gesamt-Energiemenge aus, wobei 2,5 % davon durch die essentielle Linolsäure (LA) und 0,5 % durch die omega-3 Fettsäure α -Linolensäure (ALA) gedeckt werden sollten [39]. LA und ALA sind in der Ernährung unabdingbar, denn der menschliche Metabolismus ist vom Methylende ausgehend nicht in der Lage, zwischen C-6-Atom und C-3-Atom eine Doppelbindung einzufügen [2]. Die Klasse der PUFA kann je nach Lage der Doppelbindungen, vom Methylende der Fettsäure gesehen, unterteilt werden in omega-3 und omega-6 Fettsäuren [29]. Die Empfehlungen der WHO sowie der D-A-CH Gesellschaften sieht vor, nicht nur auf die Deckung des PUFA-Bedarfs zu achten, sondern insbesondere auch auf die Verhältnisse der omega-6 und omega-3 Fettsäuren Rücksicht zu nehmen [38], [39]. Da insgesamt mehr omega-6 als omega-3 Fettsäuren aufgenommen werden, wird empfohlen, omega-3 Fettsäuren speziell in den Ernährungsplan zu integrieren, um so ein Verhältnis von omega-6: omega-3 Fettsäuren von etwa 5:1 anzustreben. Studien über die Wirkung der Aufnahme von langkettigen omega-3-PUFA liefern außerdem überzeugende Hinweise darauf, dass hierdurch das Risiko für KHK gesenkt werden kann [41].

Ein wichtiger Vertreter einer omega-9 Fettsäure, jedoch mit nur einer Doppelbindung und daher in die Kategorie der MUFA einzuordnen, ist die Ölsäure. Die täglich empfohlene Menge an MUFA sollte, laut den D-A-CH Gesellschaften, in etwa 10 % der Energiemenge, berechnet aus 30 Energie-Prozent an Fett minus 20 % SFA und PUFAs, ausmachen [39].

Langkettige omega-3 Fettsäure, wie etwa Docosahexaensäure (DHA), welche durch weitere Elongation und Desaturierung aus EPA gebildet wird, kommt vorwiegend in fettreichem Fisch vor. DHA-reiche Fische wie Lachs (1155 mg/100 g), Hering (1242 mg/100 g) oder Makrelen (739 mg/100 g) stehen in der westlichen Bevölkerung trotzdem selten auf dem Speiseplan [27]. Auch aus ökologischer Sicht und zum Schutz vor Überfischung der Meere wäre es wünschenswert, die DHA-Zufuhr durch andere Quellen sicherzustellen. Dieser Forderung wurde in den letzten Jahren nachgegangen: während im Jahr 1974 nur 10 % der Fischbestände auf nicht nachhaltigem Niveau gefischt wurden, stieg dieser Anteil bis 2015 auf 33,1 % an [42]. Ein Bericht der FAO aus dem Jahr 2018 postulierte außerdem, dass der Fischkonsum pro Kopf von 20,3 kg im Jahr 2016 auf vermutlich 21,5 kg bis 2030 ansteigen, Afrika jedoch aufgrund der wachsenden Bevölkerung einen Rückgang der Pro-Kopf-

Versorgung von ohnehin schon geringen 9,8 kg (2016) auf etwa 9,6 kg (2030) verzeichnen wird [42]. Nahrungsmitteln, die von der breiten Bevölkerung verzehrt werden und deren Fettsäureverteilung leicht zu beeinflussen sind, gebührt deshalb besondere Aufmerksamkeit.

Fütterungsversuche

Dass auch das Hühnerei zu jenen Nahrungsmitteln zählt, die über das Tierfutter leicht anzureichern sind, konnten sowohl Milinsk et al. [6] als auch Neijat M., Eck P. und House J.D. [43] in ihren Untersuchungen verdeutlichen. So bewirkte etwa die Zugabe von Raps-, Lein-, Soja- oder Sonnenblumenöl zur Diät verglichen mit der Fütterung von nicht angereichertem Standardfutter an eine Kontrollgruppe eine signifikante Senkung der gesättigten Fettsäure Palmitinsäure (C16:0) und Stearinsäure (C18:0) bei gleichzeitiger Erhöhung des LA-Gehalts (Sonnenblumenöl) oder omega-3 Anteils (Leinöl) im Ei [6]. Eine Zugabe von je 600 mg omega-3 PUFA aus Mikroalgen bzw. Leinsamenöl je 100 g Futter reichte außerdem aus, um den DHA-Gehalt der Eier um das Sieben- bzw. Dreifache zu steigern. Die DHA-Konzentrationen erreichten in den jeweiligen Gruppen 29,9 mg/g Fett und 11,7 mg/g Fett [43].

Die Menge an DHA im Futter kann jedoch nicht beliebig hoch dosiert werden, ohne dabei unerwünschte Nebeneffekte, wie etwa einen fischigen Beigeschmack, zu verzeichnen. Als Ergebnis dieser Studie wurden daher zirka 500 - 600 mg Linolensäure als Futterzusatz pro Henne pro Tag empfohlen, um eine maximale DHA-Anreicherung im Eidotter ohne fischigen Nebengeschmack zu erzielen [43].

Da ein Vorliegen von höheren Gehalten an PUFA auch gleichzeitig eine stärkere Gefährdung für Lipidoxidation darstellt, wird zum Schutz vor allem zu einer Zugabe an natürlichen Antioxidantien, wie etwa Vitamin E geraten. In weiterer Folge wurde daher versucht, einen Überblick über Vitamin E-Gehalte von Hühnerei im Allgemeinen sowie deren Beeinflussung über die Fütterung zu geben.

2.4.2 Vitamin E

Struktur

Der Begriff Vitamin E umfasst mehrere Moleküle, die sich weitgehend in die Familie der Tocopherole und der Tocotrienole einordnen lassen. Allen gemeinsam ist der Chromanolring mit einer Hydroxylgruppe an Position 6. Während die Gruppe der Tocopherole eine gesättigte Seitenkette besitzt, ist für die Moleküle der Tocotrienol-Gruppe eine dreifach ungesättigte Seitenkette charakteristisch.

Die **Abbildung 3** zeigt die chemische Grundstruktur der Tocopherole, wobei diese durch eine unterschiedliche Anzahl und Stellung der Methylgruppen variiert und die Homologe demnach als α -, β -, γ - oder δ -Tocopherol bezeichnet werden. Die höchste biologische Aktivität weist α -Tocopherol auf, welches oft auch als RRR- α -Tocopherol bezeichnet wird. Diese wird mit 100 % angegeben, während β -, γ - und δ -Tocopherol niedrigere Aktivitäten mit jeweils 50 %, 25 % und 10 % aufweisen.

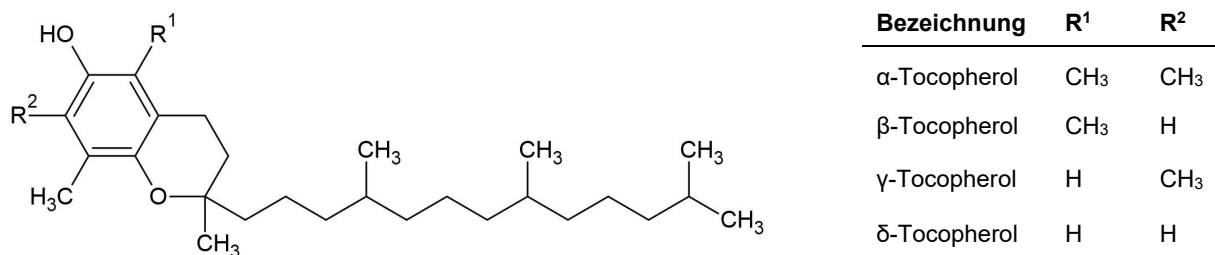


Abbildung 3 Chemische Grundstruktur der Tocopherole

Ernährungsphysiologische Bedeutung und Bedarfsdeckung

Grundsätzlich steht nicht nur die antioxidative Wirkung von Vitamin E zum Schutz vor Lipidoxidation im Vordergrund, sondern auch eine durch den Konsum von Eiern höhere Vitamin E-Aufnahme der Bevölkerung per se. Wie in einem systematischen Review von Péter et al. [15] gezeigt werden konnte, wurde die in den USA täglich empfohlene Vitamin E-Aufnahme von 15 mg bei über 82 % der weltweiten Bevölkerung nicht erreicht. Dabei kommen Vitamin E, welches vor allem in Zellmembranen eingebaut wird, wichtige Bedeutungen zu. Zum einen dient Vitamin E der Stabilität der Erythrozyten und schützt in weiterer Folge vor einer Hämolyse sowie einer damit oft einhergehenden hämolytischen Anämie. Zum anderen schützt es auch die DNA bzw. Proteine vor Lipidoxidation und ist für die Regeneration der reduzierten Form von Vitamin C zuständig. Weiters sorgt es für den Erhalt einer normalen Funktion des Immunsystems und ist daher, wie alle Vitamine, für die Gesundheit des Menschen unabdingbar [44].

Da Eier zu den Lebensmitteln gehören, die vom Großteil der Bevölkerung regelmäßig verzehrt werden, kann eine Erhöhung des Vitamin E-Gehaltes in Eiern in gewissem Maße auch zur Deckung des täglichen Vitamin E-Bedarfes beitragen.

Der eigentliche Zweck des Nährstoffübergangs vom Huhn ins Ei, wie es etwa bei Vitamin E der Fall ist, liegt primär darin, den eventuell heranwachsenden Hühner-Embryo konstant mit lebenswichtigen Nährstoffen zu versorgen. Als Speicher hierfür dient unter anderem die Leber der Hühner, die bei einer vitaminarmen Fütterung Tocopherole für den Übergang in den Eidotter freisetzt. Dies ist auch aus einer Studie von Surai et al. [45] ersichtlich, in der Legehennen bei Studienbeginn für zehn Tage auf eine tocopherolarme Fütterung gesetzt wurden, um alle Gruppen auf ein ähnliches Ausgangslevel zu bringen. Es wurde in dieser Zeit keine starke Veränderung des Vitamin E-Levels im Eidotter festgestellt ($p > 0,05$). Bei steigender Vitamin E-Anreicherung des Futters wurde anschließend eine Akkumulation und Speicherung von Vitamin E in der Leber beobachtet. Bei einer hohen Futtermittelanreicherung von 2 g/kg und 20 g/kg α -Tocopherylacetat wurde jedoch keine signifikant höhere Konzentration in der Leber festgestellt. Die Autoren vermuteten deshalb, dass nicht nur die Leber des Huhnes als Regulator für den Vitamin E-Transfer ins Ei dient, sondern der Nährstoff auch direkt aus dem Blut in den Eidotter übergehen kann.

Vitamin E-Gehalt von Eiern

Vom USDA wurde ein durchschnittlicher α -Tocopherol-Gehalt von 1,05 mg/100 g für rohes Hühnerei angeführt [30]. Ein ähnlicher Vitamin E-Gehalt (Gesamt-Tocopherol) mit 1,29 mg/100 g wurde auch vom DHSC angegeben [31]. Die ermittelte Vitamin E-Konzentration von frischem Ei in einer Studie von Miranda et al. [46] liegt mit 1,93 mg/100 g etwas höher als die durchschnittlich angegebenen Werte des USDA und dem DHSC. Hier wurde vermutlich von einer Standard-Fütterung ohne nennenswerte Mengen an Vitamin-Anreicherung ausgegangen.

Fütterungsversuche

Diverse Studien zur Futtermittel-Anreicherung mit Vitamin E zeigten vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Konzentrationssteigerung im Hühnerei. Dabei wurde Vitamin E meist als α -Tocopherylacetat hinzugegeben, da die veresterterte Form gegenüber Sauerstoff und sichtbarem Licht weitgehend unbeeinflusst bleibt. Im Gegensatz dazu erweist sich die freie Form von α -Tocopherol nur unter Sauerstoff-Ausschluss stabil gegenüber Hitze und basischen Bedingungen. Galobart et al. [9] zeigten in ihrer Studie, dass mit zunehmender Anreicherung von 0 bis 200 mg α -Tocopherylacetat/kg Futter ebenso die Konzentration an α -Tocopherol in den untersuchten Hühnereiern von 1,66 mg/100 g Ei Frischgewicht (FG) auf 13,23 mg/100 g Ei (FG) anstieg. Ein Nachteil dabei war jedoch, dass die Übertragungseffizienz

des Tocopherols vom Futter ins Ei kontinuierlich abnahm, je höher die Dosis der Anreicherung war. So wurden in den Eiern 41,8 % des verfütterten Tocopherols nach einer Futteranreicherung von 50 mg/kg wiedergefunden, nach einer Anreicherung von 100 mg Tocopherol/kg Futter waren es nur mehr 35,3 % während der Transfer bei 200 mg/kg Futter weiter auf 26,7 % sank.

Dass die Vitamin E-Konzentration im Hühnerei nicht nur von der Dosis der Anreicherung, sondern auch von der Fütterungsdauer und der gleichzeitigen Anwesenheit anderer fettlöslicher Komponenten, wie etwa Retinol oder Carotinoide, abhängig ist, konnten die Untersuchungen von Surai et al. [45] und Jiang et al. [47] zeigen. Dabei wurde bei Zugabe von α -Tocopherol und β -Carotin in Höhe von je 400 mg/kg Futter ein geringerer Gehalt an Vitamin E im Eidotter wiedergefunden als bei alleiniger Anreicherung von α -Tocopherol. Dies war auf eine Umwandlung des Carotinoids zu Retinol und dessen Einflussnahme auf die Absorption von Vitamin E zurückzuführen [47], [48].

2.4.3 Vitamin A

Struktur

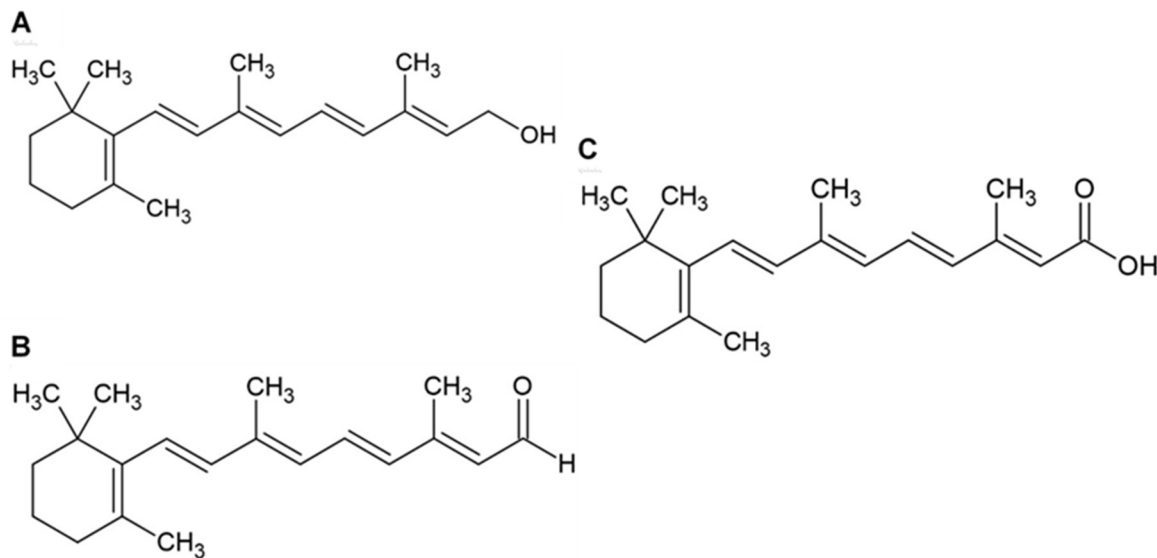


Abbildung 4 Chemische Struktur von **A** all-trans-Retinol; **B** all-trans-Retinal und **C** Retinsäure

Chemisch gesehen handelt es sich bei Vitamin A um all-trans-Retinol (**Abbildung 4 A**). Unter dieser Bezeichnung werden jedoch im weiteren Sinn auch andere Verbindungen, die Vitamin A-Wirkung besitzen, verstanden. Dabei handelt es sich zum einen um Retinylester, zum anderen aber auch um Provitamine, wie zum Beispiel β -Carotin, welches durch enzymatische Spaltung zuerst in zwei Moleküle Retinal umgewandelt werden kann. Aus diesem Vitamin A-Aldehyd Retinal (**Abbildung 4 B**) kann in weiterer Folge durch Reduktion Retinol generiert werden. Verbindungen, die nicht die gesamten Vitamin A-Wirkungen entfalten, werden als Retinoide bezeichnet. Dazu zählen Retinsäure (**Abbildung 4 C**) sowie ihre synthetischen Derivate [29].

Ernährungsphysiologische Bedeutung und Bedarfsdeckung

Dem fettlöslichen Vitamin A werden sehr entscheidende Funktionen, wie etwa eine essenzielle Bedeutung für das Sehvermögen, das Wachstum oder die Differenzierung von diversen Körperzellen zugeschrieben [49].

Das Transportprotein-gebundene Retinol gelangt in die stäbchenförmigen Zellen der Retina. Der dort vorliegende Komplex Rhodopsin, welcher aus dem Protein Opsin und der Vitamin A-Form Retinal besteht, ist für das Dämmerungssehvermögen verantwortlich. Fällt Licht in die Netzhaut ein, so wird 11-cis-Retinal zu all-trans-Retinal isomerisiert und löst sich vom Opsin. Die Phototransduktion wird durch die Aktivierung von Transducin ausgelöst. Die Signalweiterleitung wird gestoppt indem Rhodopsin wieder inaktiviert wird und anschließend

für den Regenerationsprozess zerfällt. Wie schnell Rhodopsin regeneriert wird hängt unter anderem auch vom Versorgungsgrad mit Retinol ab [49]. Ein Mangel an Vitamin A kann vom eingeschränkten Dämmerungssehvermögen bis hin zur Nachtblindheit führen, wie es in Teilen Afrikas bereits bei Kindern im Vorschulalter beobachtet wird. Die WHO gab 2009 an, dass Vitamin A-Mangel in Afrika für 6 % der Todesfälle von Kindern unter fünf Jahren verantwortlich ist [14]. Ein vom Kinderhilfswert der Vereinten Nationen (UNICEF) ins Leben gerufenes Projekt, bei dem Kinder zwischen sechs und 59 Monaten zweimal jährlich Vitamin A verabreicht bekommen, versucht, diesem Problem entgegenzusteuern [50].

Empfehlungen

Die täglich empfohlene Aufnahmemenge von Vitamin A in Form von Retinoläquivalenten liegt laut den D-A-CH-Gesellschaften bei 1 mg für Männer bzw. 0,8 mg für Frauen [28]. Die von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) 2019 adaptierten Referenzwerte für Vitamin A geben eine täglich empfohlene Referenzzufuhr der Bevölkerung (PRIs) an Retinolequivalenten von 750 µg/Tag für Männern bzw. 650 µg/Tag für Frauen an [51]. Im Gegensatz zu von Mangelerkrankung geprägten Regionen in Afrika, konnte laut Österreichischem Ernährungsbericht 2017 die täglich empfohlene Retinol-Zufuhr in Österreich sowohl von Frauen (1,33 mg RE/Tag) als auch von Männern (1,38 mg/Tag) gedeckt werden [52]. Auch die 2008 veröffentlichte Nationale Verzehrsstudie in Deutschland ergab in allen Altersgruppen eine Deckung der empfohlenen Referenzmenge [53]. Diese Daten machen deutlich, dass vor allem in Entwicklungsländern ein dringender Bedarf besteht, die Vitamin A-Versorgung zu fördern.

Vitamin A-Gehalt von Eiern

Retinol kommt vor allem in tierischen Produkten, beispielsweise der Leber vor. Der Großteil wird jedoch über Milch und Milchprodukte sowie Eiern gedeckt, wobei der Gehalt durch verschiedene Einflüsse, wie etwa der Fütterung, variieren kann [2].

Das DHSC [31] gab eine durchschnittliche Vitamin A-Konzentration von 120 µg/100 g FG im rohen Ei an, während Miranda et al. [46] einen durchschnittlichen Retinol-Gehalt von 227 µg/100 g FG bestimmten. Das USDA gab wiederum einen mittleren Retinol-Gehalt im rohen Frischei von 160 µg/100 g an [30]. Bei diesen Werten ist von einer Standardfütterung ohne verstärkter Vitamin-Anreicherung auszugehen. Immer mehr ist es aber auch von Interesse, die Vitamin A-Konzentrationen im Ei durch optimierte Fütterung der Hühner zu erhöhen.

Fütterungsversuche

In der Studie von Mori et al. [48] konnte nach elfwöchiger Fütterung von entweder 15.000 IE (4,5 mg Retinol) oder 30.000 IE (9 mg Retinol)/kg Futter ein deutlicher Anstieg der Retinol-Konzentration im Eidotter festgestellt werden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe, deren Retinol-Konzentration bei $231,3 \pm 14,5 \mu\text{g}/100 \text{ g Vollei}$ (FG) lag, war der Retinol-Gehalt von $315,0 \pm 4,3 \mu\text{g}/100 \text{ g Vollei}$ in der 15.000 IE-supplementierten Gruppe bzw. ein Retinol-Gehalt von $344,7 \pm 1,8 \mu\text{g}/100 \text{ g Vollei}$ in der 30.000 IE-supplementierten Gruppe signifikant erhöht.

Im Gegensatz zu α -Tocopherol, bei dem die Übertragungseffizienz vom Futter ins Ei mit steigender Konzentration im Futter abnahm [9], konnte bei Retinol ein linearer Anstieg im Eidotter festgestellt werden [54]. Die gegenseitige Beeinflussung der Vitamine A und E im Bezug auf die Absorption sollte jedoch für Fütterungsversuche nicht außer Acht gelassen werden [48], [55].

2.4.4 Carotinoide

Die intensive gelblich-orange Farbe des Eidotters ergibt sich durch das Vorhandensein von Carotinoiden.

Struktur

Die aus acht Isopren-Einheiten, also 40 C-Atomen, bestehenden fettlöslichen Moleküle lassen sich im Wesentlichen in die zwei Hauptgruppen der Carotine und Xanthophylle unterteilen. Während Carotine, zu denen auch β -Carotin zählt, aus einer reinen Polyen-Kohlenwasserstoffkette bestehen, zeichnen sich Xanthophylle, wie etwa Lutein und Zeaxanthin, durch ein Vorhandensein von zusätzlichen Sauerstoffatomen aus. Die chemische Struktur der drei Vertreter ist in **Abbildung 5** veranschaulicht.

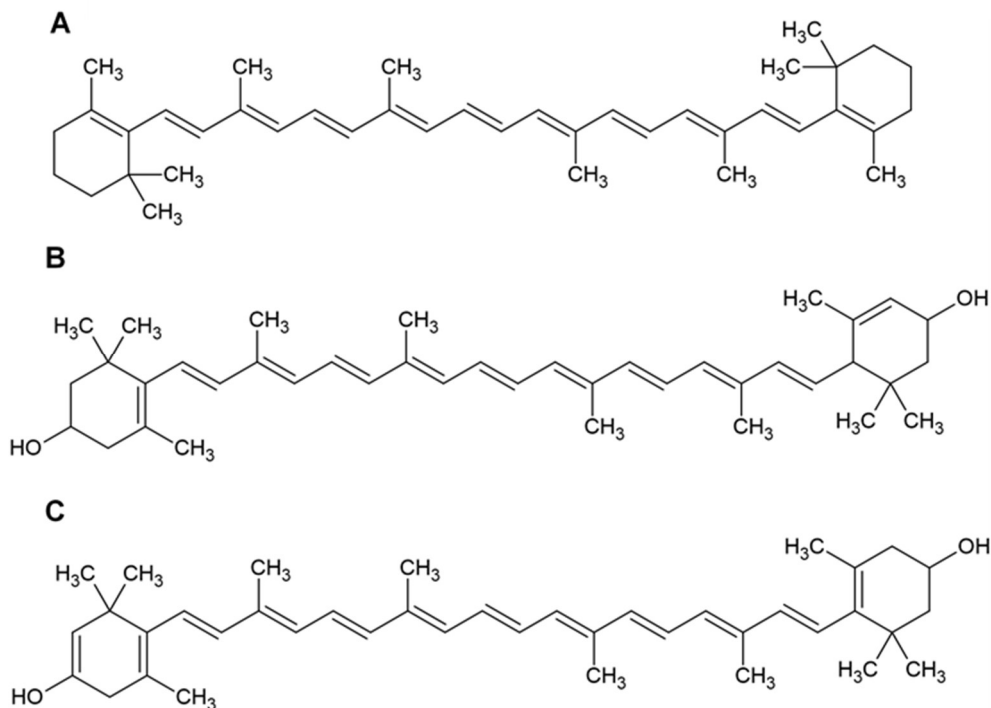


Abbildung 5 Chemische Struktur von **A** β -Carotin, **B** Lutein und **C** Zeaxanthin [56][56][56]

Umwandlung zu Vitamin A und ernährungsphysiologische Bedeutung der Carotinoide

Der menschliche Körper ist in der Lage, β -Carotin und andere Carotine in Retinal (Vitamin A) umzuwandeln, weshalb β -Carotin auch unter dem Namen Provitamin A geläufig ist [2]. In welchem Ausmaß dieses Carotin jedoch in Vitamin A umgewandelt werden kann, ist von mehreren Faktoren abhängig. Dazu zählen etwa der individuelle Metabolismus, die Matrix bzw. auch der Fettgehalt eines Lebensmittels, die Anwesenheit anderer Carotinoide sowie die Zubereitungsmethoden. In diversen Studien sind verschiedene Umrechnungsfaktoren in die sogenannten Retinoläquivalente zu finden [2], [57]. Dabei ist auch der Vitamin A-Status

relevant: je besser der Körper mit Vitamin A versorgt ist, umso geringer ist die Aktivität des Enzyms 15,15-Dioxygenase und umso weniger β -Carotin wird in Vitamin A umgewandelt [2]. Die D-A-CH Gesellschaften geben für die Umwandlung von all-trans- β -Carotin in Retinolequivalente einen Faktor von 6:1 an, das heißt 6 mg β -Carotin werden benötigt, um 1 mg Retinol zu synthetisieren [28]. Andere Provitamin A-Carotinoide sind mit einem Faktor von 12:1 angeführt [28]. In den USA wurde der Umrechnungsfaktor von β -Carotin bereits von 6:1 auf 12:1 in Form von Retinolaktivitäts-Äquivalenten geändert [58].

Anders als Carotine werden Xanthophylle nicht zu den Provitaminen gezählt. Zeaxanthin, jener Farbstoff, der üblicherweise in Mais vorzufinden ist, stellt ein Stereoisomer von Lutein dar [29]. Diese beiden Isomere unterscheiden sich lediglich durch die Position einer einzelnen Doppelbindung voneinander und erfordern deshalb spezielle chromatographische Bedingungen um getrennt voneinander detektiert werden zu können [56]. Diese beiden Pigmentfarbstoffe wurden in der Makula, welche die höchste Dichte an Sehzellen in der menschlichen Netzhaut besitzt, entdeckt. Dort lokalisiert, können sie bis zu 90 % des kurzwelligen, blauen Lichtes filtern und die Augen vor einer lichtinduzierten oxidativen Schädigung schützen [59]. Untersuchungen deuten außerdem darauf hin, dass Lutein und Zeaxanthin eine protektive Rolle gegen die Altersbedingte Makuladegeneration (AMD) spielen [60].

Carotinoid-Gehalt von Eiern

Während Vitamin A vorwiegend in tierischen Lebensmitteln vorkommt, sind Carotinoide vor allem in Obst und Gemüse nachweisbar. Je nach Fütterung und Haltungsform der Hühner stellen auch Eier eine gute Aufnahmequelle dar. Chung et al. [61] wiesen dabei ganz besonders auf die gute Bioverfügbarkeit von Lutein aus Eidotter hin, welche im Vergleich zu Spinatextrakten oder auch zu ölbasierten Carotinoid-Supplementen, unter anderem aufgrund ihrer Lipidmatrix, signifikant höher war. Besonders im Vergleich zu den Gemüseextrakten war eine etwa dreifach höhere Bioverfügbarkeit von Lutein im Eidotter feststellbar. In der Studie wurde jedoch angemerkt, dass die konsumierten Eier einen etwa fünffach höheren Lutein-Gehalt (2,67 mg/100 g FG) aufwiesen als herkömmliche Eier [61].

Aus der Datenbank des USDA geht hervor, dass Lutein und Zeaxanthin mit durchschnittlich 503 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ den größten Anteil der Carotinoide in Eiern darstellen [30]. Außerdem kamen geringe Mengen des β -Cryptoxanthin (9 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) vor, β -Carotin hingegen konnte nicht detektiert werden. In der SFK-Datenbank ist ausschließlich β -Carotin in Höhe von 13 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ als Carotinoid aufgelistet [27], [30]. Wie in einer Studie von Jiang et al. [47] demonstriert werden konnte, war zur Diät hinzugefügtes β -Carotin nur in geringem Ausmaß im Eigelb zu finden, während die Retinolkonzentration dazu linear anstieg.

In einer Studie von Schlatterer und Breithaupt [62] wurden Lutein und Zeaxanthin als die dominierenden Xanthophylle mit einer Konzentration von 1,27 - 2,48 mg/100 g Eidotter und 0,78 - 1,29 mg/100 g Eidotter bei Boden- und Bio-Freilandhaltung angegeben. Davon ausgehend, dass der Anteil an Eidotter in etwa 30 % vom Ei ausmacht, würde dies 382-743 µg/100 g an Lutein bzw. 233-386 µg/100 g an Zeaxanthin entsprechen [62]. Eine Studie von Wenzel et al. [63], die sich primär mit den Auswirkungen der Pasteurisierung sowie der Sprüh- oder Gefriertrocknung auf die Carotinoid-Gehalte in Hühnereiern befasste, ergab im Vergleich zu jenen Werten aus Schlatterer und Breithaupt [62] etwas geringere Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen in pasteurisierten Hühnereiern. Außerdem waren weitere Xanthophylle, im Wesentlichen 9-Z-Canthaxanthin (322 ± 11 µg/100 g Dotter), β -apo-8'-Carotinsäureethylester (211 ± 13 µg/100 g Dotter), sowie all-E-Canthaxanthin, in mittleren Gesamtkonzentrationen von 888 ± 37 µg/100 g Eidotter nachweisbar [63].

2.4.5 Peroxidzahl

Das Bestreben, den Anteil von ungesättigten Fettsäuren zu Lasten von SFA in Eiern zu erhöhen, kann sich in anderen Bereichen, etwa der Stabilität, negativ auswirken. Ein Vorliegen von Doppelbindungen macht die Fette sehr angreifbar für Sauerstoff und begünstigt Radikalkettenreaktionen. Diese führen zur Bildung von primären sowie sekundären Lipidoxidsprodukten, die neben unerwünschten sensorischen Einbußen auch unerwünschte organoleptische und gesundheitliche Wirkungen mit sich bringen können [64]. Zum Schutz vor Lipidperoxidation wird von vielen Forschungsgruppen, wie etwa Pignitter et al. [65] oder Kamal-Eldin und Appelqvist [66] der Zusatz von natürlichen Antioxidantien empfohlen, die freie Radikale abfangen und einer voranschreitenden Oxidation entgegenwirken können. Die Quantifizierung von Peroxiden kann Hinweise darauf geben, ob und in welchem Ausmaß die vorliegenden Fette verdorben sind. Vorwiegend werden dabei Hydroperoxide erfasst, welche zu den primären Lipidoxidsprodukten zählen und im Laufe der Initiation bzw. Propagation entstehen. Bei der Interpretation der ermittelten Peroxidzahl ist jedoch Vorsicht geboten, da ein niedriger Wert nicht automatisch auf eine geringe Lipidoxidation schließen lässt. Die primären Lipidoxidsprodukte zerfallen bei fortschreitender Oxidation in sekundäre Lipidoxidsprodukte, wie Aldehyde, Ketone aber auch Epoxide, und führen demnach zur Abnahme der Hydroperoxide [67].

Unter der Peroxidzahl, die als Milli-Äquivalent (meq) aktiver Sauerstoff pro kg Fett angegeben wird, wird die erfassbare Menge an aktiv gebundenem Sauerstoff in einem Kilogramm Fett verstanden.

Für die meisten Speiseöle oder reinen Fette gilt eine Peroxidzahl von $< 10 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$ noch als akzeptabel, während ein höherer Wert das Voranschreiten der Oxidation widerspiegelt [68]. Eine Ausnahme stellt natives Olivenöl dar, bei welchem eine Peroxidzahl von $< 20 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$ als in Ordnung gilt [69]. Da es sich auch bei Hühnerei um eine Fettquelle handelt, wurde dieser Wert in der vorliegenden Masterarbeit ebenso als Bezugspunkt für die Lipidoxidation herangezogen. Um das Ausmaß der Lipidoxidation zu bestimmen, werden auch andere Methoden, wie zum Beispiel die Messung von Cumarylhydroperoxid (CHP) herangezogen. Galobart et al. [9] untersuchten anhand der Bestimmung von CHP, inwieweit sich eine Futteranreicherung mit dem antioxidativ wirkenden Tocopherol auf die Peroxidbildung nach Sprühtrocknung von Hühnereiern auswirkte. Dabei lag der CHP-Gehalt in frischen Eiern von Hühnern, die eine Standarddiät ohne Vitamin E-Zusätze erhielten, bei $1923 \mu\text{g/g}$ und stieg nach Sprühtrocknung auf $2528 \mu\text{g CHP/g}$ weiter an. Wurde dem Hühnerfutter zusätzlich Tocopherol in Höhe von entweder 50 mg/kg , 100 mg/kg oder 200 mg/kg zugesetzt, so konnte wurden nach Sprühtrocknung signifikant

geringere CHP-Konzentrationen von jeweils 502 µg CHP/g, 418 µg CHP/g und 440 µg CHP/g quantifiziert.

In der aktuellen Forschung wurden bisher nur sehr wenig Ergebnisse bezüglich Peroxidzahl in Hühnereiern veröffentlicht. Ein wichtiges Ziel der hier vorliegenden Masterarbeit war es demnach, ein Bild darüber zu erhalten, ob und in welchem Ausmaß es in pasteurisierten Flüssigeiern sowie der hieraus sprühgetrockneten Produkte trotz rascher und sorgfältiger Verarbeitung sowie einer zeitnahen Analyse zur Bildung von Peroxiden kommt. Die Hitzezufuhr während der Sprühtrocknung legt nahe, dass diese auch Auswirkungen auf die Peroxidzahl haben könnte, weshalb im nächsten Kapitel speziell auf den Prozess der Sprühtrocknung und der Auswirkung auf den Nährstoff-Gehalt und dem Fortschritt der Lipidoxidation eingegangen wird.

2.5 Verarbeitung von Hühnerei zu Eipulver

Aufgrund der vielseitigen technologischen und funktionellen Eigenschaften von Eiern, unter anderem deren Beitrag zur Emulsions- und Schaumbildung, kommen sie in der Lebensmittelproduktion in unterschiedlichen Rezepturen zum Einsatz. Immer öfter wird dabei jedoch auf getrocknete Eier, sogenanntes Volleipulver, Eiklarpulver oder Eigelbpulver zurückgegriffen. Die Weiterentwicklung und Optimierung der Trocknungsverfahren macht es möglich, die technofunktionellen Eigenschaften der Eier weitgehend zu erhalten sowie gleichzeitig von deren Vorteilen zu profitieren. Ein Blick in die Supermarktregele zeigt dabei die Verwendung vor allem in Eiaufstrichen, in Basismischungen von Saucen, in Backwaren (zB. Krapfen) und Backmischungen sowie in Keksen (Waffelröllchen, Schokokekse). Auch das Rührei in Hotels wird zunehmend mithilfe von Volleipulver zubereitet. Für die Hotellerie sowie für diverse Unternehmen zählen der einfachere Transport und die längere Haltbarkeit zu den klaren Vorteilen von Eipulver. Durch den geringeren aw-Wert des Eipulvers, welcher den Anteil an gebundenem Wasser im Lebensmittel darstellt, kann die Gefahr eines mikrobiellen Verderbs minimiert werden. Das Verdampfen des Wassers im Zuge der Trocknung führt weiters zur Aufkonzentrierung der Nährstoffe, einer Verringerung des Volumens und somit zu einem verringerten Platzbedarf im Lager. Ein weiterer wichtiger Faktor, der bei der Verwendung von Hühnerei berücksichtigt werden muss, ist die Gefahr der mikrobiellen Kontamination wie etwa durch Salmonellen. Diese und andere pathogene Keime können bereits durch die Pasteurisierung weitgehend abgetötet und ein hygienisches Arbeiten erzielt werden. Der Trocknungsvorgang alleine wäre nicht ausreichend, um Salmonella unschädlich zu machen. Ein großer Vorteil von Eipulver ist die Homogenität und demnach leichte Dosierbarkeit in Rezepturen. Die Verwendung von Eipulver bietet eine gewisse Convenience, welche auch Rucksackreisende und Wanderer immer öfters zu schätzen wissen. Demnach ist diversen Geschäften für Wanderausrüstung auch zunehmend Volleipulver erhältlich [16], [70].

2.6 Die Verfahrenstechnik der Sprühtrocknung

Die frisch gelegten Hühnereier gelangen von den Farmen über spezielle Liefertransporte zu den Eier-verarbeitenden Betrieben, wo sie in einem ersten Schritt von den Paletten entladen, nach Bedarf gewaschen und je nach Weiterverarbeitung sortiert werden. Für die Produktion von Flüssigvolleier müssen diese zunächst aufgebrochen, gefiltert, homogenisiert und bei 62 - 65 °C pasteurisiert werden. Wird für die Weiterverarbeitung das reine Eiklar oder nur der Eidotter benötigt, werden diese Komponenten vor dem Schritt der Homogenisierung voneinander getrennt. Für die Herstellung von Volleipulver, Eiklarpulver oder Eidotterpulver werden die pasteurisierten Zwischenprodukte getrocknet. Dabei gibt es unterschiedliche Verfahren, wie zB. die Gefriertrocknung oder Sprühtrocknung, wobei letztere am häufigsten zum Einsatz kommt. Die **Abbildung 6** zeigt die Sprühtrocknungsanlage der Firma OVOBEST Eiprodukte GmbH & Co KG in Neuenkirchen-Vörden, Deutschland. Die Flüssigvolleier, bzw. die flüssigen Eikomponenten, werden durch eine Düse fein vernebelt. Es bildet sich ein Sprühkegel aus feinen Eitropfen, welcher in die Box des Trockners gesprüht wird. Aus einem Kanal, der die Düse umgibt, wird heiße Luft geblasen, welche sich um die feinen Eitropfen legt. Die einströmende Luft, die auf eine Temperatur von etwa 160-180 °C gebracht wird, sorgt für das Verdampfen des Wassers. Die schwereren, trockenen Partikel fallen zu Boden und werden über eine kontinuierliche Kratzbodenförderung aus der Anlage transportiert und abgekühlt. Nach dem Abkühlen erfolgt die Siebung und Metalldetektion bevor das Produkt für den Weiterverkauf verpackt wird.

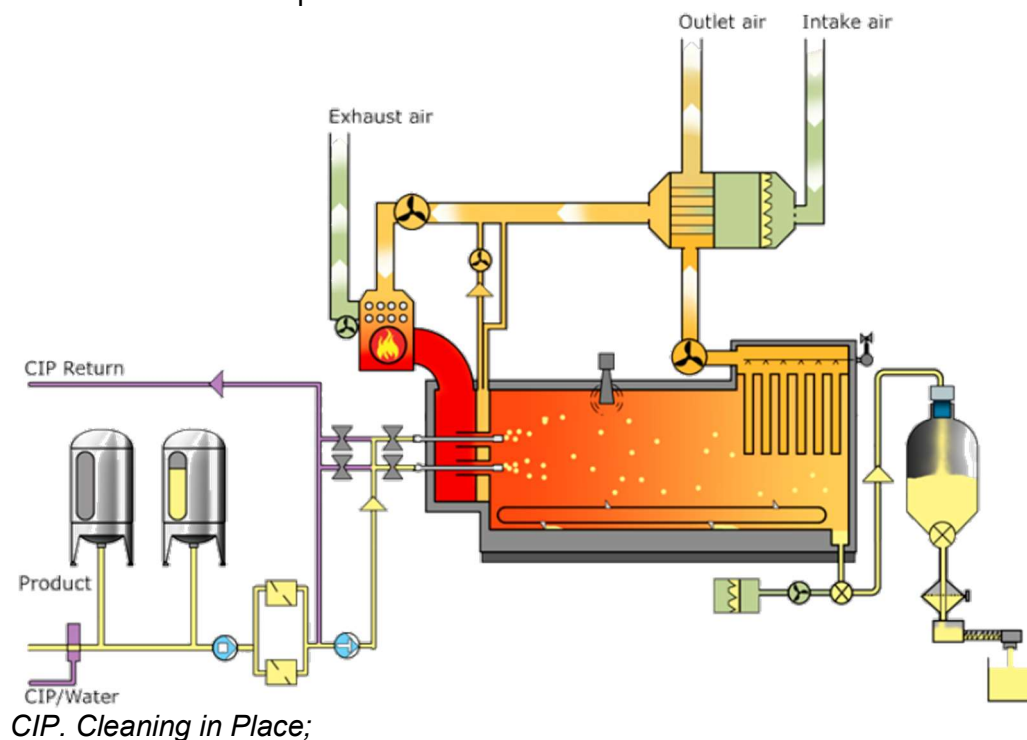


Abbildung 6 Sprühtrocknungsanlage der Firma OVOBEST (Marke Sanovo)

Das so erhaltene Eipulver kann nun für die Herstellung diverser Produkte, wie etwa Backwaren, verwendet werden und als Ersatz von Schaleneiern dienen.

2.7 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Nährwertwert von Hühnerei

2.7.1 Vitamin E

Da es sich bei Vitamin E um eine hitzelabile Verbindung handelt, die außerdem sensitiv gegenüber Sauerstoff ist, sollte vor allem untersucht werden, welchen Effekt die Sprühtrocknung auf den Tocopherol-Gehalt von Eiern hat.

Obwohl es bereits einige Fütterungsstudien mit Vitamin E gegeben hat und Eipulver in der Lebensmittelindustrie immer öfter eingesetzt wird, ist die Anzahl der Studien, die sich mit einer eventuellen Änderung der Nährwerte durch Sprühtrocknung befasst, eher spärlich. Die Resultate dieser Studien zeigten außerdem eine gewisse Divergenz.

So konnten zum Beispiel Caboni et al. [71] keine Verluste von α - und γ -Tocopherol durch Sprühtrocknung feststellen. Während der Vitamin E-Gehalt in pasteurisierten Flüssigeiern bei 23 mg/100 g Trockengewicht (TM) lag, erreichte die Konzentration auch nach Sprühtrocknung 22,9 mg/100 g TM. Die hohe Tocopherol-Konzentration per se ließ auf eine Anreicherung des Futtermittels schließen, wobei in dieser Studie keine näheren Angaben dazu gemacht wurde.

In einer Studie von Meynier et al. [72] bewirkte eine Sprühtrocknung hingegen einen α -Tocopherol-Verlust von mindestens 10 % gegenüber unverarbeiteten Eiern. Diese signifikante Abnahme an α -Tocopherol konnte jedoch nur bei einem Hitzeeintrag von 160 °C bzw. 180 °C beobachtet werden. Wurden diese Eier nur pasteurisiert, also niedrigeren Temperaturen zwischen 61-65 °C ausgesetzt, so kam es zu keinen nennenswerten Unterschieden von α - und γ -Tocopherolen im Vergleich zu unverarbeiteten Eiern [72].

Galobart et al. [9] befassten sich unter anderem mit der Fragestellung, ob sich die Sprühtrocknung von Eiern, je nach Höhe des α -Tocopherylacetat-Zusatzes im Futtermittel, in unterschiedlichem Ausmaß auf den Tocopherol-Gehalt auswirkte. Dabei kam eine Sprühtrocknungstemperatur von 160 °C (Eingang) bzw. 90 °C (Ausgang) zum Einsatz. Der höchste Vitamin E-Verlust wurde in jenen Eiern beobachtet, bei denen die Hühner kein mit Vitamin E angereichertes Futter erhielten. Im Vergleich zum rohen Flüssigei war der Tocopherol-Gehalt des sprühgetrockneten Eis um 48,2 % niedriger. Wurden die Hühner mit 100 mg und 200 mg α -Tocopherylacetat je Kilogramm Futter gefüttert, war der Tocopherol-Verlust durch Sprühtrocknung nur mehr 33,5 % und 31,1 % [9]. Diese Ergebnisse wurden in **Tabelle 3** dargestellt.

Tabelle 3 Vergleich der Tocopherol-Gehalte in flüssigem und sprühgetrocknetem Ei bei unterschiedlich hoher Vitamin E-Anreicherung des Futters, adaptiert aus Galobart et al. [9]

α-Tocopherylacetat in mg/kg Futter	Tocopherol-Gehalt Flüssigei in mg/100 g Trockengewicht	Tocopherol-Gehalt Volleipulver in mg/100 g Trockengewicht
0	6,86	3,51
50	20,53	12,8
100	32,57	21,65
200	54,61	37,62

Mit Vitamin E angereichertes Futter ergab eine höhere Vitamin E-Retention bei Weiterverarbeitung von Flüssigvollei zu Eipulver und zeigte somit Vorteile gegenüber nicht angereichertem Futter.

2.7.2 Vitamin A

Vitamin A kann einerseits durch Photooxidation sehr leicht degradieren und ist andererseits gegenüber Sauerstoff und UV-Licht instabil. Auch Hitze kann sich negativ auf die Stabilität von Retinol auswirken. Die Anzahl an Studien, die sich insbesondere mit dem Effekt der Sprühtrocknung auf den Vitamin A-Gehalt in Eiern befassten, ist jedoch sehr begrenzt. In der vorliegenden Masterarbeit war es daher ein Anliegen, den Retinol-Gehalt zwischen Flüssigei und Trockenei zu vergleichen und der Fragestellung nachzugehen, inwieweit es durch Hitzeeinwirkung zu einem Verlust dieses Vitamins kommt.

Caboni et al. [71] waren eine der wenigen Forschungsgruppen, die dies bereits untersuchten. Sie konnten, wie auch schon bei Vitamin E, keinen signifikanten Unterschied des Retinol-Gehalts zwischen pasteurisiertem Flüssigei und sprühgetrocknetem Eipulver feststellen [71]. Der ermittelte Retinol-Gehalt (all-trans-Retinol) lag bei 440 $\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ im Flüssigei und bei 420 $\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ im Eipulver. Eine anschließende zwölfmonatige Lagerung des Eipulvers bei 4 °C führte zu einer geringen, aber nicht signifikanten Abnahme des all-trans-Retinols auf 380 $\mu\text{g}/100\text{ g TM}$. Im Gegensatz dazu bewirkte jedoch die Lagerung bei 20 °C im selben Zeitraum eine Senkung auf 170 $\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ [71].

2.7.3 Carotinoide

Auch beim Carotinoid-Gehalt konnte in einigen Studien eine signifikante Änderung im Zuge der Prozessierung durch Sprühtrocknung von Hühnereiern gezeigt werden. Wenzel et al. [63] untersuchten vor allem all-E-Canthaxanthin, 9-Z-Canthaxanthin sowie all-E-Lutein, all-E-Zeaxanthin und β -apo-8'-Carotinsäureethylester als Hauptcarotinoide. Eine dreieinhalb-minütige Pasteurisation bei 61,5 °C bewirkte keine signifikante Änderung dieser Xanthophyll-Gehalte. Im Gegensatz dazu bewirkte die Sprühtrocknung bei 72 °C eine signifikante Zunahme der Carotinoidkonzentrationen, wie in **Tabelle 4** ersichtlich ist. Eine mögliche Erklärung dafür könnte zum einen der Wasserverlust und somit eine Aufkonzentrierung, zum anderen die Destabilisierung der Zellmatrix sein. Durch die Hitzeeinwirkung und Trocknung kann es zur Denaturierung der Bindungsproteine und in weiterer Folge zur Freisetzung der Xanthophylle kommen, welche im Flüssigei nicht extrahiert und somit nicht bestimmt werden konnten. Auffallend war, dass die Sprühtrocknungstemperatur im Vergleich zu anderen Studien, wie etwa jener von Caboni et al. [71], mit 72 °C sehr niedrig lag und mitunter ein Grund dafür sein könnte, dass es zu keinem Verlust der Carotinoide gekommen ist. In dieser Publikation wurden hierbei keinerlei Angaben über die Sprühtrocknungsdauer oder sonstigen Bedingungen der Verarbeitung gemacht. Für die Trocknung wurde außerdem eine Pilotanlage verwendet, was mitunter nicht mit dem industriellen Maßstab verglichen werden kann.

Tabelle 4 Auswirkung der Pasteurisierung und Sprühtrocknung auf den Xanthophyll-Gehalt in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ Eidotter (FG), adaptiert aus Wenzel et al. [63]

Xanthophylle	Pasteurisiert	Sprühgetrocknet*
	$\mu\text{g}/100\text{ g}$ Dotter (FG)	$\mu\text{g}/100\text{ g}$ Dotter (FG)
all-E-Lutein	550 ± 11^a	701 ± 27^b
13-Z-Lutein	341 ± 6^a	430 ± 22^b
all-E-Zeaxanthin	10 ± 5^a	38 ± 3^b
13-Z-Zeaxanthin	73 ± 4^a	95 ± 5^b
all-E-Canthaxanthin	893 ± 19^a	921 ± 38^a
9-Z-Zeaxanthin	331 ± 8^a	357 ± 13^b
β -apo-8'-Carotinsäureethylester	216 ± 13^a	225 ± 13^a

* Der Kleinbuchstabe „a“ in der Spalte „Sprühgetrocknet“ bedeutet keine signifikante Änderung im Vergleich zu pasteurisiertem Ei. Der Kleinbuchstabe „b“ bedeutet einen signifikanten Unterschied zwischen Sprühtrocknung und pasteurisiertem Ei ($p < 0,05$).

Auch Meynier et al. [72] konnten bei Hühnereiern, welche von Hühnern gewonnen wurden, die mit einer Standarddiät ohne nennenswerter Anreicherung gefüttert worden waren, keine Auswirkung der Pasteurisierung auf den Lutein- oder Zeaxanthin-Gehalt feststellen. Nach erfolgter Pasteurisierung lagen die Konzentrationen von Lutein und Zeaxanthin im Eidotter jeweils bei $5,7 \pm 0,3 \mu\text{g/g}$ Fett sowie $0,5 \pm 0,1 \mu\text{g}$ Zeaxanthin/g Fett. Hühner in der Testgruppe erhielten ein mit extrudierten Leinsamen versetztes Futter, das sich durch einen höheren Gehalt an omega-3 Fettsäuren auszeichnete. Genaue Mengen der Anreicherung bzw. die Zusammensetzung der Diät wurden in dieser Publikation jedoch nicht angegeben. Die höhere Carotinoid-Konzentration von $35,7 \pm 3,6 \mu\text{g}$ Lutein und $14,9 \pm 1,7 \mu\text{g}$ Zeaxanthin pro Gramm Fett im Eidotter der Testgruppe lässt jedoch darauf schließen, dass auch diese beiden Substanzen dem Futter zugesetzt worden waren. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe, wo bei der Pasteurisierung keine Abnahme des Xanthophyll-Gehalts im Eidotter festgestellt wurde, sank die Konzentration bei den angereicherten Eiern auf $26,3 \pm 3,1 \mu\text{g}$ Lutein und $9,2 \pm 0,2 \mu\text{g}$ Zeaxanthin pro Gramm Fett im Eidotter.

Eine höhere Hitzeeinwirkung von 160°C bzw. 180°C im Zuge der Sprühtrocknung führte sowohl bei Hühnereiern der Kontrollgruppe als auch bei jenen der Testgruppe zu einem Abbau der Carotinoide. Der stärkste Verlust war jedoch auch hier in den angereicherten Eiern zu beobachten. In diesen fiel der Lutein-Gehalt von $35 \mu\text{g/g}$ Fett in frischem Eidotter auf $26 \mu\text{g/g}$ Fett im pasteurisierten und weiter auf $20 \mu\text{g/g}$ Fett im sprühgetrockneten Eidotter ab. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Temperatur während der Sprühtrocknung 160°C oder 180°C betrug. Die gleichzeitig niedrigeren Gehalte an konjugierten Dienen bzw. MDA könnten einerseits ein Hinweis darauf sein, dass die Xanthophylle als Schutz vor Lipidoxidation mitwirkten [72]. Andererseits wäre es auch denkbar, dass vor allem Tocopherole für diese antioxidative Wirkung verantwortlich waren und die Carotinoide durch Hitzeeinwirkung abgebaut wurden.

Auch in dieser Masterarbeit wurden die Eier sowohl einer Pasteurisierung als auch einer anschließenden Sprühtrocknung bei 160°C und 180°C unterzogen. Besondere Aufmerksamkeit lag hierbei darauf, ob und in welchem Ausmaß ein Abbau von Lutein und Zeaxanthin beobachtet werden kann.

2.7.4 Peroxidzahl

Durch Sprühtrocknung kam es in der Studie von Verardo et al. [73] zu einer zweifachen Zunahme des Peroxid-Gehaltes von $2,6 \pm 0,3$ meq O_2 /kg Fett in pasteurisierten Eiern auf $5,3 \pm 0,4$ meq O_2 /kg Fett. Verglichen mit dem Peroxid-Gehalt von pasteurisierten Eieren aus konventioneller Haltung mit jenem aus biologischer Haltung, wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt.

Galobart et al. [9] konnten durch Messung des CHP-Gehalts signifikant höhere Peroxidwerte in sprühgetrockneten Eiern im Vergleich zu Flüssigeiern feststellen. Als Ursache für diese höheren Gehalte an Peroxiden wurde primär die angewendete Hitze genannt, die wesentlich zur Bildung freier Radikale beiträgt und Radikalkettenreaktionen begünstigt. Außerdem kann durch die Hitzeeinwirkung die LDL-Struktur zerstört werden. Beim intakten LDL-Molekül befinden sich an der Außenseite Proteine und Phospholipide, welche die Lipide im Inneren vor dem Sauerstoff schützen. Kommt es zur Zerstörung dieser Struktur, kann Sauerstoff eindringen und eine Oxidation der Lipide verursachen. Wie in dieser Studie verdeutlicht wurde, spielen auch natürliche Antioxidantien, wie Tocopherole, und andere natürlich vorkommenden Moleküle, wie Carotinoide oder Phosvitin, eine große Rolle bei der Vermeidung der Peroxidentstehung. In der Studie von Galobart et al. [9] konnte eine deutliche Reduktion der Hydroperoxide durch Anreicherung des Futters mit α -Tocopherol erzielt werden. Dies wurde sowohl bei einem Zusatz von 200 mg/kg Futter, als auch bei kleineren Mengen von 50 mg/kg Futter beobachtet [9].

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass bei der Interpretation der Hydroperoxid-Werte Vorsicht geboten ist, da diese nach einiger Zeit zu sekundären Lipidoxidaionsprodukten reagieren. Dies bedeutet konkret, dass der Wert an Hydroperoxiden zwar abnimmt, aber gleichzeitig die Oxidation weiter voranschreitet, indem Aldehyde, Ketone oder Epoxide gebildet werden. Durch diese Moleküle kann es zu sensorischen Einbußen kommen. Auch in der nach Sprühtrocknung durchgeführten Lagerungsstudie von Galobart et al. [9] nahm der Lipidhydroperoxid-Gehalt nach zwei Monaten Lagerung ab. Die Peroxidanalyse wurde weiters mit der Messung der MDA, angegeben als Thiobarbitursäure (TBA), ergänzt und zeigte deren Anstieg während einer zweimonatigen Lagerung des Eipulvers [9]. Ab dem vierten Monat konnte jedoch wieder eine Abnahme des TBA-Werts beobachtet werden. Die Messung mittels TBA beruht darauf, dass Lipidoxidaionsprodukte wie etwa MDA mit TBA reagieren und einen rosa Farbstoff bilden, der in weiterer Folge photometrisch quantifiziert werden kann. Dies könnte laut Galobart et al. [9] daran liegen, dass MDA mit anderen vorliegenden Komponenten, wie Aminosäuren, Peptiden oder Nukleotiden zu Dimeren bzw. Trimeren reagieren.

In einer darauffolgenden Studie von Galobart et al. [10] wurde der Gehalt von Cholesterol-Oxidaionsprodukten (COPs) von Eiern untersucht, die bei 160 °C Eingangs- und 90 °C

Ausgangstemperatur sprühgetrocknet sowie anschließend entweder für sechs oder zwölf Monate bei Raumtemperatur im Dunkeln gelagert wurden. Obwohl es keinen Vergleichswert der COPs im flüssigen Produkt gab, konnte während der Lagerung von ursprünglich 18,1 µg/g (0 Monate) ein deutlicher Anstieg auf 34,7 µg/g (sechs Monate) und 39,3 µg CPOs pro Gramm Flüssigei (zwölf Monate) ermittelt werden. Relevant war außerdem, ob dem Hühnerfutter zusätzlich α -Tocopherylacetat in Höhe von 200 mg/kg zugesetzt worden war oder keine Anreicherung stattgefunden hatte. In Hühnereiern der Gruppe, die keine Anreicherung erhalten hatten, stieg der Gesamt-COP-Gehalt in sprühgetrockneten Eiern nach sechs Monaten auf 42 µg/g, während die Eier der Testgruppe einen um 14,3 µg/g signifikant niedrigeren COP-Gehalt aufwiesen. Galobart et al. [10] wiesen darauf hin, dass der protektive Effekt von α -Tocopherol erst nach Lagerung des Eipulvers festgestellt wurde, während direkt nach erfolgter Sprühtrocknung kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen ermittelt werden konnte. Wurde den Hühnern 5 mg Canthaxanthin anstatt 200 mg α -Tocopherylacetat/kg Futter verabreicht, konnte kein protektiver Effekt und keine Abnahme des COP-Levels beobachtet werden [10]. Dies könnte damit begründet werden, dass Canthaxanthin nur sehr schwer mit freien Radikalen reagiert. Weiters konnten im Zuge der Studie auch keinen synergistischen Effekt zwischen α -Tocopherol und Canthaxanthin beobachtet werden, wenn dem Futtermittel beide Substanzen zugesetzt wurden [74].

Eine weitere bereits publizierte Untersuchung hatte das Ziel, den Prozess der Sprühtrocknung zu optimieren. Hierfür sollten die funktionellen Eigenschaften im Eipulver so gut wie möglich erhalten bleiben und gleichzeitig der Peroxid-Gehalt gering gehalten werden [75]. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Ausgangstemperatur der Sprühtrocknungsanlage einen signifikanten Einfluss auf die Peroxidzahl hatte. Die geringste Peroxidzahl von 0,320 meq O₂/kg Fett konnte mit 180 °C Eingangs-, 60 °C Ausgangstemperatur und einem Atomisierungsdruck von 392 kPa erzielt werden.

Obwohl Fett im Eigelb konzentriert vorliegt, konnte in der Studie von Meynier et al. [72] eine niedrigere Anfälligkeit für Lipidoxidation im Eigelbpulver verglichen mit Volleipulver beobachtet werden. In dieser Publikation wurde postuliert, dass das Eiklar eine wesentliche Rolle im Oxidationsprozess spielen könnte. Ein hier ermittelter, erhöhter Gehalt an MDA in Volleipulver im Vergleich zum Eigelbpulver könnte vermutlich auf die höhere Eisenbindungsfähigkeit von Ovotransferrin, einem in Eiklar vorliegenden Protein, zurückzuführen sein. Da oxidierte Lipide nicht nur organoleptische Einbußen mit sich bringen, sondern auch unerwünschte gesundheitliche Auswirkungen haben können, kommt der Vermeidung von Lipidperoxidation während der Eiverarbeitung eine große Bedeutung zu.

3 Methoden

3.1 Studiendesign

Um den Einfluss der Sprühtrocknung auf die Nährwertzusammensetzung von Hühnerei zu untersuchen, wurden Proben von der Firma OVOBEST Eiprodukte GmbH & Co KG aus vier Chargen Flüssigvollei, sowie aus dem jeweils weiterverarbeiteten Volleipulver analysiert. Wie in der Übersicht des Studiendesigns dargestellt (**Abbildung 7**), kamen dabei zwei unterschiedliche Trocknungstemperaturen von entweder 180 °C (Charge 1) oder 160 °C (Chargen 2-4) zur Anwendung.

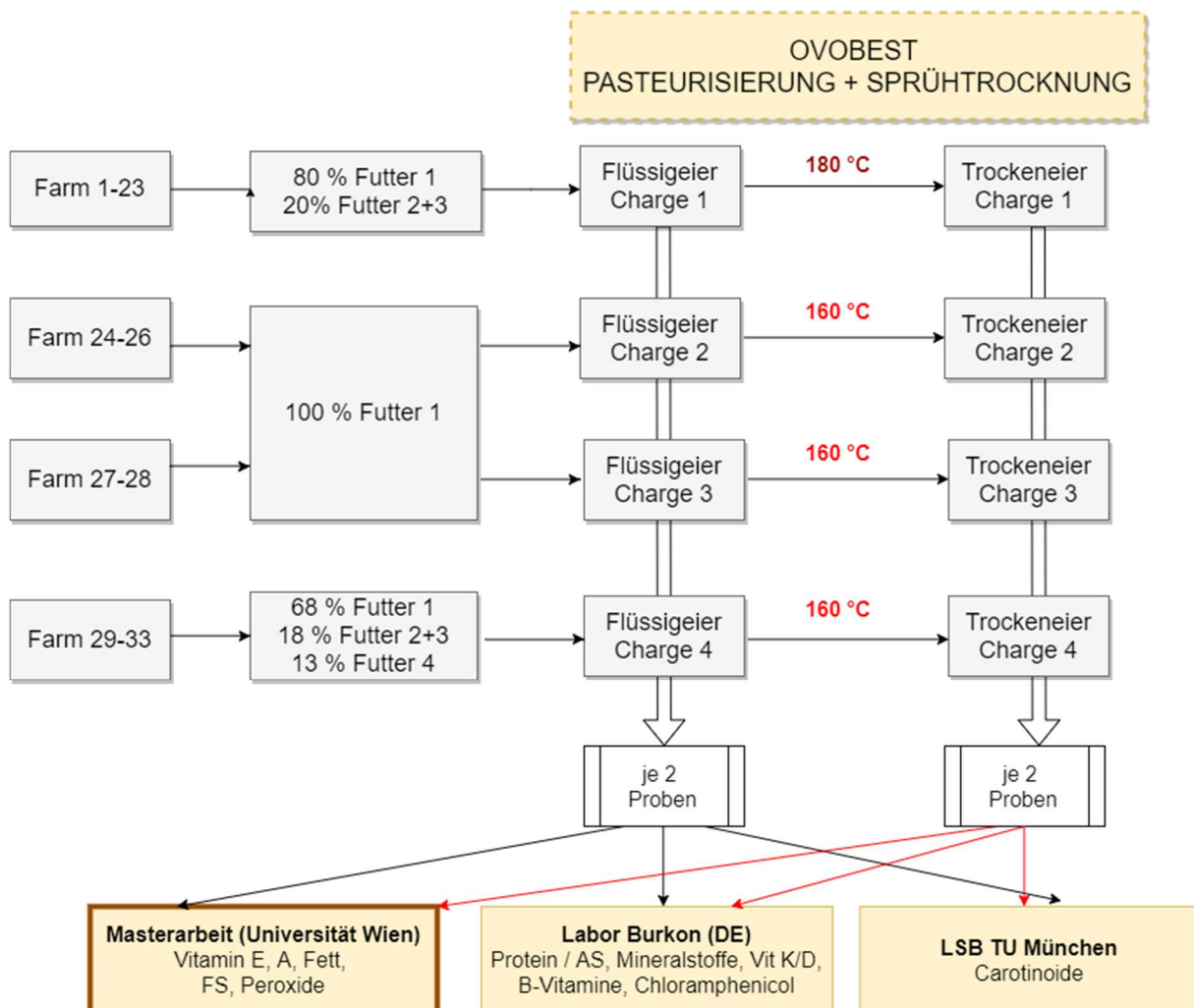


Abbildung 7 Übersicht des Studiendesigns (Futter 1 – 4 = Futtermittelmischung 1 – 4), FS = Fettsäuren, AS = Aminosäuren

In Zusammenarbeit der Universität Wien mit dem Leibniz Institut für Lebensmittelsystembiologie an der Technischen Universität München sowie dem Chemischen Institut Burkon erfolgte eine umfassende Nährwert-Analyse der gewonnenen Flüssig- und Trockeneiprobe. Dabei wurde der Fokus der vorliegenden Masterarbeit auf die Parameter

Vitamin A und E, Fettgehalt und Peroxide gesetzt sowie mit der von Herrn Bayer durchgeführten Fettsäure-Analyse ergänzt.

Die untersuchten Eier stammten von unterschiedlichen Farmen, wobei für jede Charge mindestens zwei Hühnerfarmen ausgewählt wurden. Für die Fütterung wurden insgesamt vier verschiedene Futtermittel-Mischungen dokumentiert, welche sich jedoch in der Vitamin-Anreicherung nicht unterschieden. Im folgenden Unterkapitel wird die Zusammensetzung der Futtermittelmischungen 1-4 näher beschrieben.

3.1.1 Zusammensetzung der Futtermittelmischungen 1-4

Die Hauptzutat aller vier dokumentierten Futtermittelmischungen war Weizen (60 % Futter 1, 31 % Futter 2, 51,6 % Futter 3, 40 % Futter 4), außerdem wurden Rapsschrot, Sonnenblumenextraktionsschrot sowie Soja bzw. Sojaextraktionsschrot zu jeder Futtermittelmischung zugesetzt (**Tabelle 5**). Mais war nur in Futtermittelmischung 2 (23 %), 3 (8 %) und 4 (21,7 %) enthalten, während zu Futtermittelmischung 1 stattdessen Weizenkleie (1,4 %) und Hafer (2 %) beigelegt wurden. Geringe Anteile an Sojaöl und anderen Pflanzenölen befanden sich in Futtermittelmischung 3; im Futtermittelmischung 4 waren es Maisöl und Geflügelfett. Zur Futtermittelmischung 1 wurde das Präparat „Nowitol“ von der Firma HANSA NFC GmbH hinzugefügt, welches eine Mischung aus verschiedenen pflanzlichen Fetten/Ölen und Fettsäuren, jedoch ohne Zusatz von Baumwollöl oder Leinöl, darstellt (**Tabelle 8**).

Tabelle 5 Zusammensetzung der Futtermittelmischungen (Futter) 1 - 4

Zutaten	Futter 1 (%)	Futter 2 (%)	Futter 3 (%)	Futter 4 (%)
Weizen	60	31	51,6	40
Weizenkleie	1,4	-	-	-
Rapsschrot	10	12	12	12,5
Mais	-	23	8	21,7
Hafer	2	-	-	-
Sonnenblumenextraktionsschrot (sowie aus geschälter Saat)	9,7	11,9	11,9	9,4
Soja und Sojaextraktionsschrot	4,0	2,4	1,0	2,7
Calciumcarbonat	9,1	9,3	9,5	10
Sojaöl	-	-	0,9	-
Maisöl	-	-	-	1
Pflanzenöl	-	-	3,7	-

Methoden

getrocknete Schlempe	-	7	-	-
Geflügelfett	-	-	-	1
Fettsäuresalze	-	1,6	-	-
Nowitol	2,6	-	-	-
Vitaminmix	0,01	0,01	0,01	0,01
Mineralstoffe gesamt	0,2	0,2	0,2	0,2
Aminosäurenmischung	0,08	0,08	0,08	0,08
Farbmischung (Carotinoide)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Der Anteil des Vitamin- und Mineralstoff-Premix sowie die Farbmischung (Hersteller DSM) war für alle vier Futtermittelmischungen identisch, die genauen Daten dazu sind der **Tabelle 6** zu entnehmen.

Tabelle 6 Zusammensetzung Premix (Futter 1-4)

Vitamin-, Mineralstoff- & Farbmix	Chemische Form	Anteil (mg/kg Futtermittelmischung)
Retinol	Retinylacetat	3 (10.000 IE)
Vitamin D	Cholecalciferol	0,45 (1500 IE)
	25-Hydroxycholecalciferol	0,04
Vitamin E	α -Tocopherylacetat	48,0
Vitamin K ₃	Menadion-nicotinamidbisulfit	4,8
Vitamin B ₁	Thiaminmononitrat	2,4
Vitamin B ₂	Riboflavin	9,6
Vitamin B ₆	Pyridoxol-hydrochlorid	4,8
Vitamin B ₁₂	Cyanocobalamin	0,04
Pantothien	Calcium-D-Pantothienat	21,6
Vitamin B ₃	Nicotinsäure	48,0
Folsäure	-	1,2
Biotin		0,12
Calcium	-	34,4
Magnesium	-	0,36
Natrium	-	0,03
Kalium	-	0,05

Methoden

Schwefel	-	0,07
Carotinoid 1	Beta-apo-carotenalsäureethylester	2,5
Carotinoid 2	Canthaxanthin	2,5

Aufgrund der 23 unterschiedlichen Hühnerfarmen, die die Eier der Charge 1 lieferten, ergab sich eine finale Futtermittelzusammensetzung von 80 % Futtermittelmischung 1 bzw. 20 % 2 und 3. Für Eier der Charge 4 wurden insgesamt fünf Lieferanten ausgewählt, wobei es sich bei einem der Lieferanten um eine Packstelle handelte, die wiederum Eier aus neun unterschiedlichen Herkunftten zusammenfasste. Von dieser Packstelle lagen weder Daten zur Fütterung noch über die Legeleistung, Rasse oder Alter der Hühner vor. Die Eier der übrigen vier Lieferanten wurden von Hennen erhalten, die etwa 68 % Futtermittelmischung 1, 18 % Futtermittelmischung 2 und 3, sowie ca. 13 % Futtermittelmischung 4 als Basis erhalten hatten. Bei den Eiern aus Charge 2 und 3 hingegen war eine gute Nachverfolgbarkeit gegeben, alle beteiligten Farmen verwendeten die Futtermittelmischung 1 (100 %). Die prozentuale Aufschlüsselung der Futtermittelmischungen, die die Hennen der Eier aus den Chargen 1 – 4 erhalten haben, ist in **Abbildung 8** ersichtlich.

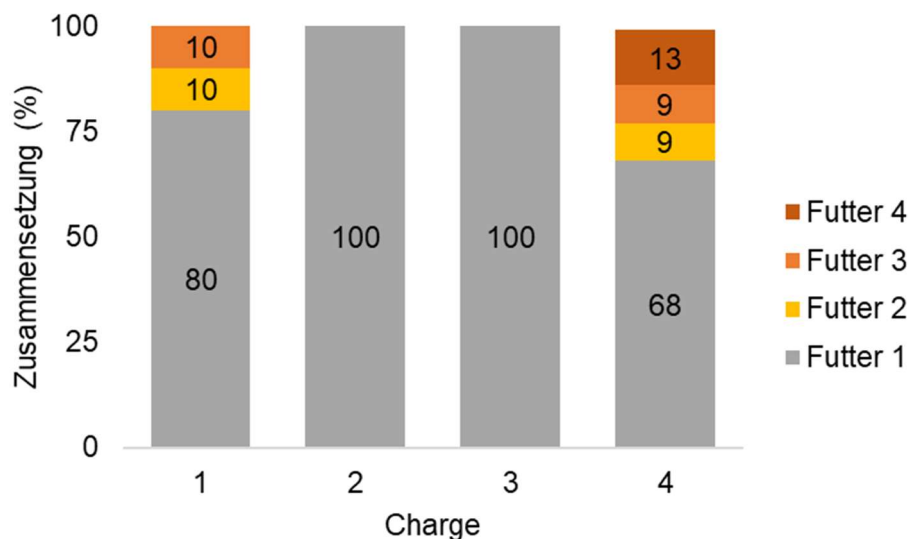


Abbildung 8 Prozentuale Aufschlüsselung des für die Erzeugung der einzelnen Eichargen verwendeten Hühnerfutters (Futter = Futtermittelmischung)

Auf Basis der Information, welche Futtermittelmischung in welcher Farm zum Einsatz kam, konnten die Zutaten für jede Charge prozentual wie folgt aufgeschlüsselt werden (**Tabelle 7** und **Tabelle 8**).

Tabelle 7 Futtermittelzusammensetzung berechnet für Charge 1-4

Zutaten	Charge 1 (%)	Charge 2 (%)	Charge 3 (%)	Charge 4 (%)
Weizen	56,3	60	60	52,3
Weizenkleie	1,1	1,4	1,4	1,0
Rapsschrot	10,4	10	10	10,6
Mais	3,1	-	-	5,6
Hafer	1,6	2	2	1,4
Sonnenblumenextraktionsschrot (sowie aus geschälter Saat)	10,1	9,7	9,7	10,0
Soja und Sojaextraktionsschrot	3,5	4,0	4,0	3,4
Calciumcarbonat	9,2	9,1	9,1	9,2
Sojaöl	0,1	-	-	0,1
Maisöl	-	-	-	0,1
Pflanzenöl	0,4	-	-	0,3
getrocknete Schlempe	0,7	-	-	0,6
Geflügelfett	-	-	-	0,1
Fettsäuresalze	0,2	-	-	0,1
Lignocellulose	0,01	-	-	0,01
Nowitol	2,1	2,6	2,6	1,8
Vitaminmix	0,01	0,01	0,01	0,01
Mineralstoffe gesamt	0,2	0,2	0,2	0,2
Aminosäurenmischung	0,08	0,08	0,08	0,08
Farbmischung (Carotinoide)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Zur Futtermittelmischung 1 wurde „Nowitol“ als Präparat, welches verschiedene pflanzliche Fette/Öle und Fettsäuren enthält, beigemischt. Da diese Futtermischung in 80 % der Farmen verwendet wurde, von denen die Eier aus Charge 1, in 68 % der Farmen, von denen die Eier aus Charge 4 sowie in allen Farmen (100 %), von denen die Eier aus den Chargen 2 und 3 stammten, zum Einsatz kam, wurden unterschiedlich hohe Anteile der jeweiligen Fettsäuren je Charge berechnet. Dazu wurde in **Tabelle 8** eine detaillierte Aufschlüsselung erstellt.

Tabelle 8 Nowitolzusatz: Prozentualer Anteil (%) bezogen auf die gesamten Futtermittelmischungen der Eier, die aus den Chargen 1 – 4 stammten

Nowitol	Trivialname	Charge 1 (%)	Charge 2 (%)	Charge 3 (%)	Charge 4 (%)
< C14	Mischung kurzkettiger Fettsäuren	0,08	0,10	0,10	0,06
C16:0	Palmitinsäure	0,37	0,47	0,47	0,28
C18:0	Stearinsäure	0,10	0,13	0,13	0,08
C18:1	Ölsäure	0,73	0,91	0,91	0,55
C18:2	Linolsäure	0,62	0,78	0,78	0,47
C18:3	α -Linolensäure	0,10	0,13	0,13	0,08
>C20	Mischung weiterer langkettiger Fettsäuren	0,06	0,08	0,08	0,05

3.1.2 Rasse und Alter der Legehennen

Die Nährwerte im Hühnerei sind nicht nur von der Fütterung abhängig, sondern werden auch von der Hühnerrasse und dem Alter der Hennen beeinflusst. Aus diesem Grund wurden die Rasse und das Alter der Herden in **Abbildung 9** dokumentiert.

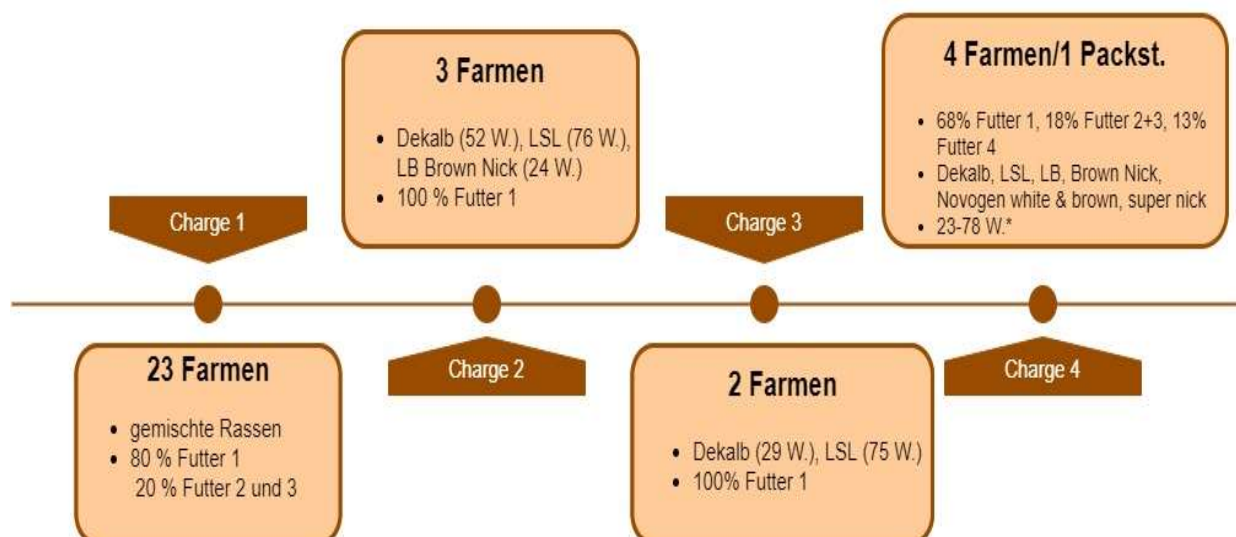


Abbildung 9 Übersicht der beteiligten Farmen und ihren Hühnerherden je Charge

* Daten von einem Lieferanten nicht vollständig, Packst. Packstelle; W. Wochen

Für diese Studie wurden Farmen mit unterschiedlichen Hühnerrassen ausgewählt, um so eine größere Vielfalt an weißen und braunen Eiern zu erlangen. Wie bei den Futtermitteln gab es für Eier aus den Chargen 2 und 3 sehr genaue Aufzeichnungen über die Rasse und das Alter der jeweiligen Herden. In beiden Chargen waren Legehennen der Rasse Dekalb sowie LSL enthalten. Charge 2 umfasste zusätzlich noch Eier von jungen Herden (24 Wochen) der Rasse Lohmann Brown Nick. Die Dekalb- und LSL-Hühner waren mit 52 und 76 Wochen (W) etwas älter. Die Eier aus Charge 4 stammten zum größten Teil von jungen Herden unterschiedlicher Rassen (Dekalb 43 W, LSL 33 W, Lohmann Brown Nick 24 W, Novogen white and brown, Super Nick 23-78 W). Von einem Eierlieferanten der Charge 4, sowie von den 23 Farmen der Charge 1 waren keine genaueren Daten über Rasse und Alter der Legehennen verfügbar.

3.1.3 Legezeitraum und Legeleistung

Die für diese Studie herangezogenen Eier stammten aus dem Legezeitraum vom 22.Dezember.2019-03.Jänner.2020 (Charge 2), 22.Dezember.2019-02.Jänner.2020 (Charge 3) und 30.Dezember.2019-13.Jänner.2020 (Charge 4). Der Legezeitraum sowie alle weiteren Daten über den Futterverbrauch/Tag, Legeleistung usw. von den 23 beteiligten Farmen aus Charge 1 waren nicht verfügbar. Die zur Verfügung stehenden Daten sind der **Tabelle 9** zu entnehmen.

Tabelle 9 Legeleistung der Hühner in den unterschiedlichen Farmen

Charge	Farm	Rasse (Alter in Wochen)	LZR	Legeleistung (%)	Futter- verbrauch g/Tag	Durchschn. Gewicht Ei (g)
1	Farm 1-23	n.v.				
2	Farm 24	Dekalb (52)	24.12.2019- 03.01.2020	97	122	60,6
	Farm 25	LSL (76)	22.12.2019- 25.12.2019	85	117	67,2
	Farm 26	LB / Brown Nick (24)	01.01- 03.01.2020	93	107	53,0
3	Farm 27	LSL (75)	24.- 30.12.2019	90	120	64,5
	Farm 28	Dekalb (29)	22.12.2019- 02.01.2020	97	110	55,1
4	Farm 29	Dekalb (43)	10.01.2020	97,1	119,6	61,2
	Farm 30	LSL/Dekalb (33)	08.01.2020	97,2	126	56,5
	Farm 31	Brown Nick (24)	03.01.2020	92,9	107	42,9
		LB (24)	13.01.2020	96,3	114	56,5
	Farm 32	n.v.	30.12.2019- 07.01.2020	n.v.	n.v.	n.v.
	Pack- stelle 33	Novogen white & brown, LSL, LB, Dekalb, Super Nick (23-78)	30.12.2019- 10.01.2020	n.v.	n.v.	n.v.

LZR Legezeitraum, n.v. nicht verfügbar

3.1.4 Herstellung von Flüssigvollei und Volleipulver

Die Eier der verschiedenen Farmen wurden an die Firma OVOBEST Eiprodukte GmbH & Co KG geliefert, wo sie zuerst von den Racks auf ein Förderband geladen wurden. Die Eier durchliefen eine Waschstation bevor sie anschließend automatisch aufgebrochen wurden. Hier erfolgte keine Trennung in Eidotter und Eiklar, zur Analyse wurde Vollei herangezogen. Nachdem das Vollei gefiltert wurde, gelangte es zur Homogenisierung in einen Tank. Der Inhalt wurde weiter zur Pasteurisierung befördert, bei der eine Temperatur von 65 °C für Eier der Charge 1 und eine etwas niedrigere Temperatur (62,2 °C) für Eier der Charge 2, 3 und 4 zur Anwendung kam. Da die Eier anschließend zu Pulver weiterverarbeitet werden sollten, wurden sie zusätzlich im Verdampfer vorgetrocknet, sodass statt einem Trockensubstanzgehalt von 23,5 - 24 %, der für Schäleneier üblich ist, eine mittlere Trockensubstanz von 30,3 % erreicht wurde. Nach dieser Station wurden je Charge eine Flüssigeiprobe sowie zusätzlich je ein Replikat gezogen, insgesamt handelte es sich dabei also um acht Flüssigeiprobe. Für die Verarbeitung zu Volleipulver kamen die flüssigen Volleier zur Sprühtrocknungsanlage, wo sie durch eine Düse fein vernebelt und der dadurch entstandene Sprühkegel aus feinen Eitropfen in die Box des Trockners gesprüht wurde. Durch das Einströmen von 180 °C (Eier der Charge 1) bzw. 160 °C (Eier der Chargen 2, 3 und 4) heißer Luft, kam es zur schnellen Verdampfung des Wassers und die trockenen Partikel fielen zu Boden. Die Temperatur der abströmenden Luft betrug zwischen 80 °C und 90 °C. Das Pulver wurde aus der Sprühtrocknungsanlage heraustransportiert und abschließend wieder eine Probe sowie ein Replikat je Charge gezogen. Insgesamt handelte es sich dabei um acht Trockenvolleiprobe. **Abbildung 6** (siehe Seite 25) zeigt die Sprühtrocknungsanlage der Firma OVOBEST Eiprodukte GmbH & Co KG.

3.2 Probenmaterial

Sowohl die Flüssigei-, als auch die Eipulverproben von vier unterschiedlichen Chargen wurden von der Firma OVOBEST Eiprodukte GmbH & Co KG für die Analyse zur Verfügung gestellt. Die in Falcon-Tubes (30 mL) aliquotierten Proben wurden am 23. Jänner 2020 auf Trockeneis an das Institut für Physiologische Chemie an der Universität Wien sowie an das Chemische Institut Burkon versendet und bei -80 °C bis zur Analyse zwischengelagert. Anfang August wurden die jeweiligen Proben ebenso auf Trockeneis zur Carotinoidbestimmung von der Universität Wien an Herrn Dunkel vom Leibnitz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München versendet.

3.3 Chemikalien, Verbrauchsmaterial, Geräte und Software

Für die Analysen wurden folgende Chemikalien, Verbrauchsmaterialien, Geräte und Software-Programme verwendet.

Chemikalien für die Analyse von Vitamin A	Hersteller
Bidestilliertes Wasser Leitfähigkeit: 18,2, MΩ*cm aus Satorius arium 611 UF	
Ethanol 96 %	VWR Chemicals
Kaliumhydroxid, ≥ 85 % p.a. in Plätzchen	Carl Roth GmbH + Co KG
Methanol HPLC-gradient grade, suitable for HPLC/UHPLC instruments)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Natrium-L-ascorbate crystalline, ≥ 98 %	Sigma Aldrich
Natriumsulfat ACS reagent, ≥ 99 %, anhydrous powder	Sigma Aldrich
Natriumsulfid	Sigma Aldrich
n-Hexan Emplura® ≥ 95 %	Merck KGaA
Retinol-Standard (HPLC), powder	Sigma Aldrich

Chemikalien für die Analyse von Vitamin E	Hersteller
Bidestilliertes Wasser Leitfähigkeit: 18,2, MΩ*cm aus Satorius arium 611 UF	
Ethanol absolut Emsure®	Merck KGaA
Kaliumdihydrogenphosphat ACS, ≥ 99 %	Carl Roth GmbH + Co KG
Kaliumhydroxid, ≥ 85 % p.a. in Plätzchen	Carl Roth GmbH + Co KG
Methanol HPLC-gradient grade, ≥ 99,9 %, suitable for HPLC/UHPLC instruments)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
n-Hexan Emplura® ≥ 95 %	Merck KGaA
(±)-α-Tocopherol Analytischer Standard	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
(+)-γ-Tocopherol Analytischer Standard	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
(+)-δ-Tocopherol Analytischer Standard	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Chemikalien für die Analyse des Carotinoidgehalts	Hersteller
Bidestilliertes Wasser Leitfähigkeit: 18,2, MΩ*cm aus Satorius arium 611 UF	
Butylhydroxytoluol	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Ethanol absolut Emsure®	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Equinenon, ≥ 95 % (HPLC)	Merck KGaA
Kaliumhydroxid, ≥ 85 % p.a. in Plätzchen	Carl Roth GmbH + Co KG
Lutein analytischer Standard, ≥ 96 % (HPLC)	Merck KGaA
Methanol HPLC-gradient grade, ≥ 99,9 %, suitable for HPLC/UHPLC instruments)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Methyl-tert-Butylether (MTBE)	Merck KGaA
n-Hexan Emplura® ≥ 95 %	Merck KGaA

Methoden

Zeaxanthin analytischer Standard, $\geq 95\%$ (HPLC) Sigma-Aldrich Chemie GmbH

Chemikalien für die Analyse der Fettsäuren	Hersteller
Bidestilliertes Wasser Leitfähigkeit: 18,2 M Ω *cm aus Satorius arium 611 UF	
Eisessig	Merck KGaA
Helium	Lindegas
Methanol (HPLC-gradient grade, $\geq 99,9\%$ suitable for HPLC/UHPLC instruments)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Methylheptadecanoat, analytischer Standard (HME)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Natriummethoxid	Merck KGaA
Pyrogallol ACS reagent, $\geq 99\%$	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Toluol for analysis, Emsure® ACS	Merck KGaA
Chemikalien für die Analyse der Peroxidzahl	Hersteller
Bidestilliertes Wasser Leitfähigkeit: 18,2 M Ω *cm aus Satorius arium 611 UF	
Bariumchlorid-Dihydrat Emsure® ACS	Merck KGaA
Chloroform $\geq 99\%$ zur Synthese	Carl Roth GmbH + Co. KG
Eisen(II)sulfat-Hydrat, 86,0-89,0 % FeSO ₄ basis	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Eisen(III)chlorid-Hexahydrat, 97 %, ACS	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Kaliumchlorid $\geq 99,5\%$, p.a. ACS	Carl Roth GmbH + Co. KG
Methanol $\geq 99\%$, zur Synthese	Carl Roth GmbH + Co. KG
Salzsäure $\geq 37\%$ rauchend, ACS	Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Wasserstoffperoxid 30 wt% in H ₂ O, ACS	Sigma-Aldrich Chemie GmbH

Methoden

Xylenol-Orange Tetranatriumsalz
(760,58 g/mol), ACS

Sigma-Aldrich Chemie GmbH

Allgemein verwendete Chemikalien	Hersteller
Stickstoff 5.0	Linde Gas

Verbrauchsmaterialien	Hersteller
20 mL Headspace HPLC-vial, Braunglas	Shimadzu
20 mL Headspace GC-vial	Shimadzu
30 mL Falcon-Tubes	Sarstedt AG & Co. KG
50 mL Falcon-Tubes	Sarstedt AG & Co. KG
Einmalinjektionskanülen, ø 0,80 x 40 mm, 21G x 1½	Braun
Einmalspritzen 2 mL	Braun
Mikroeinsatz, Borosilikatglas, flacher Boden, 0,2 mL	Carl Roth GmbH + Co. KG
Pipetten 10 µL, 100 µL, 200 µL, 1000 µL, 5000 µL	Eppendorf AG
Rotilabo®-Reaktionsgefäße, PP, 1,5 mL	Carl Roth GmbH + Co KG
Rotilabo®-Reagenzgläser, Borosilikatglas 3.3, dickwandig, 21 mL	Carl Roth GmbH & Co. KG
Rotilabo®-Makro-Präzisions-Glasküvette	Carl Roth GmbH & Co. KG
Phenomenex®-Spritzenfilter, PVDF (unsteril, Porengröße 0,2 µm, Durchmesser 0,13 mm)	Phenomenex
Faltenfilter 125 mm, 12-15 µm	VWR International GmbH

Geräte	Hersteller
Centrifuge 5804 R	Eppendorf AG
Centrifuge 5810 R	Eppendorf AG
Concentrator 5301	Eppendorf AG
GC-2010 Plus, AOC 20is	Shimadzu
Incubator INCU-Line ILS4	VWR International GmbH
Magnetrührer 710-HPS	VWR International GmbH
Magnetrührer Advanced VMS-C4	VWR International GmbH
Photometer Infinite M200	Tecan
Rotavapor R210	Büchi
Rückflusskühler DIN NS29/32; 400 mm	Lenz Laborglasinstrumente
(U)HPLC-DAD, UltiMate 3000RS	Dionex
Ultraschallbad USC TH	VWR International GmbH
Vortex, RS-VA 10	Phoenix Instruments
Waage Pioneer TM Serie; max. Kapazität 110 g; Ablesbarkeit: 0,0001 g	Ohaus
Waage Pioneer TM Serie; max. Kapazität 2100 g; Ablesbarkeit: 0,01 g	Ohaus
Wasserbad	Büchi
Verwendete Programme	Hersteller
Chromeleon Client Program 6.80 SR9	Dionex Corp.
Excel 365	Microsoft
GCSolutions	Shimadzu
GraphPad Prism	Graphpad Software
ACD ChemSketch 2020.1.1	Advanced Chemistry Development Inc.
Diagrams.net 13.8.8	Diagrams.net

3.4 Detaillierte Beschreibung der Methoden

Im Folgenden werden die Methoden der unterschiedlichen Analysenparameter beschrieben. Dabei wurde der Gehalt an Tocopherolen, Retinol sowie Carotinoiden in Flüssigei untersucht und deren Stabilität bei Sprühtrocknung zu Eipulver analysiert. Die Carotinoid-Analyse wurde vom Leibnitz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München durchgeführt. Die oxidative Stabilität der Eiprodukte wurde anhand der Peroxidzahl ermittelt.

Um ein vollständigeres Bild zu erhalten, wurde von Herrn Sebastian Bayer (Institut für Physiologische Chemie, Universität Wien) zusätzlich das Fettsäuremuster von Flüssigei und Trockenei bestimmt. Die Ergebnisse konnten in der vorliegenden Masterarbeit zusammengefasst und bewertet werden.

3.4.1 Bestimmung des Fettgehaltes nach Folch et al. [76]

Für die Fettextraktion wurde, wie von Saracila et al. [77] bereits beschrieben, die Methode nach Folch et al. [76] angewendet. Dabei wurden 5 g der Flüssigeiprobe bzw. 1,5-2 g Trockenei in einem Erlenmeyerkolben (100 mL) eingewogen und mit 10 mL Methanol, sowie 20 mL Chloroform versetzt. Nach der Begasung mit Stickstoff wurde die Probe mit einem Stopfen verschlossen und für eine Stunde am Magnetrührer gerührt. Die Lösung wurde über einen Faltenfilter in einen Schütteltrichter abfiltriert, mit 7,5 mL 0,88 % Kaliumchlorid versetzt und die untere Phase in einem zuvor abgewogenen 50 mL Falcon-Tube gesammelt. Das Extrakt wurde anschließend mit Stickstoff eingengt. Die Ermittlung des Fettgehaltes erfolgte durch Differenzwägung.

Das extrahierte Fett wurde unmittelbar im Anschluss zur Messung der Peroxidzahl verwendet.

3.4.2 Analyse der Fettsäuren mittels GC-FID

Die Fettsäuren wurden in Form ihrer Fettsäure-Methylester, wie von Aparicio und Aparicio-Ruiz [78] sowie von Lall et al. [79] beschrieben, ermittelt. Die Messung erfolgte mittels Gaschromatographie (GC) mit anschließender Flammenionisationsdetektion (FID).

Vorbereitung

Eine Menge von 500 mg Flüssigei bzw. 500 mg Eipulver wurden in 50 mL Falcon-Tubes eingewogen und 500 µL interner Standard (1%ige Heptadecansäure-Methylester-Lösung in Methanol, HME) hinzugefügt. Weiters wurden 2 mL Toluol, 500 mg Pyrogallol als Antioxidans und 4 mL einer 0,5 M Natriummethoxid-Lösung zur Probe hinzugegeben und mit Stickstoff begast. Die Probe wurde für 10-12 Minuten im 50 °C heißen Wasserbad erhitzt und im Kühlschrank für fünf Minuten wieder abgekühlt. Anschließend wurden zur Probe 200 µL

Methoden

Eisessig sowie 5 mL Hexan hinzugefügt, das Ganze wiederum für zwei Minuten gevortext und die Phasentrennung abgewartet. Die obere Phase (ca. 5 mL) wurde in ein sauberes 15 mL Falcon-Tube überführt. Der Vorgang wurde nochmals mit 5 mL Hexan wiederholt und die beiden organischen Phasen miteinander kombiniert. Die Hexanphase wurde mit Natriumsulfat getrocknet und über einen PVDF-Filter in ein GC-vial filtriert.

Experimentelle Parameter

Tabelle 10 Analysebedingungen des GC-FID-Systems

System	
GC Anlage	GC-2010 Plus, AOC 20is
Säule	ZB-Wax ZebronTM (PEG), Kapillarsäule, 30 m × 0,25 mm × 0,25 µm
Säulenfluss	3 mL/min
Säulentemperatur	60 °C
Trärgas	Helium
Gas (FID)	Stickstoff, Wasserstoff und synthetische Luft
Injektionsmodus und -volumen	Split ratio 20, 1 µL
Detektor	FID
Detektortemperatur	270 °C
Dauer je Messung	53 min

Tabelle 11 Verlauf des GC-Temperaturgradienten

Rate [°C/min]	Temperatur [°C]	Haltezeit [min]
	60	2
13	150	0
2	240	0

Methoden

Auswertung

Die qualitative Bestimmung der Fettsäuren erfolgte anhand der Retentionszeiten der Einzelstandards (**Tabelle 12**). Zur quantitativen Bestimmung wurde sowohl eine externe Kalibriergerade des Multikomponentenstandards angefertigt sowie HME als interner Standard mitgemessen.

Tabelle 12 Retentionszeiten (min) der Fettsäuren

Standard	Retentionszeit [min]
Methylpalmitat (C16:0)	17,5
HME	20,0
Methylstearat (C18:0)	23,5
Methyloleat (C18:1)	24,5
Methylinoleat (C18:2)	26,0
Methylinolenat (C18:3)	27,5

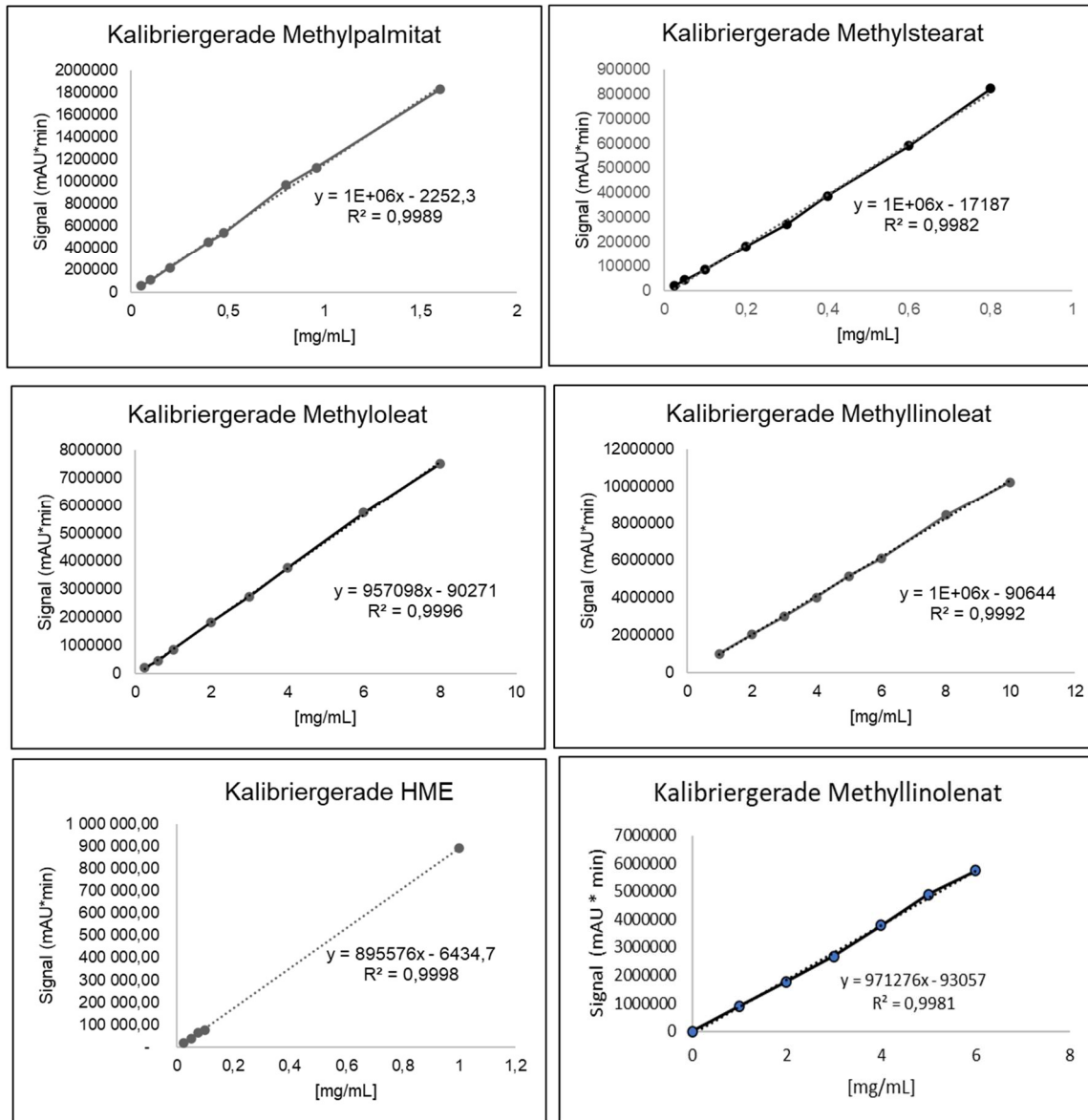


Abbildung 10 Kalibriergeraden der Fettsäuren und des internen Standards (HME)

3.4.3 Bestimmung von Vitamin E mittels HPLC-UV

Um Vitamin E in Vollei zu bestimmen, wurden die Tocopherole zunächst aus dem Flüssigei und Trockenei extrahiert und mittels HPLC mit Umkehrphasenchromatographie (RP) aufgetrennt. Hierbei konnte eine Trennung von α -Tocopherol, γ -Tocopherol sowie δ -Tocopherol erzielt werden. Das β -Homolog, welches in vergleichsweise geringeren Mengen vorkommt als die anderen Homologe, konnte jedoch nicht abgetrennt und somit quantitativ bestimmt werden. Die Detektion erfolgte mittels UV bei einer Wellenlänge von 295 nm.

Probenvorbereitung

Die Aufarbeitung der Probe erfolgte auf Basis der Beschreibung von Meluzzi et al. [80], die jedoch wie folgt abgeändert wurde. Vom aufgetauten Flüssigei wurden 5 g bzw. vom Eipulver wurden 1-2 g in einem 100 mL Erlenmeyerkolben eingewogen und für die Extraktion und Verseifung mit 30 mL Ethanol:50 % Kaliumhydroxid (1:1 vol/vol) versetzt. Die Proben wurden mit Stickstoff begast und für 30 Minuten gerührt. Nach der Zugabe von 20 mL Hexan (+ 1 g/L Butylhydroxytoluol (BHT)) sowie 20 mL einer gesättigten Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4)-Lösung, wurde die Probe weitere fünf Minuten gerührt und in einen Schütteltrichter überführt. Das Kaliumdihydrogenphosphat sorgte dafür, dass die wässrige Phase mit KH_2PO_4 gesättigt ist und somit das Tocopherol in die organische Phase wanderte. Für die Phasentrennung wurde zehn Minuten lang gewartet, wobei die wässrige Phase anschließend zurück in den Erlenmeyerkolben abgelassen und die organische Phase (ca. 20 mL) in einem 50 mL-Falkon-Tube gesammelt wurde. Die wässrige Phase im Erlenmeyerkolben wurde wieder in den Schütteltrichter überführt und nochmals mit 20 mL Hexan (+ 1 g/L BHT) extrahiert. Die organische Phase wurde mit der vorher gesammelten Phase im Falkon-Tube vereint (insgesamt ca. 40 mL) und über Stickstoff eingeeengt. Nach vollständiger Einengung wurde die Probe in 2 mL Ethanol (absolut, 99 %) aufgenommen und über einen Spritzenfilter in ein HPLC-vial überführt. Die Messung der Tocopherole erfolgte mittels HPLC-UV.

Experimentelle Parameter**Tabelle 13** Analysebedingungen des RP-HPLC/UV-Systems (Vitamin E)

System	
HPLC System	Dionex UltiMate 3000
Säule	Kinetex 5 µm EVO C18, 150 × 4,6 mm
Mobile Phase – Gradient	Laufmittel A: H ₂ O bidest
	Laufmittel B: Methanol
Flussrate	0,5 mL/min
Injektionsvolumen	20 µL
Temperatur Säule	10 °C
Temperatur Sampler	5 °C
Detektor	Dionex Diodenarraydetektor DAD-3000
Detektionswellenlänge	295 nm
Dauer je Messung	18 min

Tabelle 14 Gradientenverlauf der mobilen Phase (Vitamin E)

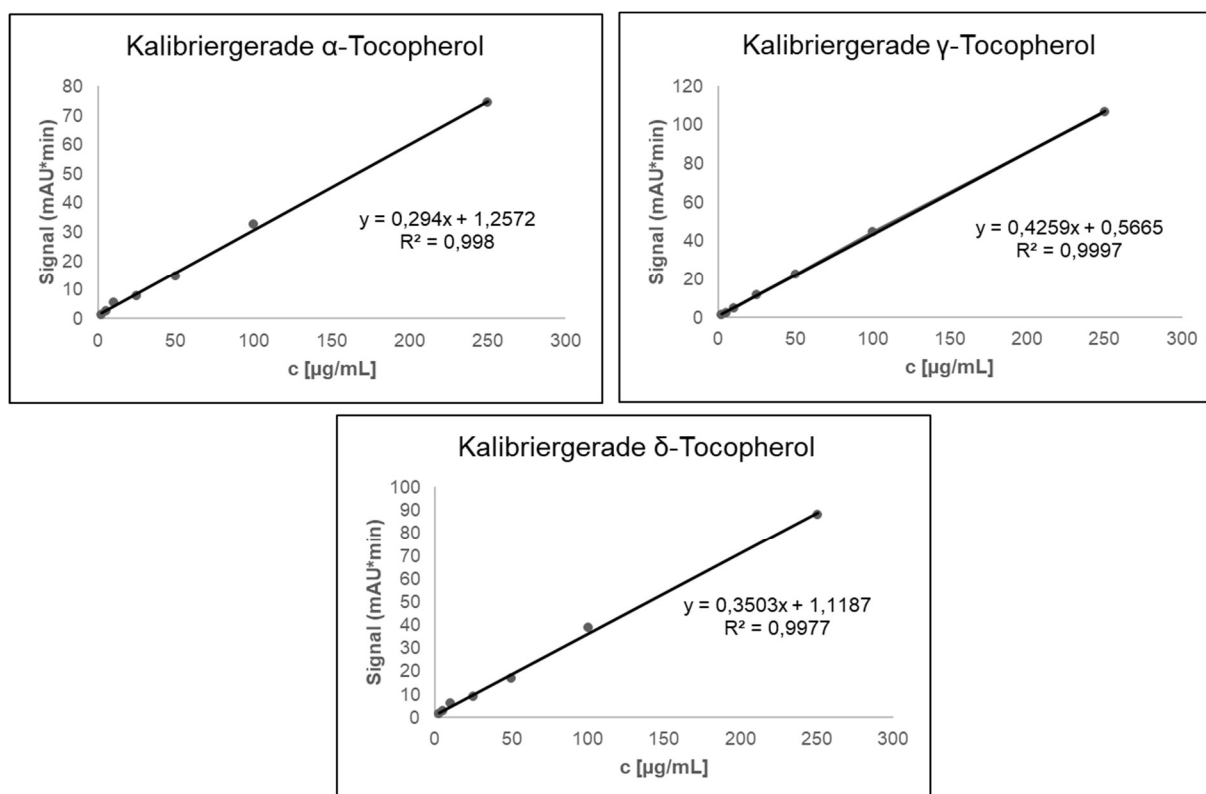
Zeit [min]	MeOH [%]	dd. H₂O [%]
0	95	5
4	100	0
16	95	5

Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit dem Programm Chromeleon 6.80 SR9, Dionex. Eine externe Kalibrationsgerade der Multikomponentenstandards α -Tocopherol, γ -Tocopherol und δ -Tocopherol im Konzentrationsbereich von 2,5-250 µg/mL wurde erstellt, sowie die Peakflächen integriert, um anschließend eine quantitative Aussage über den Tocopherolgehalt der Probe machen zu können. Für die qualitative Identifizierung der Homologe wurden die Retentionszeiten der Einzelstandards herangezogen.

Tabelle 15 Retentionszeiten (min) der Tocopherol-Einzelstandards

Standard	Retentionszeit [min]
α -Tocopherol	11,5
γ -Tocopherol	10,5
δ -Tocopherol	9,5

**Abbildung 11** Kalibriergeraden der Tocopherole

Die Extinktionswerte der Proben können in die Geradengleichungen (**Abbildung 11**) eingesetzt und somit die Konzentration in $\mu\text{g/mL}$ bestimmt werden. Unter Berücksichtigung der Einwaage und der Verdünnungsschritte im Zuge der Probenaufarbeitung konnte anschließend die Konzentration in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ Probe bestimmt werden.

Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Zur Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze wurde die Methode der linearen Regression herangezogen. Anhand der Regressionsgerade konnte die Steigung (m) sowie die Standardabweichung der Response (σ) berechnet und in die Formeln $LOD = 3,3 \cdot \sigma/m$ und $LOQ = 10 \cdot \sigma/m$ eingesetzt werden. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 16** ersichtlich.

Tabelle 16 Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der Tocopherole

	LOD [$\mu\text{g}/100 \text{ g}$]	LOQ [$\mu\text{g}/100 \text{ g}$]
α -Tocopherol	76,5	231,7
γ -Tocopherol	63,2	287,2
δ -Tocopherol	37,9	114,7

3.4.4 Bestimmung von Vitamin A (Retinol) mittels HPLC-UV

Retinol in Vollei wurde anhand der Methode von Pignitter et al. [81] bestimmt. Dazu wurde die Probe mittels KOH, Natriumascorbat und Natriumsulfid verseift, anschließend mit Hexan extrahiert und mittels HPLC-UV bei 325 nm gemessen.

Probenvorbereitung

In einem 250 mL Zweihalsrundkolben wurden 5 g Flüssigei bzw. 1-2 g Trockenei eingewogen und mit 30 mL dest. H_2O , 100 mL Ethanol (96 %), 1 g Natriumascorbat, 2 mL Na_2S -Lösung sowie mit 20 mL Kaliumhydroxid (10,7 M) versetzt. Die Probe wurde unter Stickstoff-Atmosphäre im 85 °C heißem Wasserbad für 30 Minuten unter Rückflusskühlung erhitzt. Nach Ablauf der 30 Minuten wurden etwaige Reste am Dimrothkühler mit 20 mL dest. H_2O abgewaschen. Die Probe wurde quantitativ in einen Schütteltrichter überführt und mit 30 mL dest. H_2O sowie 100 mL Hexan versetzt. Es bildeten sich zwei Phasen, wobei die untere Phase für weitere Extraktionen wieder zurück in den Zweihalsrundkolben abgelassen und die obere (organische) Phase in einem Becherglas gesammelt wurde. Die Extraktion im Schütteltrichter wurde drei weitere Male mit jeweils 100 mL, und zweimal mit 50 mL Hexan durchgeführt. Auch die organische Phase wurde anschließend in den Schütteltrichter geleert und mit 100 mL H_2O ausgeschüttelt. Die obere Phase (Hexanphase) wurde in einem Erlenmeyerkolben abgelassen. Es wurden vier Spatelspitzen wasserfreies Natriumhydrat zur Trocknung hinzugegeben und in einen Rundkolben (500 mL) abfiltriert.

Methoden

Die Probe wurde in weiterer Folge am Rotavapor bei 40 °C unter Vakuum (190 mbar) bis auf ca. 15 mL eingengt und in ein 50 mL Falcon-Tube zur weiteren Einengung mit Stickstoff überführt.

Für die HPLC Analyse wurden die Proben in 5 mL Methanol aufgenommen und über Spritzenfilter in HPLC-vials überführt.

Experimentelle Parameter

Tabelle 17 Analysebedingungen des RP-HPLC/UV-Systems (Vitamin A)

System	
HPLC System	Dionex UltiMate 3000
Säule	Kinetex 5 µm EVO C18, 150 × 4,6 mm
Mobile Phase – isokratisch	Laufmittel A: H ₂ O (2 %)
	Laufmittel B: MeOH (98 %)
Flussrate	0,5 mL/min
Injektionsvolumen	20 µL
Temperatur Säule	20 °C
Temperatur Sampler	5 °C
Detektor	Dionex Diodenarraydetektor DAD-3000
Detektionswellenlänge	325 nm
Dauer je Messung	8 min

Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit dem Programm Chromeleon 6.80 SR9, Dionex. Für die qualitative und quantitative Aussage wurde eine externe Kalibrationsgerade mit Retinol im Konzentrationsbereich zwischen 0,5 - 25 µg/mL erstellt. Retinol eluierte nach etwa 4,2 Minuten.

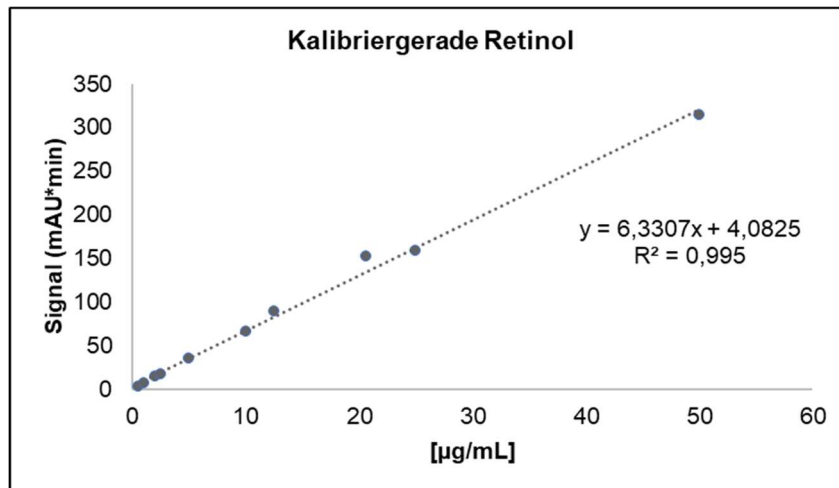


Abbildung 12 Kalibriergerade Retinol

Anhand der Geradengleichung der Kalibriergerade (**Abbildung 12**) und der gemessenen Extinktionswerte der Proben konnte die Retinol-Konzentration berechnet werden. Die Probe wurde vor der Messung in 5 mL Methanol aufgenommen, daher musste auch das Ergebnis mit fünf multipliziert und unter Berücksichtigung der Einwaage der Gehalt in µg/100 g berechnet werden.

Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Zur Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze wurde die Methode der linearen Regression herangezogen. Anhand der Regressionsgerade konnte die Steigung (m) sowie die Standardabweichung der Response (σ) berechnet und in die Formeln $LOD = 3,3 \cdot \sigma / m$ und $LOQ = 10 \cdot \sigma / m$ eingesetzt werden. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 18** ersichtlich.

Tabelle 18 Nachweis- und Bestimmungsgrenze von Retinol

	LOD [µg/100 g]	LOQ [µg/100 g]
Retinol	41,7	126,4

3.4.5 Bestimmung von Carotinoiden (Lutein, Zeaxanthin) mittels LC-MS/MS

Die Bestimmung des Carotinoid-Gehalts in Vollei erfolgte nach Aufarbeitung der Proben am Institut für Physiologische Chemie an der Universität Wien gemäß Nolan et al. [11] mittels LC-MS/MS von Herrn Andreas Dunkel am Leibnitz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München. Im Zuge der Probenaufarbeitung wurde zunächst eine Extraktion der Carotinoide durchgeführt, welche nach Einengung im Konzentrator auf Trockeneis versendet wurden. Die Analyse der Carotinoide erfolgte primär durch eine chromatographische Auftrennung (LC), anschließender Zerstäubung bzw. Ionisierung mittels Chemischer Ionisation bei Atmosphärendruck (APCI) und nachgeschalteter Tandem-MS. Dabei kam ein linearer Ionenfallen-Triple-Quadrupol mit positivem Ionisierungsmodus zur Anwendung. Zur Quantifizierung wurde ein Multiple Reaction Modus (MRM) gewählt, bei dem im ersten Quadrupol (Q1) nach Ionen mit m/z 569,2 (Vorläuferion) selektiert, in der Kollisionszelle fragmentiert und im dritten Quadrupol (Q3) nur die entsprechenden Fragmentationen mit m/z 175,0 analysiert wurden. Zur Bestätigung (Qualifier) wurden Q1 und Q3 jeweils auf m/z 569,3 bzw. m/z 135,0 gesetzt. Nur wenn das Masse zu Ladungs-Verhältnis des Mutterions (Q1) als auch des Tochterions (Q3) vorhanden waren, konnte ein Signal gemessen werden.

Vorbereitung

Für die Extraktion wurden zunächst etwa 80 mg der homogenisierten Volleiprobe bzw. 30 mg des Volleipulvers in ein 1,5 mL Eppendorfgefäß überführt und mit 150 μ L wässriger Kaliumhydroxid-Lösung (25 mg/100 mL dest. H₂O) sowie 150 μ L Ethanol (BHT 500 mg/L) gemischt. Als interner Standard wurden 4 μ L Equinenon (1 mg/mL Ethanol) hinzugegeben. Nach 45-minütiger Inkubation bei 45 °C am Rüttler wurde die Probe für zehn Minuten im Kühlschrank (+4 °C) abgekühlt. Zur abgekühlten Probe wurden 0,5 mL Methyl-tert-Butylether (MTBE):Hexan-Lösung (1:1) gegeben, anschließend gevortext und für fünf Minuten bei 400 rcm zentrifugiert (24 °C). Von der oberen Phase wurden 0,4 mL abgenommen und in ein sauberes Eppendorfgefäß überführt. Der Extraktionsschritt wurde nochmals mit 0,5 mL der MTBE:Hexan-Lösung wiederholt und 0,4 mL der oberen Phase mit der zuvor abgenommenen Phase kombiniert. Die gesammelte Phase wurde im Konzentrator getrocknet, bei -20 °C zwischengelagert und anschließend mit Trockeneis an die Technische Universität München, Leibnitz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie, zur weiteren Analyse gesendet. Die Parameter der LC-MS/MS-Einstellungen sind in **Tabelle 19** bis **Tabelle 22** aufgelistet.

Experimentelle Parameter**Tabelle 19** Analysebedingungen der chromatographischen Auftrennung (Carotinoide)

LC System	
Säule	C30-Säule
Mobile Phase – Gradient	Laufmittel A: Me/MTBE/H ₂ O (81:15:4) Laufmittel B: Me/MTBE/H ₂ O (7:90:3)
Flussrate	0,4 mL/min
LC System	SCIEX ExionLC™
Dauer je Messung	35 min

Tabelle 20 Gradientenverlauf der mobilen Phase (Carotinoide)

Zeit [min]	MeOH:MTBE:H₂O (81:15:4) [%]	MeOH:MTBE:H₂O (7:90:3) [%]
0-5	100	0
20	80	20
22-25	0	100
28-35	100	0

Tabelle 21 Analysebedingungen des MS/MS-Experiments (Carotinoide)

LC-MS/MS Sciex QTrap	
Ionenquelle	APCI
Analysator	Sciex QTrap 6500+ Linear Ion Trap-Triplequadrupol-MS (low mass mode)
Detektor	IonDrive High Energy Detector+
Ionenscan	Positiver Ionenscan [M+H] ⁺
Modus	MRM
Quantifier <i>m/z</i> Q1/Q3 (Qualifier)	569,2 / 175,0 (569,3 / 135,0)

Für die qualitative Bestimmung von Zeaxanthin und Lutein wurden Einzelstandards mit folgenden Retentionszeiten (**Tabelle 22**) analysiert.

Tabelle 22 Retentionszeiten (min) der Carotinoid-Einzelstandards

Standard	Retentionszeit [min]
Lutein	10,89
Zeaxanthin	13,02

3.4.6 Bestimmung der Peroxidzahl mittels FOX-Assay

Die für diese Masterarbeit verwendeten Eier wiesen keine lange Lagerzeit auf, da sie sehr zeitnah nach Legedatum bzw. nach Weiterverarbeitung zu Volleipulver analysiert wurden. Es war also davon auszugehen, dass die Messung der Peroxidzahl ausreicht, um Aussagen über den Fortschritt der Lipidoxidation geben zu können.

Der Peroxidgehalt in Lebensmitteln mit einem hohen Fettgehalt, wie zB. Speiseöl, wird häufig mit der Methode nach Wheeler ermittelt. Da das Hühnerei einen Fettgehalt von etwa 10 g/100 g aufweist und somit eine größere Probenmenge erforderlich wäre, um genug Fett extrahieren zu können, wurde die Peroxidzahl anhand des FOX (ferrous oxidation-xylenol orange)-Assays ermittelt. Eine weitere Hürde bei der Methode nach Wheeler war die starke Eigenfärbung, die durch die Mitextraktion der Carotinoide verursacht wurde und die visuelle Endpunktbestimmung bei der Titration schwierig machte.

Der FOX-Assay basiert auf der photometrischen Messung eines blau-violetten Komplexes bei 560 nm [82]. Sind in der Probe Peroxide vorhanden, so können diese das hinzugegebene Fe^{2+} zu Fe^{3+} oxidieren. Fe^{3+} bildet in weiterer Folge mit Xylenol-Orange den blau-violetten Komplex.

Vorbereitung

Etwa 60 mg des extrahierten Fettes wurden in eine Glaseprouvette eingewogen, in 9,9 mL Chloroform-Methanol-Gemisch (7:3) gelöst und anschließend zwei bis vier Sekunden gevortext. Es wurden 50 μL einer 10 mM Xylenol-Orange-Lösung hinzugegeben und gemischt. Nach Zugabe von 50 μL Fe(II) chlorid-Lösung wurde erneut zwei bis vier Sekunden gevortext und für fünf Minuten bei Raumtemperatur inkubiert. Die Probe wurde zur photometrischen Messung in eine Glasküvette überführt und die Absorption bei 560 nm notiert.

Methoden

Es wurde in weiterer Folge eine Standardgerade mit einer Fe(III)chlorid-Lösung (10 µg/mL) im Bereich 5 - 20 µg Fe³⁺ hergestellt und anhand folgender Formel die Peroxidkonzentration in meq aktiver Sauerstoff/kg Fett berechnet.

$$PV = [(AS-AB) \times mi] / (E \times 55,84 \times 2)$$

AS Absorption der Probe bei 560 nm

AB Absorption des Blanks bei 560 nm

mi Inverse Steigung (1/m) der Standardgerade von Fe³⁺

E Einwaage in Gramm

55,84 µg/µmol Atommasse von Eisen; × 2: Sauerstoff → aktiver Sauerstoff (Peroxid)

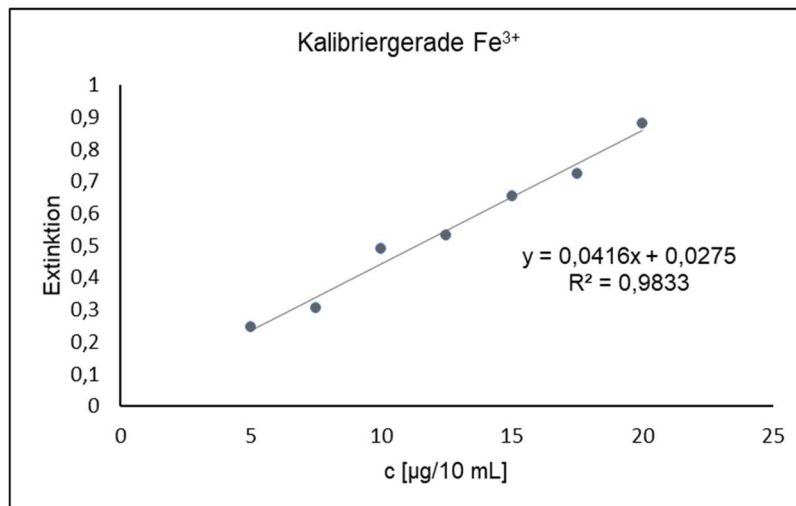


Abbildung 13 Standardgerade Peroxidzahl (angegeben als Fe³⁺ Konzentration) in µg/10 mL

Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Zur Ermittlung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze wurde die Methode der Residualvarianz mit $LOD = 3,3 \cdot \sigma / m$ und $LOQ = 10 \cdot \sigma / m$ herangezogen, wobei m für die Steigung der Regressionsgerade und σ für die Standardabweichung der Response steht.

Tabelle 23 Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Peroxidzahl

	LOD [meq O ₂ /kg Fett]	LOQ [meq O ₂ /kg Fett]
Peroxidzahl	0,014	0,047

3.5 Umrechnungsfaktor Flüssigei auf Trockenei

Das Chemische Institut Burkon ermittelte von allen Flüssigei- sowie Trockeneiprobe die Trockensubstanz. Somit war es möglich, die Ergebnisse der Flüssigeiprobe mit dem Aufkonzentrierungsfaktor zu multiplizieren und anschließend mit dem dazugehörigen Eipulver zu vergleichen.

3.6 Statistische Auswertung

Von den Flüssigeiprobe sowie den daraus hergestellten Trockeneiprobe wurden vier Chargen mit je einem technischen Replikat analysiert. Die Messungen erfolgte mindestens im Doppelansatz. Die Aufbereitung der Messdaten erfolgte in Microsoft Excel (Office 365). Etwaige Ausreißer wurden mithilfe des Ausreißertests nach Nalimov aus der anschließenden Analyse mit GraphPad Prism (8.4.3) ausgeschlossen. Anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse als nicht-parametrischen Test (Welch's ANOVA) und anschließendem post-hoc Test (Dunnet's T3) wurde auf statistische Signifikanz ($p < 0,05$) geprüft und in Form von Mittelwert (MW) $\pm$ Standardabweichung (SD) angegeben. Abbildungen wurden in GraphPad Prism sowie der Software diagrams.net (Version 13.8.8) erstellt.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden einerseits auf das Frischgewicht (FG) bezogen, um Aussagen über das Nährstoff-Profil der untersuchten Hühnereier und somit das Erreichen der täglichen Empfehlungen mit dem Konsum von Frischei und der entsprechenden Menge an Trockenei machen zu können. Andererseits erfolgte die Darstellung der Resultate bezogen auf ihre Trockenmasse (TM), um einen direkten Vergleich zum sprühgetrockneten Volleipulver zu ermöglichen. Somit war es möglich etwaige Verluste, die während der Weiterverarbeitung entstanden sind, aufzudecken.

4.1 Trockensubstanz

Die Trockensubstanz-Gehalte der Chargen 1-4 wurden vom Chemischen Institut Burkon in Deutschland analysiert (**Tabelle 24**). Diese Werte dienten dazu, die Konzentrationen der Flüssigeier auf ihr Trockengewicht zu beziehen mit dem Ziel die Konzentrationen der Trockeneier vergleichbar zu machen. Die Trockenmasse von Schaleneiern liegt in etwa bei 23 - 24 %, die für diese Studie verwendeten Eier wurden jedoch nach Pasteurisierung mittels Vakuumverdampfer aufkonzentriert. Somit wurde für diese Flüssigeier eine mittlere Trockenmasse von 30,3 % erreicht, welche auch in der Interpretation und im Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien berücksichtigt wurde.

Tabelle 24 Trockensubstanz der Flüssigvolleier und Volleipulver (%)

	Charge 1 (%)	Charge 2 (%)	Charge 3 (%)	Charge 4 (%)
Flüssigeier	26,8	32,4	29,3	32,9
Trockeneier	97,5	97,7	97,3	97,5

4.2 Fettgehalt und Verteilung der Fettsäuren

4.2.1 Der Fettgehalt und die Fettsäure-Verteilung in Flüssigvollei

Der durchschnittliche Fettgehalt aller analysierten Flüssigeier lag bei $11,2 \pm 1,1$ g/100 g Vollei (FG) bzw. $35,6 \pm 3,1$ g/100 g TM unter Berücksichtigung der Trockenmasse. Dabei gab es zwischen Charge 1 ($38,5 \pm 4,3$ g/100 g), Charge 2 ($35,0 \pm 5,1$ g/100 g), Charge 3 ($37,3 \pm 1,5$ g/100 g) und Charge 4 ($33,8 \pm 1,7$ g/100 g) keine signifikanten Unterschiede (**Abbildung 14**).

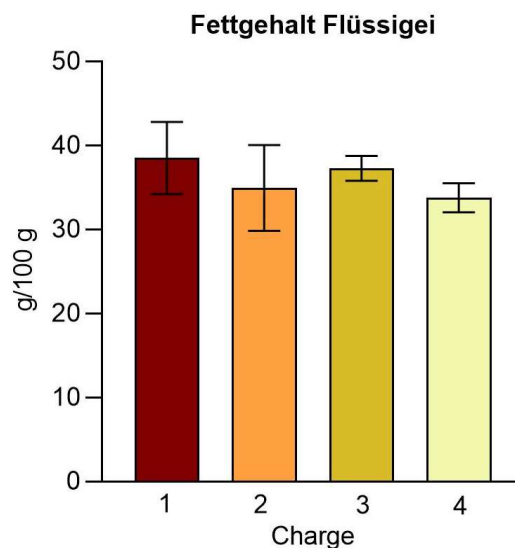


Abbildung 14 Fettgehalt von Flüssigeier der Chargen 1-4 in g/100 g TM. Angabe der Messwerte MW $\pm$ SD ($n \geq 3$).

Verglichen mit dem Fettgehalt und dem Fettsäure-Muster aus einer vorangegangenen Analyse von Akpinar-Bayizit et al. [83], lagen die in der vorliegenden Masterarbeit erhaltenen Konzentrationen sowohl bei Flüssig- als auch bei Trockenei in einem ähnlichen Bereich. So betrug der von Akpinar-Bayizit et al. [83] ermittelte durchschnittliche Fettgehalt im Flüssigei 10,04 g/100 g, jener vom Institut für Ernährungsinformation wurde mit 9,3 g/100 g angegeben, während die ermittelten Fettgehalte der hier vorliegenden Analyse durchschnittlich bei 11,2 g/100 g lagen [84]. Nach Berücksichtigung des Trocknungsfaktors von 3,84 wurde in Akpinar-Bayizit et al. [83] ein Gehalt von $38,6 \pm 0,0$ g/100 g erreicht. Dieser war somit etwas höher als der in dieser Publikation ermittelte Fettgehalt von $35,6 \pm 3,1$ g/100 g TM. Die SFK-Datenbank zeigt weiters einen Fettgehalt von 11,4 g/100 g FG und ist somit ebenso vergleichbar mit den in dieser Publikation erzielten Werten [27].

Die Analyse ausgewählter Fettsäuren in Flüssigvolleier zeigte außerdem, dass die Fettsäureverteilung in allen Chargen sehr ähnlich war (**Abbildung 15**). Die dominierende Fettsäure hierbei war die einfach ungesättigte Ölsäure, die sich mit einem durchschnittlichen Gehalt von $10,0 \pm 0,9$ g/100 g Vollei (TM) deutlich von den anderen Fettsäuren abhob. Bezogen auf den Gesamtfettgehalt machte der Anteil der Ölsäure durchschnittlich

25,3 ± 0,4 % (Charge 1), 30,3 ± 3,0 % (Charge 2), 27,8 ± 0,8 % (Charge 3) und 28,3 ± 0,7 % (Charge 4) aus. In allen untersuchten Flüssigvolleiern konnte man einen höheren Anteil an SFA (19,4 %) verglichen mit jenem an PUFA (13,9 %) feststellen. Palmitinsäure war dabei mit je 12,5 ± 0,1 % (Charge 1), 15,0 ± 1,6 % (Charge 2), 14,5 ± 0,4 % (Charge 3) und 13,5 ± 0,2 % (Charge 4) die am häufigsten vorkommende gesättigte Fettsäure. Linolsäure, eine zweifach ungesättigte omega-6 Fettsäure, konnte mit einem mittleren Gehalt von 4,5 ± 0,4 g/100 g TM quantifiziert werden. Bezogen auf den Gesamtfett-Gehalt machte diese jeweils 11,0 ± 0,3 % (Charge 1), 11,7 ± 1,1 % (Charge 2), 12,1 ± 0,2 % (Charge 3) und 11,1 ± 0,1 % (Charge 4) aus. Die durchschnittliche Konzentration der omega-3 Fettsäure Linolensäure lag bei 0,86 ± 0,03 g/100 g Vollei (TM). Dies entsprach einem Anteil von jeweils 2,2 ± 0,2 % (Charge 1), 2,6 ± 0,1 % (Charge 2), 2,3 ± 0,1 % (Charge 3) und 2,5 ± 0,1 % (Charge 4) an Gesamtfett. Durch den Bezug auf den Gesamtfett-Gehalt ergaben sich vor allem für die Fettsäuren Palmitin-, Stearin-, und Ölsäure signifikante Unterschiede zwischen Charge 1 und Charge 4. Dies konnte darauf zurückgeführt werden, dass die auf 100 g Hühnerei (TM) bezogenen Konzentrationen der beiden Chargen sehr ähnlich waren, jedoch bei Charge 4 ein tendenziell niedrigerer Fettgehalt ermittelt wurde. Somit ergaben sich für Charge 4 prozentual gesehen höhere Anteile als in Flüssigvolleiern der Charge 1.

Die signifikant höchsten Absolut-Konzentrationen an ALA wurden in Flüssigvolleier der Chargen 2 und 3 mit jeweils 0,91 ± 0,03 g/100 g TM und 0,86 ± 0,01 g/100 g TM im Vergleich zu den anderen beiden Chargen verzeichnet. Dies deckte sich auch mit den theoretisch berechneten Daten des Futters, welche in **Tabelle 8** dargestellt wurden und für die Chargen 2 und 3 höhere Gehalte des Zusatzes „Nowitol“ zeigten. Aufgrund des tendenziell niedrigeren

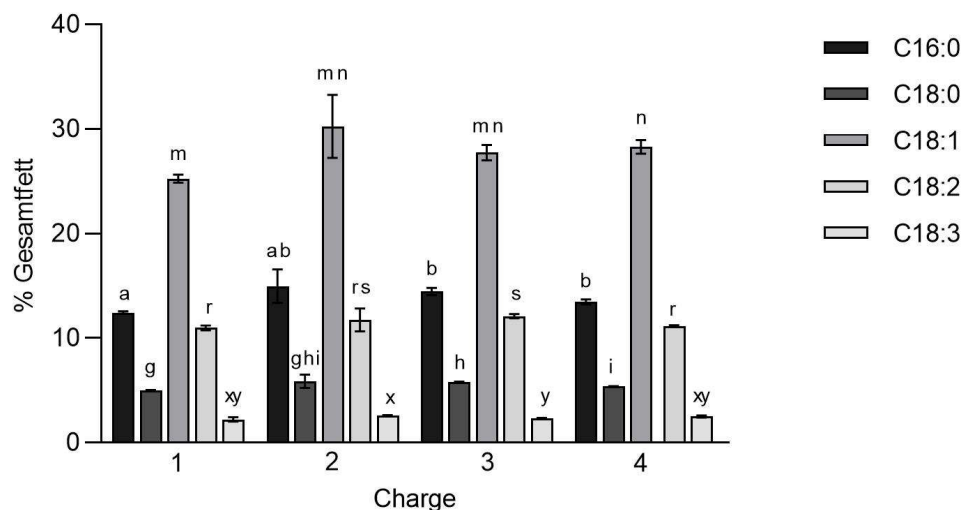


Abbildung 15 Fettsäure-Verteilung von Flüssigvolleiern der Chargen 1-4 in Prozent bezogen auf den Gesamtfett-Gehalt. Angabe der Messwerte in MW ± SD (n≥3). Unterschiedliche Kleinbuchstaben in den jeweiligen Kategorien C16:0 (a,b), C18:0 (g,h,i), C18:1 (m,n), C18:2 (r,s) und C18:3 (x,y) zeigen eine statistische Signifikanz zwischen den Chargen (p<0,05).

Fettgehalts von Charge 2 ergab dies jedoch bei Berechnung des prozentuellen Anteils am Gesamtfett signifikante Unterschiede zu Charge 3.

Anhand des P/S Index, welcher das Verhältnis von PUFA zu SFA darstellt, konnte in **Abbildung 16** gezeigt werden, dass Eier der Chargen 2 und 3 trotz hohen Gehalts an Linol- und Linolensäure ein signifikant niedrigeres P/S Verhältnis von jeweils 0,69 und 0,71 aufwiesen als Flüssigvolleier der Charge 1 mit einem P/S Index von 0,76. Charge 4 lag mit einem Verhältnis von 0,72 im Durchschnitt und unterschied sich nicht signifikant von den anderen Flüssigvolleiern. In der Abbildung wurde ebenso der P/S Index nach Sprühtrocknung dargestellt, auf deren allgemeinen Auswirkungen im nächsten Unterkapitel näher eingegangen wird.

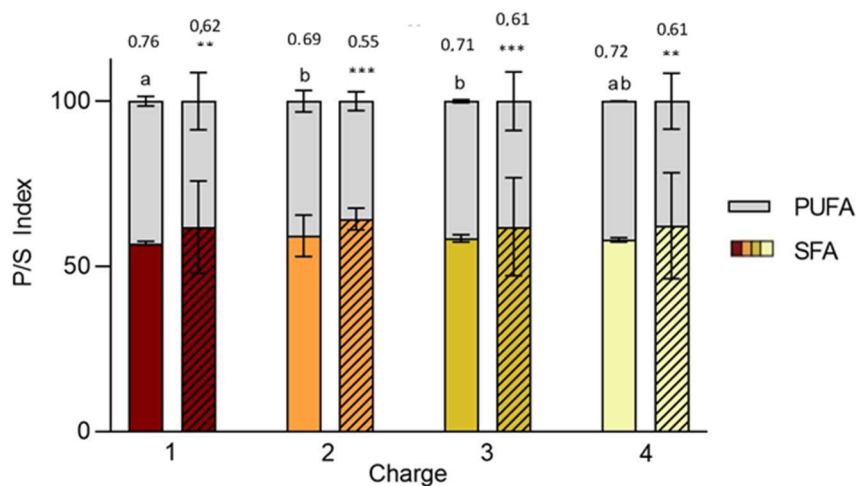


Abbildung 16 P/S Index der Flüssigvolleier und Trockeneier der Chargen 1-4. Ergebnisse der Flüssigvolleier sind als einfarbige Balken (links), jene der Trockeneier als gemusterte Balken (rechts) dargestellt. Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen eine statistische Signifikanz zwischen den Chargen der Flüssigvolleier ($p < 0,05$). Ein signifikanter Unterschied der Trockeneiprobe zur Flüssigvolleiprobe des jeweiligen Parameters ist mit **, *** oder **** gekennzeichnet: ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; **** $p \leq 0,0001$.

Obwohl in der Arbeit von Akpinar-Bayazit et al. [83] ebenso wie in dieser Masterarbeit Ölsäure als quantitativ dominierende Fettsäure ermittelt wurde, konnten in Bezug auf den in den Eiern der einzelnen Chargen ermittelten Konzentrationen deutliche Unterschiede feststellen werden. Palmitin-, Stearin-, Öl- und Linolsäure in Flüssigeiern erreichten Konzentrationen von je 29,0 %, 12,4 %, 38,0 % und 14,6 % bezogen auf den Gesamtfett-Gehalt. Werden nun die von Akpinar-Bayazit et al. [83] ermittelten Konzentrationen von Palmitin-, Stearin-, Öl- und Linolsäure unter Einbezug des Trocknungsfaktors in Absolutwerte umgerechnet, so lagen die Werte in 100 g Flüssigei bei jeweils $11,18 \pm 0,07$ g/100 g, $4,79 \pm 0,03$ g/100 g, $14,66 \pm 0,0$ g/100 g und $5,65 \pm 0,02$ g/100 g TM.

Diese Gehalte waren somit um ca. 1 % höher als die in der vorliegenden Studie ermittelten Konzentrationen, die für die einzelnen Fettsäuren ermittelt wurden. Diese Diskrepanz kann durch einen allgemein niedrigeren Fettgehalt der hier untersuchten Flüssigvolleier von im

Mittel $35,6 \pm 3,1$ g/100 g im Vergleich zu dem Durchschnittswert von $38,6 \pm 0,0$ g/100 g TM in Akpinar-Bayazit et al. [83] erklärt werden. In der erwähnten Studie konnte jedoch keine Information über die Futtermittel-Zusammensetzung in Erfahrung gebracht werden, weshalb ein Vergleich mit der in der hier vorliegenden Arbeit verwendeten Diät der Hühner nicht möglich war.

Milinsk et al. [6] führten in einer ähnlichen Studie die Zusammensetzungen von unterschiedlichen Futtermittelmischungen an und fokussierten sich auf deren Auswirkung auf die Fettsäure-Verteilung in Eiern. Die Grundzutat aller fünf Diäten war Mais, wobei das Futter der Legehennen in einer Kontrollgruppe aus 61,9 % Mais, 25,7 % Sojaschrot und 2 % Sojaöl bestand. In vier weiteren Versuchsgruppen wurden die entsprechenden Diäten 1 bis 4 wie folgt verändert: Diät 1 enthielt zusätzlich 10 % Rapsschrot und 32 % Rapsöl, während 2,3 % Leinschrot und 3 % Leinöl in Diät 2, 26,6 % Sojaschrot und 3 % Sojaöl in Diät 3 sowie 8 % Sonnenblumenschrot und 2,9 % Sonnenblumenöl in Diät 4 hinzugefügt wurden. Die Analyse der Fettsäure-Zusammensetzung machte deutlich, dass der Anteil der gesättigten Fettsäuren mit $25,0 \pm 0,9$ % an Palmitin- bzw. $12,4 \pm 2,4$ % an Stearinsäure bezogen auf den Gesamtfettsäure-Gehalt in 100 g Eidotter (FG) in der Kontrollgruppe am höchsten war. Wurde Sonnenblumenöl zum Futter beigemischt (Diät 4), konnte im Vergleich zu den anderen Diäten ein signifikant niedrigerer Ölsäure-Anteil ($38,9 \pm 1,4$ %) festgestellt werden. Dass Sonnenblumenöl vor allem reich an Linolsäure ist, spiegelte sich auch im Linolsäure-Gehalt der Eier wider, welcher mit $21,3 \pm 1,5$ % bezogen auf Gesamtfettsäuren je 100 g Eidotter (FG) signifikant höher lag als in den anderen Diäten, die Konzentrationen zwischen 13,7 – 17,8 % des Gesamtfettsäure-Gehalts in 100 g Eidotter (FG) erreichten. Obwohl in Milinsk et al. [6] in der Kontrollgruppe einen niedrigeren Fettgehalt von 23,9 g/100 g Dotter (FG) bzw. 7,2 g/100 g Vollei (FG) verglichen mit den hier erzielten Ergebnissen angegeben wurde, konnte vor allem die Auswirkung der Futtermittelzusammensetzung auf das Fettsäure-Muster deutlich gemacht werden. In zukünftigen Projekten, welche auf eine optimierte Nährstoffdichte, insbesondere in Bezug auf PUFA-Gehalte, im Hühnerei abzielen, könnte dies demnach über eine adaptierte Futtermittelzusammensetzung erreicht werden.

4.2.2 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Fettgehalt und die Fettsäure-Verteilung

Die Verarbeitung durch Sprühtrocknung wirkte sich auf den Fettgehalt nicht signifikant aus (**Abbildung 17**). Der Fettgehalt der Trockeneier aus Charge 2-4, der jeweils $40,5 \pm 0,3$ g/100 g, $39,7 \pm 0,9$ g/100 g und $35,8 \pm 1,2$ g/100 g erreichte, war zwar im Vergleich zum Flüssigprodukt tendenziell, jedoch statistisch nicht signifikant erhöht. Dies konnte unter anderem auf eine teilweise relativ hohe Streuung der Messergebnisse zurückgeführt werden. Eipulver der Charge 1 ergab einen Fettgehalt von $37,7 \pm 0,9$ g/100 g.

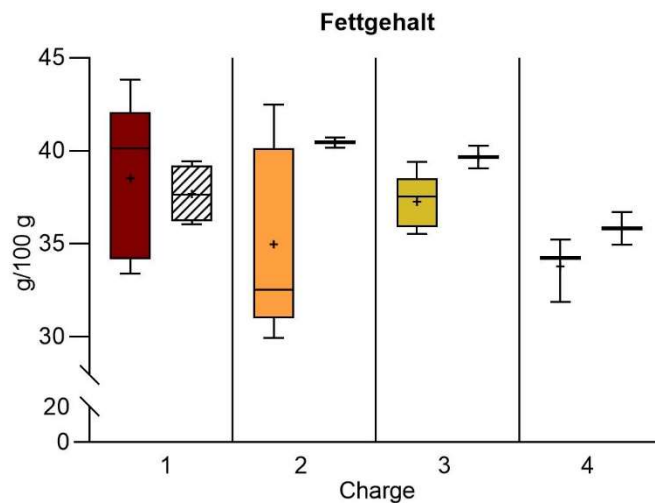


Abbildung 17 Vergleich des Fettgehaltes zwischen Flüssigvolleiern der Charge 1-4 und der jeweiligen Trockeneiprobe in g/100 g TM

Die farbigen Balken stellen die Gehalte der Flüssigvolleiprodukte dar, die gemusterten Balken zeigen die Gehalte der jeweiligen Trockenprodukte. Die durchgehende Linie stellt den Median der jeweiligen Messwerte dar, das Symbol + beschreibt den Mittelwert ($n \geq 5$).

In der Publikation von Akpinar-Bayazit et al. [83] wurde angegeben, dass der Fettgehalt in sprühgetrockneten Eiern mit $40,4 \pm 0,0$ g/100 g signifikant höher lag als jener in Flüssigvolleiern. Anzumerken ist jedoch, dass die Konzentrationen der Flüssigeiprodukte mit jenen der sprühgetrockneten Produkte ohne Berücksichtigung des Trocknungsfaktors verglichen wurden und keine Angabe über die Sprühtrocknungstemperatur zu finden war. Der signifikant höhere Fettgehalt war hier wahrscheinlich größtenteils auf eine Aufkonzentrierung während des Trocknungsvorgangs zurückzuführen. In der Studie von Abreha et al. [17], die unter anderem auch die Fettgehalte von sprühgetrocknetem Eipulver einer äthiopischen und einer nach Äthiopien importierten Hühnerrasse untersuchte, wurden Fettgehalte von jeweils 36 g/100 g und 39 g/100 g angegeben. Die Empfehlung von Lutter und Dewey [85], mit einer Tagesration an Ergänzungsnahrung (50 g) für 12-23 Monate einen Fettgehalt von 6,3 g zu erreichen, konnte somit bereits zu je 71 % bzw. 77 % bei Gabe von 12,5 g Volleipulver erreicht werden. Im Vergleich zu den von Abreha et al. [17] ermittelten Konzentrationen, würde der

Konsum von 12,5 g Volleipulver der Chargen 1-4 eine Deckung von 71-80 % der von Lutter und Dewey angegebenen Empfehlungen erzielen.

Was das Fettsäuremuster betraf, so war Ölsäure auch bei Trockeneiern als dominierende Fettsäure erkennbar (**Abbildung 18**). Dennoch wurde in allen Volleipulverproben eine um mindestens 24,3 % geringere Konzentration im Vergleich zum Flüssigprodukt ermittelt. Die in **Abbildung 18** dargestellten Absolut-Konzentrationen (TM) machten ebenso größere Verluste im Bereich der SFA nach Sprühtrocknung deutlich. Die Abnahme der gesättigten Fettsäure Palmitinsäure erreichte in Charge 4 (46,4 %) signifikanten Charakter, während die Abnahme an Stearinsäure als zweiter Vertreter der SFA in Charge 1 (37,0 %) und 4 (48,6 %) von signifikantem Ausmaß war. In allen Chargen konnte mit steigender Anzahl an Doppelbindungen ein höherer Verlust an PUFA beobachtet werden. Nach Sprühtrocknung konnte für Öl-, Linol- und Linolensäure in Charge 1 ein Gehalt von $5,9 \pm 1,4$ g/100 g, $2,4 \pm 0,6$ g/100 g und $0,3 \pm 1,1$ g/100 g (TM) ermittelt werden. Diese Werte waren im Vergleich zum flüssigen Pendant um jeweils 38,3 %, 42,6 % bzw. 66,2 % geringer. Die in **Abbildung 18** auf den ersten Blick niedriger erscheinenden Verluste an Öl- (24,3 %), Linol- (29,1 %) und Linolensäure (63,5 %) in Charge 2 verglichen mit Charge 1 waren jedoch mit einem p-Wert > 0,5 als nicht signifikant einzustufen. Aus diesem Grund konnte auch nicht geschlossen werden, dass die um 20 °C höhere Temperatur (180 °C) während der Sprühtrocknung zu einem größeren Verlust dieser wertvollen Fettsäuren führte. Auch in Charge 4, welche ebenso wie Charge 2 mit 160 °C sprühgetrocknet wurde, konnte eine Abnahme von jeweils 49,7 % (Ölsäure), 52,8 % (Linolsäure) und 69,7 % (Linolensäure) festgestellt werden. Anzumerken ist hier, dass die Ausgangskonzentration (TM) an alpha-Linolensäure in den Flüssigeiern der Charge 4 mit $0,8 \pm 0,0$ g/100 g (Linolensäure) signifikant niedriger ($p < 0,05$) lag als jene von Charge 2, die einen alpha-Linolensäure-Gehalt von $0,9 \pm 0,0$ g/100 g aufwies.

In einigen Lehrbüchern, wie jenem von Stadelman und Cotterill, wurden die Gehalte des Eipulvers oftmals nur anhand des Trocknungsfaktors berechnet und nicht experimentell bestimmt [86]. Daher spiegeln diese Werte nicht immer die Realität wider, in der es durch die Weiterverarbeitungsschritte durchaus zu unterschiedlich hohen Verlusten kommen kann.

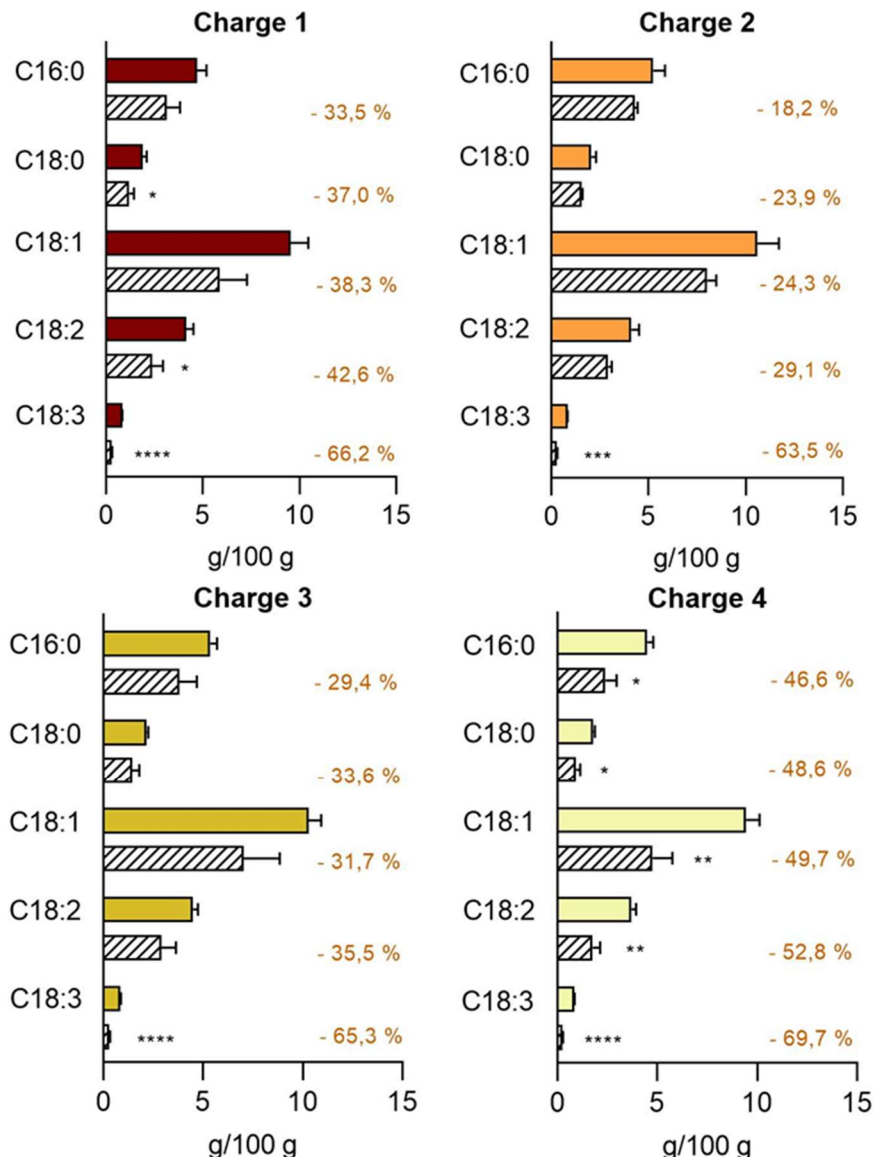


Abbildung 18 Fettsäure-Muster (TM) der Flüssigeier im Vergleich zu sprühgetrocknetem Eipulver (Charge 1-4).

Die farbigen Balken stellen die Gehalte der Flüssigvolleiprodukte dar, die gemusterten Balken zeigen die Gehalte der jeweiligen Trockenprodukte. Die Angaben sind als MW $\pm$ SD (n=4) dargestellt. Ein signifikanter Unterschied der Trockeneiprobe zur Flüssigvolleiprobe des jeweiligen Parameters ist mit *, **, oder **** gekennzeichnet: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; **** $p \leq 0,0001$.

Eine zusätzliche statistische Auswertung, die die Höhe der jeweiligen Fettsäure-Verluste im Zuge der Sprühtrocknung zwischen den einzelnen Chargen untersuchte, ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Die **Abbildung 19** veranschaulicht die Absolutmengen an Fettsäuren, welche mit einem Frischei eines durchschnittlichen Gewichts von 55 g bzw. einer adequate Menge an Trockenei aufgenommen werden. Dabei wurde der in dieser Studie ermittelte Trocknungsfaktor von 3,28 herangezogen und somit eine Menge von 17 g Volleipulver berechnet. Eine Aufnahme von 55 g Frischei liefert durchschnittlich 6,1 g Fett, davon fallen

1,2 g auf gesättigte, 1,7 g auf einfach ungesättigte und in etwa 0,8 g auf mehrfach ungesättigte Fettsäuren. Die Menge von 0,8 g inkludiert 0,7 g Linolsäure sowie 0,1 g alpha-Linolensäure. Die Empfehlung für einen Erwachsenen, 2,5 % des Energiebedarfs durch Linol-, und 0,5 % des Energiebedarfs durch Linolensäure zu decken, kann mit einem Frischei (55 g) bereits zu je 11,0 % und 10,3 % gedeckt werden. Eine adequate Menge an Trockenei (17 g) enthält durchschnittlich 6,5 g Fett, davon fallen 0,8 g auf gesättigte, 1,2 g auf einfach ungesättigte, und 0,47 g auf mehrfach ungesättigte Fettsäuren, wobei letztere in etwa 0,42 g Linol- und 0,05 g alpha-Linolensäure inkludieren. Die Empfehlungen können somit zu je 6,6 % für Linol- und 3,9 % für Linolensäure gedeckt werden.

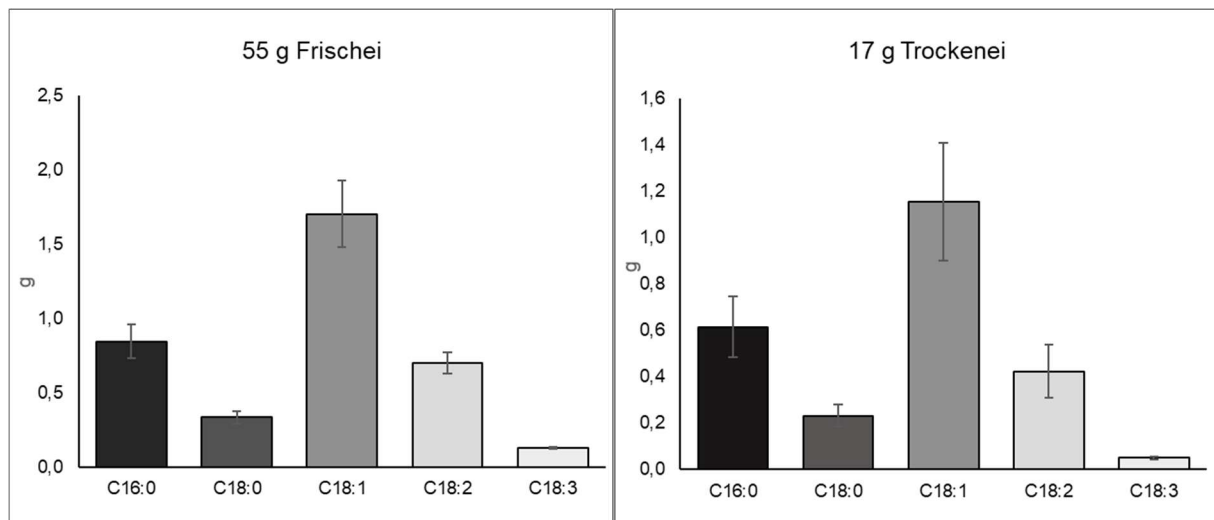


Abbildung 19 Fettsäure-Konzentrationen in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)

Die Angaben sind als $MW \pm SD$ ($n=16$) dargestellt.

Die tendenziell stärkere Abnahme der ungesättigten Fettsäuren im Vergleich zu den SFA im Zuge der Sprühtrocknung führte jedoch zu einer signifikanten Änderung des P/S Quotienten in allen vier Chargen (**Abbildung 16**). Während der P/S Quotient von Flüssiggeiern der Charge 1, 2, 3 und 4 bei jeweils $0,76 \pm 0,02$, $0,69 \pm 0,02$, $0,71 \pm 0,01$ und $0,72 \pm 0,01$ lag, sank dieser nach erfolgter Sprühtrocknung signifikant auf jeweils $0,62 \pm 0,00$ (Charge 1), $0,55 \pm 0,02$ (Charge 2), $0,61 \pm 0,00$ (Charge 3) und $0,61 \pm 0,02$ (Charge 4).

Da vor allem ungesättigte Fettsäuren gegenüber Lipidperoxidationsprozessen anfällig sind und deren Retention während der Sprühtrocknung auch von anderen Faktoren, wie etwa dem Ausgangsgehalt an Peroxiden oder dem Vorliegen von Antioxidantien, wie Vitamin E, abhängig ist, wurden dazu weitere Untersuchungen der Eiprobe vorgenommen.

4.3 Vitamin E

Tocopherole zeichnen sich vor allem durch ihre antioxidative Wirkung aus. Dabei können freie Radikale abgefangen werden, indem das Tocopherol ein Proton an das Radikal abgibt und somit selbst zu einem Tocopherylradikal wird. Dieses ist jedoch in der Regel weniger reaktiv als andere vorliegende freien Radikale. Mithilfe der beschriebenen Methode (HPLC-UV) konnten die Tocopherol-Homologe α -Tocopherol, γ -Tocopherol und δ -Tocopherol aufgetrennt sowie als Gesamt-Tocopherol berechnet werden.

4.3.1 Der Vitamin E-Gehalt von Flüssigvollei

Die Analyse der Flüssigvollei ergab einen mittleren Gesamt-Tocopherol-Gehalt von $12,7 \pm 1,1$ mg/100 g Frischgewicht in den flüssigen Eiprobe, welcher einem mittleren Gehalt von $41,3 \pm 2,5$ mg/100 g Trockenmasse entspricht. Den quantitativ größten Anteil machte dabei α -Tocopherol aus, wobei sich die Konzentrationen der Charge 1 ($22,37 \pm 0,80$ mg/100 g), Charge 2 ($21,11 \pm 0,29$ mg/100 g) und Charge 4 ($20,56 \pm 1,39$ mg/100 g) nicht signifikant voneinander unterschieden. Obwohl sowohl die Fütterung der Chargen 2 und 3 ident, als auch das Alter der Legehennen in etwa vergleichbar waren, war der α -Tocopherol-Gehalt von Flüssigeiern der Charge 3 mit $24,09 \pm 0,89$ mg/100 g FG signifikant höher als der in Charge 2 ermittelte Wert. Auch Flüssigeiprobe der Chargen 1 und 4 wiesen einen signifikant niedrigeren α -Tocopherol-Gehalt auf als Flüssigeier der Charge 3.

Die mittlere γ -Tocopherol-Konzentration von Flüssigeiern lag bei $3,87 \pm 0,32$ mg/100 g FG. Nach Berücksichtigung der jeweiligen Trockensubstanz ergab dies einen Gehalt zwischen $11,74 \pm 0,81$ - $13,27 \pm 1,02$ mg/100 g TM. Zwischen den vier Chargen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Analyse ergab außerdem geringere Mengen an δ -Tocopherol, wobei die Konzentration von $1,74 \pm 0,22$ mg/100 g FG bzw. $5,78 \pm 0,72$ mg/100 g TM von Charge 3 signifikant niedriger war als in den Eiern der Charge 2 und 4. Der Vergleich der Tocopherol-Gehalte in Flüssigvolleiern der Charge 1-4 ist in **Abbildung 20** dargestellt.

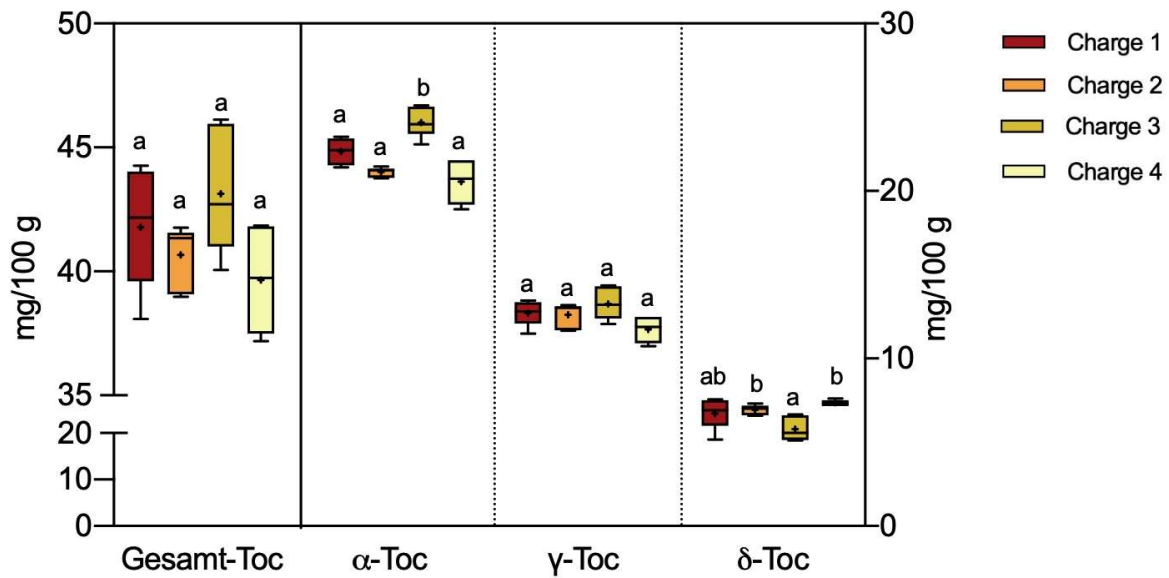


Abbildung 20 Tocopherol-Gehalt der Flüssigeier Charge 1-4 in mg/100 g TM.

Der Gesamt-Tocopherol-Gehalt in mg/100 g TM ist der linken, α , γ - und δ -Tocopherol-Gehalte sind der rechten Ordinatenachse zu entnehmen. Die Linie in den Boxplots stellt den Median der Messwerte dar, das Symbol + repräsentiert den jeweiligen Mittelwert ($n \geq 5$). Unterschiedliche Kleinbuchstaben in der jeweiligen Kategorie (Gesamt-Toc, α -Toc, γ -Toc, δ -Toc) zeigen eine statistische Signifikanz zwischen den Chargen ($p < 0,05$).

4.3.2 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Vitamin E-Gehalt

Wie aus der **Abbildung 21** hervorgeht, führte die Sprühtrocknung von Eiern vor allem zu einem Verlust von γ -Tocopherol in der Trockenmasse. Auf Trockenmasse bezogen ist eine signifikante Abnahme dieses Homologs von 17,9 %, 17,4 % und 13,6 % insbesondere bei Eiern der Charge 1, 2 und 4 erkennbar.

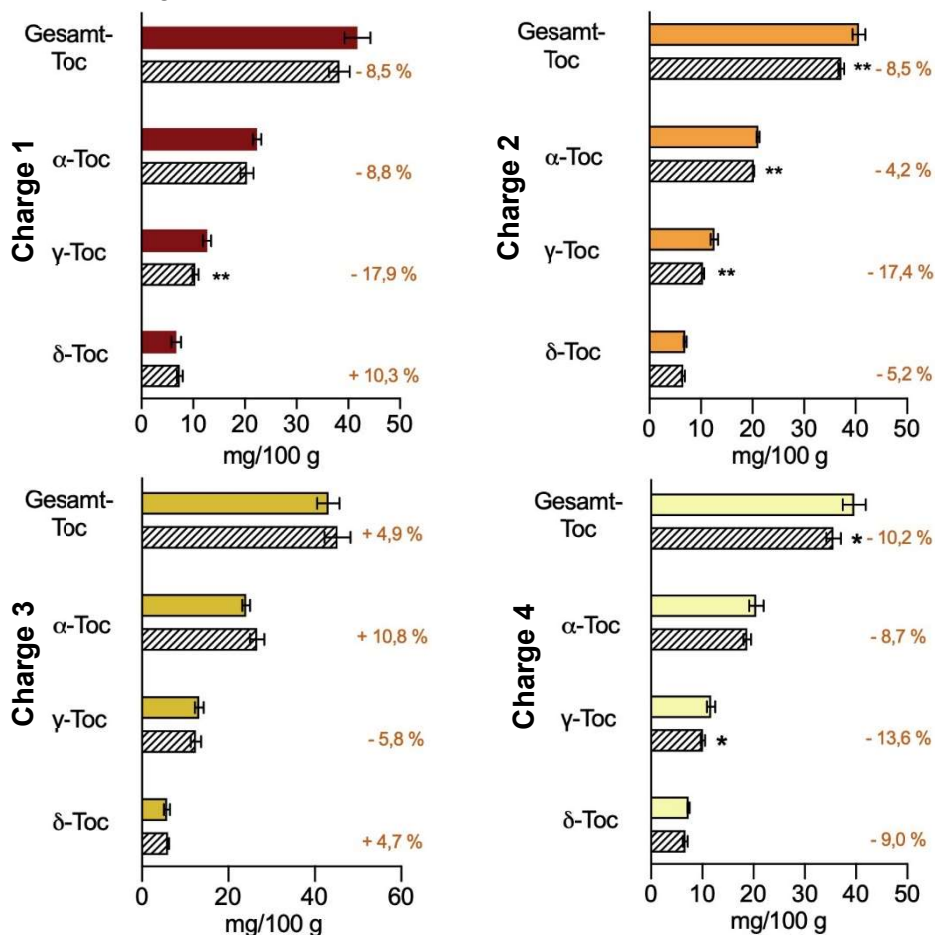


Abbildung 21 Vergleich der Tocopherol-Homologe zwischen Flüssigvollei und Volleipulver in mg/100 g TM

Die farbigen Balken stellen die Gehalte der Flüssigvolleiprodukte dar, die gemusterten Balken zeigen die Gehalte der jeweiligen Trockenprodukte. Die Angaben sind als $MW \pm SD$ ($n \geq 5$) dargestellt. Ein signifikanter Unterschied der Trockeneiprobe zur Flüssigvolleiprobe des jeweiligen Parameters ist mit * oder ** gekennzeichnet: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

Der Verlust von α -Tocopherol fiel dagegen mit 4,2 - 8,8 % etwas niedriger aus, wobei nur bei Eiern der Charge 2 eine Signifikanz gegeben war. Ein Vergleich des δ -Tocopherol-Gehalts innerhalb der einzelnen Chargen zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen Flüssigvollei und Volleipulver.

Vitamin E kann ungesättigte Fettsäuren vor Oxidation schützen, indem aus Tocopherol die entsprechenden Tocopherylradikale entstehen und Vitamin E somit stärker verbraucht wird. Obwohl bei Eiern der Charge 1 ein signifikant höherer P/S Quotient ermittelt wurde als auch

eine um 20 °C höhere Sprühtrocknungstemperatur (180 °C) zum Einsatz kam, wurden keine signifikant höheren Verluste an Vitamin E verglichen mit den anderen drei Chargen festgestellt.

In **Abbildung 22** wurde die Aufnahmemenge an Vitamin E bei einem Konsum von 55 g Frischei bzw. einer adequate Menge an Trockenei dargestellt. Dazu wurde der ermittelte durchschnittliche Trocknungsfaktor von 3,28 herangezogen und somit eine Menge von 17 g Trockenei berechnet. Ein Frischei mit einem durchschnittlichen Gewicht von 55 g liefert in etwa 3,7 mg α -, 2,1 mg γ - und 1,1 mg δ -Tocopherol, wogegen eine entsprechende Menge an Trockenei (17 g) 3,6 mg α -, 1,8 mg γ - und 1,1 mg δ -Tocopherol. Der Konsum eines Frischeis (55 g) deckt in etwa 30,5 % der wünschenswerten Vitamin E-Aufnahme von 14 mg Tocopheroläquivalente, während mit 17 g Trockenei 28,8 % der Empfehlung gedeckt werden können.

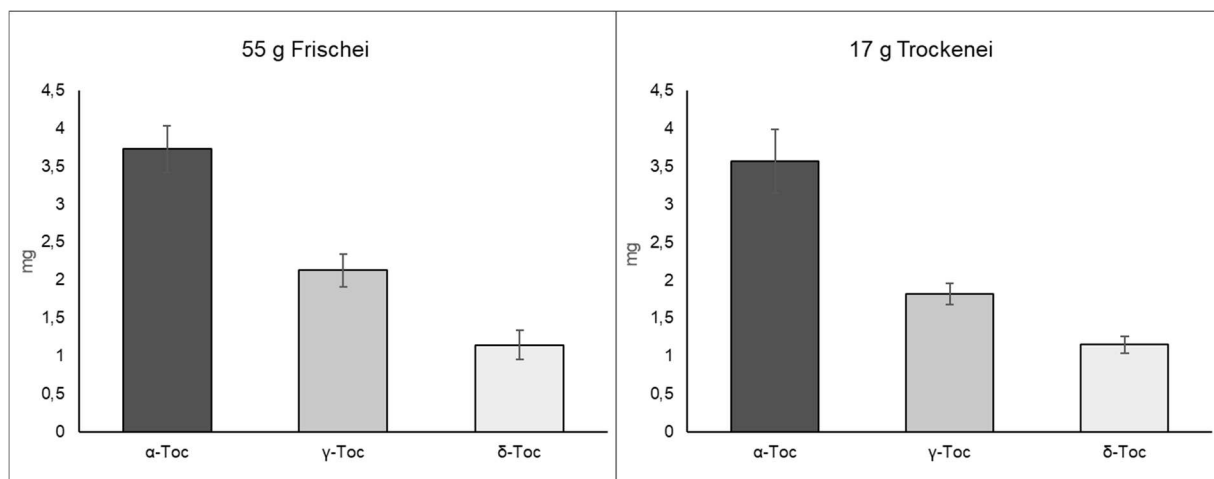


Abbildung 22 Vitamin E-Konzentration in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)

Die Angaben sind als $MW \pm SD$ ($n \geq 25$) dargestellt.

Die nachfolgende Tabelle (Tabelle 25) stellt eine Übersicht der Tocopherol-Gehalte sowohl bezogen auf das Frischgewicht als auch in Bezug auf die Trockenmasse dar. Die Umrechnung auf das Trockengewicht war notwendig, um einen Vergleich mit dem jeweiligen sprühgetrocknetem Produkt zu ziehen und die Auswirkungen der Sprühtrocknung auf die Tocopherol-Konzentration zu eruieren.

Tabelle 25 Vergleich der Vitamin E-Gehalte (in mg/100 g) zwischen Flüssig- und Trockenei

	100 g Flüssigei (FG)	100 g Flüssigei (TM)	100 g Volleipulver
GESAMT- TOCOPHEROL	12,83 ± 1,05	41,31 ± 2,45	38,47 ± 2,98
<i>Charge 1</i>	11,50 ± 0,87	41,79 ± 2,50 ^a	38,25 ± 2,00 ^x
<i>Charge 2</i>	13,49 ± 0,37	40,67 ± 1,27 ^a	37,23 ± 0,59 ^{x**}
<i>Charge 3</i>	12,97 ± 0,82	43,14 ± 2,58 ^a	45,24 ± 3,01 ^y
<i>Charge 4</i>	13,37 ± 0,74	39,65 ± 2,25 ^a	35,61 ± 1,40 ^{x*}
α-TOCOPHEROL	6,83 ± 0,51	22,03 ± 1,63	20,98 ± 2,48
<i>Charge 1</i>	6,15 ± 0,32	22,37 ± 0,80 ^a	20,41 ± 1,26 ^x
<i>Charge 2</i>	7,00 ± 0,64	21,11 ± 0,29 ^a	20,23 ± 0,06 ^{x**}
<i>Charge 3</i>	7,24 ± 0,29	24,09 ± 0,89 ^b	26,69 ± 1,66 ^y
<i>Charge 4</i>	6,93 ± 0,46	20,56 ± 1,39 ^a	18,78 ± 0,75 ^x
γ-TOCOPHEROL	3,87 ± 0,32	12,58 ± 0,96	10,69 ± 0,83
<i>Charge 1</i>	3,50 ± 0,27	12,70 ± 0,77 ^a	10,43 ± 0,61 ^{x**}
<i>Charge 2</i>	4,18 ± 0,22	12,61 ± 0,73 ^a	10,42 ± 0,23 ^{x**}
<i>Charge 3</i>	3,99 ± 0,32	13,27 ± 1,02 ^a	12,50 ± 1,22 ^y
<i>Charge 4</i>	3,96 ± 0,27	11,74 ± 0,81 ^a	10,14 ± 0,40 ^{x*}
δ-TOCOPHEROL	2,08 ± 0,36	6,65 ± 0,84	6,76 ± 0,68
<i>Charge 1</i>	1,85 ± 0,29	6,72 ± 0,57 ^{ab}	7,41 ± 0,57 ^x
<i>Charge 2</i>	2,30 ± 0,09	6,95 ± 0,28 ^b	6,59 ± 0,34 ^{xy}
<i>Charge 3</i>	1,74 ± 0,22	5,78 ± 0,72 ^a	6,05 ± 0,23 ^y
<i>Charge 4</i>	2,48 ± 0,06	7,35 ± 0,18 ^b	6,69 ± 0,46 ^{xy}

Angabe der Messergebnisse in MW ± SD (n ≥ 5). Verschiedene Kleinbuchstaben (Flüssigei: a,b; Trockenei: x,y) innerhalb einer Spalte zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied (p<0,05). Ein signifikanter Unterschied der Trockeneiprobe zur Flüssigvolleiprobe der jeweiligen Charge ist mit *, ** oder *** gekennzeichnet: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001.

Bereits publizierte Analysen über die Auswirkung des Sprühtrocknungsprozesses auf den Vitamin E-Gehalt in Eiern zeigten ein breites Spektrum an Ergebnissen. In der Analyse von Caboni et al. [71] konnte hinsichtlich α -Tocopherol kein signifikanter Unterschied zwischen pasteurisierten Flüssigeiern (20,4 mg/100 g TM) und sprühgetrockneten Eiern (20,3 mg/100 g TM) festgestellt werden. Allerdings wurde in dieser Publikation [71] kein Hinweis auf eine Vitamin E-Anreicherung des Futters gegeben. Ein fehlender oder geringerer Zusatz zum Futter könnte mitunter ein Grund für den etwas niedrigeren α -Tocopherol-Gehalt von pasteurisierten Eiern im Vergleich zu jenem in dieser Masterarbeit erzielten Gehalt von $22,03 \pm 1,63$ mg/100 g TM sein.

In der Studie von Galobart et al. [9] wurden hingegen Vitaminverluste durch den Prozess der Sprühtrocknung aufgezeigt, bei der vergleichbare Temperaturen wie in der vorliegenden Studie (160 °C Eingangs- bzw. 90 °C Ausgangstemperatur) herrschten. Der höchste Vitamin E-Verlust wurde in jenen Eiern gezeigt, bei denen die Hühner kein Vitamin E angereichertes Futter erhalten hatten. Im Vergleich zum rohen Flüssigei war der α -Tocopherol-Gehalt des sprühgetrockneten Eipulvers um 48,2 % niedriger. Wurden die Hühner mit 50 mg, 100 mg und 200 mg α -Tocopherylacetat/kg Futter gefüttert, betrug der α -Tocopherol-Verlust durch Sprühtrocknung nur mehr 37,7 %, 33,5 % und 31,1 % (**Tabelle 3**).

Die Messergebnisse der vorliegenden Masterarbeit, bei der 48 mg α -Tocopherylacetat/kg Futter zugesetzt wurden, zeigen allerdings sehr viel geringere Abnahmen (4,2 - 8,8 % bezogen auf TM) an α -Tocopherol. Dies könnte daran liegen, dass die Eier nach der Sprühtrocknung auf Trockeneis versendet und bis zur Analyse, ebenso wie die Flüssigeier, bei -80 °C gelagert wurden. Im Gegensatz dazu wurde das Volleipulver von Galobart et al. [9] bis zur Analyse bei Raumtemperatur in Glasgefäßen gelagert. Wie viele Tage genau zwischen Sprühtrocknung und Analyse lagen bzw. wie viel sauerstoffhaltiger Kopfraum in den verwendeten Glasgefäßen vorhanden war, konnte anhand der Publikation nicht ermittelt werden. Abgesehen von der Lichteinwirkung spielen weiters der Kontakt mit Sauerstoff sowie die Temperatur eine entscheidende Rolle bei der Vitamin E-Stabilität [87]. Etwas mehr als ein 10 %-iger Verlust an α - und γ -Tocopherol (TM), und damit mit den Ergebnissen dieser Masterarbeit vergleichbar, wurden in der Studie von Meynier et al. [72] beobachtet, bei dieser kam ebenso eine Temperatur von 160 °C zum Einsatz.

4.4 Vitamin A

4.4.1 Der Vitamin A-Gehalt von Flüssigvollei

Wie aus der **Abbildung 23** hervorgeht, gab es zwischen Eiern der Charge 1, 2 und 3 einen statistisch signifikanten Unterschied der mittleren Retinol-Gehalte, die bezogen auf die Trockenmasse jeweils Werte von $604,3 \pm 52,2 \mu\text{g}/100 \text{ g TM}$, $483,9 \pm 27,1 \mu\text{g}/100 \text{ g TM}$ und $668,5 \pm 27,1 \mu\text{g}/100 \text{ g TM}$ erreichten. Die Vitamin A-Konzentration von Eiern der Charge 4 lag mit $573,7 \pm 63,5 \mu\text{g}/100 \text{ g TM}$ im Bereich der drei anderen Chargen. Entgegen den Erwartungen unterschieden sich Eier der Charge 2 und 3, trotz einer einheitlichen Verwendung von Futtermittel 1 in allen Farmen, signifikant voneinander. Die Unterschiede der beiden Chargen könnten sich einerseits auf Ebene der Fütterung (unterschiedlich lange Lagerdauer) zurückführen lassen, andererseits aber auch das Resultat differierender Handhabungen während dem Eitransport und der Weiterverarbeitung sein. Für Eier der Charge 4 waren eine größere Anzahl an Farmen und Packstellen, hinter denen wiederum weitere Farmen steckten, involviert. Dadurch summierten sich hier die Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die Futtermittellagerung oder das Warenhandling. Gleiches galt für Eier aus Charge 1, die aus insgesamt 23 Legehennen-Farmen bezogen wurden.

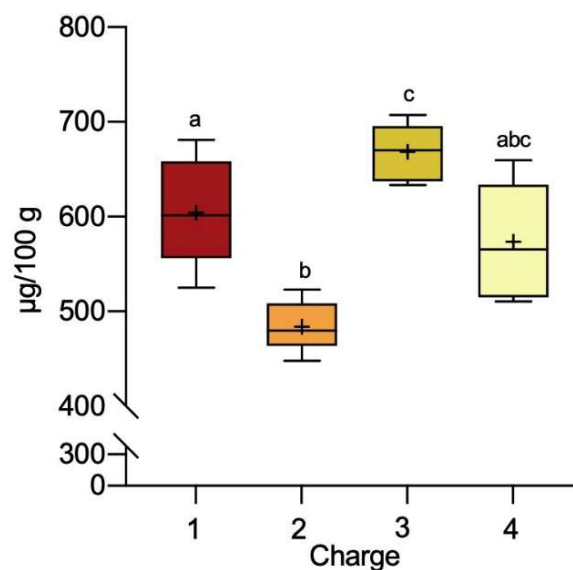


Abbildung 23 Vergleich des Retinol-Gehalts von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 in $\mu\text{g}/100 \text{ g TM}$.

Angabe der Daten in $MW \pm SD$ ($n \geq 5$); Die durchgehende Linie stellt den Median der jeweiligen Messwerte dar, das Symbol + beschreibt den Mittelwert. Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Chargen ($p < 0,05$).

Die hier ermittelten Retinol-Gehalte von durchschnittlich $177,4 \pm 21,3 \mu\text{g}/100 \text{ g FG}$ deckten sich mit jenen, die vom DHSC [31], der USDA [30] sowie von Miranda et al. [46] publiziert

Ergebnisse und Diskussion

wurden. Das DHSC [31] gab eine durchschnittliche Vitamin A-Konzentration von 120 µg/100 g im rohen Ei an, während Miranda et al. [46] einen Retinol-Gehalt von 227 µg/100 g FG notierte. Das USDA nannte wiederum einen mittleren Retinol-Gehalt im Frischei von 160 µg/100 g [30]. Bei diesen Werten ist von einer Standardfütterung ohne verstärkter Vitamin-Anreicherung auszugehen.

4.4.2 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Vitamin A-Gehalt

Wie in der **Abbildung 24** dargestellt wurde, bewirkte die Sprühtrocknung in drei von vier Chargen einen signifikanten Vitamin A-Verlust. Obwohl bei Charge 2, 3 und 4 jeweils eine gleiche Temperatur von 160 °C zur Anwendung kam, wurde eine unterschiedlich hohe Abnahme von Retinol mit jeweils 14,3 %, 21,3 % und 5,4 % ermittelt.

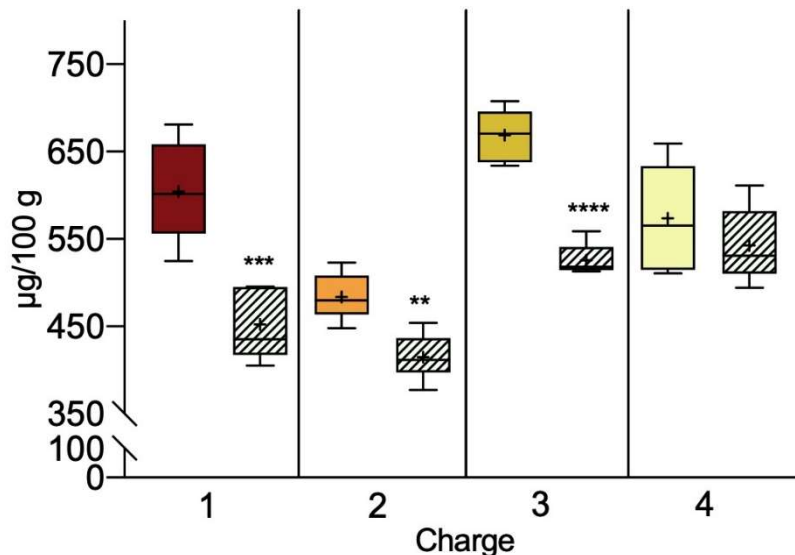


Abbildung 24 Vergleich der Retinol-Gehalte zwischen Flüssigvolleier und Volleipulver in µg/100 g TM

Die farbigen Balken stellen die Gehalte der Flüssigvolleiprodukte dar, die gemusterten Balken zeigen die Gehalte der jeweiligen Trockenprodukte. Die durchgehende Linie stellt den Median der jeweiligen Messwerte dar, das Symbol + beschreibt den Mittelwert ($n \geq 5$). Ein signifikanter Unterschied der Trockeneiprobe zur Flüssigvolleiprobe der jeweiligen Charge ist mit **, *** oder **** gekennzeichnet: ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; **** $p \leq 0,0001$.

Bei Eiern der Charge 4 konnte jedoch mit einem mittleren Unterschied von 5,4 % zwischen Flüssigvollei und Volleipulver keine statistisch signifikante Aussage getroffen werden. Eier der Charge 1 wurden im Gegensatz zu den Eiern der anderen Chargen nicht bei 160°C, sondern bei 180 °C sprühgetrocknet, was zu einer Retinol-Abnahme von 25,2 % führte und somit ähnlich zu jener in Charge 3 (21,3 %) war ($p = 0,99$). Die Streuung der Messwerte war bei Charge 1 maginal erhöht, was dazu führte, dass die statistische Signifikanz mit $p < 0,0001$ bei Charge 3 höher lag als bei Charge 1 ($p < 0,0003$). Die Vitamin A-Verluste der Chargen 1 und 3 hoben sich außerdem signifikant von jenen aus den Chargen 2 und 4 ab. Daraus war zu erkennen, dass Eier der Chargen 2 und 4 in Bezug auf Vitamin A am stabilsten gegenüber Sprühtrocknung waren. Diese Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass die Sprühtrocknung nicht alleinige Ursache für den Retinol-Verlust sein kann. Vielmehr gilt es, oxidationstreibende Faktoren, wie Sauerstoff oder Licht bereits auf Ebene der Futtermittel, als auch während dem Eitransport und der Lagerung zu minimieren.

Die **Abbildung 25** veranschaulicht die Menge an Retinol, welche mit einem 55 g schweren Frischei bzw. einer Menge von 17 g Trockenei aufgenommen wird. Während eine Menge von 55 g Frischei (FG) durchschnittlich 97,6 µg Retinol beinhaltet, kann durch die Aufnahme von 17 g Trockenei mit 81,0 µg ein ähnlich hoher Wert erzielt werden. Dadurch könnte die Empfehlung an Vitamin A für einen Erwachsenen (PAL 1,4) mit 850 µg/Tag zu je 11,5 % (Frischei) bzw. 9,5 % gedeckt werden.

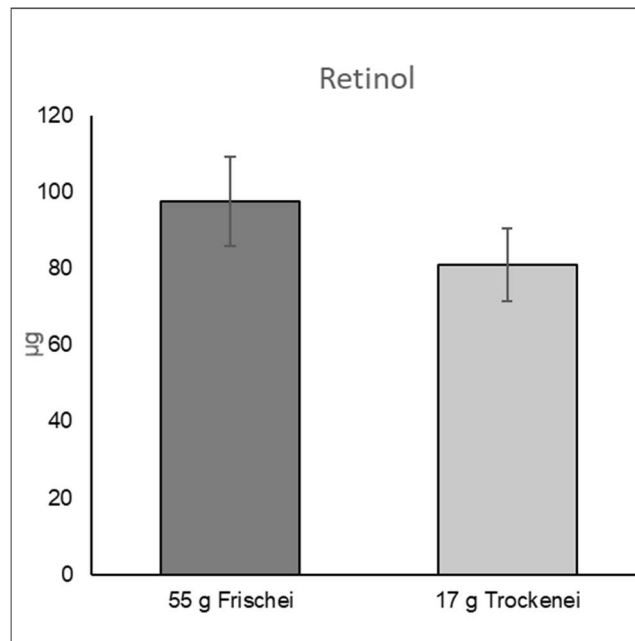


Abbildung 25 Retinol-Konzentration in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)

Die Angaben sind als $MW \pm SD$ ($n \geq 23$) dargestellt.

Ein Blick in die Literatur zeigt bis dato eine sehr limitierte Anzahl an Studien, welche die Auswirkungen der Weiterverarbeitung, insbesondere der Sprühtrocknung, auf den Vitamin A-Gehalt von Eiern untersuchte.

Die Analyse von Caboni et al. [71] ergab zwar einen gleich hohen Gesamt-Retinol-Gehalt von 510 µg/100 g TM in pasteurisierten sowie sprühgetrockneten Eiern, eine detailliertere Betrachtung zeigte jedoch eine trans-cis-Verschiebung des Retinols. Während pasteurisierte Eier einen Gehalt von 440 µg/100 g an all-trans-Retinol-Gehalt und 70 µg/100 g an cis-Retinol aufwiesen, verschob sich dies im sprühgetrockneten Eiern auf 420 µg/100 g all-trans-Retinol und 90 µg/100 g cis-Retinol. In dieser Publikation wurde darauf hingewiesen, dass eine quantitativ nachweisbare Menge an cis-Retinol Isomeren im rohen Ei eher unüblich ist und dies vermutlich auf Unterschiede in der Metabolisierung der Hühnerrasse und / oder auf Vorkommen im Futtermittel zurückzuführen sei. Da in der Studie von Caboni et al. [71] weder die Nährwerte im Futtermittel noch die angewendete Sprühtrocknungstemperatur angegeben

waren, war ein direkter Vergleich mit den in dieser Masterarbeit erzielten Messergebnisse nur bedingt möglich.

Neben dem Vergleich von Flüssig- und sprühgetrockneten Eiern fokussierten sich Caboni et al. [71] auch auf den Einfluss von unterschiedlichen Lagertemperaturen auf den Vitamin-Gehalt des Eipulvers. Die Studie zeigte, dass eine einjährige Lagerung des Eipulvers bei 4 °C zu keiner signifikanten Abnahme des all-trans-Retinols auf 380 µg/100 g TM führte. Im Gegensatz dazu bewirkte jedoch die Lagerung bei 20 °C im selben Zeitraum eine Senkung auf 170 µg/100 g TM [71]. Diese Ergebnisse machten deutlich, dass die anschließende Lagertemperatur des Eipulvers durchaus relevant für den Erhalt von Vitamin A ist. Obwohl die Haltbarkeit von Trockenei gegenüber frischem Ei definitiv länger ist, sollte trotzdem ein zeitnaher Konsum angestrebt werden, um einen zu hohen Verlust an Vitamin A zu vermeiden.

4.5 Carotinoide

4.5.1 Der Carotinoid-Gehalt von Flüssigvollei

In **Abbildung 26** wurde der mittlere Carotinoid-Gehalt aller Flüssigvolleier dargestellt, wobei Charge 3 einen niedrigeren Lutein-Gehalt als die anderen Chargen aufwies. Dieser Unterschied war jedoch nur zwischen Charge 1 mit jeweils $2,31 \pm 0,08$ mg/100 g TM Lutein bzw. $1,25 \pm 0,06$ mg/100 g TM Zeaxanthin und Charge 3 mit je $1,68 \pm 0,18$ mg/100 g TM Lutein sowie $0,86 \pm 0,08$ mg/100 g TM Zeaxanthin statistisch signifikant. Obwohl die Gehalte an Lutein und Zeaxanthin in Charge 2 mit jeweils 1,96 mg/100 g TM bzw. 1,00 mg/100 g TM ebenso etwas niedriger lagen als jene Werte von Charge 1 und 4, war die Abweichung dennoch nicht signifikant.

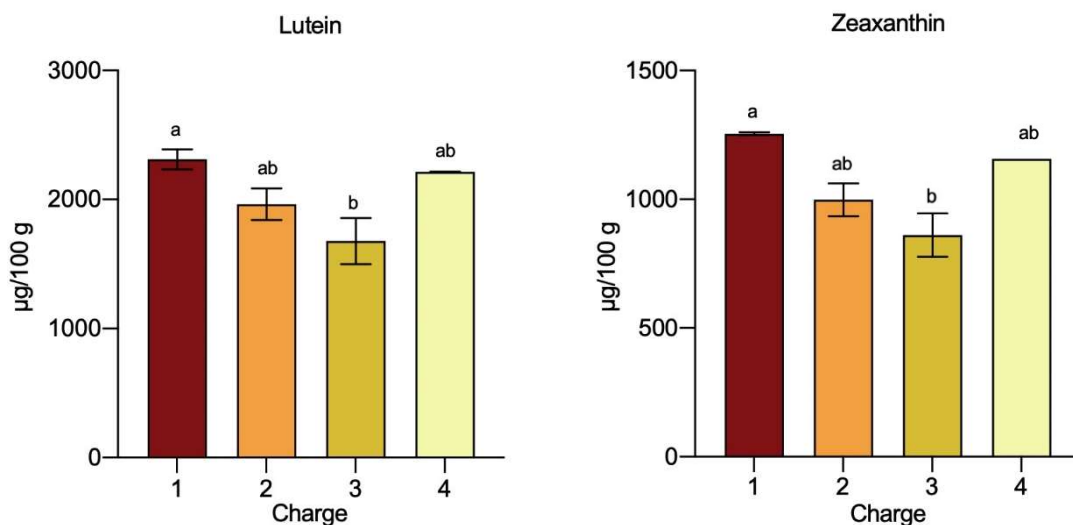


Abbildung 26 Lutein- und Zeaxanthin-Gehalt in Flüssigvolleiern in µg/100 g TM

Die Angaben sind als MW ± SD (n≥2) dargestellt. Verschiedene Kleinbuchstaben zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0,05$).

Mais stellte in fast allen Futtermittelmischungen (Futter 2-4), die im Zuge dieser Masterarbeit eingesetzt wurden, die Haupteintragsquelle der beiden Xanthophylle dar. Zu Futter 1 hingegen wurde kein Mais beigemischt (**Tabelle 7**). Durch die zum Teil unterschiedliche Fütterung der Legehennen ergab sich für Charge 1 und 4 ein Mais-Anteil von jeweils 3,1 % und 5,6 % des Futters. Da die Eier der Charge 2 und 3 von Legehennen stammten, welche ausschließlich Futter 1 erhalten hatten, war bei der finalen Carotinoid-Konzentration generell zu erwarten, dass diese niedriger Werte aufwiesen als jene der Charge 1 und 4. Für detailliertere Aussagen wäre es jedoch sinnvoll, auch das Futtermittel auf den jeweiligen Carotinoid-Gehalt zu untersuchen.

Ein Vergleich mit vorangegangenen Analysen zeigt für frische, unverarbeitete Eier bereits ein breites Spektrum an Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen.

Aus der Datenbank des USDA geht hervor, dass Lutein und Zeaxanthin mit 503 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ den größten Anteil der Carotinoide in Eiern darstellen [30]. Während hier keine genaue Aufschlüsselung der Xanthophylle ersichtlich ist, konnte in der Studie von Wenzel et al. [63] zwischen Lutein ($164,9 \pm 3,2\text{ }\mu\text{g}/100\text{ g FG}$) und Zeaxanthin ($102,4 \pm 1,9\text{ }\mu\text{g}/100\text{ g FG}$) differenziert werden. Unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Aufkonzentrierungsfaktors von 3,28, welcher im Zuge der vorliegenden Masterarbeit durch Sprühtrocknung ermittelt wurde, würde dies eine Lutein- und Zeaxanthin-Konzentration von jeweils $541,2 \pm 10,6\text{ }\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ und $335,9 \pm 6,1\text{ }\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ ergeben. Im Vergleich zu den Resultaten von Wenzel et al. [63] lagen die Carotinoid-Gehalte der Eier aller in vorliegender Arbeit untersuchten vier Chargen mit 1,68 - 2,31 mg/100 g (Lutein) und 0,86 - 1,25 mg/100 g (Zeaxanthin) deutlich höher. Vergleichbar hohe Gehalte an Lutein (288 $\mu\text{g}/100\text{ g FG}$) und Zeaxanthin (279 $\mu\text{g}/100\text{ g FG}$) wurden in der Analyse von Perry et al. [88] beobachtet, wobei davon auszugehen ist, dass sich das Hühnerfutter zu einem sehr hohen Anteil aus Mais zusammensetzte. Eine Umrechnung auf die Trockenmasse würde dementsprechend 945 $\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ an Lutein und 915 $\mu\text{g}/100\text{ g TM}$ an Zeaxanthin ergeben.

Auch Schlatterer und Breithaupt [62] gaben Lutein und Zeaxanthin als die dominierenden Carotinoide mit Konzentrationen von 1,27 - 2,48 mg/100 g TM Eidotter und 0,78 - 1,29 mg/100 g TM Eidotter bei Bio-Freilandhaltung an. Eine Umrechnung auf Gesamtei mit der Annahme dass der Eidotter in etwa 30 % vom Gesamtgewicht ausmacht und der Berücksichtigung eines Aufkonzentrierungsfaktors von 3,28 würde dies eine Lutein-Konzentration zwischen 1,25 - 2,44 mg/100 g TM und einen Gehalt von 0,76 - 1,27 mg/100 g TM an Zeaxanthin ergeben [62]. Diese Werte waren vergleichbar mit der in dieser Studie ermittelten Xanthophyll-Gehalte.

Bei keinen der oben erwähnten Analysen war ein Hinweis auf eine Anreicherung dieser Xanthophylle im Futtermittel gegeben. Der Zusatz von Lutein und Zeaxanthin zum Hühnerfutter ist jedoch aufgrund des Kostenfaktors auch eher unüblich, stattdessen werden hauptsächlich synthetische Carotinoide, beispielsweise Canthaxanthin als roter Pigmentfarbstoff oder Beta-apo-carotenalsäureethylester zum Futter hinzugemischt. Auch bei den Futtermischungen 1-4, welche im Zuge dieses Projektes verwendet wurden, fand ein Zusatz von je 2,5 mg/kg an Canthaxanthin sowie 2,5 mg/kg an Beta-apo-carotenalsäureethylester statt.

4.5.2 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Carotinoid-Gehalt

Die Auswirkungen der Sprühtrocknung auf den Carotinoid-Gehalt wurden in Abbildung 27 dargestellt. In keiner der untersuchten Chargen konnte eine signifikante Veränderung der Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen nach Sprühtrocknung festgestellt werden. Trockeneier aus Charge 4 wiesen zwar mit $2,61 \pm 0,26$ mg/100 g (TM) eine um 17,9 % höhere Lutein-Konzentration als in dem jeweiligen flüssigen Pendant auf, diese war jedoch von nicht signifikanter Bedeutung ($p > 0,9$). Ähnliches wurde auch für Zeaxanthin festgestellt, welches sowohl in Charge 4 ($1,38 \pm 0,06$ mg/100 g TM) als auch in Charge 2 ($1,03 \pm 0,09$ mg/100 g TM) im Vergleich zu den Flüssigvolleiern anstieg, aber dennoch keine Signifikanz erreichte ($p > 0,2$). Die in Charge 1 angewendete Sprühtrocknungstemperatur von 180 °C bewirkte zwar um 19,6 % bzw. 25,0 % geringere Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen als im Flüssigprodukt, doch dabei konnte wiederum keine statistische Signifikanz erreicht werden.

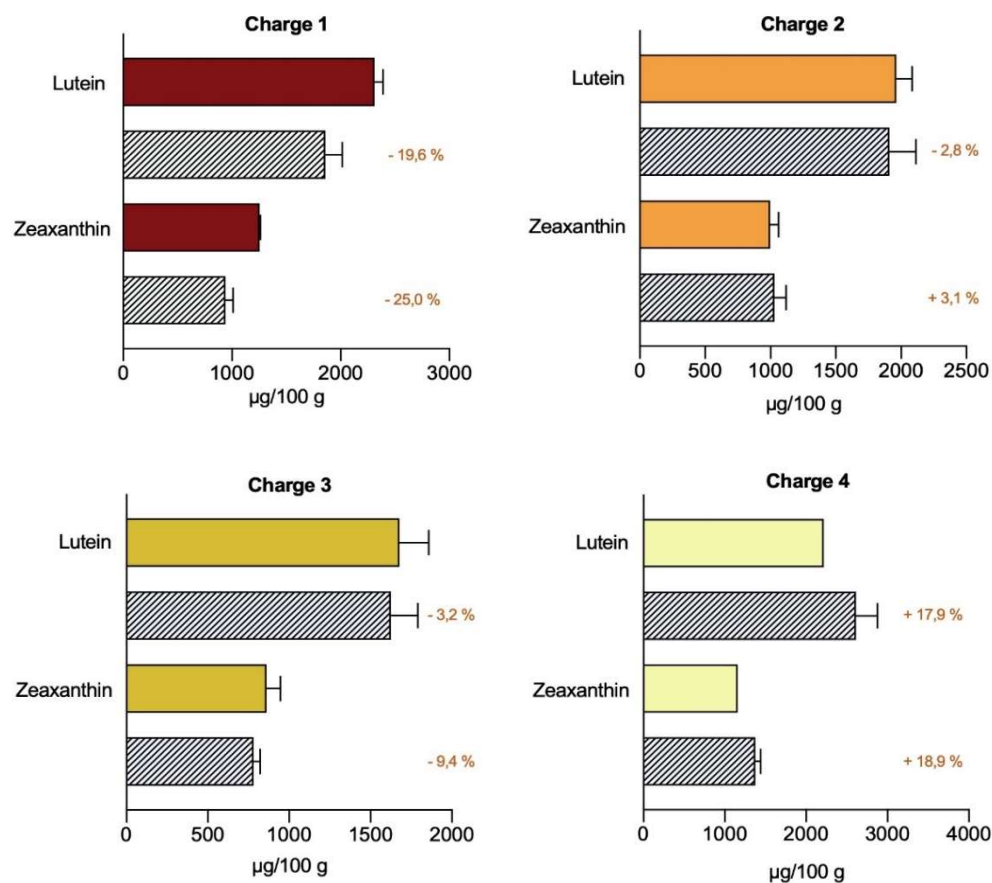


Abbildung 27 Vergleich der Lutein- und Zeaxanthin-Konzentration von Flüssigvolleiern und Voleipulver in µg/100 g TM

Die farbigen Balken stellen die Gehalte der Flüssigvolleiprodukte dar, die gemusterten Balken zeigen die Gehalte der jeweiligen Trockenprodukte. Die Angaben sind als MW ± SD ($n \geq 2$) dargestellt.

Vorangegangene Studien kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen und Schlussfolgerungen, was die Auswirkung von Sprühtrocknung auf Carotinoid-Gehalte von sprühgetrockneten Eiern betrifft.

Eine Temperatur von 61,5 °C und eine Pasteurisierungsdauer von 3,5 Minuten bewirkten in der Studie von Wenzel et al. [63] keine signifikante Änderungen der Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen. Nach Sprühtrocknung bei 72 °C wurden jedoch signifikant höhere Xanthophyll-Gehalte ermittelt. Lutein und Zeaxanthin stiegen jeweils von $164,9 \pm 3,2 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ (FG) Vollei auf $210,4 \pm 8,2 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ (FG) Trockenei und von $102,4 \pm 1,9 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ Vollei (FG) auf $128,9 \pm 6,7 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ (FG) Trockenei an. Die Autoren begründeten dieses Ergebnis mit der durch Hitzeeinwirkung verursachten Strukturentfaltung der Lipoproteine und Destabilisierung der Zellmatrix. Die Lipide der Lipoproteine, welche mit Lutein und Zeaxanthin assoziiert sind, können dadurch abgespalten und die Extrahierbarkeit der Xanthophylle somit erhöht werden. Im Vergleich zu anderen Studien, wie etwa jener von Caboni et al. [71], wurde jedoch mit 72 °C eine für die Sprühtrocknung untypisch niedrige Temperatur gewählt. Dies könnte mitunter ein Grund dafür sein, dass es zu einer weitgehenden Retention der Carotinoide kam. Angaben über die Dauer der Sprühtrocknung oder sonstigen Bedingungen während der Verarbeitung fehlten.

Eine andere Studie von Meynier et al. [72] konnte in Eiern einer Kontrollgruppe der Hühner, bei der keine nennenswerte Futtermittel-Anreicherung stattgefunden hatte, keine Auswirkung der Pasteurisierung auf den Lutein- und Zeaxanthin-Gehalt feststellen. Die Konzentrationen lagen nach Pasteurisierung bei jeweils $5,7 \pm 0,3 \mu\text{g/g}$ Fett (Lutein) sowie $0,5 \pm 0,1 \mu\text{g/g}$ Fett (Zeaxanthin).

Hühner in einer Testgruppe dieser Studie wurden zusätzlich mit extrudierten Leinsamen, die reich an n-3 Fettsäuren sind, gefüttert. Genaue Mengenangaben zur Anreicherung bzw. die Zusammensetzung der Diät wurden in der Studie jedoch nicht angegeben. Die höhere Carotinoid-Konzentration von $35,7 \pm 3,6 \mu\text{g/g}$ Fett (Lutein) und $14,9 \pm 1,7 \mu\text{g/g}$ Fett (Zeaxanthin) im Eidotter der Testgruppe ließ jedoch darauf schließen, dass auch diese beiden Substanzen dem Futter zugesetzt worden waren. Während es bei Eiern der Kontrollgruppe im Zuge der Pasteurisierung zu keiner Änderung der Carotinoide kam, sank die Konzentration in den Eiern der Testgruppe auf $26,3 \pm 3,1 \mu\text{g/g}$ Fett (Lutein) und $9,2 \pm 0,2 \mu\text{g/g}$ Fett (Zeaxanthin) ab. Wurde eine höhere Temperatur von 160 °C bzw. 180 °C eingesetzt, wurden sowohl in der Test- als auch in der Kontrollgruppe Verluste verzeichnet. Der stärkste Abbau war jedoch ebenso in den Eiern der Testgruppe zu beobachten, wobei der Lutein-Gehalt von $35 \mu\text{g/g}$ Fett in frischem Eidotter auf $26 \mu\text{g/g}$ Fett im pasteurisierten und weiter auf $20 \mu\text{g/g}$ Fett im sprühgetrockneten Eidotter abfiel. Eine Erklärung für den Abbau der Xanthophylle könnte auf der einen Seite womöglich in ihrer schützenden Funktion vor Lipidoxidation liegen – die gleichzeitig niedrigen Gehalte an konjugierten Dienen bzw. Malondialdehyd (MDA) ließen

diese Schlussfolgerung zu [72]. Auf der anderen Seite aber könnten auch die Tocopherole für diese antioxidative Wirkung verantwortlich sein.

Wie auch Meynier et al. [72] kein Unterschied nach Anwendung einer Sprühtrocknungstemperatur von 160 °C bzw. 180 °C feststellen konnten, wurde in der vorliegenden Masterarbeit ebenfalls keine statistische Signifikanz hinsichtlich des Lutein- bzw. Zeaxanthin-Verlusts gezeigt. Bei den Chargen 2, 3 und 4, die alle bei 160 °C sprühgetrocknet wurden, kam es außerdem zu unterschiedlichen Effekten. Einerseits konnte nach Hitzeeinwirkung ein höherer Gehalt (vor allem bei Charge 4), andererseits auch eine geringe Abnahme der Xanthophylle gezeigt werden. Um in zukünftigen Studien konkrete Aussagen treffen zu können, sollten hierbei interne Standards miteinbezogen sowie eine höhere Anzahl an Messungen vorgenommen werden.

In **Abbildung 28** wurde die Menge an Carotinoiden, welche mit einem 55 g schweren Frischei (FG) bzw. einer Menge von 17 g Trockenei aufgenommen werden, gegenübergestellt. Während der Konsum von 55 g Frischei (FG) durchschnittlich 341 µg Lutein und 178 µg Zeaxanthin liefert, kann durch die Aufnahme von 17 g Trockenei mit 340,0 µg Lutein und 175 µg Zeaxanthin ein ähnlich hoher Wert erzielt werden.

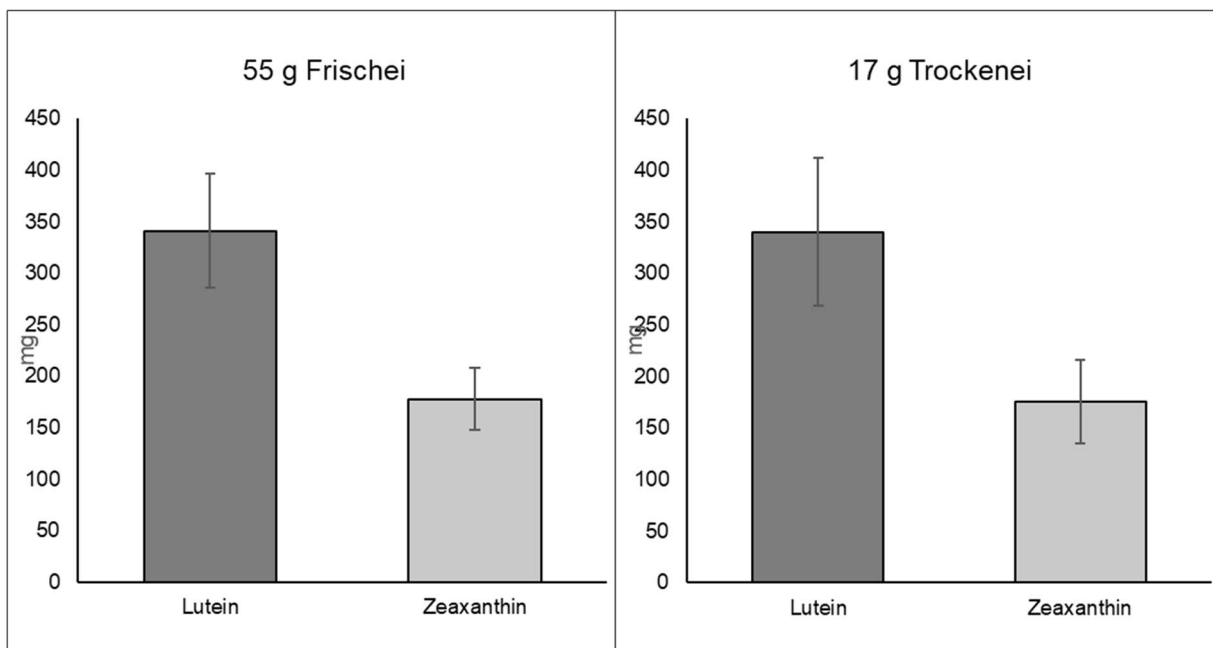


Abbildung 28 Carotinoid-Konzentrationen in 55 g Frischei und 17 g Trockenei (FG)

Die Angaben sind als $MW \pm SD$ ($n=8$) dargestellt.

4.6 Peroxidzahl

4.6.1 Der Peroxid-Gehalt von Flüssigvollei

Für Öl oder reine Fette gilt eine Peroxidzahl von $<10 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$, bei nativem Olivenöl gelten sogar Werte $<20 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$ noch als akzeptabel, während ein höherer Wert das Voranschreiten der Oxidation darstellt [68]. Da es sich auch bei Eiern um eine Quelle für Nahrungsfett handelt, wurde dieser Wert in der vorliegenden Masterarbeit ebenso als Bezugspunkt für die Lipidoxidation herangezogen.

In den vier Chargen konnte ein durchschnittlicher Peroxid-Gehalt von $1,05 \pm 0,20 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$ ($n=19$) ermittelt werden (**Abbildung 29**). Ein signifikanter Unterschied war lediglich zwischen dem geringsten Peroxid-Gehalt von $0,88 \pm 0,10 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$ (Charge 2) und dem höchsten Peroxid-Gehalt von $1,26 \pm 0,04 \text{ meq O}_2/\text{kg Fett}$ (Charge 4) feststellbar.

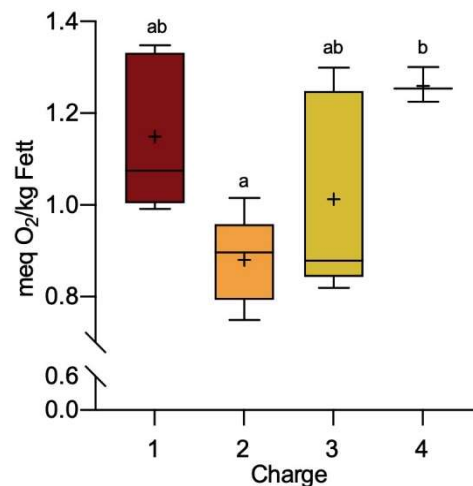


Abbildung 29 Vergleich der Peroxidzahl in $\text{meq O}_2/\text{kg Fett}$ zwischen Flüssigeiern der Charge 1-4

Angabe der Messwerte in $\text{MW} \pm \text{SD}$ ($n \geq 2$). Die durchgehende Linie stellt den Median der jeweiligen Messreihe dar, der Mittelwert ist in Form des Symbols + dargestellt. Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied der Chargen ($p < 0,05$).

4.6.2 Der Einfluss der Sprühtrocknung auf den Peroxid-Gehalt

Durch die Sprühtrocknung kam es zu einem signifikanten Anstieg der mittleren Peroxidzahl von $1,05 \pm 0,20$ meq O_2 /kg Fett auf $1,73 \pm 0,12$ meq O_2 /kg Fett ($n=9$, $p<0,001$). Werden die Ergebnisse der vier Chargen einzeln betrachtet, so lagen auch beim Volleipulver der Chargen 1, 2 und 3 die Peroxidzahlen mit jeweils $1,82 \pm 0,05$ meq O_2 /kg Fett; $1,60 \pm 0,07$ meq O_2 /kg Fett und $1,68 \pm 0,12$ meq O_2 /kg Fett signifikant höher als im jeweiligen Flüssigvollei mit $1,15 \pm 0,17$, $0,88 \pm 0,10$ und $1,01 \pm 0,22$ meq O_2 /kg Fett. Obwohl bei Charge 1 eine höhere Temperatur ($180^\circ C$) im Zuge der Sprühtrocknung angewendet wurde, kam es bei Charge 2 und 3 prozentual gesehen zu einem höheren Anstieg der Peroxidzahl (**Abbildung 30**).

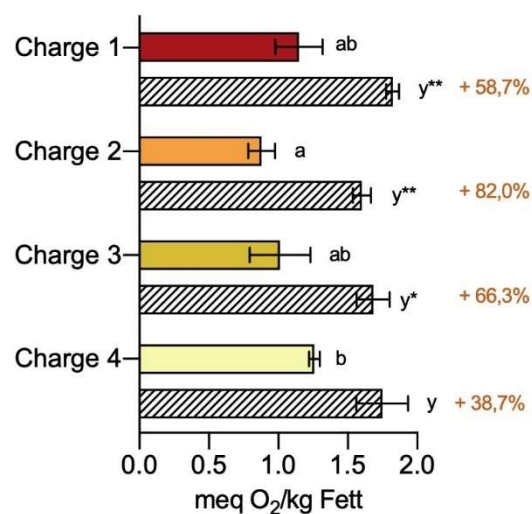


Abbildung 30 Vergleich der Peroxidzahl zwischen Flüssigvollei und Volleipulver in meq O_2 /kg Fett

Angabe der Ergebnisse in $MW \pm SD$ ($n \geq 2$). Unterschiedliche Kleinbuchstaben der Flüssigvolleier (a,b) sowie unterschiedliche Kleinbuchstaben der Trockeneier (y,z) zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied, wobei * $p < 0,05$ und ** $p < 0,01$ bedeutet.

Statistisch gesehen war die Veränderung der Peroxidzahl durch Sprühtrocknung in allen Chargen ähnlich. Die Frage, warum nur bei Eiern aus Charge 4 kein signifikanter Anstieg verzeichnet wurde, könnte mit einer größeren Streuung der Meßwerte und dem bereits höheren Ausgangslevel im Flüssigprodukt beantwortet werden. Letzteres erlangte jedoch nur im Vergleich zur niedrigsten Peroxidzahl (Charge 2) signifikante Bedeutung. Bei einem höheren Ausgangslevel wäre es denkbar, dass ein Teil der Peroxide bereits zu sekundären Lipidoxidsprodukten wie Aldehyde und Ketone weiterreagierte. Um konkrete Aussagen darüber tätigen zu können, sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Als Ursache für die Peroxidbildung bei Trockeneiern wurde in der Studie von Galobart et al. [9] vor allem die Hitzeeinwirkung genannt. Die größere Oberfläche des Eipulvers bietet außerdem eine gute Angriffsfläche gegenüber dem Sauerstoff und kann so während der

Lagerung die Radikalkettenreaktion starten bzw. lässt sie schneller voranschreiten. Deshalb wurde speziell beim Abfüllen der Eiprobe darauf geachtet, im Probengefäß so wenig Kopfraum wie möglich zu lassen. Um weitere Einflussfaktoren, wie etwa die Lagerung, zu minimieren, wurde die Peroxidanalyse als erster Parameter sowohl bei Flüssig- als auch bei Trockeneiern durchgeführt.

Das untersuchte Eipulver in der Studie von Koç et al. [75] wiesen mit 0,320 - 0,799 meq O₂/kg Fett geringere Peroxid-Gehalte auf als die in der vorliegenden Studie untersuchten Eiprobe. Es ist jedoch anzumerken, dass die Peroxidzahl durch eine andere Analyseverfahren, der offiziellen Methode nach Wheeler AOAC 2000 [89] ermittelt wurde. Die Methode nach Wheeler würde eine Menge von etwa 5 g an extrahierten Fett erfordern. Da das Hühnerei einen Fettgehalt von etwa 10 g/100 g aufweist und somit eine größere Probenmenge erforderlich gewesen wäre, um genug Fett extrahieren zu können, wurde die Peroxidzahl mit dem FOX-Assay bestimmt. Außerdem fehlte in Koç et al. [75] ein Vergleich zu Flüssigeiprobe sowie ein Hinweis auf die Fütterung der Hühner. Diese Studie beschäftigte sich im Allgemeinen damit, den Prozess der Sprühtrocknung zu optimieren, indem die funktionellen Eigenschaften im Eipulver so gut wie möglich erhalten blieben und die Peroxidzahl gering gehalten wurde [75]. In dieser Studie konnte außerdem gezeigt werden, dass die Outlet-Temperatur einen signifikanten Einfluss auf die Peroxidzahl hat. Die geringste Peroxidzahl von 0,320 meq O₂/kg Fett konnte mit 180 °C Eingangs-, 60 °C Ausgangstemperatur und einem Atomisierungsdruck von 392 kPa erzielt werden [75]. Um eine klare Empfehlung der Temperaturbedingungen abgeben zu können, ist es jedoch notwendig auch andere Parameter, wie etwa die Veränderungen der Konzentrationen von Antioxidantien in kontrollierten Studien zu überwachen.

5 Schlussbetrachtung und Ausblick

Im Rahmen dieser Studie wurde eine umfangreiche Nährwertanalyse von pasteurisierten und sprühgetrockneten Hühnervolleiern durchgeführt. Die vorliegende Masterarbeit konzentrierte sich im Speziellen auf die Analyse des Fettgehalts und der Fettsäure-Verteilung, der fettlöslichen Vitamine A und E sowie auf die Carotinoide Lutein und Zeaxanthin. Außerdem wurde die Peroxidzahl ermittelt, um den Fortschritt der Lipidoxidation zu eruieren. Der Vergleich des Nährwertprofils von pasteurisierten mit jenem von sprühgetrockneten Eiern zielte darauf ab, die Frage zu klären, ob Volleipulver als Zusatz zu fettbasierter Ergänzungsnahrung geeignet sein könnte oder ob ein solcher Zusatz aufgrund möglicher Nährstoffverluste im Zuge der Sprühtrocknung als weniger geeignet einzustufen wäre. Durch die unterschiedlich hohe Sprühtrocknungstemperaturen, die bei den Eiern der Charge 1 (180 °C) und bei denen der Chargen 2-4 (160 °C) zur Anwendung kamen, konnten außerdem Rückschlüsse gezogen werden, ob sich eine Temperaturdifferenz von 20 °C auf die hier analysierten Nährstoffe auswirkte.

Die zunächst erfolgte Bestimmung des Fettgehalts von Flüssigvolleiern ergab eine Konzentration von $10,6 \pm 1,1$ – $11,6 \pm 1,7$ g/100 g FG bzw. $33,8 \pm 1,7$ - $38,5 \pm 4,3$ g/100 g TM, wobei zwischen den einzelnen Chargen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Diese Ergebnisse stimmen mit den entsprechenden Angaben im SFK für pasteurisierte Eier (11,4 g/100 g FG) überein. Nach der Sprühtrocknung ergaben sich Gesamtfettgehalte von $35,8 \pm 1,2$ für Charge 4 bis $40,5 \pm 0,3$ g/100 g TM für Charge 2. Auch diese Werte unterschieden sich nicht zwischen den einzelnen Chargen und liegen in einem vergleichbaren Bereich zu denen, die in der Studie von Akpinar-Bayizit et al. [83] mit 38,6 g/100 g TM publiziert wurden.

Unter näherer Betrachtung der Fettsäure-Verteilung war Ölsäure als einfach ungesättigte Fettsäure mit einem durchschnittlichen Gehalt von $10,0 \pm 1,0$ g/100 g TM in Eiern aller Chargen quantitativ dominierend. Bezogen auf den Gesamtfett-Gehalt lag der Ölsäure-Anteil zwischen 25,3-30,3 %. Neben Ölsäure wurden auch die Konzentrationen an Palmitin-, Stearin-, Linol- und Linolensäure erhoben. Das Ergebnis zeigte einen insgesamt höheren Anteil an SFA (19,4 %) im Vergleich zu PUFA (13,9 %). Palmitinsäure machte mit 12,5 - 15 % den höchsten Anteil der gesättigten Fettsäuren aus, während Stearinsäure einen Bereich von 5,0 - 5,9 % des Gesamtfett-Gehalts abdeckte. Die omega-6 Fettsäure Linolsäure war mit einer mittleren Konzentration von $4,5 \pm 0,4$ g/100 g TM vertreten, was umgerechnet einen Anteil von 11,0-12,1 % bezogen auf den Fettgehalt ausmachte. Auch die omega-3-Fettsäure alpha-Linolensäure konnte mit einem Anteil von 2,2-2,6 % der Gesamtfettsäuren bzw. mit einer durchschnittlichen Konzentration von $0,86 \pm 0,03$ g/100 g Vollei (TM) ermittelt werden.

Schlussbetrachtung und Ausblick

Die Eier der Chargen 2 und 3 erreichten mit jeweils $0,91 \pm 0,03$ g/100 g TM und $0,86 \pm 0,01$ g/100 g TM an alpha-Linolensäure signifikant höhere Konzentrationen als Eier der anderen beiden Chargen. Die Berechnung des P/S Quotienten lieferte Werte von jeweils 0,76 (Charge 1), 0,67 (Charge 2), 0,71 (Charge 3) und 0,72 (Charge 4), wobei sich Charge 1 signifikant von Charge 2 und 3 unterschied.

Nach Sprühtrocknung kam es bei allen Chargen zu einer signifikanten Abnahme des P/S-Quotienten auf jeweils 0,62 (Charge 1), 0,56 (Charge 2), 0,62 (Charge 3) und 0,61 (Charge 4). Ein Vergleich der Fettsäure-Verluste zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Chargen. Der Grund für den geringeren P/S-Quotienten nach Sprühtrocknung war der höhere Verlust der PUFA, wobei ebenso mit steigender Anzahl an Doppelbindungen ein höherer Konzentrations-Abfall erkennbar war. Am stärksten war alpha-Linolensäure betroffen, welche in allen Chargen nach Sprühtrocknung um mindestens 63,5 % niedriger lag als im flüssigen Produkt. Diese omega-3 Fettsäure ist durch ihren vergleichsweise hohen Grad an Ungesättigtheit anfälliger für Lipidperoxidation, welche unter anderem durch Hitzeeintrag begünstigt werden kann. Nichtsdestotrotz konnten auch auf Seiten der SFA beachtliche Verluste zwischen 18,2-48,6 % verzeichnet werden.

Anhand der in dieser Studie erzielten Ergebnisse können mit einem Konsum von 55 g Frischei (FG) in etwa 0,8 g an mehrfach ungesättigten Fettsäuren aufgenommen werden. Darauf entfallen 0,7 g auf Linolsäure und 0,1 g auf alpha-Linolensäure. Ausgehend von den Empfehlungen eines durchschnittlichen Erwachsenen (PAL 1,4), welche 2,5 % an Linol- und 0,5 % an alpha-Linolensäure vorgeben, könne dies damit zu je 11,0 und 10,3 % erfüllt werden. Eine entsprechende Menge an Volleipulver (17 g) würde mit 0,42 g (Linolsäure) und 0,15 g (alpha-Linolensäure) in etwa 6,6 % (Linolsäure) bzw. 3,9 % (alpha-Linolensäure) der wünschenswerten Aufnahme decken.

In allen verwendeten Futtermitteln wurde α -Tocopherylacetat in Höhe von 48 mg/kg Futter beigemischt, welches als natürliches Antioxidans agiert und so einen Schutz vor Lipidperoxidation bietet.

Die Untersuchung der Flüssigvolleier aller Chargen ergab einen mittleren Gesamt-Tocopherol-Gehalt von $12,7 \pm 1,1$ mg/100 g FG bzw. $41,3 \pm 2,5$ mg/100 g TM, der sich zwischen den Eiern der einzelnen Chargen nicht unterschied. Den größten Anteil der Tocopherole machte α -Tocopherol aus, welches im Konzentrationsbereich von $20,6 \pm 1,4$ – $24,1 \pm 0,9$ mg/100 g TM lag und in den Eiern der Charge 3 signifikant höher war als in den Proben der anderen Chargen.

In den untersuchten Flüssigvolleiprüben lag auch γ -Tocopherol in beachtlichem Ausmaß vor und erreichte unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Trocknungsfaktors von 3,28

Schlussbetrachtung und Ausblick

Gehalte zwischen $11,7 \pm 0,8$ – $13,4 \pm 1,0$ mg/100 g TM. Zusätzlich konnte δ -Tocopherol mit Konzentrationen zwischen $5,8 \pm 0,7$ und $7,4 \pm 0,2$ mg/100 g TM in pasteurisierten Flüssigvolleiern quantifiziert werden.

Insgesamt zeigen die hier erzielten Ergebnisse höhere Tocopherol-Gehalte in Flüssigvolleiern als in den anschließend sprühgetrockneten Pulverprodukten. Da der α -Tocopherol-Gehalt in den Eiprobe der Charge 3 sowohl vor als auch nach Sprühtrocknung um bis zu 15 % bzw. bis zu 30 % ($p < 0.05$) höher lag als in den Eiprobe der Chargen, 1, 2 und 4, wären diese Flüssig- bzw. Trockeneier für eine eventuelle Supplementierung zu bevorzugen.

Eine Gegenüberstellung der Vitamin E-Gehalte von Flüssigeier und Trockeneier zeigte, dass mit 55 g Flüssigei (FG) bereits 30,5 % der wünschenswerten Zufuhr bzw. mit der adequaten Menge an Trockenpulver (17 g) ebenso 28,8 % der täglichen Empfehlung erreicht werden konnten. Die DGE gibt dabei 14 mg Tocopheroläquivalente an, wobei 1 Tocopheroläquivalent etwa 1 mg α -Tocopherol, 4 mg γ -Tocopherol und 100 mg δ -Tocopherol entspricht.

Anhand der generierten Messwerte konnte gezeigt werden, dass Eier, die bei 180 °C sprühgetrocknet wurden (Charge 1), zwar mit 8,8 % und 17,9 % niedrigere α - und γ -Tocopherol-Konzentrationen aufwiesen als das jeweilige Flüssigprodukt, die Verluste sich aber dennoch nicht signifikant von jenen der anderen Chargen unterschieden. Ähnlich hohe Abnahmen zwischen 4,2 - 8,7 % an α -Tocopherol bzw. 5,8 - 17,4 % an γ -Tocopherol konnten auch in den anderen Chargen, welche bei 160 °C sprühgetrocknet wurden, beobachtet werden. Somit konnte die Annahme, dass eine höhere Sprühtrocknungstemperatur von 180 °C zu einem höheren Verbrauch an Vitamin E führt, konnte somit nicht bestätigt werden. Der hier demonstrierte Vitamin E-Verlust deckte sich in etwa mit jenen Resultaten von Meynier et al. [72], während es in der Studie von Galobart et al. [9] durch Sprühtrocknung zu deutlich höheren α -Tocopherol-Einbußen im Ausmaß von 31,1 – 37,7 % kam. Aus der Studie konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass ein höherer α -Tocopherylacetat-Zusatz im Futter eine höhere Retention bei Sprühtrocknung bewirkte. Die besten Werte konnten mit einer Anreicherung von 200 mg/kg Futter erzielt werden, weshalb ein Zusatz in dieser Höhe für weiterführende Projekte durchaus von Interesse sein könnte.

Dass Hühnerfutter mit Vitamin-Kombinationen wie etwa Vitamin A und E nicht in uneingeschränkt hohen Dosen supplementiert werden sollte, zeigt die Studie von Mori et al. [48]. So wurde nach Zugabe von 4,5 mg Retinylacetat (15.000 IE)/kg Futter eine um 22,5 - 28,6 % geringere α -Tocopherol-Konzentration im Eidotter festgestellt, bei Zusatz von 9 mg Retinylacetat (30.000 IE)/kg Futter stieg der Verlust an α -Tocopherol auf beachtliche 42 - 47 %. Da die Anreicherung im Rahmen der vorliegenden Studie mit 3 mg Retinylacetat (10.000 IE)/kg Futter deutlich niedriger ausfiel, können hohe Einbußen im Bereich des Vitamin E-Transfers vom Futtermittel ins Ei nahezu ausgeschlossen werden und sollten nicht als

Erklärungsansatz für die erhöhten α -Tocopherol-Konzentrationen der Eier in Charge 3 herangezogen werden.

Die Vitamin A-Analyse der Flüssigvolleier ergab eine mittlere Retinol-Konzentration von $177,4 \pm 21,3 \mu\text{g}/100 \text{ g FG}$, welche sich in etwa mit dem Wert, der von den USDA ($160 \mu\text{g}/100 \text{ g Vollei FG}$) angegeben wurde, deckt [30]. Ein Vergleich der Eiprobe aller vier Chargen zeigte zum Teil signifikante Unterschiede, wobei sich Charge 3 mit $668,5 \pm 29,2 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ deutlich von den Chargen 1 ($604,3 \pm 52,2 \mu\text{g}/100 \text{ g}$) und 2 ($483,9 \pm 27,1 \mu\text{g}/100 \text{ g}$) abhob. Im Gegensatz dazu konnte in Charge 4 mit einem Retinol-Gehalt $573,7 \pm 63,5 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ kein signifikanter Unterschied zu den restlichen Flüssigvolleiern festgestellt werden.

Im Zuge der Sprühtrocknung kam es in allen Chargen zu einem tendenziellen Abbau von Vitamin A. Mit Ausnahme der Eier aus Charge 4, bei denen der Retinol-Gehalt um geringe 5,4 % auf $542,6 \pm 42,4 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ nicht signifikant abfiel, war der Verlust in den anderen Chargen von signifikantem Ausmaß. Die Retinol-Konzentrationen sanken dabei um 25,2 % (Charge 1) und um 21,3 % (Charge 3) – die Verluste waren somit signifikant höher als jene von Charge 2 (14,3 %) und Charge 4 (5,4 %). Aufgrund dieser Resultate konnte vor allem Charge 4 als am stabilsten gegenüber Sprühtrocknung identifiziert werden, welche gemeinsam mit Charge 3 die höchsten Konzentrationen an Vitamin A im Trockenprodukt verzeichnete. Das Volleipulver enthielt $525,8 \pm 18,9 \mu\text{g}/100\text{g}$ (Charge 3) bzw. $542,6 \pm 42,3 \mu\text{g}/100\text{g}$ (Charge 4) Retinol. Die unterschiedlichen hohen Retinol-Abnahmen (5,4 – 21,3 %) bei einer Temperatur von 160°C sind jedoch ein Indiz dafür, dass der Prozess der Sprühtrocknung nicht alleiniger Grund für die Abnahme sein kann.

Die Resultate der Vitamin A-Messung zeigten, dass mit dem Verzehr von 55 g Frischei (FG) in etwa $98 \mu\text{g}$ Retinol aufgenommen werden. Damit können bereits 11,5 % der empfohlenen Zufuhr von $850 \mu\text{g}/\text{Tag}$ für einen Erwachsenen (PAL 1,4) gedeckt werden. Auch eine äquivalente Menge von 17 g an Volleipulver erreichen mit $81 \mu\text{g}$ an Retinol in etwa 9,5 % der erwünschten Zufuhr.

Die Carotinoid-Analyse ergab in den Flüssigvolleiern der Chargen 1, 2, 3 und 4 jeweils Lutein-Konzentrationen von $2,31 \pm 0,08 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$, $1,96 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$, $1,68 \pm 0,18 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$ und $2,21 \pm 0,0 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$. Die Zeaxanthin-Gehalte lagen bei je $1,25 \pm 0,06 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$, $1,00 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$, $0,86 \pm 0,08 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$ bzw. $1,16 \pm 0,0 \text{ mg}/100 \text{ g TM}$. Sowohl für Lutein, als auch für Zeaxanthin konnte nur zwischen höchstem (Charge 1) und geringstem Wert (Charge 3) ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der niedrigere Gehalt in Charge 3 kann durch den fehlenden Mais-Anteil des Futters (Futter 1) erklärt werden. Im Gegensatz dazu lagen die Mais-Gehalte des Futters aus Charge 1 bei 3,1 %, jener der Charge 4 bei 5,6 %. Da es sich hier jedoch nur um eine vorläufige Analyse handelte bei der nur wenige Replikate gemessen wurden, könnten die tatsächlichen Werte noch etwas niedriger bzw.

höher liegen. Die in dieser Studie ermittelten Konzentrationen waren mit den Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen von jeweils 1,25 - 2,44 mg/100 g TM und 0,76 - 1,27 mg/100 g TM Bio-Freilandeier in Schlatterer und Breithaupt [62] vergleichbar. Eine Sprühtrocknung bewirkte bei keiner Charge eine signifikante Änderung der Werte. Auch bei Charge 1, welche bei 180 °C sprühgetrocknet wurde, war die Lutein- bzw. Zeaxanthin-Abnahme mit jeweils 19,6 % bzw. 25 % nicht signifikant.

Eine Gegenüberstellung der Carotinoid-Konzentrationen in 55 g Frischei (FG) und der äquivalenten Menge an Trockenei (17 g) zeigte sehr ähnliche Gehalte. Der Verzehr von 55 g Frischei beinhaltet 341 µg Lutein und 178 µg Zeaxanthin, wobei mit 17 g Trockenei etwa 340 µg Lutein und 175 µg Zeaxanthin aufgenommen werden.

Die Analyse von Flüssigvolleiern ergab sehr geringe Peroxidzahlen im Bereich von $0,88 \pm 0,22$ – $1,26 \pm 0,04$ meq O₂/kg Fett. Die Vermutung, dass Flüssigvolleier der Charge 3 aufgrund der höchsten α-Tocopherol- und Retinol-Konzentration dementsprechend die niedrigste Peroxidzahl aufwiesen, konnte nicht bestätigt werden.

Neben der Exposition gegenüber Sauerstoff und Licht kann auch eine Hitzezufuhr zum Voranschreiten der Lipidperoxidation führen. Dies machte ebenso die gegenständliche Untersuchung der Peroxidzahl in den sprühgetrockneten Eiern deutlich. In drei von vier Chargen kam es zu einer signifikanten, Zunahme an Hydroperoxiden. Die durchschnittlichen Werte von Charge 1, 2 und 3 lagen bei jeweils $1,82 \pm 0,05$ meq O₂/kg Fett, $1,60 \pm 0,07$ meq O₂/kg Fett und $1,68 \pm 0,12$ meq O₂/kg Fett, was einer prozentuellen Zunahme von je 58,7 %, 82,0 % und 66,3 % im Vergleich zum flüssigen Pendant entsprach. Hierbei schien es nicht relevant zu sein, ob die Proben bei 160 °C oder 180 °C sprühgetrocknet wurden. Die Hypothese, dass die Peroxidzahl durch Sprühtrocknung von Eiern ansteigt, konnte zum größten Teil bestätigt werden. Eine Erklärung für den nicht signifikanten Anstieg der Hydroperoxide in Charge 4 könnte womöglich am Anfangslevel im Flüssigei liegen, welcher verglichen mit der niedrigsten Peroxidzahl (Charge 2) signifikant höher lag. höheren Anfangslevel im Flüssigvollei (Charge 2) liegen. Es wäre denkbar, dass ein Teil der Peroxide bereits zu sekundären Lipidoxidationsprodukten, wie Aldehyde und Ketone weiter reagierte.

Zusammengefasst konnte gezeigt werden, dass Eier in pasteurisierter Form häufig höhere Vitamin A- als auch Vitamin E-Gehalte sowie Lutein-Konzentrationen aufwiesen als nach Sprühtrocknung. Obwohl Volleipulver durch eine einfachere und mikrobiell sichere Handhabung klare Vorteile aufweist, sind die in der hier vorliegenden Arbeit für einzelne Chargen gezeigten Verluste an Vitamin A (<22 %), Vitamin E (<18 %), Lutein (<20 %) und Zeaxanthin (<25 %) nicht zu ignorieren. Ebenso kam es in drei von vier Chargen zu einem

signifikanten Anstieg der Peroxidzahl, was auf eine Begünstigung der Lipidoxidation durch Sprühtrocknung hindeutet. Diese Annahme wird auch durch die Sprühtrocknung bedingte Abnahme von ungesättigten Fettsäuren, insbesondere der alpha-Linolensäure mit einem Verlust von 63,5-69,7 % deutlich.

Aufgrund der hier erzielten Ergebnisse sollte die Anreicherung von Ergänzungsnahrung eher mit pasteurisiertem Flüssigvollei statt Volleipulver angedacht werden. Wie diverse Fütterungsstudien, darunter auch jene von Galobart et al. [9] zeigten, gäbe es außerdem durch eine Anreicherung der Futtermittel die Möglichkeit, die finale Konzentration an Vitamin A und E im Hühnerei zu erhöhen. So erzielten Galobart et al. [9] mit einer Futtermittel-Anreicherung von 200 mg α -Tocopherylacetat/kg eine achtfache Steigerung des α -Tocopherol-Gehalts in Flüssiggeiern im Vergleich zur Kontrollgruppe (0 mg/kg). Weiters konnte in dieser Studie der α -Tocopherol-Verlust im Zuge der Sprühtrocknung minimiert werden, wenn das Futter mit 200 mg/kg anstatt 50 mg/kg α -Tocopherylacetat angereichert wurde. Wenn in weiterführenden Projekten der Zusatz von Volleipulver zu etwaiger Ergänzungsnahrung angestrebt wird, könnte dabei eine Erhöhung der Futtermittel-Anreicherung auf 200 mg/kg α -Tocopherylacetat sowie auch anderen Antioxidantien durchaus angedacht werden. Eine weitere Möglichkeit, die Vitamin-Gehalte in Flüssigvollei zu erhöhen, könnte deren direkte Dotierung bzw. Zugabe zum Produkt sein. In wie weit dies im Hochdurchsatz automatisiert und standardisiert ablaufen kann, sollte in zukünftigen Projekten evaluiert werden.

Auch hinsichtlich einer Anreicherung mit Vitamin A wurden mit einem Zusatz von 4,5 mg bzw. 9 mg Retinylacetat/kg Futter in der Studie von Mori et al. [48] höhere Retinol-Gehalte ($315 \pm 4,32 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ bzw. $345,0 \pm 1,8 \mu\text{g}/100 \text{ g}$) erreicht, als die in der vorliegenden Masterarbeit, in Rahmen derer 3 mg Retinylacetat/kg Futter hinzugefügt wurden. Dennoch konnte im Rahmen dieser Masterarbeit gezeigt werden, dass der Vitamin A-Gehalt von Flüssigvolleiern mit durchschnittlich $177,4 \pm 21,3 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ im Bereich vorangegangener Analysen ($120 \mu\text{g} - 231 \mu\text{g}/100 \text{ g FG}$) lag [48]. Ein Zusatz der dreifachen Menge an Retinylacetat (9 mg/kg Futter) bewirkte deutlich höhere Retinol-Gehalte als im Rahmen dieser Untersuchung mit 3 mg/kg Futter erzielt wurden. Trotzdem sollte von einer hohen Anreicherung eher abgesehen werden, wenn gleichzeitig auch ein hoher α -Tocopherol-Gehalt angestrebt wird. Mori et al. [48] konnten demonstrieren, dass bei einer Menge von 4,5 mg Retinylacetat/kg Futter, und besonders bei 9 mg/kg Futter, eine Interaktion und negative Beeinflussung der α -Tocopherol-Absorption stattfindet.

Für zukünftige Untersuchungen sollte zusätzlich zur Nährwert-Analyse der Eier ebenso die Analyse des Futtermittels durchgeführt werden, um auch die Transfer-Raten und somit die Effizienz des Übergangs an Vitaminen bzw. der Fettsäuren bestimmen zu können. Um zu prüfen, in wie weit der Konsum von Eiern helfen kann, den Bedarf bestimmter Nährstoffe zu

decken, wurden die hier ermittelten Ergebnisse der Flüssigeier aus Charge 3 herangezogen. Diese Charge zeigte signifikant höhere Tocopherol- als auch Retinol-Gehalte in den pasteurisierten Produkten. Dies kann jedoch nicht durch die Diät der Legehennen erklärt werden, da für Charge 2 die gleiche Futtermittelmischung verwendet wurde. Der signifikant höhere Gehalt in Charge 3 könnte einerseits auf eine kürzere Lagerdauer des Futters, andererseits auch auf einen sehr sorgsamem Umgang während dem Transport bzw. der Weiterverarbeitung der Eier zurückzuführen sein. Auch nach Sprühtrocknung konnten im Bereich der Tocopherole keine nennenswerten Verluste verzeichnet werden. Obwohl es zu einem prozentual größeren Verlust von Retinol durch Sprühtrocknung kam als in anderen Chargen, konnten im Volleipulver von Charge 3 dennoch ähnlich hohe Retinol-Gehalte wie im Pulver der Charge 4 festgestellt werden, die sich im Gegensatz zu Charge 3 durch eine höhere Stabilität während der Sprühtrocknung auszeichnete.

Der/die österreichische DurchschnittsbürgerIn konsumiert pro Woche in etwa 5 Eier mit einem Durchschnittsgewicht von je 55 g (242 Eier/Jahr), was in etwa der Menge von 39 g Vollei/Tag entspricht. Die DGE empfiehlt für einen männlichen Erwachsenen mit einem PAL von 1,4 einen täglichen Kalorienbedarf von 2300 kcal, wobei Gesamtfett in etwa 30 % davon ausmachen sollte [28]. Durch einen Konsum von 5 Eiern/Woche bzw. 39,3 g/Tag würden daher nach den hier ermittelten Resultaten 5,7% des Gesamtfett-Bedarfs, 3,5 % der empfohlenen Maximalmenge von SFA, 4,8 % an MUFA, sowie 2,4 % an PUFA gedeckt werden. Die täglich empfohlene Menge an Linolsäure (6,4 g) sowie Linolensäure (1,3 g) könnte zu je 8,3 % bzw. 7,4 % erreicht werden. Ein Gehalt von 5,1 mg Gesamt-Tocopherol und 79,0 µg Retinol pro 39,3 g Vollei würde einer beachtlichen 23,2%igen bzw. 9,3%igen Deckung des täglichen Vitamin-Bedarfs entsprechen.

Vor allem in Ländern, in denen bereits Kinder von Mangelernährung betroffen sind, könnte die Integration von Hühnerei in die tägliche Ernährung von Vorteil sein. Eine im Jahr 1998 veröffentlichte Empfehlung der WHO legte nahe, dass Hühnerei am besten täglich als Beikost an Kinder im Alter zwischen 6 - 23 Monaten gegeben werden sollte, um den Nährstoffbedarf zu decken [90]. Beikost stellt allgemein eine kontinuierlich steigende Ergänzung zur Muttermilch dar und soll in etwa 200 kcal (6 - 8 Monate) bis 550 kcal (12 - 23 Monate) pro Tag ausmachen. Fett sollte dabei einen prozentuellen Anteil von 30-45 % decken, dies entspricht in etwa 7 - 10 g (6 - 8 Monate) bzw. 18-27,5 g (12 - 23 Monate) an Fett. Ein Konsum von 30 g Hühnerei, wie er z. B. in der Studie von Lutter et al. [91] erreicht wurde, könnte demnach zur Deckung von 33,6 - 48 % (6 - 8 Monate) bzw. 21,2-32,4 % (12 - 23 Monate) an Gesamtfett beitragen. Die Aufnahme von 30 g Flüssigvollei würde 0,4 g Linol bzw. 0,1 g Linolensäure inkludieren. Mit einem durchschnittlichen Brennwert von 155 kcal/100 g erreichen Eier die von der WHO empfohlene Mindest-Energiedichte von 0,8 kcal/g Lebensmittel. In Bezug auf die im Codex Alimentarius für Beikost empfohlene Höhe an Retinol (400 µg) und Vitamin E (5 mg)

könnten durch die Gabe von 30 g Vollei der Charge 3 bereits 15,1 % an Retinol sowie 49,5 % an Vitamin E erreicht werden [92].

Durch die Aufkonzentrierung des Fettgehalts im Zuge der Sprühtrocknung würde demnach ein Konsum von 9 g Volleipulver, was in etwa einer Menge von 30 g Flüssigei entspricht, ausreichen, um 35,7 - 51 % (6 - 8 Monate) bzw. 13,0 - 19,8 % (12 - 23 Monate) der Empfehlung für Fett zu decken. Ebenso würden 9 g Volleipulver der Charge 3 zirka 11,6 % der Empfehlung für Retinol (400 µg/Tag) bzw. 53,8 % der empfohlenen Vitamin E-Dosis (5 mg/Tag) erreichen. Die Gehalte an omega-6- und omega-3 Fettsäuren nahmen jedoch im Zuge der Trocknung stark ab, wodurch ein Konsum von 9 g Trockenei lediglich 0,26 g Linolsäure sowie 0,03 g Linolensäure beinhalten würde.

Es kann somit geschlussfolgert werden, dass die Sprühtrocknung einerseits eine Aufkonzentrierung des Fettgehalts sowie der Vitamine bewirkte und deshalb auch der Verzehr einer geringeren Menge an Volleipulver notwendig ist, um eine ähnlich hohe Abdeckung des täglichen Nährstoffbedarfs wie mit Flüssigvolleiern zu erreichen. Andererseits bringt die Sprühtrocknung beachtliche Einbußen im Bereich der omega-6 und omega-3 Fettsäuren sowie der Vitamine A und E mit sich, weshalb entweder auf konventionelles Ei zurückgegriffen oder pasteurisiertes Flüssigvollei verzehrt werden sollte bzw. sprühgetrocknete Produkte, bei denen nach technologischer Optimierung die Nährstoffverluste minimiert wurden.

Aus einer Untersuchung von mehreren in Ruanda erhältlichen getreidebasierten Babybreis ging hervor, dass diese oftmals mit einer sehr hohen Aflatoxin-Kontamination oder Schimmelfall belastet sind [93]. Demnach stellen sowohl pasteurisiertes Flüssigvollei als auch Volleipulver, trotz der genannten Einbußen, eine vielversprechende Alternative dar, Mangelernährung zu bekämpfen und gleichzeitig die Lebensmittelsicherheit nicht außer Acht zu lassen. Das Glykoprotein Ovomucin, welches vor allem im Eiklar vorliegt, stellt dabei ein großes Potenzial dar, Bakterien wie *Escherichia coli* abzufangen und somit unschädlich zu machen [94].

Für zukünftige Forschungen wäre es interessant zu eruieren, ob in sprühgetrockneten Eiern auch ein erhöhter Gehalt an Maillard-Reaktionsprodukten vorzufinden ist. Durch die gleichzeitige Anwesenheit von reduzierenden Zuckern und Proteinen sowie der Hitzeeinwirkung wäre diese Neubildung durchaus denkbar. Untersuchungen zeigten, dass die Maillard-Reaktion auch bei der Lagerung von Volleipulver eine Rolle spielt, wobei eine Abnahme des Glukose-Anteils dafür charakteristisch ist. Um ein stabilisiertes Volleipulver herzustellen bzw. größeren sensorischen Veränderungen entgegenzuwirken, kann Glucose durch Fermentation aus dem Vollei entfernt werden.

Wie aus früheren Forschungen hervorging, kann in der ersten Phase der Maillard-Reaktion über die Bildung einer Schiff'schen Base das Amadori-Umlagerungsprodukt Fructosyl-Lysin

entstehen, das bei höherer Erhitzungsdauer und -temperatur zu sogenannten Advanced Glycation End Products (AGEs) weiterreagieren kann. Zu einem der am besten charakterisierten AGEs zählt vor allem CML, dessen Analyse in sprühgetrockneten Eiern zukünftig auf jeden Fall forciert werden sollte. Eine Literaturrecherche diesbezüglich ergab vereinzelt Untersuchungen des Furosin-Gehalts in Eipulver, über das Vorkommen von CML gab es nur eine sehr limitierte Datenanzahl [73] [95]. Mögliche Wege der CML-Bildung wurden in **Abbildung 31** dargestellt. Hier konnte gezeigt werden, dass das Zwischenprodukt Glyoxal auch aus der Oxidation von PUFA hervorgehen und in Anwesenheit von Proteinen zum Produkt CML führen kann [96].

Das Interesse, die CML-Konzentration in Volleipulver zu eruieren, ist vor allem auf dessen physiologischen Wirkung begründet. Verschiedene Untersuchungen gaben Hinweise darauf, dass CML in der Pathogenese von Diabetes Mellitus, bei Chronischer Niereninsuffizienz sowie bei miteinandergehenden Komplikationen (Atherosklerose) eine wichtige Rolle spielen könnte [97], [98], [99], [100], [101], [102].

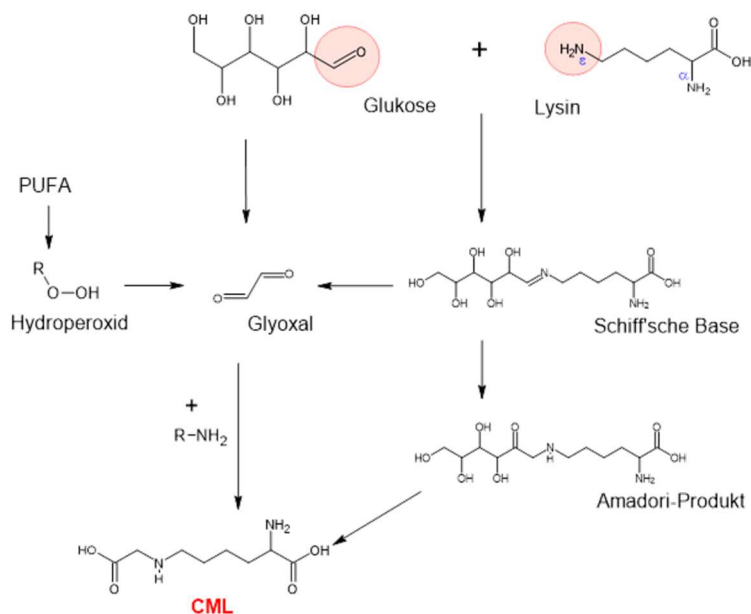


Abbildung 31 Vereinfachte Darstellung der CML-Entstehung. adaptiert nach Thorpe und Baines

[103]

6 Zusammenfassung

Der regelmäßige Verzehr von Eiern kann durch den Reichtum an essentiellen Aminosäuren, Vitaminen und Mineralstoffen einen wichtigen Beitrag leisten, den täglichen Nährstoffbedarf zu decken bzw. Mangelernährung zu bekämpfen. Vor allem in Gebieten, in denen z. B. Vitamin A-Mangel vorherrschend ist und dadurch ein erhöhtes Risiko für Wachstumsstörungen und Nachtblindheit bei Kindern besteht, soll der Zugang zu Eiern erhöht werden. Da Schaleneier jedoch immer das Risiko einer mikrobiellen Kontamination bergen, etwa durch Salmonellen, wird nach alternativen Lösungen gesucht, bei denen die Nährwerte so gut wie möglich erhalten bleiben. Dabei gebührt einerseits den pasteurisierten Flüssigvolleiern, andererseits auch dem durch Sprühtrocknung gewonnenem Volleipulver besondere Aufmerksamkeit. Beide Produkte könnten Ergänzungsnahrungen bzw. Porridges zugegeben werden. Mit dieser Motivation wurde in Zusammenarbeit mit der Stiftung *Sight and Life Foundation* sowie der Firma Ovobest aus insgesamt vier Chargen ein Nährstoffprofil von pasteurisierten Flüssigvolleiern mit speziellem Fokus auf Fettgehalt, Fettsäure-Verteilung, Vitamin A, E, Lutein bzw. Zeaxanthin erstellt und mit jenem von Volleipulver verglichen. Aus der Fettsäure-Analyse gingen vor allem durch die Sprühtrocknung bedingte Verluste von ungesättigten Fettsäuren hervor, wobei die Abnahmen an Linol- und alpha-Linolensäure mit je 29,1 - 52,8 % bzw. 63,5 - 69,7 % beachtlich hoch waren. Eine mittels HPLC-UV durchgeführte Analyse zeigte nach Sprühtrocknung auch für α - und γ -Tocopherol Verluste in Höhe von maximal 9 % bzw. 18 %. Eine statistische Signifikanz wurde dabei jedoch nicht immer erreicht. Die Quantifizierung von Retinol ergab in drei von vier Chargen signifikante Verluste von maximal 22 % nach der Sprühtrocknung. Es konnte keine klare Aussage getroffen werden, dass höhere Temperaturen (180 °C) auch einen stärkeren Abbau bewirken als eine um 20 °C geringere Hitzeeinwirkung. Um jedoch ein klares Fazit formulieren zu können, sind weitere Studien notwendig. Die durch LC-MS/MS ermittelten Lutein- und Zeaxanthin-Konzentrationen in Volleipulver lagen nach Sprühtrocknung um maximal 20 % bzw. 25 % niedriger als im Flüssigprodukt. Die mittels FOX-Assay ermittelte Peroxidzahl stieg zwar nach Sprühtrocknung in drei von vier Chargen signifikant an, war mit $1,73 \pm 0,12$ meq O₂/kg Fett dennoch ein Indiz für einen sorgsamen Umgang und Weiterverarbeitung von Eiern. Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig, um einerseits die ideale Menge der Futtermittel-Anreicherung zu eruieren, die einen bestmöglichen Transfer ins Ei garantieren. Andererseits sollte die Methode der Sprühtrocknung soweit adaptiert werden, dass möglichst wenig ungesättigte Fettsäuren verloren gehen und auch die Vitamine A und E bzw. die Carotinoide bestmöglich erhalten bleiben. Die in dieser Studie erzielten Resultate sprechen vorerst für die Anreicherung von pasteurisiertem Flüssigvollei in Ergänzungsnahrung, sofern dies logistisch und ohne enormen Aufwand machbar ist. Dennoch liegt ein hohes Potenzial in den sprühgetrockneten Eiern, die durch eine Aufkonzentrierung der Nährstoffe im Kampf gegen Mangelernährung in Zukunft eingesetzt werden könnten.

7 Summary

The consumption of hen eggs on a regular basis can help to meet the daily requirements of essential amino acids, vitamins and minerals and thus combat malnutrition. The availability of eggs should be improved especially for countries where children suffer from vitamin A deficiency and therefore are prone to a higher risk of child stunting and night blindness. However, shell eggs can be affected by microbial contamination, for example with *Salmonella* bacteria. In order to avoid this risk and simultaneously ensure a high retention of essential nutrients, approaches need to be made. Special attention is drawn to pasteurized liquid eggs and spray-dried egg powder as it can easily be added to complementary food or porridges. With this underlying motivation and in cooperation with *Sight and Life Foundation* and Ovobest a nutrient profile of pasteurized liquid eggs from four different batches was set up and compared against the nutrient content of egg powder. Special focus was drawn to total fat, fatty acid pattern, the content of vitamin A, vitamin E, lutein and zeaxanthin. A non-significant increase of the fat content due to spray-drying was found for oleic acid, being the predominant fatty acid, followed by palmitic-, linoleic- and stearic acid. The analysis showed high losses of unsaturated fatty acids due to spray drying, with the highest to be noted for linoleic (29,1 - 52,8 %) and linolenic acid (63,5-69,7 %). The tocopherol analysis conducted with HPLC-UV showed a maximum loss of 9 % of α - and 18 % of γ -tocopherol after spray-drying, although the level of statistical significance was not always reached. With regards to retinol, maximum losses of 22 % reaching significance in three out of four batches could be detected after spray drying. According to these results, no evidence can be given that higher temperatures of 180 °C (batch 1) instead of 160 °C (batches 2-4) will ultimately lead to higher vitamin losses, although a trend towards higher vitamin losses was recognized when a temperature of 180 °C (batch 1) was applied instead of 160 °C (batches 2-4). Nevertheless, further studies are required to draw clear conclusions. Although the differences of the lutein and zeaxanthin contents between all liquid eggs and egg powders analyzed with LC-MS/MS were not observed on a significant scale, a 20 % or 25 % lower concentration of lutein or zeaxanthin could be detected in egg powder compared to the liquid samples. The peroxide value which was determined by a photometric method (FOX assay) significantly increased to $1,73 \pm 0,12$ meq O₂/kg fat in three out of four batches. However, the peroxide content could be the result of a careful processing of eggs. Further investigations are necessary to determine the amount of vitamin addition necessary to ensure the best possible transfer rate to eggs. Additionally, the spray drying process should be adapted in order to ensure a higher retention of unsaturated fatty acids, as well as vitamin A, vitamin E and carotenoids. Due to the results obtained in this study, a supplementation of complementary food would be recommended with pasteurized liquid eggs if logistics do not require unreasonable efforts. However, a substantial potential lies in spray-dried eggs, which could help to combat malnutrition.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Statistik Austria and AMA Marketing, "Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauches von Eiern in Österreich (in Stück)," 2020. <https://www.ama.at/Marktinformationen/Eier-und-Geflugel/Konsumverhalten> (eingesehen am 1.4.2021).
- [2] H. K. Biesalski, P. Grimm, and S. Nowitzki-Grimm, *Taschenatlas der Ernährung*, 7. Auflage. Georg Thieme Verlag, 2017.
- [3] J. E. Kim and W. W. Campbell, "Dietary cholesterol contained in whole eggs is not well absorbed and does not acutely affect plasma total cholesterol concentration in men and women: Results from 2 randomized controlled crossover studies," *Nutrients*, vol. 10, no. 9, p. 1272, 2018.
- [4] D. J. McNamara, "The fifty year rehabilitation of the egg," *Nutrients*, vol. 7, no. 10, pp. 8716–8722, 2015.
- [5] M. U. Jakobsen *et al.*, "Major types of dietary fat and risk of coronary heart disease: A pooled analysis of 11 cohort studies," *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 89, no. 5, pp. 1425–1432, 2009.
- [6] M. C. Milinsk, A. E. Murakami, S. T. M. Gomes, M. Matsushita, and N. E. De Souza, "Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids," *Food Chem.*, vol. 83, no. 2, pp. 287–292, 2003.
- [7] M. Gaffney, R. O'Rourke, J. Taylor-Pickard, and R. Murphy, "A comparative assessment of the fatty acid profiles and antioxidant status of supermarket eggs," *J. Appl. Anim. Nutr.*, vol. 3, no. e9, pp. 1–6, 2015.
- [8] S. Österreich, "SPAR Vital Eier Omega-3 Plus 330g," 2020. Available: <https://www.interspar.at/shop/lebensmittel/spar-vital-eier-omega-3-plus-330g/p/2157672> (eingesehen am 1.4.2021).
- [9] J. Galobart, A. C. Barroeta, M. D. Baucells, L. Cortinas, and F. Guardiola, "α-Tocopherol transfer efficiency and lipid oxidation in fresh and spray-dried eggs enriched with ω3-polyunsaturated fatty acids," *Poult. Sci.*, vol. 80, no. 10, pp. 1496–1505, 2001.
- [10] J. Galobart, F. Guardiola, A. C. Barroeta, S. Llopez-Ferrer, and M. D. Baucells, "Influence of dietary supplementation with α-tocopheryl acetate and canthaxanthin on cholesterol oxidation in ω3 and ω6 fatty acid-enriched spray-dried eggs," *J. Food Sci.*, vol. 67, no. 7, pp. 2460–2466, 2002.

- [11] J. M. Nolan, K. A. Meagher, A. N. Howard, R. Moran, D. I. Thurnham, and S. Beatty, "Lutein, zeaxanthin and meso-zeaxanthin content of eggs laid by hens supplemented with free and esterified xanthophylls," *J. Nutr. Sci.*, vol. 5, no. e1, pp. 1–10, 2016.
- [12] G. Ara *et al.*, "Study protocol to assess the impact of an integrated nutrition intervention on the growth and development of children under two in rural Bangladesh," *BMC Public Health*, vol. 19, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- [13] Sight and Life Foundation, "Egghub.org," 2019. <https://egghub.org/> (eingesehen am 1.4.2021).
- [14] World Health Organization, "Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995-2005 : WHO global database on vitamin A deficiency," 2009.
- [15] S. Péter *et al.*, "A systematic review of global alpha-tocopherol status as assessed by nutritional intake levels and blood serum concentrations," *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, vol. 85, no. 5–6, pp. 261–281, 2015.
- [16] C. G. Belyavin, "Eggs: Use in the Food Industry," *Encycl. Food Heal.*, pp. 476–479, 2016.
- [17] E. Abreha, P. Getachew, A. Laillou, S. Chitekwe, and K. Baye, "Physico-chemical and functionality of air and spray dried egg powder: implications to improving diets," *Int. J. Food Prop.*, vol. 24, no. 1, pp. 152–162, 2021.
- [18] Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, "Der Nahrungsmittelverbrauch der österreichischen Bevölkerung," no. 7, 1962.
- [19] B. für L. und Ernährung, "Bericht zur Markt- und Versorgungslage Eier 2020," 2020. <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/versorgungsbilanzen/eier/> (eingesehen am 1.4.2021).
- [20] Statistik Austria, "Pro-Kopf-Konsum-von-Eiern-in-Österreich," 2019. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/287781/umfrage/pro-kopf-konsum-von-eiern-in-oesterreich/#professional> (eingesehen am 1.4.2021).
- [21] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, "Neue Wege für mehr Tierwohl, Ein Magazin des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft," 1. Auflage, p. 7, 2016.
- [22] M. Fernyhough, C. J. Nicol, T. van de Braak, M. J. Toscano, and M. Tønnessen, "The Ethics of Laying Hen Genetics," *J. Agric. Environ. Ethics*, vol. 33, no. 1, pp. 15–36, 2020.

- [23] G. und K. Bundesministerium Arbeit, Soziales, "Tierschutzbericht 2019," Wien, 2019.
- [24] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, "Mehr Tierschutz in der Legehennenhaltung," 2015. <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/haltung-legehennen.html> (eingesehen am 1.4.2021).
- [25] Committee on Nutrition; American Heart Association, "Diet and Heart Disease.," Dallas, Texas, USA, 1968.
- [26] S. Leeson and L. J. Caston, "Vitamin enrichment of eggs," *J. Appl. Poult. Res.*, vol. 12, no. 1, pp. 24–26, 2003.
- [27] W. Souci, W. Fachmann, and H. Kraut, *Food Composition & Nutrition Tables*, 7th ed. 2008.
- [28] Deutsche Gesellschaft für Ernährung;, Österreichische Gesellschaft für Ernährung;, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung;, and Schweizerische Vereinigung für Ernährung, "Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr," 2020. <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/> (eingesehen am 1.4.2021).
- [29] H.-D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle, *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, 6th ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [30] USDA Food Data Central, "Nutrient content of whole egg, raw," 2020. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/783909/nutrients> (eingesehen am 1.4.2021).
- [31] Departmen of Health, "Nutrient Analysis of Eggs - Summary Report," 2012.
- [32] World Health Organization (WHO), "Cardiovascular diseases (CVDs)," 2017. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)) (eingesehen am 1.4.2021).
- [33] N. Simionescu, E. Vasile, F. Lupu, and G. Popescu, "Prelesional events in atherogenesis: Accumulation of extracellular cholesterol-rich liposomes in the arterial intima and cardiac valves of the hyperlipidemic rabbit," *Am. J. Pathol.*, vol. 123, no. 1, pp. 109–125, 1986.
- [34] H. Strydom *et al.*, "A Definition of Initial Fatty Streak, and Intermediate Lesions of Atherosclerosis. A report from the Committee on Vascular Lesions of the Council on Arteriosclerosis, American Heart Association," *Circulation*, vol. 89, no. 5, pp. 2462–2478, 1994.
- [35] J. A. Nettleton, I. A. Brouwer, J. M. Geleijnse, and G. Hornstra, "Saturated Fat

- Consumption and Risk of Coronary Heart Disease and Ischemic Stroke: A Science Update,” *Annals of Nutrition and Metabolism*, vol. 70, no. 1. pp. 26–33, 2017.
- [36] R. J. De Souza *et al.*, “Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: Systematic review and meta-analysis of observational studies,” *BMJ*, vol. 351, 2015.
- [37] R. P. Mensink, “Effects of saturated fatty acids on serum lipids and lipoproteins: a systematic review and regression analysis,” *World Heal. Organ.*, 2016.
- [38] Food and Agriculture Organization (FAO)/World Health Organisation (WHO), *Fats and fatty acids in human nutrition*. Geneva, Switzerland, 2010.
- [39] Deutsche Gesellschaft für Ernährung;, Österreichische Gesellschaft für Ernährung;, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung;, and Schweizerische Vereinigung für Ernährung, “Leitlinie Fett kompakt,” 2015.
- [40] A. Eilander, R. K. Harika, and P. L. Zock, “Intake and sources of dietary fatty acids in Europe: Are current population intakes of fats aligned with dietary recommendations?,” *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 117, no. 9, pp. 1370–1377, 2015.
- [41] G. Wolfram *et al.*, “Evidence-Based Guideline of the German Nutrition Society: Fat Intake and Prevention of Selected Nutrition-Related Diseases,” *Ann. Nutr. Metab.*, vol. 67, no. 3, pp. 141–204, 2015.
- [42] F. Food and Agriculture Organization of the United Nations, “The state of world fisheries and aquaculture: Meeting the sustainable development goals,” Rome, Italy, 2018.
- [43] M. Neijat, P. Eck, and J. D. House, “Impact of dietary precursor ALA versus preformed DHA on fatty acid profiles of eggs, liver and adipose tissue and expression of genes associated with hepatic lipid metabolism in laying hens,” *Prostaglandins Leukot. Essent. Fat. Acids*, vol. 119, pp. 1–17, 2017.
- [44] E. European Food Safety Authority, “Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to vitamin E and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 160, 162, 1947), maintenance of the normal function of the immune system (ID 161, 163), maintenance of norm,” *EFSA J.*, vol. 8, no. 10, pp. 1–30, 2010.
- [45] P. Surai, I. Ionov, A. Buzhin, and N. Buzhina, “Vitamin E and egg quality,” in *VI European Symposium on the quality of egg and egg products*, 1995, pp. 387–394.
- [46] J. M. Miranda *et al.*, “Egg and egg-derived foods: Effects on human health and use as functional foods,” *Nutrients*, vol. 7, no. 1, pp. 706–729, 2015.

- [47] Y. H. Jiang, R. B. McGeachin, and C. A. Bailey, "Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene, and Retinol Enrichment of Chicken Eggs," *Poult. Sci.*, vol. 73, no. 7, pp. 1137–1143, 1994.
- [48] A. V. Mori, C. X. Mendonça, C. R. M. Almeida, and M. C. G. Pita, "Supplementing hen diets with vitamins A and E affects egg yolk retinol and α -tocopherol levels," *J. Appl. Poult. Res.*, vol. 12, no. 2, pp. 106–114, 2003.
- [49] World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Vitamin and mineral requirements in human nutrition Second edition," *World Heal. Organ. Food Agric. Organ. United Nations*, pp. 1–20, 2004.
- [50] Unicef, "Vitamin A deficiency," 2017. <https://data.unicef.org/topic/nutrition/vitamin-a-deficiency/> (eingesehen am 1.4.2021)..
- [51] European Food Safety Authority, "Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin A," *EFSA J.*, vol. 13, no. 3, p. 4028, 2015.
- [52] P. Rust, V. Hasenegger, and J. König, "Österreichischer Ernährungsbericht," 2017.
- [53] Max Rubner-Institut Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, "Nationale Verzehrsstudie II," 2008.
- [54] C. X. Mendonça, C. R. M. Almeida, A. V. Mori, and C. Watanabe, "Effect of dietary vitamin A on egg yolk retinol and tocopherol levels," *J. Appl. Poult. Res.*, vol. 11, no. 4, pp. 373–378, 2002.
- [55] D. Sklan and S. Donoghue, "Vitamin E response to high dietary vitamin A in the chick," *J. Nutr.*, vol. 112, no. 4, pp. 759–756, 1982.
- [56] L. Wuhan ChemFaces Biochemical Co., "Chem Faces," 2020. Available: <http://www.chemfaces.com/>.
- [57] D. Weber and T. Grune, "The contribution of β -carotene to vitamin A supply of humans," *Mol. Nutr. Food Res.*, vol. 56, no. 2, pp. 251–258, 2012.
- [58] Institute of Medicine, "Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. A Report of the Panel on Micronutrients, Subcommittees on Upper Reference Levels of Nutrients a," Washington D.C., 2001.
- [59] N. I. Krinsky, J. T. Landrum, and R. A. Bone, "Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye," *Annu. Rev. Nutr.*, vol. 23, pp. 171–201, 2003.
- [60] B. R. Hammond, B. R. Wooten, and D. Snodderly, "Density of the human crystalline

- lens is related to the macular pigment carotenoids, lutein and zeaxanthin.," *Optom. Vis. Sci.*, pp. 499–504, 1997.
- [61] H. Y. Chung, H. M. Rasmussen, and E. J. Johnson, "Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men," *J. Nutr.*, vol. 134, no. 8, pp. 1887–1893, 2004.
- [62] J. Schlatterer and D. E. Breithaupt, "Xanthophylls in commercial egg yolks: Quantification and identification by HPLC and LC-(APCI)MS using a C30 phase," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 54, no. 6, pp. 2267–2273, 2006.
- [63] M. Wenzel, I. Seuss-Baum, and E. Schlich, "Influence of pasteurization, spray- And freeze-drying and storage on the carotenoid content in egg yolk," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 58, no. 3, pp. 1726–1731, 2010.
- [64] T. Böhm *et al.*, "Food-derived peroxidized fatty acids may trigger hepatic inflammation: A novel hypothesis to explain steatohepatitis," *J. Hepatol.*, vol. 59, no. 3, pp. 563–570, 2013.
- [65] M. Pignitter *et al.*, "Cold fluorescent light as major inducer of lipid oxidation in soybean oil stored at household conditions for eight weeks," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 62, no. 10, pp. 2297–2305, 2014.
- [66] A. Kamal-Eldin and L. A. Appelqvist, "The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols," *Lipids*, vol. 31, no. 7, pp. 671–701, 1996.
- [67] K. M. Schaich, *Lipid Oxidation: New Perspectives on an Old Reaction*. 2020.
- [68] Bundesministerium Arbeit Soziales Gesundheit und Konsumentenschutz, "Codexkapitel B30 Speisefette, Speiseöle, Streichfette und andere Fetterzeugnisse," *Österreichisches Lebensmittelbuch*. pp. 1–16, 2019.
- [69] Europäische Kommission, "Verordnung (EWG) Nr 2568/91 über die Merkmale von Olivenöl und Oliventresterölen sowie die Verfahren zu ihrer Bestimmung." p. 95, 1991.
- [70] D. H. Bergquist, "Egg dehydration," in *Egg Science and Technology*, W. J. Stadelman and O. J. Cotterill, Eds. Westport, 1986, pp. 243–272.
- [71] M. F. Caboni *et al.*, "Effect of processing and storage on the chemical quality markers of spray-dried whole egg," *Food Chem.*, vol. 92, no. 2, pp. 293–303, 2005.
- [72] A. Meynier *et al.*, "n-3 fatty acid enriched eggs and production of egg yolk powders: An increased risk of lipid oxidation?," *Food Chem.*, vol. 153, pp. 94–100, 2014.
- [73] V. Verardo, Y. Riciputi, M. C. Messina, E. Marconi, and M. F. Caboni, "Influence of

- drying temperatures on the quality of pasta formulated with different egg products,” *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 243, no. 5, pp. 817–825, 2017.
- [74] A. Mortensen and L. H. Skibsted, “Importance of Carotenoid Structure in Radical-Scavenging Reactions,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 45, no. 8, pp. 2970–2977, 1997.
- [75] M. Koç, B. Koç, G. Susyal, M. S. Yilmazer, F. K. Ertekin, and N. Bağdatlıoğlu, “Functional and physicochemical properties of whole egg powder: Effect of spray drying conditions,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 48, no. 2, pp. 141–149, 2011.
- [76] J. Folch, M. Lees, and G. . Sloane Stanley, “A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues,” *J. Biol. Chem.*, vol. 55, no. 5, pp. 999–1033, 1987.
- [77] M. SĂRĂCILĂ *et al.*, “Monitoring Lipid Peroxidation in Eggs Enriched in Omega 3 Polyunsaturated Fatty Acids ($\Omega - 3$ Pufa),” *Sci. Pap. Ser. D, Anim. Sci.*, vol. 60, pp. 109–117, 2017.
- [78] R. Aparicio and R. Aparicio-Ruíz, “Authentication of vegetable oils by chromatographic techniques,” *J. Chromatogr. A*, vol. 881, no. 1–2, pp. 93–104, 2000.
- [79] R. K. Lall, A. Proctor, and V. P. Jain, “A Rapid, Micro FAME Preparation Method for Vegetable Oil Fatty Acid Analysis by Gas Chromatography,” *Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 68, pp. 309–314, 2009.
- [80] A. Meluzzi, F. Sirri, G. Manfreda, N. Tallarico, and A. Franchini, “Effects of Dietary Vitamin E on the Quality of Table Eggs Enriched with n-3 Long-Chain Fatty Acids,” *Poult. Sci.*, vol. 79, no. 4, pp. 539–545, 2000.
- [81] M. Pignitter *et al.*, “Vitamin A is rapidly degraded in retinyl palmitate-fortified soybean oil stored under household conditions,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 62, no. 30, pp. 7559–7566, 2014.
- [82] R. E. Wrolstad *et al.*, Eds., “Determination of Peroxide Value by Measurement of Iron Oxidation,” in *Handbook of Food Analytical Chemistry: Water, Proteins, Enzymes, Lipids, and Carbohydrates*, John Wiley & Sons, 2005, pp. 520–522.
- [83] A. Akpınar-Bayazit, T. Özcan, L. Yılmaz-Ersan, and O. Gurbuz, “Impact of processing methods on nutritive value and fatty acid profile of hen eggs,” *Pak. Vet. J.*, vol. 30, no. 4, pp. 219–222, 2010.
- [84] Institut für Ernährungsinformation, “DEBInet Deutsches Ernährungsberatungs- & -informationsnetz,” 2021.
<http://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/E111100/Huehnerei-Vollei-roh.php>.

- [85] C. K. Lutter and K. G. Dewey, "Proposed nutrient composition for fortified complementary foods," *J. Nutr.*, vol. 133, no. 9, pp. 3011–3020, 2003.
- [86] W. J. Stadelman and O. J. Cotterill, "Egg science and technology," *Food Prod. Press*, 1995.
- [87] M. Pignitter, S. Grosshagauer, and V. Somoza, "Stability of Vitamin E in foods.," in *Vitamin E in Human Health*, P. Weber, M. Birringer, J. B. Blumberg, M. Eggersdorfer, and J. Frank, Eds. Humana Press, Cham, 2019, pp. 215–232.
- [88] A. Perry, H. Rasmussen, and E. J. Johnson, "Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 22, no. 1, pp. 9–15, 2009.
- [89] AOAC, "Peroxide Value of Oils and Fats 965.33.12," in *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 17th ed., Maryland, USA, 2000.
- [90] Pan American Health Promotion and Protection (PAHO) and World Health Organization (WHO), "Guiding Principles for complementary feeding of the breastfed child," Washington, DC, 2003.
- [91] C. K. Lutter *et al.*, "Impacts of an egg complementary feeding trial on energy intake and dietary diversity in Malawi," *Matern. Child Nutr.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [92] FAO/WHO, "Guidelines on formulated complementary foods for older infants and young children: CAC/GL 8-1991," in *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy, 2013, pp. 1–10.
- [93] S. Grosshagauer *et al.*, "Inadequacy of nutrients and contaminants found in porridge-type complementary foods in Rwanda," *Matern. Child Nutr.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [94] D. A. Omana, J. Wang, and J. Wu, "Ovomucin - a glycoprotein with promising potential," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 21, no. 9, pp. 455–463, 2010.
- [95] A. Hidalgo, M. Rossi, and C. Pompei, "Furosine as a Freshness Parameter of Shell Eggs," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 43, no. 6, pp. 1673–1677, 1995.
- [96] M. X. Fu, J. R. Requena, A. J. Jenkins, T. J. Lyons, J. W. Baynes, and S. R. Thorpe, "The advanced glycation end product, N ϵ -(carboxymethyl)lysine, is a product of both lipid peroxidation and glycoxidation reactions," *J. Biol. Chem.*, vol. 271, no. 17, pp. 9982–9986, 1996.
- [97] K. Šebeková and V. Somoza, "Dietary advanced glycation endproducts (AGEs) and

- their health effects - PRO," *Mol. Nutr. Food Res.*, vol. 51, no. 9, pp. 1079–1084, 2007.
- [98] T. Kislinger *et al.*, "N(ε)-(carboxymethyl)lysine adducts of proteins are ligands for receptor for advanced glycation end products that activate cell signaling pathways and modulate gene expression," *J. Biol. Chem.*, vol. 274, no. 44, pp. 31740–31749, 1999.
- [99] A. Bierhaus *et al.*, "Understanding RAGE, the receptor for advanced glycation end products," *J. Mol. Med.*, vol. 83, no. 11, pp. 876–886, 2005.
- [100] Z. Wang *et al.*, "CML/RAGE signal induces calcification cascade in diabetes," *Diabetol. Metab. Syndr.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [101] N. Tahara *et al.*, "Serum levels of advanced glycation end products (AGEs) are independent correlates of insulin resistance in nondiabetic subjects," *Cardiovasc. Ther.*, vol. 30, no. 1, pp. 42–48, 2012.
- [102] V. C. Luft *et al.*, "Carboxymethyl lysine, an advanced glycation end product, and incident diabetes: a case–cohort analysis of the ARIC Study," *Diabet. Med.*, vol. 33, no. 10, pp. 1392–1398, 2016.
- [103] S. R. Thorpe and J. W. Baynes, "CML: A brief history," *Int. Congr. Ser.*, vol. 1245, no. C, pp. 91–99, 2002.

9 Anhang

Tabelle 26 Trocknungsfaktor der Eier aus Charge 1-4 (Chemisches Institut Burkon)

Charge	Trocknungsfaktor	Trocknungsfaktor	MW
		Techn. Replikat	
1	3,58	3,69	3,64
2	3,03	3,00	3,02
3	3,35	3,31	3,33
4	2,97	2,96	2,97

Tabelle 27 Fettgehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Fettgehalt Flüssigvolleier					Fettgehalt Flüssigvolleier		
g/100 g (FG)					g/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	10,6	1,1	10,7	3,64	38,5	4,3	11,1
2	11,6	1,7	14,6	3,02	35,0	5,1	14,6
3	11,2	0,4	3,4	3,33	37,3	1,5	4,0
4	11,4	0,6	5,0	2,97	33,8	1,7	5,1

Tabelle 28 Fettgehalt von Volleipulver der Charge 1-4

Fettgehalt Volleipulver			
g/100 g			
Charge	MW	SD	VK (%)
1	37,7	1,6	4,1
2	40,5	0,3	0,7
3	39,7	0,9	2,2
4	35,8	1,2	3,4

Tabelle 29 Palmitinsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Palmitinsäure C16:0 Flüssigvolleier g/100 g (FG)					Palmitinsäure C16:0 Flüssigvolleier g/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	1,29	0,11	8,3	3,64	4,71	0,48	10,2
2	1,74	0,21	12,0	3,02	5,2	0,59	11,3
3	1,61	0,09	5,4	3,33	5,4	0,33	6,1
4	1,5	0,10	6,7	2,97	4,49	0,30	6,7

Tabelle 30 Stearinsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Stearinsäure C18:0 Flüssigvolleier g/100 g (FG)					Stearinsäure C18:0 Flüssigvolleier g/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	0,52	0,04	8,4	3,64	1,89	0,19	10,3
2	0,68	0,08	12,0	3,02	2,06	0,23	11,3
3	0,65	0,02	3,2	3,33	2,16	0,08	3,9
4	0,60	0,03	4,5	2,97	1,79	0,08	4,6

Tabelle 31 Ölsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Ölsäure C18:1 Flüssigvolleier g/100 g (FG)					Ölsäure C18:1 Flüssigvolleier g/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	2,62	0,20	7,7	3,64	9,53	0,91	9,6
2	3,52	0,39	11,2	3,02	10,60	1,11	10,5
3	3,09	0,17	5,5	3,33	10,29	0,64	6,2
4	1,89	0,23	12,0	2,97	9,43	0,69	7,3

Tabelle 32 Linolsäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Linolsäure C18:2 Flüssigvolleier g/100 g (FG)					Linolsäure C18:2 Flüssigvolleier g/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	1,14	0,00	0,2	3,64	4,14	0,37	9,0
2	1,36	0,14	10,6	3,02	4,11	0,41	9,9
3	1,35	0,06	4,6	3,33	4,49	0,24	5,3
4	1,68	0,07	4,3	2,97	3,71	0,22	5,9

Tabelle 33 Linolensäure-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Linolensäure C18:3 Flüssigvolleier g/100 g (FG)					Linolensäure C18:3 Flüssigvolleier g/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	0,23	0,00	0,4	3,64	0,83	0,01	1,4
2	0,25	0,01	2,8	3,02	0,91	0,03	2,8
3	0,24	0,00	1,2	3,33	0,86	0,01	1,2
4	0,23	0,00	1,3	2,97	0,84	0,01	1,3

Tabelle 34 Pamitin- und Stearinsäure-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4

Palmitinsäure C16:0				Stearinsäure C18:0		
Volleipulver				Volleipulver		
g/100 g				g/100 g		
Charge	MW	SD	VK (%)	MW	SD	VK (%)
1	3,13	0,68	21,7	1,19	0,24	20,5
2	4,29	0,14	3,4	1,57	0,03	2,2
3	3,79	0,89	23,5	1,43	0,36	25,1
4	2,40	0,55	23,1	0,92	0,21	22,9

Tabelle 35 Öl- und Linolsäure-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4

Ölsäure C18:1				Linolsäure C18:2		
Volleipulver				Volleipulver		
g/100 g				g/100 g		
Charge	MW	SD	VK (%)	MW	SD	VK (%)
1	5,88	1,40	23,9	2,38	0,55	23,2
2	8,02	0,45	5,7	2,91	0,20	6,8
3	7,03	1,82	25,9	2,90	0,73	25,1
4	4,75	1,00	21,2	1,75	0,38	21,8

Tabelle 36 Linolensäure-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4

Linolensäure C18:3 Volleipulver (g/100 g)			
Charge	MW	SD	VK (%)
1	0,28	0,02	7,6
2	0,33	0,01	2,0
3	0,30	0,02	8,2
4	0,25	0,01	5,7

Tabelle 37 α -Tocopherol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

α -Tocopherol Flüssigvolleier mg/100 g (FG)					α -Tocopherol Flüssigvolleier mg/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	6,15	0,32	5,2	3,64	22,37	0,80	3,6
2	7,00	0,06	0,9	3,02	21,11	0,29	1,4
3	7,24	0,28	3,9	3,33	24,09	0,89	3,7
4	6,93	0,46	6,7	2,97	20,56	1,39	6,8

Tabelle 38 γ -Tocopherol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

γ-Tocopherol Flüssigvolleier mg/100 g (FG)					γ-Tocopherol Flüssigvolleier mg/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	3,50	0,27	7,6	3,64	12,70	0,77	6,1
2	4,18	0,22	5,3	3,02	12,61	0,73	5,8
3	3,99	0,32	8,0	3,33	13,27	1,02	7,7
4	3,96	0,27	6,8	2,97	11,74	0,81	6,9

Tabelle 39 δ -Tocopherol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

δ-Tocopherol Flüssigvolleier mg/100 g (FG)					δ-Tocopherol Flüssigvolleier mg/100 g (TM)		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	1,85	0,29	15,6	3,64	6,72	0,95	14,1
2	2,30	0,09	3,8	3,02	6,95	0,28	4,0
3	1,74	0,22	12,9	3,33	5,78	0,72	12,5
4	2,48	0,06	2,4	2,97	7,35	0,18	2,5

Tabelle 40 α -, γ - und δ -Tocopherol -Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4

α -Tocopherol Volleipulver mg/100 g				γ -Tocopherol Volleipulver mg/100 g			δ -Tocopherol Volleipulver mg/100 g		
Charge	MW	SD	VK (%)	MW	SD	VK (%)	MW	SD	VK (%)
1	20,41	1,26	6,2	10,43	0,61	5,8	7,41	0,57	7,7
2	20,23	0,06	0,3	10,42	0,23	2,2	6,59	0,34	5,2
3	26,69	1,66	6,2	12,50	1,22	10,0	6,05	0,23	3,8
4	18,78	0,75	4,0	10,14	0,40	4,0	6,69	0,46	6,9

Tabelle 41 Retinol-Gehalt von Flüssigvolleiern der Charge 1-4 Frischgewicht (FG) und in der Trockenmasse (TM)

Retinol Flüssigvolleier $\mu\text{g}/100\text{ g (FG)}$					Retinol Flüssigvolleier $\mu\text{g}/100\text{ g (TM)}$		
Charge	MW	SD	VK (%)	Trocknungs- faktor	MW	SD	VK (%)
1	166,09	13,48	8,1	3,64	604,26	52,15	8,6
2	160,48	9,20	5,7	3,02	483,89	27,15	5,6
3	200,94	8,30	4,1	3,33	668,48	29,16	4,4
4	193,37	21,19	11,0	2,97	573,70	63,47	11,1

Tabelle 42 Retinol-Gehalt von Volleipulver der Charge 1-4

Retinol Volleipulver			
$\mu\text{g}/100\text{ g}$			
Charge	MW	SD	VK (%)
1	452,14	40,96	9,1
2	414,90	25,85	6,2
3	525,82	18,87	3,6
4	542,58	42,35	7,8

Tabelle 43 Peroxidzahl von Flüssigvolleiern und Volleipulver der Charge 1-4

Peroxidzahl Flüssigvolleier				Peroxidzahl Volleipulver		
$\text{meq O}_2/\text{kg Fett}$				$\text{meq O}_2/\text{kg Fett}$		
Charge	MW	SD	VK (%)	MW	SD	VK (%)
1	1,15	0,17	14,7	1,82	0,005	2,5
2	0,88	0,10	11,1	1,60	0,07	4,1
3	1,01	0,22	21,7	1,68	0,12	7,0
4	1,26	0,04	3,0	1,75	0,19	10,7