



Untersuchung eines Thüringer Eiersortimentes in der Differenzierung nach Hennenhaltung und –fütterung

Friedrich Schöne, Gerhard Richter, Susann Westphal, Carmen Kinast,
Jürgen Bargholz und Matthias Leiterer

Einleitung

Die unter hiesigen Bedingungen hohe Mortalität infolge Herz-Kreislauf-Erkrankungen von etwa der Hälfte der Todesfälle wird durch die Ernährung mitbestimmt und vor diesem Hintergrund stehen ebenfalls traditionelle Lebensmittel auf dem Prüfstand.

Das Hühnerei ist als Quelle eines hochwertigen Eiweißes und vieler Mikronährstoffe unumstritten. Jedoch beurteilen noch immer Teile der Öffentlichkeit bzw. der Ernährungsberatung das Ei aufgrund seines Cholesterinreichtums negativ, häufig aufgrund einer nach McNAMARA (2000) „simplen Gleichsetzung des Nahrungs- und Blutcholesterins“. Die in vielen Untersuchungen mit stark variierender Cholesterinzufuhr belegte Konstanz des Blutcholesterinspiegels (KRITCHEVSKY, 2000) folgt aus der Anpassung der körpereigenen Cholesterinsynthese. Bei niedriger Cholesterinzufuhr ist die Synthese hoch, bei hoher Zufuhr niedrig. In Langzeitstudien erhöhte selbst der Verzehr von mehreren Eiern pro Woche das Herzinfarktrisiko nicht (SCHNOHR et al., 1994; HU et al., 1999). Die Höhe der Konzentration des Blutcholesterins und der auf die Blutlipoproteine unterschiedlicher Dichte entfallenden Cholesterinanteile werden von der Nahrungsfettzusammensetzung bestimmt.

Gesättigte Fettsäuren (saturated fatty acids = SFA) wirken blutcholesterinsteigernd, wogegen einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren (mono- and polyunsaturated fatty acids = MUFA and PUFA) das Blutcholesterin senken oder cholesterinneutral sind (HOWELL, 2000). Neben dem Cholesterinstatus wichtig für die Gefäßveränderungen bzw. das Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiko sind die Omega-3-Fettsäuren wie die Alpha-Linolensäure (ALA), die Docosahexaensäure (DHA) und die daraus gebildeten Eicosanoide. Sie wirken entzündungshemmend, gefäßerweiternd, gerinnungshemmend und blutdrucksenkend. Dagegen fördern die Omega-6-Fettsäuren wie die Linolsäure, die Arachidonsäure bzw. die daraus gebildeten Eicosanoide Entzündungen, verengen die Gefäße, fördern die Gerinnung und erhöhen den Blutdruck (BIESALSKI und GRIMM, 2002).

Die Eifettzusammensetzung erscheint im Ergebnis bisheriger Fütterungsversuche und Markterhebungen als sehr „plastisch“ im Vergleich etwa zum Milchfett oder zum Schweinefett (SCHÖNE et al. 1999). Für die Anreicherung von Omega-3-Fettsäuren im Ei fütterte man Legehennen Leinöl (EDER et al., 1998; FARELL, 1998), Sojaöl (DÄNICKE et al., 2000) oder Rapsöl (JEROCH, 2003) aber auch Meeresalgen (HERBER and VAN ELSWYK, 1996; ABRIL et al., 2000) oder Fischöl (HUSVETH et al., 2003). Über die mit Omega-3-Fettsäuren angereicherten Eier hinaus werden Premiumeier mit mehr Vitamin E, Selen (SURAI et al., 2000; JEROCH et al., 2002) oder Jod (MICHELLA and SLAUGH, 2000) erzeugt.

Der Anreicherung weiterer Bestandteile (Eisen, Magnesium, Kupfer, Vitamin C, Cholin, aber auch bestimmter Aminosäuren) setzt die Henne physiologische Grenzen (NABER, 1979; EDER und BRANDSCH 2000) oder es bestanden bisher von Seiten der Ernährung keine Anforderungen (Mangan, Zink und die verschiedenen B-Vitamine) oder eine Extraanreicherung etwa von Vitamin A und mehr noch von Vitamin D werden für die Gesundheit des Konsumenten sogar kritisch beurteilt. Gewisse Erwartungen, die man in konjugierte Linolsäuren setzte, haben sich am Menschen nicht erfüllt (HOSCHEK et al., 2003), womit auch die Notwendigkeit der Anreicherung im Eidotter (CHAMRUSPOLLERT and SELL, 1999) inzwischen wieder angezweifelt wird.

Eier mit bestimmten ernährungsphysiologisch vorteilhaften Bestandteilen sind demnach die Ausnahme, zumal der Markt bei Erfüllung der Hauptanforderungen *Frische* nach Gewichtsklasse und Hennenhaltung differenziert.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war ein Eiersortiment von drei Thüringer Erzeugern in der Differenzierung nach Haltungsform (Boden, Käfig, Freiland) und der Position am Markt – *Standardware* erzeugt mit normalem Legehennenfutter versus *Premiumware* erzeugt mit Spezialfutter. Neben der Erfassung der Gewichtsanteile der Schale, des Eiklars und des Eidotters wurden die Beschaffenheitskriterien *Schalenstabilität*, *Schalenfarbe*, *Dotterfarbe* und *Eiklarhöhe* untersucht. Als ernährungsphysiologisch relevant sollten im Eiinhalt über die Konzentration des Eiweißes und Fettes hinaus die Gehalte der Fettsäuren, Mengen- und Spurenelemente sowie der Vitamine A und E erfasst werden. Bei Unterschieden der Kon-

zentrationen der Mikronährstoffe oder des Fettsäurenmusters im Eiinhalt waren retrospektiv die für die betreffenden Eiherkünfte relevanten Futtermischungen zu analysieren.

Material und Methoden

Die insgesamt 210 braunschaligen Eier laut Untersuchungsplan in der Gewichtsklasse L (63 bis 73 g) stammten vom gleichen Legetag (19.11.2000), und wurden am Tag darauf direkt von den Eierpackstellen der drei großen Legebetriebe geholt (Verschlüsselung bei den Untersuchern). Die 7 Eiherkünfte zu je 30 Stück teilten sich auf drei Haltungsformen (je zwei Betriebe mit Käfighaltung und Bodenhaltung, je zwei Betriebe mit Freilandhaltung) und fünf Futtermischungen auf: in drei Betrieben 3 Normalmischungen und dazu in zwei Betrieben je ein Spezialfutter (Tab. 1). Die Hennen repräsentierten ausschließlich braungefiederte Hybriden der Herkunft *Lohmann Brown*, ohne dass weitere Auskünfte etwa zum Hennenalter gegeben wurden.

Am Tag nach der Abholung erfolgten die Wägungen von Schale, Eiklar und Eidotter und die beschriebene Ermittlung von Kriterien der Eibeschaffenheit (siehe nächster Unterpunkt). Die Gesamtinhalte von 20 Eiern/Gruppe und – jeweils getrennt - die Dotter und Eiklars von 10 Eiern je Gruppe wurden anschließend gefriergetrocknet, die in einem Mörser homogenisierte Probe bzw. Teilprobe eines jeden Eies wurde wiederum gewogen, separat in Folie eingeschweißt und bis zur Analyse der Trockenmasse (30 Eier/Gruppe), des Eiweißes und des Fettes (10 Eier/Herkunft), der Fettsäuren (10 Eidotter/Herkunft) und der Mikronährstoffe (10 Eier/Herkunft) bei -18 °C aufbewahrt.

In den Betrieben bzw. in deren Haltungs- und Fütterungsprogrammen wurden die Futtermittelkennzeichnung erfasst und gegebenenfalls Futtermittelproben gezogen.

Wägungen und Ermittlung der Kriterien der Eibeschaffenheit

Schalenstabilität: Der Äquator des Eies wurde mittels eines Metallstempels mit einer Kraft von 9,81 N belastet, die dabei auftretende elastische Verformung = Deformation des Eies mittels Deformationsmessgerät (DM G 4, Firma Gutsch, Nauendorf) gemessen. Die Messung der Bruchfestigkeit der Eier erfolgte mittels Kleinlast-Biegeprüfgerät BPG 50 (Firma Kögel, Leipzig). Hierbei werden die beiden Eipole zwischen zwei Druckplatten eingespannt. Die zu messende Kraft wird gesteigert bis die Schale bricht.

Gewichte und weitere Merkmale: Mit dem Eiquantitätsmesssystem TSS-QCS-2, der Firma Technical Services and Supplies (Dunnington, England) wurden das Gewicht des Gesamteies, des Eiklars, des Dotters und der Schale ermittelt. Das System diente ebenfalls der Bestimmung der weiteren in Tabelle 2 in den Fußnoten 4) bis 6) aufgeführten Merkmale.

Analysen

Die Trockenmassebestimmung erfolgte nach dem Vermischen mit Seesand im Trockenschrank bei $103 \pm 2\text{ °C}$ bis zum Erreichen der Massenkonstanz, die Analyse des Eiweißes als N nach Kjeldahl unter Multiplikation mit dem Faktor 6,25 und die Lipidbestimmung durch eine Heißextraktion mit einem Gemisch aus Cyclohexan und zu Ethanol im Verhältnis 1 zu 1 Volumenanteil (Methoden nach §35 des LMBG, ab 2005 LF GB § 64, L 05.00-12, L 05.00-15 und L 05.00-14).

Für die Fettsäurenbestimmung wurden 2,5 g des Dotterlyophilisates bzw. 20 g des Futtermittels eingewogen, mit 5 g Na_2SO_4 und 50 ml n-Hexan versetzt und für 3 Minuten mit dem Ultra-Turrax T25 dispergiert¹. Danach wurde die Lösung 2 mal filtriert, bei Nachspülen mit je 10

¹ Parallel wurden jeweils fünf Proben Dotterlyophilisate aus vier Gruppen (in Tab. 1 lfd. Nr. 1, 4, 6 und 7) nach BLIGH and DYER (1956) mit einem polaren Lösungsmittel (10 ml Chloroform, 20 ml Methanol auf 2,5 g Ly-

ml n-Hexan. Anschließend dampfte man das Lösungsmittel ab und löste 50 mg des gewonnenen Fettes in 5 ml tertiärem-Butylmethylether. Zur Darstellung der Fettsäuremethylester (FSME) wurden 400 µl abgenommen und mit 200 µl Trimethylsulfoniumhydroxid-Lösung versetzt. 1 µl dieser Lösung injiziert man dann in die GC-Apparatur (HP 6890) Trennsäule CP SIL 88 50 m, ID 0,25 mm, FD 0,2 µm, Split 1:50; Trägergas Helium, Standard Sigma 189 –19, Anfangstemperatur 130°C 1 min, 130-200°C 4°/min, 200-230°C 3°/min, 230°C 12 min, Detektor FID .

Die Bestimmung von Na, P, Mg, Ca, Fe, Cu und Mn erfolgte mittels Atomemissionspektrometrie mit induktiv gekoppelter Plasmaanregung (ICP-AES) nach Druckaufschluss mit einem Gemisch aus 65%iger HNO₃ und 30%igem H₂O₂ über 7 Stunden bei 170 ° C; die Messbedingungen am OPTIMA 3000 (Perkin_Elmer): Plasmagasstrom 15 l/min; Zerstäubergasstrom 0,80 l/min; Hilfsgasstrom 0,50 l/min; Plasmaleistung 1300 Watt; Beobachtungshöhe 15 mm.

Für die Selenanalyse kam die Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) mit der Hydrid-Technik unter Verwendung von Natriumborhydrid als Reduktionsmittel zum Einsatz, die Messbedingungen am AAS Analyst 100/FIAS 400 (Perkin_Elmer): Integrationszeit 15 s; Signalverarbeitung 0,5 Peakhöhe; EDL 260 mA, Spaltbreite 2,0 nm, Wellenlänge 196,0 nm.

Die Bestimmung des Jods erfolgte mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) ELAN 6000 (Perkin_Elmer) nach Extraktion mit Tetramethylammoniumhydroxid (TMAH) entsprechend §35 des LMBG L 49.00-6:1998-09 (Details bei SCHÖNE et al. 2001).

Die Bestimmung des Retinols und der Tocopherole erfolgte nach dem Methodenbuch des VDLUFA Band III (BASSLER und BUCHHOLZ 1997): Nach der alkalischen Verseifung der Probe wurden die Tocopherole und das Retinol mit einem Petrolether-Diethylether-Gemisch extrahiert. Nach Einengen des Extraktes wurde der Rückstand in n-Hexan (Tocopherolbestimmung) bzw. in Methanol (Retinolbestimmung) gelöst. Die Bestimmung des Gehaltes der einzelnen Tocopherolspezies und des Retinols erfolgte mit dem Gerät *Gynkotek* an der Normalphase (Kieselgel) unter Verwendung eines Fluoreszenzdetektors oder eines UV-Detektors; HPLC-Bedingungen: Trennsäule Edelstahl, 250 mm x 4 mm mit Füllmaterial für die Normalphasenchromatographie, Elutionsmittel n-Hexan-2-Propanol-Gemisch, z.B. 998+2 (V+V) je nach Säule, Durchflussrate ca. 2 ml / min, Fluoreszenzdetektor-Anregung: 290 nm, -Emission: 330 nm, UV-Detektor 292 nm, Injektionsvolumen 20 µl, Auswertung der Peakhöhen.

Statistische Methoden

Die Berechnungen der Mittelwerte und Standardabweichungen und gegebenenfalls der Regressionen und Korrelationen erfolgten mit dem Programm Microsoft[®] Excel 2000. Für die univariate Varianzanalyse und den Student-Newman-Keuls-Test kam das Programm Windows SPSS 10.0.7. zur Anwendung.

Ergebnisse und Diskussion

Gewichte der Eier, des Eiinhaltes und der Schale und Merkmale der inneren sowie äußeren Eibeschaffenheit

Mit Ausnahme der etwas zu leichten Eier aus Betrieb C/Normalfutter/Freilandhaltung erfüllten die Mittelwerte der Eigewichte der anderen sechs Herkünfte die Untersuchungsvorgabe für die Gewichtsklasse L von 63 bis 73 g Eigewicht (Tab. 2). Die Gruppenunterschiede des Absolutgewichtes des Eiklars, des Dotters und der Schale lassen sich zumindest in Teilen aus den Unterschieden des Eigewichtes erklären.

Der mittlere Dotteranteil am Eiinhalt variierte zwischen den Herkünften von 27 bis 31 %. In größeren Eiern ist der Dotteranteil niedriger; es bestand eine signifikant negative Beziehung

ophilisat) extrahiert, dies angesichts erheblicher Phospholipidanteile im Eifett (SCHERZ und SENSER 2000) und deren mutmaßlich von den Neutralfetten abweichenden Fettsäureanteilen.

zwischen prozentualen Dotteranteil und dem Gewicht des Eies bzw. des Eiinhaltes (Tab. 3). Ein Zehntel bis ein Neuntel des Eigewichtes entfielen auf die Schale (Tab. 2). Die nachgewiesenen Unterschiede in den prozentualen Anteilen des Schalengewichtes am Eigewicht oder des Dottergewichtes relativ zum Gewicht des Eiinhaltes deuten auf Einflüsse, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht kontrolliert wurden. Die durchschnittliche Eiklarhöhe war zwischen 4,4 mm bei den Eiern des Betriebes A / Freilandhaltung und 6,7 mm bei den Eiern der Käfighaltung desselben Betriebes (Tabelle 2). Damit wurde die Frische der Eier bestätigt, liegt doch bei einem frischen Ei die Eiklarhöhe bei 5 mm (KALLWEIT et al., 1988).

Die Dotterfarbe der Eiherkünfte aus dem Normalsegment in den drei Haltungsformen des Betriebes A repräsentierte den stärksten rötlichen Ton (Tab. 2). Die „DHA-Eier“ aus diesem Betrieb waren signifikant heller und im Gruppenvergleich überhaupt am hellsten. Die natürliche Dotterfarbe eines Hühnereies liegt bei ca. 8-9 Einheiten der Roche-Farbfächerskala, was einem zitronengelb entspricht. Die in der Regel intensivere Dotterfarbe der untersuchten Eier resultiert vor allem aus der Canthaxanthinanzwendung, die - wie später beschrieben - für die Futtermischungen deklariert worden ist.

Die Braunschalgigkeit wurde durch die Schalenfarbemessung bestätigt. Die Farbintensitätsunterschiede zwischen den Gruppen können nicht erklärt werden.

Unter den erfassten Schalenstabilitätskriterien wiesen die untersuchten Eier Deformationen zwischen 50 und 62 μm auf. KALLWEIT et al. (1988) geben für dieses Maß der elastischen Verformung einen Durchschnittswert von 60 μm an. Die Bruchfestigkeit der Eier war im Bereich von 32 N und 42 N. Die Beziehung zwischen Bruchfestigkeit und Deformation ist invers, was sich in dem hohen negativen Korrelationskoeffizienten (Tab. 3) ausdrückt. Enge positive Beziehungen bestehen zwischen Schalengewicht, Schalendichte und Bruchfestigkeit.

Nach der Literatur (TOLAN et al., 1974) ist ein Einfluss des Haltungssystems auf die Anzahl und das Gewicht der je Henne in der Zeiteinheit gelegten Eier nicht gegeben – dies bei untermstelltem (aber untersuchungstechnisch kaum durchführbarem) „Gleichhalten“ von Fütterung, Herkunft und Alter der Hennen.

Der Dotteranteil hängt von der Hennenlinie, vom Alter der Tiere bzw. der Eigröße und von der Lagerung ab (SCHOLTYSSSEK, 1987). Die Eier waren frisch und ein lagerungsbedingter Anstieg durch den Flüssigkeitsübertritt aus dem Eiklar konnte ausgeschlossen werden. Größere Eier haben wie gezeigt (Tab. 2, 3) einen geringeren Dotteranteil als kleine, jedoch wurden von SCHOLTYSSSEK (1987) für aufgeschlagene Eier in den unterschiedlichen Gewichtsklassen jeweils konstante prozentuale Anteile von Eiklar und Eidotter unterstellt.

Es besteht ein Alterseinfluss auf den prozentualen Schalenanteil bzw. die Bruchfestigkeit, indem beide gegen Ende der Legeperiode abnehmen. Am Ende der Legeperiode sind aber auch die Eier größer, wodurch sich die Schalenfestigkeit verschlechtert. Die Auswirkungen des Haltungssystems auf den Schalenanteil und die Schalenfestigkeit dürften gering sein, wogegen mit den Bewegungsmöglichkeiten der Hennen die Knochenfestigkeit ansteigt (LEYENDECKER et al., 2002).

Der auffällig niedrige Schalenanteil, die niedrige Bruchfestigkeit und Schalendichte bzw. die hohe Deformation der Eier aus der Gruppe mit Leinöl könnte auf eine verschlechterte Calciumresorption zurückzuführen sein. Durch den hohen Fettanteil werden im Magen-Darm-Trakt Calciumseifen gebildet. Inwieweit diese Calciumverbindungen schlechter resorbierbar sind, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Die Beziehung zwischen den Absolutgewichten des Gesamteies und denen von Schale, Eiklar, Dotter bzw. Eiinhalt erscheinen plausibel und werden nicht weiter erörtert (Tab. 3). Hinter weiteren auf den ersten Blick nicht plausiblen signifikanten Korrelationen verbergen sich ebenfalls Gewichtsrelationen: Zum Beispiel folgt aus einem hohen Dottergewicht eine niedrigere Eiklarhöhe – erklärlich über die hochsignifikant negative Beziehung zwischen Eiklargewicht und Dottergewicht und die positive ebenfalls signifikante Beziehung zwischen Eiklargewicht und Eiklarhöhe. Oder, das Schalengewicht und die Trockenmasse des Eiinhaltes

sind negativ korreliert, weil größere Eier mit absolut mehr Schale prozentual mehr des an Trockenmasse armen Eiklars und weniger des an Trockenmasse reichen Dotters besitzen.

Ernährungsrelevante Bestandteile des Eiinhaltes

Der mittlere Trockenmassegehalt des Eiinhaltes der untersuchten Herkünfte variierte zwischen 22 und 24 % (Tab. 4) bei einer Grenzdifferenz für Signifikanz von 0,9 % Trockenmasse. Die Eiweißkonzentration lag in einem relativ engen Bereich um 12 %, dies trotz einzelner signifikanter Gruppenunterschiede. Die mittleren Fettkonzentrationen des Eiinhaltes reichten von 9,1 bis 11,1 %, bei 0,7 % als kleinster signifikanter Grenzdifferenz.

Für die zehn Eier je Gruppe, in denen der Gehalt des Fettes und Proteins analysiert wurde, bestätigt sich die für die größere Eizahl in Tab. 3 gezeigte enge Beziehung zwischen Trockenmasse und Dotteranteil am Eiinhalt ($r = 0,72$; $P < 0,001$) und auch die hochsignifikanten Beziehungen zwischen Dotteranteil und dem Eifett ($r = 0,92$; $P < 0,001$) sowie dem Brennwert des Eiinhaltes ($r = 0,87$; $P < 0,001$) sind nicht unerwartet.

Die SFA mit der dominierenden Palmitinsäure nahmen am Eifett (=Dotterfett) etwa ein Drittel ein (Tab. 5). In der Gruppe mit dem Spezialfutter mit Leinöl und Jod zeigte sich der Anteil SFA sogar auf ein Viertel vermindert. Es überwiegen im Eifett aller untersuchten Herkünfte die ungesättigten Fettsäuren. Mit 40 bis annähernd 50 % der gesamten Fettsäuren dominiert die Ölsäure, unter der Voraussetzung eines Normalfutters auf der Basis von Getreide und Sojaextraktionsschrot. Die PUFA, unter diesen besonders die Linolsäure, nehmen ebenfalls bei Normalfütterung einen Bereich von 16 bis 22 % ein.

Die Verabreichung der Futtermischung mit Leinöl erhöhte den Gehalt besonders der ALA, der Linolsäuregehalt wurde ebenfalls erhöht, jedoch in einem geringen Ausmaß entsprechend einem mittleren Anteil der Linolsäure im Leinöl von lediglich 20 % (SCHUSTER, 1992). Hervorzuheben ist die DHA, deren Anteil durch die Verabreichung des DHA-haltigen Futters signifikant um annähernd das Dreifache gegenüber den Normalfuttergruppen erhöht wurde. Eine moderate Erhöhung des DHA-Anteils wurde durch das Spezialfutter mit Leinöl erreicht, Beleg für die Synthese aus der vermehrt aufgenommenen ALA unter Beteiligung von Desaturasen und Elongasen (BIESALSKI und GRIMM, 2002)

Das Verhältnis Omega-6- zu Omega-3-Fettsäuren betrug bei Verabreichung des Normalfutters über 10:1. DHA im Futter verengte das Verhältnis auf 7:1, die Leinölgabe auf 1:1.

Die 14 % ALA des Eifettes in der Leinölgruppe übersteigen die durch RICHTER et al. (1998) oder BLANCH und GRASHORN (1996) mit Leinfuttermitteln erreichten Anreicherungen dieser Fettsäure um ein Mehrfaches; sie stimmen aber mit den Angaben von SIM and QUI (1995) für „Designer Eggs“ überein. Letztere Autoren geben aber bis auf den Hinweis der Verwendung von Leinfuttermitteln keine Details zu den verwendeten Futtermischungen preis. EDER et al. (1998) erreichten mit 15 % Leinsamenschrot (entsprechend 5...6 % Leinöl) im Futter ein Eifett mit 12 % ALA. Der ein Fünftel höhere Gehalt an ALA in vorliegender untersuchter Eiherkunft aus Betrieb C deutet in Verbindung mit dem relativ niedrigen Fettgehalt des Spezialfutters (Tab. 9) auf das besser verfügbare Leinöl im Vergleich zu den Samen mit deren begrenzter Ölfreisetzung. Weitere Zusammenhänge der Fettsäuregehalte der Eier und der Futtermittel sind später dargestellt.

Die Vergleichsuntersuchung nach Fettextraktion mittels Methanol-Chloroform von jeweils fünf Proben aus den vier in Tabelle 5 durch die Fußnoten 2) und 3) gekennzeichneten Herkünften zeigten mit Ausnahme der Arachidonsäure (20:4) und der Docosahexaensäure (22:6) keine Unterschiede zu den nach Hexanextraktion nachgewiesenen Fettsäurekonzentrationen. Die etwa ein Drittel höheren Konzentrationen der 20:4 und die zweifachen Konzentrationen der 22:6 nach Extraktion mit dem polaren Lösungsmittel deuten auf erhebliche Phospholipidanteile im Eifett, die mit dem üblichen (Neutral)fettlösungsmittel nicht vollständig extrahiert werden.

Ungeachtet teils beträchtlicher und sogar signifikanter Differenzen zwischen den Gruppenmitteln deuten die im Eiinhalt ermittelten Konzentrationen des Na, Mg, Ca, P, Fe, Zn, Cu und Mn auf keinen gerichteten Einfluss hin (Tab. 6). Im Betrieb A in Bodenhaltung fanden sich die niedrigsten Konzentrationen. In Betrieb C wurden bei Normalfütterung in Freilandhaltung bis auf Mn die höchsten Eiinhaltskonzentrationen genannter Mengen- und Spurenelemente

ermittelt. Eine größere Variation trat im Selen- und Jodgehalt auf. Die höchsten Konzentrationen besaßen die Eier aus dem Spezialsegment der mit Leinöl und zusätzlich Jod gefütterten Hennen.

Mit Ausnahme des P, des Mn, des Se und des Jods stimmten die analysierten Mengen- und Spurenelementkonzentrationen, zumeist auch in dem Minimum-Maximum-Bereich, mit den Nährwerttabellen überein (SCHERZ und SENSER, 2000). Der mittlere Gehalt an P unterschritt die Nährwertangaben in der Größenordnung von einem Viertel, der an Mn etwa zur Hälfte. Se war in den untersuchten Eiern in einer anderthalb- bis zweieinhalbfachen Konzentration gegenüber den Nährwerttabellen enthalten. Mit Ausnahme der Eier aus Normalfütterung in Betrieb C entsprach die Ei-Jodkonzentration mindestens dem Maximum der Tabellenangaben von 0,4 mg Jod/kg. Sowohl der höhere Se-Gehalt als auch der höhere Jodgehalt im Vergleich zu den Tabellenangaben sind Ausdruck der heutzutage besseren Ergänzung des Legehennenfutters mit diesen beiden Spurenelementen für eine Anreicherung der Eier bzw. die bessere Versorgung der Eikonsumenten.

Die mittlere Konzentration des Retinols der Eiherkünfte differierte in dem relativ engen Bereich zwischen 1,3 und 1,7 mg/kg (Tab. 7). Am wenigsten des Vitamin A besaßen die Eier der beiden Spezialsegmente.

Mit einem Minimum unter den Mittelwerten von 15 mg/kg und einem Maximum von 34 mg/kg war die Spannbreite der ermittelten Gesamtocopherolkonzentration groß. Das erreichte Tocopherolmaximum bei den Eiern der mit Leinöl und zusätzlich mit Jod gefütterten Hennen resultiert auch aus dem sehr hohen Gamma-Tocopherolgehalt in diesen Eiern zurückzuführen auf den bekannten Gamma-Tocopherol-Reichtum des Leinöls. Gamma-Tocopherol besitzt lediglich ein Viertel der Vitamin E-Aktivität des Alpha-Tocopherols (BIESALSKI und GRIMM 2002) und deshalb waren für die Alpha-Tocopherol-Äquivalente die Unterschiede zwischen der Minimum-Gruppe mit dem DHA-angereicherten Futter und der Maximum-Gruppe mit dem Leinöl nicht ganz so hoch wie beim Gesamtocopherol.

Die Vitamin-E-Aktivität entsprach sowohl im Mittelwert als auch im Minimum-Maximum-Bereich den Angaben der Nährwerttabellen (SCHERZ und SENSER, 2000). Die Vitamin-A-Konzentration erreichte jedoch nur etwa die Hälfte der in den Nährwerttabellen angegebenen 2,7 mg pro kg Eiinhalt.

Zusammenhang zwischen Futterzusammensetzung und Eiinhalt

Als Futterzusätze waren das Kupfer und bestimmte fettlösliche Vitamine deklariert (Tab. 8). Für das Vitamin E war in der Futtermischung mit DHA bei ähnlichen deklarierten Zusätzen und analysierten Gehalten wie im Normalfutter die Ei- Vitamin- E-Konzentration erniedrigt, was im Organismus der Henne auf Tocopherol- Mehrverbrauch bzw. Störungen der Einlagerung des Vitamins etwa durch Fettoxydationsprodukte deutet. Im Falle des Leinöles führte selbst der zweifache Vitamin E-Zusatz des Futters zu keinen höheren Gehalten als in den Normalfuttergruppen. Jedoch muss auf einen variierenden nativen Vitamin E-Gehalt der Futtermittel hingewiesen werden, so dass die Vitamin E-Analysen der Futtermischungen wenig befriedigend den Futter-Vitamin-E-Zusatz widerspiegeln.

Der mehr als verdoppelte Jodgehalt der Eier der Gruppe mit Leinöl und Jod resultiert aus einem annähernd vierfachen Jodzusatz zum Futter (Tab. 6). Im Hennenversuch (RICHTER 1995) führten Jodzusätze von 0 (Kontrolle ohne Zusatz); 0,5; 5; 20 und 40 mg/kg Futter zu Eijodgehalten von 0,14; 0,33; 1,46; 7 und 11 mg Jod/kg Eiinhalt. Trotz einer Verminderung des prozentualen Jodübergangs in das Ei mit steigender Jodzulage zum Futter von 19 auf 12 % hat der Gesetzgeber bereits in den 1990er Jahren den zulässigen Höchstgehalt auf 10 mg Jod/kg Futter reduziert und vor dem Hintergrund des Schutzes bestimmter Verbraucher vor zuviel Jod mit dem Risiko einer Schilddrüsenüberfunktion steht eine weitere Verminderung der zulässigen Futterjodierung an (FLACHOWSKY et al., 2006).

Mit Ausnahme der Futtermischung mit Leinöl bestand das Fett der Futtermischungen etwa zu je einem Drittel aus SFA, MUFA und PUFA (Tab. 9) und das führte in den sechs Eiherkünften zu den bereits aufgezeigten ähnlichen Fettsäurenprofilen von einem Drittel SFA, der Hälfte MUFA und 1/7 bis 1/5 PUFA im Eifett. Das durch das Leinöl verschobene Fettsäurenmuster des Futterfettes verdoppelte den PUFA-Anteil im Dotterfett zu Lasten der SFA

(Rückgang auf ein Viertel) und der MUFA (Rückgang auf gut ein Drittel) (Tab. 5). Bezogen auf einen kalkulierten Fettverzehr der Henne gehen die PUFA in einer Größenordnung von 28 – 43 % in das Dotterfett über (Tab. 10).

Die niedrigere PUFA-Speicherung im Dotterfett in der Leinölgruppe folgt aus dem hohen Anteil der ALA im Futter. Die ALA weist nämlich in allen Gruppen einen deutlich niedrigeren Übergang als die Linolsäure auf. Ursachen könnten eine im Vergleich zur Linolsäure schlechtere ALA-Resorption bzw. eine höhere Ausscheidung mit den Faeces, aber auch eine stärkere Metabolisierung sein.

Im Ergebnis des vorliegenden Versuches musste eine Henne 4 g ALA aufnehmen um in einem Ei mit annähernd 60 g Gesamthalt bzw. 6 g Dotterlipiden 800 mg ALA zu deponieren. Bei 20 % Übergang in das Ei waren dafür je kg Futter 27 g ALA bzw. 50 – 60 g Leinöl erforderlich. Bezieht man dieses Ergebnis auf 10 g Leinöl/kg Futter bzw. 1 % Leinöl im Futter, so würden daraus 160 mg Omega-3-Fettsäuren pro Ei resultieren. Diese „Wiederfindung“ bezogen auf 1 % Futterleinöl überschreitet bisherige Befunde mit Leinkuchen (RICHTER et al. 1998, BLANCH und GRASHORN 1996) oder mit Leinsaat (EDER et al., 1998) in der Größenordnung von einem Viertel bis zu einem Drittel. Noch niedrigere Wiederfindungen bezogen auf die eingesetzten ALA-Mengen finden sich bei Rapsöl- bzw. Sojaöleinsatz (JEROCH et al., 2003; DÄNICKE et al., 2000). Vermutlich besteht bei diesen Ölen eine Hemmung der Absorption bzw. Verwertung der ALA durch die hohen Linolsäureanteile.

Zusammenfassung

Eier am Markt werden differenziert nach der Hennenhaltung, aber auch nach bestimmten Bestandteilen, wie Omega-3-Fettsäuren und Jod. Aus drei großen Thüringer Geflügelhaltungen waren 7 Herkünfte zu je 30 Eiern zu prüfen: 2 x aus Käfighaltung, 3 x aus Bodenhaltung und 2 x aus Freilandhaltung. Gefüttert wurde 5 x normales Futter und 2 x Spezialfutter entweder mit erhöhtem Anteil an Docosahexaensäure (DHA) oder an Leinöl und Kaliumjodat. Unterschiede zwischen den Eiherkünften waren nicht in den Hennenhaltungsformen begründet, sondern resultierten neben den unterschiedlichen Futtermischungen aus Differenzen des Gewichtes der Eier trotz Vorgabe der gleichen Gewichtsklasse im Untersuchungsplan. Eine erniedrigte Eischalenstabilität der Eier der mit Leinöl gefütterten Hennen deutet auf eine verminderte Ca-Resorption vermutlich durch die intestinale Entstehung von Ca-Seifen hin. Das Eigewicht wirkte sich über die Dotter-Eiklar-Relation auf die Konzentration von Eiinhaltsbestandteilen aus – größere Eier mit anteilig weniger Dotter erwiesen sich als trockenmasse- und fettärmer. Die Spezialfuttermischungen mit DHA oder mit Leinöl- und Jodzusatz erhöhten die Konzentration des Eiinhaltes an Omega-3-Fettsäuren und Jod. Ein mittels Leinöl- und Jodzufütterung erzeugtes Spezialei mit 60 g Eiinhalt und insgesamt 0,8 g Omega-3-Fettsäuren würde annähernd die für den durchschnittlichen Erwachsenen von der Gesellschaft für Ernährung empfohlene Tageszufuhr gewährleisten. Die 60 µg Jod über ein solches Ei entsprechen einem Drittel der empfohlenen Jodzufuhr.

Stichworte

Henne, Käfighaltung, Freilandhaltung, Leinöl, Omega-3-Fettsäuren, Jod

Danksagung

Die Untersuchungen wurden in dem Forschungsprojekt Produktinnovation (Nr. 93.01.340) des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU), Erfurt gefördert.

Summary

Investigation of a Thuringian egg assortment in differentiation of the husbandry system and feeding of hens

On the market eggs are differentiated according to the fowl husbandry system, however, according to certain constituents, e.g. omega 3 fatty acids or iodine, too. Seven provenances of 30 eggs from three Thuringian poultry farms should be investigated: 2x from cages, 3x from the floor and 2x from the free range system. The animal feeding was 5 x normal diets and 2 x special diets either with a higher content of docosahexanoic acid (DHA) or with supplementary linseed oil and iodine. Differences between provenances did not reason by the husbandry systems, but resulted besides the different compound feeds' composition from differences in the egg weight (despite directives for the same weight class in the investigation plan). A lower shell stability of the eggs from the hens fed linseed oil points to a decreased Ca absorption presumably due to the intestinal formation of Ca soaps. The egg weight affected via the yolk egg-white relation the concentration of egg constituents' contents – greater eggs with relatively less yolk possessed lower concentrations of dry matter or fat. The special diets with DHA or with linseed oil and iodine increased the concentration of omega 3 fatty acids and iodine in the egg contents. A special egg produced by additional linseed oil and iodine feeding contains in 60 g egg contents 0.8 g omega 3 fatty acid which meets nearly the daily amount for the average adult as recommended by the society of nutrition. The 60 µg iodine of such an egg supplies one third of the recommended daily amount.

Literatur

- ABRIL, J. R., W. R. BARCLAY and P. G. ABRIL.: Safe Use of Microalgae (DHA GOLD™) in Laying Hen Feed for the Production of DHA-Enriched Eggs. CAB International 2000, Egg Nutrition and Biotechnology (eds. J.S. SIM, S. NAKAI and W. GUENTER), 197 – 202 (2000).
- Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG, Untersuchung von Lebensmitteln. Hrsg. Bundesgesundheitsamt (BGA) jetzt Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL): Methode L 05.00-12 Bestimmung der Trockenmasse in Eiern und Eiprodukten, Methode L 05.00-14 Bestimmung des Gesamtlipidgehaltes in Eiern und Eiprodukten und Methode L 05.00-15 Bestimmung des Rohproteingehaltes in Eiern und Eiprodukten (1991).
- BASSLER, R. und H. BUCHHOLZ (ed.): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Methodenbuch Bd. III, Verband der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten, VDLUFA Verlag Darmstadt, einschließlich 4. Ergänzungslieferung (1997).
- BIESALSKI, H.K. und P. GRIMM: Taschenatlas der Ernährung. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 2. Aufl. 350 Seiten (2002).
- BLIGH, E.G. and W.J. DYER: A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. **37**, 911-917 (1959).
- BLANCH, A. und M. A. GRASHORN: Ernährungsphysiologische Bedeutung der Omega-3-Fettsäuren und Möglichkeiten der Anreicherung in Eiern. Arch. Geflügelk. **60**, 49 – 58 (1996).
- CHAMRUSPOLLERT, M. and J.L. SELL: Transfer of dietary conjugated linoleic acid to egg yolks of chickens. Poult. Sci. **78**, 1138 – 1150 (1999).
- D.A.CH.: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau Braus GmbH, Verlagsgesellschaft, Frankfurt/M., 1. Aufl. (2000).
- DÄNICKE, S., I. HALLE, H. JEROCH, W. BÖTTCHER, P. AHRENS, R. ZACHMANN und S. GÖTZE: Effect of soy oil supplementation and protein level in laying hen diets on praecaecal nutrient digestibility, performance, reproductive performance, fatty acid composition

- of yolk fat and other egg quality parameters. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 102, 218 – 232 (2000).
- EDER, K., F. HIRCHE und C. BRANDSCH: Fütterung und ernährungsphysiologisch relevante Inhaltsstoffe im Ei. 112. VDLUFA-Kongress Stuttgart-Hohenheim, VDLUFA- Schriftenreihe **55**, Teil 4, 6 – 20 (2000).
- EDER, K., D.A. ROTH-MAIER and M. KIRCHGEßNER: Laying performance and fatty acid composition of egg yolk lipids of hens fed diets with various amounts of ground or whole flaxseed. *Arch. Geflügelk.* **62**, 223 – 228 (1998).
- FARELL, D. J.: Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* **68**, 538 – 544 (1998).
- FLACHOWSKY G., F. SCHÖNE und G. JAHREIS: Zur Jodanreicherung in Lebensmitteln tierischer Herkunft. *Ernährungs-Umschau* 53, 17 – 21 (2006).
- HERBER, S. M. and M. E. VAN ELSWYK: Dietary marine algae promotes efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. *Poult. Sci.* **75**, 1501 – 1507 (1996).
- HOSCHEK, L., J. KRAFT und G. JAHREIS: Konjugierte Linolsäuren, ihre Bildung aus Vorstufen und ihre Wirkungen – Review. *Ernährung/Nutrition* 27, 501 – 511 (2003).
- HOWELL, W.H.: Food cholesterol and its plasma lipid and lipoprotein response: Is food cholesterol still a problem or overstated? CAB International 2000, *Egg Nutrition and Biotechnology* (eds. J.S. SIM, S. NAKAI and W. GUENTER), 15 – 24 (2000).
- HU, F.B., M.J. STAMPFER, E.B. RIMM, J.F. MANSON, A. ASCHERIO, G.A. COLDITZ, B.A. ROSNER, D. SPIEGELMANN, F.E. SPREIZER, F.M. SACKS, C.H. HENNEKENS and W.C. WILLETT: A prospective study of egg consumption and risk of cardiovascular disease in men and women. *J. Am. Med. Assoc.* **281**, 1387 (1999).
- HUSVETH, F., L. ROSZA, L. MAGYAR, G. BALI and P. PAPOCSI: N-3 fatty acid enrichment of table eggs by adding a fish oil preparation (Nordos Fat (R)) to the diet of laying hens. *Arch. Geflügelk.* **67**, 198 – 203 (2003).
- JEROCH, H.: Einfluss von pflanzlichen Ölen im Legehennenfutter auf das Fettsäuremuster des Eidotterfettes. *UFOP-Schriftenreihe*, Heft 20, 111 – 117 (2003).
- JEROCH, H., K. EDER, F. SCHÖNE, F. HIRCHE, W. BÖTTCHER und J. ŠEŠKEVIČEINE: Gehalte an essentiellen Fettsäuren, Jod, Selen und alpha-Tocopherol in Designer-Hühnereieren. *Veterinarjy ir zootechnika* **19**, 49 – 51 (2002).
- KALLWEIT, E., R. FRIES, G. KIELWEIN und S. SCHOLTYSEK: *Qualität tierischer Nahrungsmittel*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 368 Seiten (1988).
- KRITCHEVSKY, D.: Dietary fat and disease: What do we know and where do we stand? CAB International 2000, *Egg Nutrition and Biotechnology* (eds. J.S. SIM, S. NAKAI and W. GUENTER), 3 – 13 (2000).
- LEYENDECKER, M., H. HAMANN, J. HARTUNG, G. GLÜNDER, M. NOGOSSEK, U. NEUMANN, C. SÜRRIE, J. KAMPHUES und O. DISTL: Untersuchungen zur Schalenfestigkeit und Knochenstabilität in drei Haltungssystemen. *Lohmann Information* (2), 19 – 24 (2002).
- MCNAMARA, D. J.: Cholesterol intake and plasma cholesterol: An update. *J. Am. Coll. Nutr.* **16**, 530 – 534. (1997).
- MCNAMARA, D. J.: The impact of egg limitations on coronary heart disease risk: Do the numbers add up? *J. Am. Coll. Nutr.* **19**, 540S – 548S (2000).
- MICHELLA, S.M. and B.T. SLAUGH: Producing and marketing a speciality egg. *Poult. Sci.* **79**, 975 – 976 (2000).

- NABER, E.C.: The effect of nutrition on the composition of eggs. *Poult. Sci.* 58, 518 – 528 (1979).
- RICHTER, G.: Einfluss der Jodversorgung der Legehennen auf den Jodgehalt im Ei. In: Mengen- und Spurenelemente, 15. Arbeitstagung Jena (M. Anke et al. Hrsg.). 457 – 464 (1995).
- RICHTER, G., H. LÜDKE, B. RUDOLPH, W.I. OCHRIMENKO, M. LEITERER, M. HÜLLER und H. SCHENKEL: Untersuchungen zum Einsatz von Leinkuchen bei Legehennen. *Arch. Geflügelk.* 62, 264 – 272 (1998).
- SCHERZ, H. und F. SENSER: Die Zusammensetzung von Lebensmitteln, Nährwerttabellen. Begründet von Souci, S.W., Fachmann, W. und Kraut, H.. medpharm Scientific Publishers Stuttgart (2000).
- SCHNOHR, P., THOMSEN, O.O., HANSEN, P.R., BOBERG-ANS, G. LAWAEZT, H. and WEEKE, T.: Egg consumption and high-density-lipoprotein cholesterol. *J. Internat Med.* 235, 249-251 (1994).
- SCHOLTYSSEK, S.: Geflügel. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 495 Seiten (1987).
- SCHÖNE, F., G. JAHREIS, G. FLACHOWSKY, U. KIRCHHEIM: Milk and meat quality due to rapeseed products application in farm animals. Proc. 10th Int. Rapeseed Congress, Canberra, Document 72.doc (1999).
- SCHÖNE, F., M. LEITERER, H. HARTUNG, G. JAHREIS and F. TISCHENDORF: Rapeseed glucosinolates and iodine in sows affect the milk iodine concentration and the iodine status of piglets. *British Journal of Nutrition* 85 , 659 – 670 (2001).
- SCHUSTER, W.: Ölpflanzen in Europa. DLG Verlag Frankfurt. (1992).
- SIM, J. S. and G.-H. QUI: Designing Poultry Products Using Flaxseed. *Flaxseed in Human Nutrition*, AOCS Press 1995 Chapter 21, 315 – 333 (1995).
- SURAI, P. F., A. MACPHERSONS, B. K. SPEAKE and N. H. C. SPARKS: Designer egg evaluation in a controlled trial. *Europ. J. Clin. Nutr.* 54, 298 – 305 (2000).
- TOLAN, A., J. ROBERTSON, C. R. ORTON, M. J. HEAD, A. A. CHRISTIE and B. A. MILLBURN: Studies on the composition of food – The chemical composition of eggs produced under battery, deep litter and free range conditions. *Br. J. Nutr.* 31, 185 – 200 (1974).

Dr. agr. habil. Friedrich Schöne
 Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
 e-Mail: f.schoene@jena.tll.de

Tabelle 1: Klassifizierung der zu untersuchenden 7 Herkünfte ausschließlich braunschaliger Eier: je 30 Stück aus 3 Haltungsformen und 3 Betrieben unter Verwendung von 3 Normal- und 2 Spezialfuttermischungen

Haltungsform	Käfighaltung		Boden	Freiland ¹⁾		Boden	
Betrieb/Futter	A/N	B/N	A/N	A/N	C/N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Jod
Lfd. Nr.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Betrieb A, B und C

N - Normalfutter

S – Spezialfutter

1) 4 m² Auslauf je Henne

Tabelle 2: Gewichte des Eies und der Eifractionen und die Merkmale der inneren und äußeren Qualität der untersuchten Eiherkünfte (30 Proben je Herkunft, Mittelwert ± Standardabweichung)

Haltungsform Betrieb/Futter ²⁾	Käfighaltung		Boden		Freiland ¹⁾		Boden	
	A/N	B/N	A/N	A/N	C/N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Jod	
Eigewicht [g]	65,0 ± 1,4 ^b	68,6 ± 2,0 ^a	66,2 ± 2,1 ^b	64,8 ± 4,1 ^b	61,3 ± 4,7 ^c	64,2 ± 4,3 ^b	65,8 ± 5,0 ^b	
Schalengewicht [g]	7,2 ± 0,4 ^a	6,9 ± 0,4 ^{ab}	7,0 ± 0,4 ^{ab}	6,7 ± 0,6 ^{bc}	6,5 ± 0,5 ^c	6,6 ± 0,6 ^{bc}	6,6 ± 0,7 ^{bc}	
Eiklargewicht [g] ³⁾	41,1 ± 1,9 ^a	41,7 ± 2,2 ^a	41,8 ± 2,2 ^a	40,2 ± 3,0 ^{ab}	37,7 ± 3,7 ^c	38,9 ± 3,3 ^{bc}	41,7 ± 4,0 ^a	
Schalengewicht vom Eigewicht %	11,0 ± 0,6 ^a	10,1 ± 0,6 ^c	10,6 ± 0,5 ^{ab}	10,4 ± 1,0 ^{bc}	10,7 ± 0,8 ^{ab}	10,3 ± 0,8 ^{bc}	10,0 ± 0,9 ^c	
Dottergewicht [g]	15,0 ± 1,2 ^d	18,4 ± 1,5 ^a	16,2 ± 1,1 ^c	16,8 ± 2,1 ^{bc}	15,8 ± 1,3 ^{cd}	17,5 ± 1,3 ^{ab}	16,3 ± 1,4 ^c	
Eiinhalt [g]	56,1 ± 2,0 ^c	60,1 ± 1,8 ^a	58,1 ± 2,0 ^b	57,1 ± 3,9 ^{bc}	53,5 ± 4,3 ^d	56,4 ± 4,0 ^{bc}	58,0 ± 4,7 ^b	
Anteil Dotter am Eiinhalt %	26,7 ± 0,4 ^c	30,6 ± 2,6 ^a	28,0 ± 2,1 ^{bc}	29,5 ± 2,6 ^{ab}	29,6 ± 2,2 ^{ab}	31,0 ± 1,8 ^a	28,2 ± 2,1 ^{bc}	
Eiklarhöhe [mm] ⁴⁾	6,7 ± 1,0 ^a	5,2 ± 1,1 ^b	4,7 ± 1,0 ^b	4,4 ± 1,0 ^b	5,0 ± 1,0 ^b	4,5 ± 0,8 ^b	4,8 ± 1,0 ^b	
Dotterfarbe [Roche] ⁵⁾	14,0 ± 0,2 ^a	11,5 ± 0,8 ^{bc}	14,0 ± 0,2 ^a	14,1 ± 0,3 ^a	11,5 ± 1,3 ^{bc}	12,0 ± 0,5 ^b	10,9 ± 0,9 ^c	
Schalensfarbe ⁶⁾	30,2 ± 5,5 ^b	33,8 ± 5,9 ^b	38,5 ± 6,3 ^a	37,9 ± 4,6 ^a	40,0 ± 4,7 ^a	38,8 ± 5,6 ^a	38,9 ± 5,8 ^a	
Schalendichte [mg/cm ²]	94,8 ± 5,3 ^a	88,7 ± 5,0 ^{bc}	92,0 ± 4,4 ^{ab}	89,0 ± 8,1 ^{bc}	90,1 ± 5,8 ^{bc}	87,9 ± 6,3 ^{bc}	86,4 ± 8,1 ^c	
Deformation [µm]	51,1 ± 8,7 ^b	61,9 ± 10,9 ^a	56,7 ± 8,6 ^{ab}	61,6 ± 14,5 ^a	50,3 ± 14,8 ^b	60,0 ± 15,6 ^a	61,8 ± 20,1 ^a	
Bruchfestigkeit [N]	41,2 ± 8,9 ^a	34,6 ± 7,9 ^b	41,5 ± 7,6 ^a	39,5 ± 8,0 ^a	37,4 ± 11,9 ^{ab}	37,4 ± 9,2 ^{ab}	32,2 ± 9,8 ^b	

¹⁾ 4 m² je Henne

²⁾ Betrieb A, B, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter

³⁾ gewogen, der von der Schale abgewischte Rest ist im Bereich von 1,0 bis 1,7 g.

a, b, c, d: unterschiedliche Indices in der gleichen Zeile stehen für signifikante Differenzen (P<0,05)

⁴⁾ Höhenmesser

⁵⁾ Colorimeter % Rot, % Grün, % Blau

⁶⁾ Photometer 0-100 % Helligkeit. Die Geräte bzw. Parameter unter 4), 5) und 6) sind Bestandteile des Eiquantitätsmess-Systems TSS-QCS-2.

Tabelle 3: Korrelationskoeffizienten der linearen Beziehungen zwischen ausgewählten Parametern der Eibeschaffenheit (n=210, Signifikanzen fett: $r < 0,14$ $P < 0,05$; $r < 0,18$ $P < 0,01$; $r < 0,23$ $P < 0,001$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Eigewicht	1,00										
2 Schalengewicht	0,52	1,00									
3 Eiklargewicht	0,88	0,42	1,00								
4 Dottergewicht	0,47	0,09	0,09	1,00							
5 Eiinhalt	0,97	0,40	0,89	0,52	1,00						
6 Anteil Dotter am Eiinhalt	-0,20	-0,21	-0,59	0,75	-0,17	1,00					
7 Eiklarhöhe	0,09	0,10	0,19	-0,28	0,04	-0,37	1,00				
8 Schalendichte	0,05	0,87	0,00	-0,16	-0,07	-0,13	0,08	1,00			
9 Deformation	0,23	-0,56	0,25	0,22	0,31	0,01	0,03	-0,79	1,00		
10 Bruchfestigkeit	-0,03	0,48	-0,07	-0,11	-0,11	-0,04	0,09	0,58	-0,54	1,00	
11 Trockenmasse	-0,28	-0,19	-0,54	0,33	-0,31	0,63	-0,11	-0,07	0,03	0,01	1,00

Tabelle 4: Trockenmasse, Fett und Eiweiß im Eihalt und errechneter Brennwert¹⁾ (10 Proben je Herkunft, Mittelwert ± Standardabweichung)

Haltungsform	Käfighaltung		Boden		Freiland		Boden	
	Betrieb/Futter ¹⁾		Betrieb/Futter ¹⁾		Betrieb/Futter ¹⁾		Betrieb/Futter ¹⁾	
	A/N	B/N	A/N	A/N	C/N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Jod	
Trockenmasse [g/kg]	228 ± 8 ^{bc}	234 ± 8 ^{ab}	234 ± 8 ^{ab}	235 ± 8 ^a	233 ± 8 ^{ab}	239 ± 6 ^a	224 ± 10 ^c	
Brennwert [kcal] ²⁾	1300 ± 40 ^c	1390 ± 50 ^b	1320 ± 50 ^c	1390 ± 60 ^b	1380 ± 60 ^b	1450 ± 50 ^a	1310 ± 70 ^c	
Eiweiß [g/kg]	125 ± 5 ^a	118 ± 5 ^b	125 ± 4 ^a	124 ± 7 ^{ab}	121 ± 5 ^{ab}	120 ± 4 ^{ab}	119 ± 5 ^{ab}	
Fett [g/kg]	91 ± 4 ^d	107 ± 5 ^{ab}	94 ± 5 ^d	101 ± 5 ^c	104 ± 7 ^{bc}	111 ± 5 ^a	94 ± 7 ^d	

¹⁾ Betrieb A, B, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter

²⁾ Brennwert in kcal = g Eiweiß x 4kcal + g Fett x 9 kcal

a, b, c, d: Unterschiedliche Indices in der gleichen Zeile stehen für signifikante Differenzen (P<0,05)

Tabelle 5: Ausgewählte Fettsäuren der Dotterlipide in % der Fettsäurenmethylester (10 Proben je Herkunft; Mittelwert \pm Standardabweichung)

Haltungsform Betrieb/Futter ¹⁾	Käfighaltung		Boden		Freiland		Boden	
	A/N ²⁾³⁾	B/N	A/N	A/N ²⁾³⁾	C/N	A/S mit DHA ²⁾³⁾	C/S Leinöl und Jod ²⁾³⁾	
C 16:0	24,6 \pm 0,6 ^{ab}	23,8 \pm 0,8 ^b	25,5 \pm 0,5 ^a	24,4 \pm 0,4 ^{ab}	24,6 \pm 1,1 ^{ab}	24,2 \pm 0,7 ^{ab}	19,7 \pm 1,0 ^c	
C 18:0	6,2 \pm 0,2 ^{bc}	6,5 \pm 0,5 ^b	5,9 \pm 0,4 ^c	5,6 \pm 0,9 ^c	6,6 \pm 0,3 ^b	6,3 \pm 0,4 ^b	7,4 \pm 0,6 ^a	
C 18:1	43,6 \pm 1,0 ^b	46,6 \pm 1,2 ^a	43,1 \pm 1,2 ^b	43,5 \pm 1,3 ^b	39,6 \pm 1,6 ^c	45,0 \pm 1,0 ^{ab}	35,6 \pm 2,0 ^d	
C 18:2	14,5 \pm 0,8 ^b	13,5 \pm 1,4 ^b	14,8 \pm 1,1 ^b	14,7 \pm 0,9 ^b	18,7 \pm 1,9 ^a	13,3 \pm 0,5 ^b	18,2 \pm 1,4 ^a	
C 18:3 ω 3	0,78 \pm 0,14 ^b	0,56 \pm 0,13 ^b	0,70 \pm 0,11 ^b	0,75 \pm 0,10 ^b	1,05 \pm 0,13 ^b	0,74 \pm 0,06 ^b	14,26 \pm 1,40 ^a	
C 20:4 ²⁾	0,93 \pm 0,08 ^{ab}	1,10 \pm 0,11 ^a	0,89 \pm 0,10 ^b	0,77 \pm 0,06 ^{bc}	1,04 \pm 0,16 ^a	0,70 \pm 0,08 ^c	0,43 \pm 0,11 ^d	
C 22:6 ³⁾	0,50 \pm 0,05 ^c	0,38 \pm 0,06 ^c	0,36 \pm 0,04 ^c	0,39 \pm 0,04 ^c	0,40 \pm 0,08 ^c	1,07 \pm 0,17 ^a	0,70 \pm 0,19 ^b	
Σ : SFA	33,2 \pm 0,5 ^a	32,5 \pm 0,7 ^a	33,6 \pm 0,7 ^a	33,4 \pm 1,0 ^a	33,4 \pm 1,0 ^a	32,4 \pm 0,7 ^a	26,1 \pm 1,5 ^b	
Σ : MUFA	49,5 \pm 1,6 ^b	51,5 \pm 1,3 ^a	49,4 \pm 1,3 ^b	49,1 \pm 1,0 ^b	44,7 \pm 2,2 ^c	51,2 \pm 0,9 ^{ab}	38,9 \pm 1,9 ^d	
Σ : PUFA	17,3 \pm 0,9 ^c	16,0 \pm 1,5 ^c	17,0 \pm 1,3 ^c	17,5 \pm 1,0 ^c	21,8 \pm 2,5 ^b	16,5 \pm 0,6 ^c	35,0 \pm 2,9 ^a	
Davon ω 6 Fettsäuren	15,5 \pm 0,8 ^b	14,8 \pm 1,5 ^b	15,8 \pm 1,3 ^b	15,8 \pm 1,0 ^b	20,0 \pm 2,2 ^a	14,0 \pm 0,6 ^b	19,0 \pm 1,4 ^a	
Davon ω 3 Fettsäuren	1,33 \pm 0,18 ^{bc}	1,08 \pm 0,20 ^c	1,18 \pm 0,13 ^c	1,19 \pm 0,10 ^c	1,61 \pm 0,11 ^b	1,92 \pm 0,31 ^b	15,29 \pm 1,74 ^a	
Quotient ω 6: ω 3	11,6 \pm 0,9:1 ^a	13,7 \pm 2,2:1 ^a	13,4 \pm 1,2:1 ^a	13,2 \pm 0,6: 1 ^a	12,4 \pm 3,5: 1 ^a	7,3 \pm 0,8: 1 ^b	1,2 \pm 0,2: 1 ^c	

a, b, c, d: Unterschiedliche Indices in der gleichen Zeile stehen für signifikante Differenzen ($P < 0,05$)

¹⁾ Betrieb A, B, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter

²⁾ nach Extraktion mit Chloroform/Methanol in jeweils 5 Proben und in den im Tabellenkopf bezeichneten 4 Gruppen: 1,57 \pm 0,03^a; 1,45 \pm 0,06^a; 1,21 \pm 0,07^b; 0,80 \pm 0,10^c

³⁾ nach Extraktion mit Chloroform/Methanol in jeweils 5 Proben und in den im Tabellenkopf bezeichneten 4 Gruppen: 0,91 \pm 0,10^{bc}; 0,71 \pm 0,04^c; 2,17 \pm 0,08^a; 1,39 \pm 0,38^b

Tabelle 6: Mengen- und Spurenelemente im Eiiinhalt (10 Proben je Herkunft, Mittelwert \pm Standardabweichung)

Haltungsform Betrieb/Futter ¹⁾	Käfighaltung		Boden	Freiland		Boden	
	A/N	B/N	A/N	A/N	C/N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Jod
Natrium [g/kg]	1,30 \pm 0,16 ^b	1,36 \pm 0,22 ^b	1,14 \pm 0,11 ^c	1,19 \pm 0,07 ^{bc}	1,59 \pm 0,06 ^a	1,26 \pm 0,14 ^{bc}	1,51 \pm 0,20 ^a
Phosphor [g/kg]	1,65 \pm 0,21 ^b	2,16 \pm 0,33 ^a	1,55 \pm 0,20 ^c	1,63 \pm 0,16 ^c	2,32 \pm 0,10 ^a	1,77 \pm 0,27 ^b	2,11 \pm 0,18 ^a
Magnesium [g/kg]	1,29 \pm 0,21 ^{bc}	1,49 \pm 0,30 ^{ab}	1,11 \pm 0,16 ^c	1,25 \pm 0,13 ^{bc}	1,62 \pm 0,11 ^a	1,22 \pm 0,20 ^c	1,55 \pm 0,15 ^a
Calcium [g/kg]	0,49 \pm 0,07 ^b	0,65 \pm 0,10 ^a	0,45 \pm 0,09 ^b	0,45 \pm 0,05 ^b	0,70 \pm 0,11 ^a	0,51 \pm 0,08 ^b	0,63 \pm 0,06 ^a
Eisen [mg/kg]	18 \pm 3 ^c	25 \pm 4 ^{ab}	19 \pm 3 ^c	20 \pm 3 ^c	27 \pm 3 ^a	21 \pm 4 ^{bc}	25 \pm 4 ^{ab}
Zink [mg/kg]	12 \pm 1 ^b	15 \pm 3 ^a	10 \pm 1 ^b	11 \pm 1 ^b	16 \pm 1 ^a	12 \pm 2 ^b	15 \pm 1 ^a
Kupfer [mg/kg]	0,62 \pm 0,12 ^{cd}	0,69 \pm 0,11 ^{bc}	0,55 \pm 0,10 ^d	0,56 \pm 0,04 ^d	0,82 \pm 0,15 ^a	0,59 \pm 0,10 ^{cd}	0,74 \pm 0,13 ^{ab}
Mangan [mg/kg]	0,40 \pm 0,12 ^a	0,39 \pm 0,11 ^a	0,28 \pm 0,08 ^b	0,28 \pm 0,04 ^b	0,31 \pm 0,06 ^{ab}	0,33 \pm 0,07 ^{ab}	0,35 \pm 0,07 ^{ab}
Selen [mg/kg]	0,16 \pm 0,02 ^{ab}	0,18 \pm 0,03 ^{ab}	0,18 \pm 0,02 ^{ab}	0,19 \pm 0,02 ^{ab}	0,14 \pm 0,01 ^b	0,18 \pm 0,02 ^{ab}	0,23 \pm 0,03 ^a
Jod [mg/kg]	0,44 \pm 0,12 ^c	0,54 \pm 0,15 ^{bc}	0,53 \pm 0,12 ^{bc}	0,57 \pm 0,17 ^{bc}	0,24 \pm 0,05 ^d	0,69 \pm 0,11 ^b	1,07 \pm 0,19 ^a

¹⁾ Betrieb A, B, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter

a, b, c, d: Unterschiedliche Indices in der gleichen Zeile stehen für signifikante Differenzen (P<0,05)

Tabelle 7: Retinol und Tocopherole im Eiinhalt (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Haltungsform Betrieb/Futter ¹⁾	Käfighaltung		Boden	Freiland		Boden	
	A/N	B/N	A/N	A/N	C/N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Lod
Vitamin A ²⁾ [mg/kg]	1,35 \pm 0,15 ^b	1,70 \pm 0,13 ^a	1,40 \pm 0,13 ^b	1,52 \pm 0,10 ^{ab}	1,62 \pm 0,14 ^a	1,29 \pm 0,10 ^b	1,29 \pm 0,09 ^b
α -Tocopherol [mg/kg]	22,4 \pm 1,7 ^a	23,4 \pm 1,1 ^a	16,5 \pm 1,6 ^b	22,0 \pm 2,4 ^a	18,7 \pm 0,8 ^b	12,8 \pm 1,3 ^c	23,3 \pm 2,5 ^a
β -Tocopherol [mg/kg]	0,33 \pm 0,05 ^{bc}	0,30 \pm 0,05 ^c	0,32 \pm 0,06 ^{bc}	0,42 \pm 0,05 ^a	0,29 \pm 0,05 ^c	0,29 \pm 0,04 ^c	0,40 \pm 0,04 ^{ab}
γ -Tocopherol [mg/kg]	6,13 \pm 1,02 ^b	3,16 \pm 0,22 ^c	3,71 \pm 0,80 ^c	5,90 \pm 0,92 ^b	2,82 \pm 0,39 ^c	1,71 \pm 0,20 ^d	10,10 \pm 0,67 ^a
Σ -Tocopherol [mg/kg]	28,8 \pm 3,0 ^b	26,9 \pm 1,0 ^b	20,5 \pm 2,0 ^c	28,3 \pm 3,0 ^b	21,8 \pm 1,0 ^c	14,8 \pm 1,0 ^d	33,8 \pm 3,0 ^a
α -Tocopherol- Äquivalente [mg/kg] ³⁾	23,1 \pm 1,9 ^a	23,9 \pm 1,3 ^a	17,0 \pm 2,0 ^b	22,8 \pm 2,9 ^a	19,1 \pm 0,9 ^b	13,1 \pm 1,5 ^c	24,5 \pm 2,7 ^a

a, b, c, d: Unterschiedliche Indices in der gleichen Zeile stehen für signifikante Differenzen (P<0,05)

¹⁾ Betrieb A, B, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter

²⁾ als Retinoläquivalente

³⁾ 1 mg Vitamin E ist wirkungsgleich 1 mg Alpha-Tocopherol, 2 mg beta-Tocopherol und 4 mg gamma-Tocopherol (Biesalski und Grimm 2002)

Tabelle 8: Ausgewählte deklarierte und analysierte Bestandteile der Alleinfuttermischungen¹⁾ – ausgenommen eine allgemein gehaltene Deklaration des Spezialfutters im Betrieb C - sind in den Rezepturen in jedem Fall Mais, Weizen, Sojaextraktionsschrot, Sonnenblumensamenextraktionsschrot, Kohlensäurer Kalk, Natriumchlorid bzw. Natriumcarbonat und DL- Methionin deklariert.

Haltungsform	Käfighaltung, Bodenhaltung, Freiland	Freiland	Boden	
Betrieb/Futter ²⁾	A/N	C /N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Jod
Deklarierte Futterzusätze³⁾				
➤ Vitamin A, IE [mg Retinoläquivalente/kg]	10000 (3)	10000 (3)	10000 (3)	10000 (3)
➤ α-Tocopherolacetat [mg/kg]	15	15	15	30
➤ Vitamin D ₃ IE [µg/kg]	2500 (62,5)	2500 (62,5)	2500 (62,5)	2500 (62,5)
➤ Kupfer [mg/kg]	10	10	10	10
Deklarierte Inhaltsstoffe⁴⁾ und Energie				
➤ Rohprotein [g/kg]	170	170	185	173
➤ Rohfett [g/kg]	67	60	65	75
➤ Umsetzbare Energie ME MJ/kg	11,20	11,40	11,40	11,20
Bestandteile, analysiert				
➤ Rohprotein [g/kg]	161	152	187	150
➤ Rohfett [g/kg]	58	55	60	72
➤ α-Tocopherol [mg/kg]	18,0	25,0	24,0	29,0
➤ Jod [mg/kg]	0,95	0,82	0,99	3,37

¹⁾ Betrieb B machte keine Angaben zum Futter und lieferte keine Futterprobe

²⁾ Betrieb A, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter

³⁾ deklariert ohne Mengenangaben: Canthaxanthin, Ethoxyquin, BHT in allen Futtermischungen, Propylgallat im Futter für Betrieb A, Ammoniumpropionat im Spezialfutter in Betrieb C

⁴⁾ je kg Futter: 50 bis 56 g Rohfaser, 128 bis 130 g Asche, 3,6 bis 3,8 g Methionin

Tabelle 9: Fettsäuren(gruppen) der Lipide der Futtermischungen (in % der Fettsäurenmethylester). Die untersuchten 4 Futtermischungen repräsentierten 6 Eiherkünfte (Betrieb A verwendete ein Normalfutter in den drei Haltungsformen). Betrieb B lieferte keine Angaben zum Futter und keine Futterprobe.

Haltungsform	Käfighaltung, Bodenhaltung, Freiland		Freiland		Boden			
Betrieb/Futter ¹⁾	A/N		C/N		A/S mit DHA		C/S Leinöl und Jod	
Deklariert Rohfett g/kg/ analysiert Rohfett g/kg	67/58		60/55		65/60		75/72	
	im Fett %	g/kg Futter	im Fett %	g/kg Futter	im Fett %	g/kg Futter	im Fett %	g/kg Futter
C 16:0	19,1	11,1	21,0	11,6	21,1	12,7	8,5	6,1
C 18:0	7,6	4,4	4,5	2,5	9,2	5,5	2,9	2,1
C 18:1	32,5	18,8	28,7	15,8	33,5	20,1	21,0	15,1
C 18:2	29,0	16,8	31,4	17,3	23,7	14,2	28,0	20,2
C 18:3 ω 3	3,44	2,0	3,54	1,9	2,69	1,6	38,20	27,5
C 22:6	nicht nachweisbar	–	nicht nachweisbar	–	0,80	0,48	nicht nachweisbar	–
Σ : SFA	31,0	18,0	35,2	19,4	33,8	20,2	12,1	8,7
Σ : MUFA	34,7	20,1	29,6	16,3	36,3	21,8	21,1	15,2
Σ : PUFA	32,6	18,9	35,1	19,3	27,5	16,5	66,2	47,7
Davon ω 6 Fettsäuren	29,2	16,9	31,6	17,4	24,0	14,4	28,0	20,2
Davon ω 3 Fettsäuren	3,44	2,00	3,54	1,95	3,49	2,09	38,20	27,5
Quotient ω 6: ω 3	8,5 : 1		8,9 : 1		6,9 : 1		0,7 : 1	

1) Betrieb A, C: N - Normalfutter, S – Spezialfutter, Betrieb B machte keine Angaben zum Futter und lieferte keine Futterprobe

Tabelle 10: Kalkulierte Aufnahme essentieller Fettsäuren und Übergang in das Ei, absolut und relativ zur Aufnahme (150 g Futter/Ei mit 58 g Eiinhalt und 7 g Schale¹⁾).

Haltungsform		Käfighaltung	Boden	Freiland		Boden	
Betrieb/Futter ²⁾		A /N	A/N	A /N	C/N	A/S mit DHA	C/S Leinöl und Jod
Aufnahme mit 150 g Futter							
Fett g			8,7		8,25	9,0	10,8
18:2 ωω6 g			2,52		2,59	2,13	3,03
18:3 ωω3 g			0,30		0,29	0,24	4,12
22:6 ωω3 g			<0,01		<0,01	0,072	<0,01
PUFA g			2,84		2,90	2,48	7,16
Ein Ei mit 58 g Inhalt, davon ein Zehntel Fett, enthält (Anteil im Ei relativ zur Aufnahme)							
18:2 ω ω6 g	[g]	0,84	0,86	0,85	1,08	0,77	1,06
	[%]	(33)	(34)	(34)	(42)	(36)	(35)
18:3 ω ω3 g	[g]	0,045	0,041	0,044	0,061	0,043	0,827
	[%]	(15)	(14)	(15)	(21)	(18)	(20)
22:6 ω ω3 g	[g]	0,029	0,027	0,023	0,023	0,062 ³⁾	0,041
	[%]	k.A. ⁽⁴⁾	k.A. ⁽⁴⁾	k.A. ⁽⁴⁾	k.A. ⁽⁴⁾	(49)	k.A. ⁽⁴⁾
PUFA g	[g]	1,00	0,99	1,02	1,26	0,96	2,03
	[%]	(35)	(35)	(36)	(43)	(39)	(28)

¹⁾ 300 Eier/Henne im Jahr, je Ei 1,2 Futtertage mit 120 g Futtermittel/Tag, Konzentration der Fettsäuren des Futters in Tab. 9, des Eifettes in Tab. 5

²⁾ Betrieb A, C: N - Normalfutter, S - Spezialfutter, ohne Betrieb B weil von dort keine Futterprobe erhältlich

³⁾ 0,062 g – 0,027 g (aus endogener Synthese entsprechend Mengen in den Normalfuttergruppen) = 0,035 g aus der dem Futter zugesetzten DHA

⁴⁾ keine Angaben - die Futtermischungen enthalten DHA nicht.