

Hochschule Anhalt

Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung



Masterarbeit

Thema: „Untersuchungen zur äußeren und inneren Eiqualität mit Bezug auf den Calciumgehalt im Brustbein bei Lohmann Selected Leghorn und Lohmann Brown Legehennen in einer Mobilstallhaltung.“

vorgelegt von: Katharina Seeck

Matrikel-Nr.: xxxxxxxxxxxx

geboren am: xx.xx.xxxx

Studiengang: Master Food and Agribusiness

1. Gutachter: Prof. Dr. Kathleen Schlegel

2. Gutachter: Dipl. Ing. Sandra Ludewig

Schönebeck, den 07.10.2025

Bibliographische Beschreibung

Name, Vorname: Seeck, Katharina

Thema der Masterarbeit: „Untersuchungen zur äußeren und inneren Eiqualität mit Bezug auf den Calciumgehalt im Brustbein bei Lohmann Selected Leghorn und Lohmann Brown Legehennen in einer Mobilstallhaltung.“

2025 / 80 Seiten / 19 Tabellen / 13 Abbildungen

Bernburg: Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und
Landschaftsentwicklung

Autorreferat:

In der vorliegenden Arbeit wurden Hühnereier von Lohmann Selected Leghorn und Lohmann Brown Legehennen im Labor auf die innere und äußere Eiqualität untersucht. Eine Analyse verschiedener Inhaltsstoffe im Ei und in der Eischale ist dabei einbegriffen. Das Erheben der Daten erfolgte größtenteils eigenständig an der Hochschule Anhalt. Darüber hinaus konnten Brustbeine und Ständer von sechs Schlachtkörpern auf den Gehalt an Calcium untersucht werden. Die Erhebung der Daten erfolgte im Zeitraum von November 2024 bis Mai 2025. Zum Berechnen der Daten wurde Microsoft Excel verwendet. Des Weiteren konnte die deskriptive Statistik und die Zusammenhänge mit Hilfe von SPSS 29.0 analysiert werden.

Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Beschreibung	I
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Literaturüberblick	2
2.1 Legehennen Haltungssysteme	2
2.2 Legehennenrassen Lohmann	3
2.2.1 Lohmann LSL-Classic (LSL)	3
2.2.2 Lohmann Brown-Classic (LB)	4
2.3 Aufbau Hühnerei	5
2.3.1 Äußere Qualitätsmerkmale	6
2.3.2 Innere Qualitätsmerkmale	9
2.4 Bedeutung Calcium Ei und Schale	13
2.5 Gesundheitszustand Bonitur	14
2.6 Bedeutung Calcium in den Knochen	15
2.7 Brustbeinverletzungen	15
3 Zielstellungen	19
4 Material und Methode	20
4.1 Material	20
4.2 Methode	20
4.2.1 Gesundheitsbewertung	20
4.2.2 Schlachtung	21
4.2.3 Vermessung am Ei	22
4.2.4 Laboranalysen	26
5 Ergebnisse	31
5.1 Äußere Eiqualität	31
5.2 Innere Eiqualität	36
5.3 Deskriptive Zusammenhänge	43
5.4 Calciumgehalt in Brustbein und Ständer	46

6 Diskussion	49
6.1 Äußere Eiqualität	49
6.2 Innere Eiqualität.....	51
6.3 Deskriptive Zusammenhänge.....	53
6.4 Calciumgehalt in Brustbein und Ständer	56
Schlussfolgerungen	58
Zusammenfassung.....	59
Literaturverzeichnis	VIII
Selbstständigkeitserklärung	XX

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einige Angaben zur Dicke der Eischale (mm) in verschiedenen Haltungssystemen	8
Tabelle 2: Herstellung der Standardlösungen	30
Tabelle 3: Deskriptive Statistik zum Eigewicht (g) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	31
Tabelle 4: Deskriptive Statistik zum Eischalengewicht (g) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	32
Tabelle 5: Deskriptive Statistik zur Eischalendicke (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	33
Tabelle 6: Deskriptive Statistik zur Eischalendicke (mm) an drei verschiedenen Stellen am Ei i. A. der Genetik, gesamt n = 180	34
Tabelle 7: Deskriptive Statistik zum Formindex i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	35
Tabelle 8: Deskriptive Statistik zum Proteinanteil (%) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	36
Tabelle 9: Deskriptive Statistik zum Fettanteil (%) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	37
Tabelle 10: Deskriptive Statistik zum Durchmesser des Eiklars (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 48.....	38
Tabelle 11: Deskriptive Statistik zur Höhe des Eiklars (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60.....	39
Tabelle 12: Deskriptive Statistik zum Durchmesser des Eidotters (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 48.....	40
Tabelle 13: Deskriptive Statistik zur Höhe des Eidotters (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60.....	41
Tabelle 14: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt in der Schale (g) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60.....	43
Tabelle 15: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt in der Schale (%) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60.....	44
Tabelle 16: Korrelationsmatrix mit Schalengewicht (g), Calcium in der Schale (mg/g), Formindex, Haugh Units, Schalendicke (mm) und Calcium im Ei (mg/g).....	45

Tabelle 17: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt in den Ständern (mg/g) i.A. der Genetik, gesamt n = 6	46
Tabelle 18: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt im Brustbein (mg/g) i.A. der Genetik, gesamt n = 6	47
Tabelle 19: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt (mg/g) im Vergleich Ei, Eischale, Brustbein und Ständer i.A. der Genetik.....	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lohmann LSL-Classic Legehennen (LOHMANN BREEDERS, 2021)	3
Abbildung 2: Lohmann Brown-Classic Legehennen (LOHMANN BREEDERS, 2021)	4
Abbildung 3: Aufbau eines Hühnereies (GÄBEL und PFANNKUCHE, 2001)	5
Abbildung 4: Positionen an der Eischale zum Messen der Eischalendicke (SUN et al., 2012)	7
Abbildung 5: Dotterindex als Frischeparameter i. A. von der Umgebungstemperatur (NABEL CO., LTD., 2022)	12
Abbildung 6: Anteil der Hennen mit und ohne Brustbeindeformationen (%) i. A. von der Legelinie und dem Untersuchungszeitraum (LEE, 2012)	17
Abbildung 7: Vergleich gesunder Brustbeine gegenüber deformierten Brustbeinen (MARGGRAF und AHLERS, 2023)	18
Abbildung 8: Bonitur am Hühnermobil an einer Lohmann Brown Henne	21
Abbildung 9: Vermessen und Wiegen der Eier in Bernburg.....	23
Abbildung 10: Arbeitsplatz mit Feinwaage und Schiebelehre in Schönebeck mit einem aufgeschlagenen Ei	24
Abbildung 11: Messung Eischalendicke mittels Schiebelehre	25
Abbildung 12: Punktwolke der Haugh Units i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	42
Abbildung 13: Punktwolke des Dotterindexes i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt n = 60	42

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
§	Paragraph
°C	Grad Celsius
B	Breite
bzw.	beziehungsweise
ca	circa
Ca	Calcium
cm	Zentimeter
DIN	Deutsches Institut für Normung
g	Gramm
h	Stunde
H	Höhe
HU	Haugh Unit
i.A.	in Abhängigkeit
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
kg	Kilogramm
LB	Lohmann Brown
LFGB	Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch
LSL	Lohmann Selected Leghorn
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt

m ²	Quadratmeter
Max	Maximum
mg	Milligramm
mg/g	Milligramm je Gramm
mg/l	Milligramm je Liter
min	Minute
Min	Minimum
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MTool	Management Tool
n	Anzahl
nm	Nanometer
S	Seite
u.a.	unter anderem
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- Forschungsanstalten
W	Eigewicht

1 Einleitung

Der Strukturwandel von Haltungssystemen in der Nutztierhaltung ist allgegenwärtig. Die Ursache dafür liegt in der schwindenden gesellschaftlichen Akzeptanz für intensive Haltungsformen.

Dass der Betriebszweig der Leghennen davon ebenfalls betroffen ist, zeigt das Verbot der Käfighaltung im Jahr 2010. Die Haltung der Tiere in Kleingruppenkäfigen ist dabei ausschließlich bis Ende 2025 erlaubt. Die Kleingruppenhaltung zeigt mit einem Anteil von vier Prozent einen starken Rückgang von ursprünglich etwa 60 % im Jahr 2008. Dem gegenüber gewinnt die Mobilstallhaltung in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung (BMLEH, 2025).

Die Haltung in Mobilställen ermöglicht den Tieren einen freien Auslauf, sodass natürliche Verhaltensweisen wie Scharren und Picken ausgeübt werden können. Im Gegensatz zur Freilandhaltung resultiert aus dem regelmäßigen Standortwechsel der Erhalt einer gesunden Grasnarbe und eine geringere Konzentration an Bakterien und Parasiten im direkten Umfeld der Hennen. Zwar geht mit der Mobilstallhaltung ein arbeitsintensives Verfahren einher, dennoch scheint der Verbraucher zunehmend bereit, mehr dafür zu bezahlen und diese Form der artgerechten Haltung wertzuschätzen (MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES BRANDENBURG, 2019). Darüber hinaus steigt die Beliebtheit dieser Haltungsform bei Einsteigern, Direktvermarktern und Kleinbetrieben aufgrund geringer Investitionskosten und Risiken (BLE, 2025).

In Deutschland arbeiten derzeit ca. 3000 Betriebe mit mobilen Hühnerställen, sodass die Anzahl an Legehennen in diesem Haltungssystem auf rund drei Millionen geschätzt wird. Abhängig von der Größe des Mobilstalles können 100 bis 2.500 Hennen gehalten werden (KÖRKEL, 2023).

Mit einem Strukturwechsel der Haltungssysteme finden zeitgleich Überlegungen zu potentiell verlängerten Legeperioden der Hennen statt (BLE, 2023a). Das BLE (2023a) fügt hinzu, dass damit der Anteil an nicht vermarktungsfähigen Eiern steigt und der Fokus auf eine gute Tiergesundheit unabdingbar wird. Unter diesen Aspekten ist das Wissen über die äußere und innere Eiqualität notwendig, um Schlussfolgerungen auf das Management ziehen zu können.

2 Literaturüberblick

2.1 Legehennen Haltungssysteme

Das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH, 2025) fasst die aktuellen Haltungssysteme für Legehennen zusammen. Dabei wird deutlich, dass in Deutschland strenge Tierschutzbestimmungen gelten. Zum 1. Januar 2010 wurde die konventionelle Käfighaltung von Legehennen verboten. Folglich beschränken sich die vier zulässigen Haltungssysteme auf die „Ausgestalteten Käfige“, die „Bodenhaltung“, die „Freilandhaltung“ sowie die „Ökologische Haltung“. Die Kleingruppenhaltung als spezielle Form der ausgestalteten Käfige muss bis Ende 2025 eingestellt werden.

Die Bodenhaltung stellt die in Deutschland am weitesten verbreitete Haltungsform für Legehennen dar. VAN DER LINDE et al. (2020) erläutern, dass sich die Hennen in dieser Haltung frei im Stall bewegen können, jedoch keinen Zugang zu einem Auslauf erhalten.

Im Vergleich zur früheren Käfighaltung bietet die Bodenhaltung mehrere Vorteile. Hervorzuheben sind insbesondere die erhöhte Bewegungsfreiheit und die Möglichkeit zur Ausübung natürlicher Verhaltensweisen. Darüber hinaus konnte WEBER et al. (2003) eine verbesserte Knochengesundheit der Tiere feststellen. Eine strukturierte Stallgestaltung ist ebenfalls möglich, wodurch eine bessere Anpassung an die natürlichen Bedürfnisse der Hennen erreicht wird und stressbedingte Verhaltensstörungen reduziert werden können.

Eine zentrale Herausforderung der Bodenhaltung stellt die Luftqualität in den geschlossenen Ställen dar, die durch erhöhte Ammoniak- und Staubbelastungen beeinträchtigt wird (PETERSEN, 2021). Darüber hinaus können aufgrund der großen Gruppengrößen soziale Spannungen auftreten, sodass Rangordnungskämpfe nicht ausgeschlossen werden können (WILLIG, 2011).

BAZER (2005) beschreibt die Freilandhaltung als Haltungssystem, das den Hennen zusätzlich zur Stallhaltung tagsüber einen Zugang zu einem Außenauslauf gewährt. In dieser Haltung können natürliche Verhaltensweisen wie Scharren, Picken und Sandbaden beobachtet werden. Die Studie dokumentiert zudem eine erhöhte Legeleistung, sowie eine verbesserte Eiqualität. Während die Freilandhaltung die körperliche Gesundheit der Tiere fördert und Stress reduziert, erhöht sie gleichzeitig das Risiko von Krankheiten und Parasitenbefall. Angriffe durch Füchse oder Greifvögel erfordern zudem geeignete Schutzmaßnahmen.

Die ökologische Haltung stellt den Hennen innerhalb der Stallanlage den größten Platz zur Verfügung. Der Zugang ins Freie unterscheidet sich kaum von dem der Freilandhaltung. Betriebe mit ökologischer Haltung sind verpflichtet, ökologisch erzeugtes Futter zu verwenden und unterliegen strengen Bio-Kontrollen. Neben hohen Umweltauflagen gelten außerdem strikte Regelungen für den Einsatz von Medikamenten bei den Tieren (BLE, 2023).

2.2 Legehennenrassen Lohmann

2.2.1 Lohmann LSL-Classic (LSL)

Die Rasse Lohmann LSL-Classic wird als Legehenne für alternative Haltungssysteme charakterisiert. Die Tiere tragen ein weißes Gefieder. Das Körpergewicht beträgt in der 17. Lebenswoche 1,27 kg und erreicht zum Produktionsende in der 82. Lebenswoche 1,79 kg. Die Schalenfarbe wird von LOHMANN BREEDERS (2021a) als attraktiv weiß beschrieben und die Schalenbruchfestigkeit liegt über 40 Newton. Der Beginn der Eiproduktion erfolgt zwischen der 19. und 20. Lebenswoche. Die dokumentierten Leistungsdaten zeigen ein Durchschnittsgewicht der Eier von 59,9 g in der 30. Lebenswoche, das bis zur 34. Lebenswoche auf 61,6 g ansteigt. Die folgende Abbildung 1 illustriert eine typische LSL-Classic-Legehenne.



Abbildung 1: Lohmann LSL-Classic Legehenne (LOHMANN BREEDERS, 2021)

2.2.2 Lohmann Brown-Classic (LB)

Analog zur zuvor beschriebenen Rasse wird die Lohmann Brown-Classic als Legehenne für alternative Haltungssysteme deklariert. Mit einem Körpergewicht von 1,42 kg in der 17. Lebenswoche starten diese Tiere mit einem höheren Anfangsgewicht und erreichen zum Produktionsende in der 84. Lebenswoche ein Gewicht von 2,05 kg. Die Schalenmerkmale umfassen eine attraktiv braune Farbe sowie eine Bruchfestigkeit von über 40 Newton.

Der Beginn der Eiproduktion liegt ebenfalls zwischen der 19. und 20. Lebenswoche, wird in der grafischen Darstellung der LOHMANN BREEDERS (2021b) jedoch leicht hinter dem Legebeginn der Lohmann LSL-Classic eingeordnet. Beim Vergleich der Eigewichte zeigt sich in der 29. Lebenswoche ein Durchschnittsgewicht von 60,9 g, das bis zur 33. Lebenswoche auf 62,7 g ansteigt. Die nachfolgende Darstellung zeigt eine Legehenne der Rasse Lohmann Brown-Classic.



Abbildung 2: Lohmann Brown-Classic Legehenne (LOHMANN BREEDERS, 2021)

Äußerlich lässt sich die Lohmann-Genetik nicht allein anhand der unterschiedlichen Eischalenfarben differenzieren. Ergänzend dazu zeigt das Gefieder der Lohmann Brown Hennen überwiegend eine braune Färbung.

2.3 Aufbau Hühnerei

Die folgende Abbildung stellt den Aufbau eines Hühnereies dar.

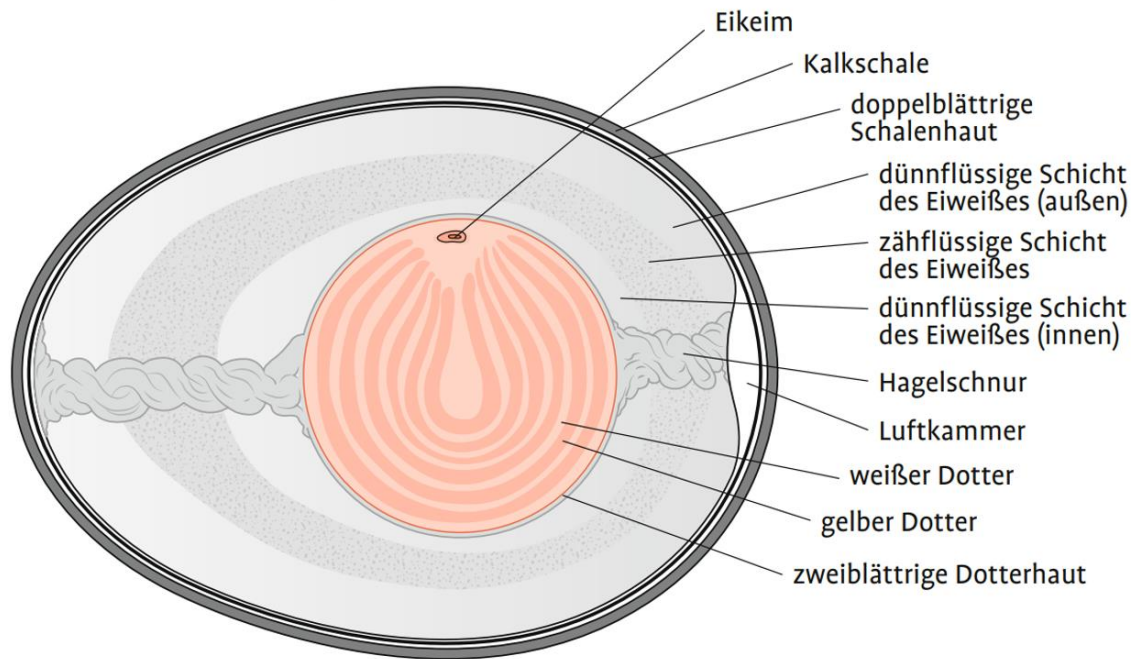


Abbildung 3: Aufbau eines Hühnereies (GÄBEL und PFANNKUCHE, 2001)

Den äußeren Rahmen eines Hühnereies bildet eine Kalkschale, die durch eine doppelagige Schalenhaut ergänzt wird. Die Schale schützt das Innere des Eies und umschließt die verschiedenen Schichten des flüssigen Eiweißes. Der Eidotter befindet sich im Zentrum des Eies und wird durch die Hagelschnur stabilisiert. Die Luftkammer liegt an der weniger spitz zulaufenden Seite des Hühnereies.

GRASHORN (2023) erklärt zusätzlich, dass ein durchschnittliches Hühnerei aus 9 bis 11 % Schale, 24 bis 28 % Dotter und zu 62 bis 66 % aus Eiklar besteht. Darüber hinaus steigt der Dotteranteil mit zunehmendem Alter der Hennen geringfügig an.

2.3.1 Äußere Qualitätsmerkmale

Eigewicht

GRASHORN (2004) erläutert, dass das Eigewicht von Hühnereiern allgemein zwischen 40 und 90 g liegt. VITS et al. (2005) zeigen am Beispiel einer Lohmann-Genetik, dass trotz verschiedener Haltungssysteme vergleichbare Eigewichte beobachtet werden. In den Käfig- und Kleingruppenhaltungssystemen liegen die Eigewichte zwischen 59,9 und 63,4 g. Bei einem Körpergewicht der Tiere von etwa 1,7 kg legen die Hennen im Mittel Eier mit einem Gewicht von über 61,5 g.

GRASHORN (2004) weist zudem darauf hin, dass das Eigewicht von verschiedenen Faktoren abhängt, darunter die Herkunft und das Alter der Legehenne. So liegen die Eigewichte bei Braunlegern mit 65 bis 67 g pro Ei leicht über den Gewichten von Weißlegern (62 bis 63 g). Ein Anstieg der Eigewichte mit zunehmendem Alter der Tiere ist ebenfalls feststellbar. Darüber hinaus beeinflussen die Körpergröße relativ zum Herdenmittel, die Futterzusammensetzung, die Stalltemperatur sowie Erkrankungen der Hennen das Eigewicht. PINGEL und JEROCH (1980) erklären außerdem, dass futterbedingte Mängel und Stalltemperaturen über 25 °C dazu führen können, dass die erwartete Eigröße in den ersten Lebenswochen nicht erreicht wird.

Hühnereier, die die für den Handel erforderlichen Qualitätsparameter erfüllen, werden in sogenannte Gewichtsklassen unterteilt. Die vierstufige Skala orientiert sich ausschließlich am Eigewicht. Eier unter 53 g werden der Gewichtsklasse „S“ zugeordnet, die nächsthöheren Klassen sind „M“ mit 53 bis 63 g und „L“ mit 63 bis 73 g. Eier mit einem Gewicht von mehr als 73 g fallen in die Kategorie „XL“ (MLEUV, 2025). Im Handel dominieren die Gewichtsklassen „M“ und „L“. Legehennenhalter streben demnach einen möglichst flachen Verlauf der Eigewichtskurve an, um eine hohe Anzahl von Eiern im Bereich von 53 bis 73 g zu erzeugen (FLOCK et al., 2007).

Eischale

Die Schale eines Hühnereies setzt sich aus der Schalenhaut und der Deckschicht zusammen, wobei die Schalenhaut eine biokristalline Schicht darstellt (KRAMPITZ, 1983). Die Eischalenqualität wird primär durch die Schalendicke sowie die Bruchfestigkeit bestimmt. Eine unzureichende Schalendicke gilt dabei als Hauptursache für Schalenbrüche (FEHLHABER und JANESCHKE, 1992).

Die folgende Abbildung 4 veranschaulicht mögliche Messpunkte der Eierschale nach SUN et al. (2012).

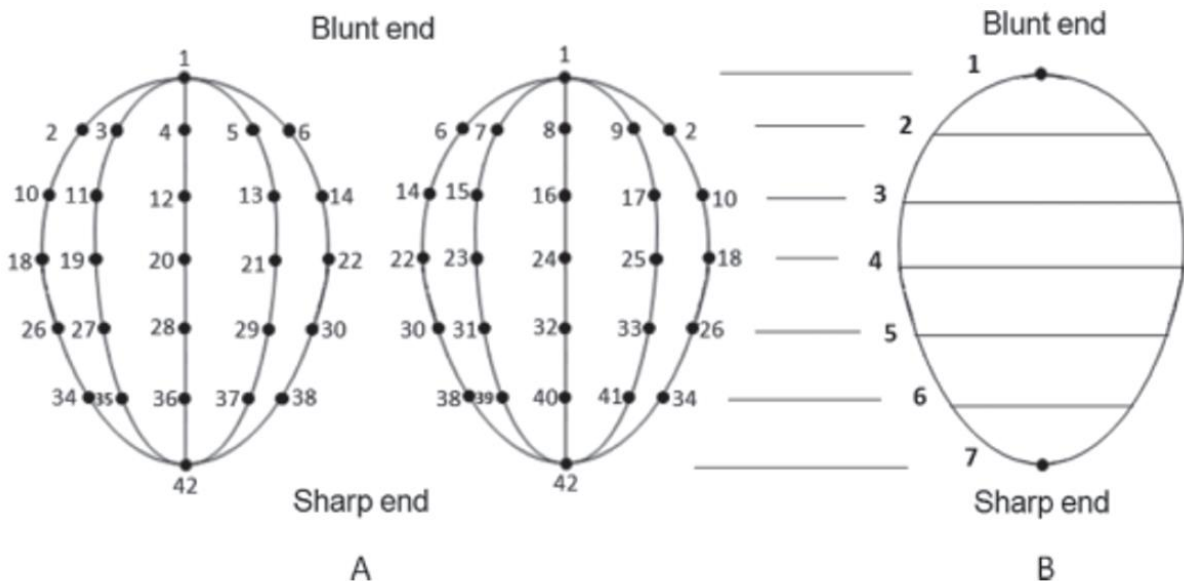


Abbildung 4: Positionen an der Eischale zum Messen der Eischalendicke (SUN et al., 2012)

SUN et al. (2012) führten Messungen an sieben unterschiedlichen Stellen des Eies durch. Zuvor wurde dabei die doppelwandige Membran von der Eischale gelöst. Rechts in der Abbildung sind die sieben Messbereiche dargestellt. Die Untersuchungen zeigen, dass die Schale zur Spitze hin (Messpunkt 7) eine höhere Dicke aufweist als in Richtung der Luftkammer (Messpunkt 1). Die Mittelwerte der Messpunkte eins bis drei liegen bei 0,35 mm, während die Messpunkte vier bis sieben einen Mittelwert von etwa 0,36 mm aufweisen.

SHAO et al. (2025) untersuchten die Eischalendicke im Zusammenhang mit der Fütterung. Dabei wurden drei Messpunkte berücksichtigt. Das stumpfe Ende, die Äquatorebene und das spitze Ende. Bei einer gleichmäßigen, zweimal täglichen Fütterung betrug die Eischalendicke an allen drei Messpunkten 0,36 mm. Durch eine Erhöhung der Fütterungsmenge konnte die Schalenstärke am stumpfen Ende und in der Äquatorebene um 0,1 mm zunehmen, während der Mittelwert am spitzen Ende konstant bei 0,36 mm blieb.

Die Schalendicke von Hühnereiern variiert in der Literatur und wird offenbar von mehreren Faktoren beeinflusst. So kann auch das Haltungssystem der Legehennen die Eischalendicke maßgeblich beeinflussen.

Die folgende Tabelle 1 stellt die Angaben zur Eischalendicke in den verschiedenen Haltungssystemen mit den zugehörigen Autoren dar.

Tabelle 1: Einige Angaben zur Dicke der Eischale (mm) in verschiedenen Haltungssystemen

Autor	Eischalendicke (mm)	Haltungssystem
VITS (2005)	0,32	ausgestaltete Käfige
VITS (2005)	0,33	Kleingruppenhaltung
BAZER (2005)	0,38	strukturierte Auslaufhaltung
BAUMGART (2005)	0,40	Volierenhaltung
SUN et al. (2012)	0,35 – 0,36	keine Angaben
SHAO et al. (2025)	0,36 – 0,37	Einzelkäfige

BAUMGART (2005) stellt in der Volierenhaltung eine durchschnittliche Schalendicke von 0,4 mm fest. Im Gegensatz dazu konnte BAZER (2005) in einer strukturierten Auslaufhaltung eine Schalenstärke von 0,38 mm messen. Die geringste Schalendicke wurde von VITS (2005) in der Kleingruppenhaltung mit etwa 0,33 mm und in den ausgestalteten Käfigen mit rund 0,32 mm ermittelt.

LE BRIS (2005) beobachtet zudem innerhalb eines Haltungssystems rassespezifische Unterschiede. Während Lohmann Brown Hennen im Mittel eine Schalendicke von 0,4 mm aufwiesen, lag die LSL-Rasse mit etwa 0,35 mm signifikant darunter.

CORDTS et al. (2001) erklären, dass die Schalenqualität von Hühnereiern zusätzlich von weiteren Faktoren beeinflusst wird. Zum einen nimmt die Eischalendicke mit zunehmendem Alter der Hennen ab, was auf eine verminderte Calciumresorptionsfähigkeit zurückgeführt werden kann. LEYENDECKER et al. (2002) bestätigen diesen Rückgang. Im 9. Legemonat weisen die Eier eine durchschnittliche Schalendicke von etwa 0,33 mm auf, die bis zum 14. Legemonat auf rund 0,31 mm abnimmt. Zum anderen steigt mit der fortschreitenden Legeperiode das Eigewicht der Eier, was bei gleichbleibender Schalenmasse zu einer Abnahme der Schalenstärke führt.

Darüber hinaus beeinflussen das Calcium- und Phosphorverhältnis in der Fütterung die Schalenqualität maßgeblich, da der Calciumbedarf mit zunehmender Eigröße steigt. Auch infektiöse Erkrankungen wie die infektiöse Bronchitis wirken sich negativ auf die Eischalenqualität aus

(CORDTS et al., 2001). Folglich treten infolge verminderter Schalenqualität Knick- und Brücheier häufiger auf (SCHÜMANN, 2008).

JIAMING et al. (2024) berichten, dass das Gewicht der Eischale im Mittel bei 4,83 g liegt, wobei die schwerste Schale 6,81 g und die leichteste 3,06 g aufweist. Untersucht wurde hierbei die Rasse Rhode Island Reds Pure Line in der 90. Legewoche.

Formindex

Die ovoide Form eines Hühnereies kann anhand des Formindex präzise quantifiziert werden. GRASHORN (2023) definiert einen Formindex von 74 als optimal. Der Index wird berechnet, indem der Durchmesser des Eies am Äquator durch dessen Länge dividiert und anschließend mit 100 multipliziert wird. Abweichungen vom Idealwert wirken sich negativ auf die Schalenstabilität aus.

Obgleich die Eiform für die meisten funktionalen Eigenschaften des Eies keine Relevanz besitzt, ist sie für die Verpackung und den Handel von entscheidender Bedeutung. Eier mit einem Formindex über 80 (zu länglich) oder unter 70 (zu kugelig) weisen eine erhöhte Anfälligkeit für Beschädigungen in Verpackungen auf. Abweichungen von der Norm können zudem stress- oder krankheitsbedingt auftreten (GRASHORN, 2023).

2.3.2 Innere Qualitätsmerkmale

Inhaltsstoffe im Ei

Der Hauptbestandteil eines Hühnereies ist Wasser, das etwa 75 % des Eies ausmacht. LAND SCHAFFT LEBEN (2025) verweist in diesem Zusammenhang auf die „Große GU Nährwert Kalorien Tabelle (2024/25)“ und gibt an, dass ein Ei zu 12,8 % aus Eiweiß und zu 11,3 % aus Fett besteht. Das Eiklar enthält prozentual weniger Eiweiß als der Eidotter, wobei etwa ein Drittel des Dotters aus Fett besteht, während Fett im Eiklar nahezu nicht vorhanden ist. Kohlenhydrate und Vitamine sind sowohl im Dotter als auch im Eiklar in geringen Mengen enthalten.

Neben den Vitaminen A, B, D, E und K enthalten Hühnereier verschiedene Mineralstoffe. Im Eidotter sind insbesondere Calcium, Phosphor und Eisen zu erwähnen, während im Eiklar Kalium und Natrium in größerem Maße vorkommen. DORLOFF (2025) berichtet, dass 100 g essbarer Ei-Anteil 12,5 g Eiweiß und 11,4 g Fett enthalten. JAEGER et al. (2025) geben Werte von 12,6 % Protein und 9,0 % Fett an. Die unterschiedlichen Angaben in der Literatur weisen jedoch durchweg auf einen höheren Eiweißgehalt im Vergleich zum Fettgehalt hin.

Einige Inhaltsstoffe des Eies werden stärker von der Fütterung der Hennen beeinflusst als andere. Essentielle Fettsäuren, fettlösliche Vitamine sowie die Dotterfarbe variieren innerhalb einer Charge stärker und scheinen daher stark durch die Ernährung geprägt zu sein (LAND SCHAFFT LEBEN, 2025). JUADJUR (2024) ergänzt, dass die Zusammensetzung von Fettsäuren und Aminosäuren im Ei durch ökologische Haltung positiv beeinflusst werden kann. Gleichzeitig betont der Abteilungsleiter für Chemische Analytik, dass zahlreiche Faktoren die Konzentration einzelner Inhaltsstoffe in Hühnereiern bestimmen. Hierzu zählen unter anderem die Jahreszeit sowie der Gesundheitszustand der Hennen.

Haugh Units

Eines der zentralen Qualitätskriterien für Verbraucher ist der Frischegrad von Hühnereiern. Dieser kann durch die Bestimmung der Luftkammerhöhe oder der Eiklarkonsistenz ermittelt werden. Bei frisch gelegten Eiern beträgt die Luftkammerhöhe in der Regel weniger als zwei Millimeter. Mit zunehmendem Alter des Eies vergrößert sich die Luftkammer infolge von Wasserverdunstung und Kohlendioxidabgabe deutlich. Eine ideale Lagerung kann diesen Prozess zwar verlangsamen, wodurch die Aussagekraft allein über die Luftkammerhöhe eingeschränkt wird. Daher ermöglicht die Messung der Eiklarhöhe und die anschließende Berechnung der Haugh Units (HU) eine genauere Bestimmung des Frischegrads.

Während des Alterungsprozesses steigt der pH-Wert des Eiklars, wodurch dieses zunehmend flüssiger wird. Auch die Membranfestigkeit des Eidotters nimmt im Verlauf ab (GRASHORN, 2023). Die Haugh Units werden nachfolgender Formel berechnet.

$$HU = 100 \log (H + 7,57 - 1,7W^{37})$$

SILVERSIDES et al. (1993) verwendeten bereits die oben genannte Formel zur Berechnung der Haugh Units (HU), wobei „H“ die Eiklarhöhe in Millimetern und „W“ das Eigewicht in Gramm repräsentiert. In ihrem Versuch wurden die HU von zwei Legehennengruppen ermittelt. Die erste Gruppe befand sich in der 26. Lebenswoche, die zweite in der 65. Lebenswoche. Trotz identischer Fütterung wiesen die jüngeren Tiere höhere Haugh Units auf (88 gegenüber 77). Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass die Managementbedingungen der beiden Gruppen nicht identisch waren.

GRASHORN (2023) ergänzt, dass die Eiklarhöhe bei frisch gelegten Eiern üblicherweise über vier Millimeter beträgt und die Haugh Units einen Mindestwert von 70 aufweisen sollten. Zu Beginn der

Legeperiode werden dabei höhere HU-Werte beschrieben, während zum Legeende Werte über 80 selten erreicht werden.

Neben Lagerungsbedingungen beeinflussen weitere Faktoren den Frischegrad von Hühnereiern. Hierzu zählen insbesondere der Gesundheitszustand der Hennen sowie unerwünschte Futterbestandteile wie Schwermetalle. Hohe Umgebungstemperaturen wirken sich zudem negativ auf die Eiklarkonsistenz aus, während der pH-Wert von Futter und Tränkwasser ebenfalls einen Einfluss auf die Qualität des Eiklars ausüben kann (GRASHORN, 2023).

Auf Grundlage der HU-Werte werden Hühnereier in verschiedene Frischeklassen eingeteilt. Klasse AA umfasst Eier mit HU-Werten über 72, Klasse A solche mit 60 bis 71 HU und Klasse B Eier mit 31 bis 59 HU. Eier mit HU-Werten unter 30 bilden die unterste Kategorie (DA SILVA PIRES et al., 2020). Das MLEUV (2025) erläutert zudem die Einteilung der Handelsklassen A und B. Zur Handelsklasse A zählen Eier, deren Schale, Luftkammer, Eiklar, Dotter und Keim keinerlei Beanstandungen aufweisen, einschließlich eines einwandfreien Geruchs. Hühnereier, die diese Qualitätskriterien nicht erfüllen, werden der Güteklasse B zugeordnet und ausschließlich für die industrielle Verarbeitung genutzt.

Dotterindex

Ein weiterer Qualitätsparameter für die Bestimmung des Frischegrades von Eiern stellt der Dotterindex dar. Dieser wird weniger von der Lagerdauer beeinflusst, sondern primär durch die Umgebungstemperatur determiniert. Der Frischegrad eines Eies hängt demnach wesentlich von der Kombination aus Lagerdauer und Lagertemperatur ab. Eine frühzeitige Kühlung der Eier führt zu einer signifikanten Verbesserung der Qualität (SCHOLTYSEK, 1991).

Die folgende Grafik zeigt die Auswirkungen verschiedener Temperaturen auf den Dotterindex.

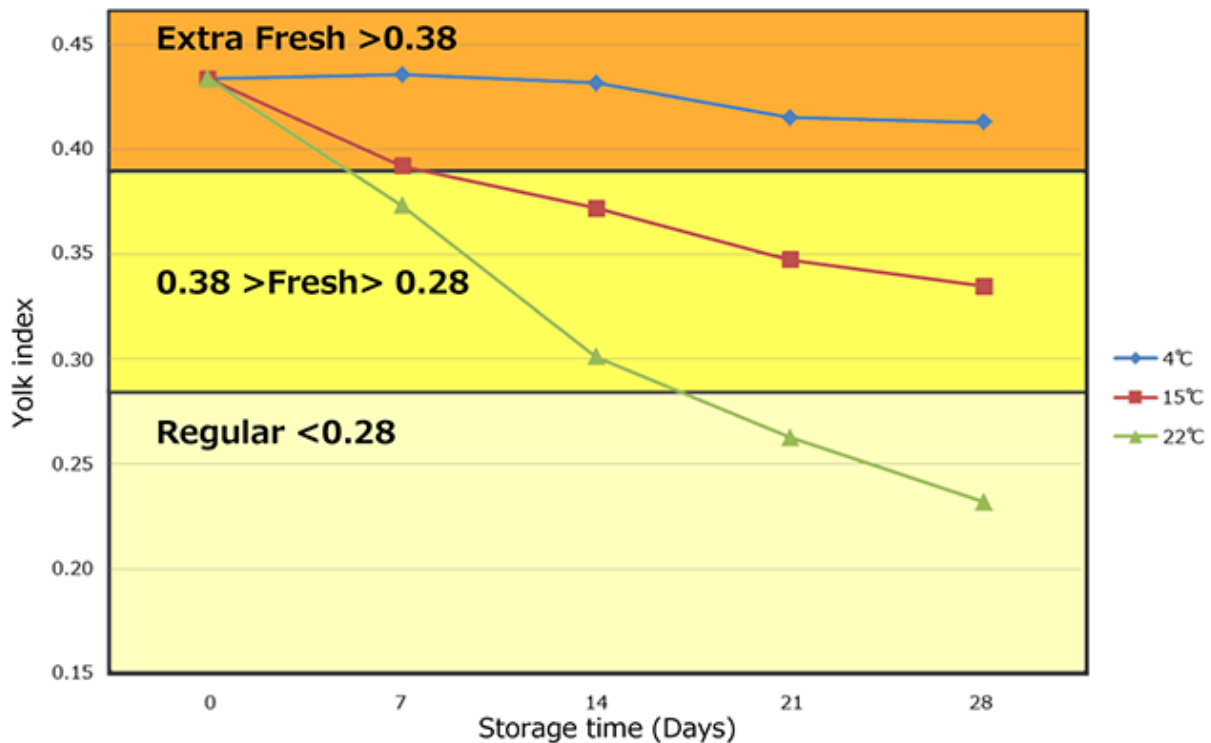


Abbildung 5: Dotterindex als Frischeparameter i. A. von der Umgebungstemperatur (NABEL CO., LTD., 2022)

Der Dotterindex von Hühnereiern nimmt innerhalb der ersten 28 Tage in Abhängigkeit von der Lagerungstemperatur unterschiedlich stark ab. Unter einer Lagerungstemperatur von 4 °C zeigt sich nur ein geringer Rückgang des Dotterindexes auf Werte unter 0,38, was auf eine weitgehende Erhaltung der Frische hinweist. Im Gegensatz dazu fällt der Dotterindex bei einer Lagerungstemperatur von 9 °C deutlich stärker ab und liegt unter 0,35. Die bei 22 °C gelagerte Gruppe weist den größten Abfall auf. Der Dotterindex sinkt hier von etwa 0,43 auf unter 0,25 (NABEL CO., LTD., 2022).

RAUCH (1959) untersuchte mathematisch-statistische Zusammenhänge zwischen verschiedenen Eiquantitätsmerkmalen und berücksichtigte hierbei auch die Dotterhöhe und den Dotterindex. Bei über 3.500 Frischeiern verschiedener Rassen konnte im Mittel eine Dotterhöhe von 19,0 mm festgestellt werden, mit einer Schwankungsbreite von $\pm 1,4$ mm. Der durchschnittliche Dotterindex lag bei 45 mit einer Standardabweichung von ± 4 .

SCHOLTYSSEK et al. (1978) geben für die Berechnung des Dotterindexes die folgende Formel an, wobei die Höhe (H) und die Breite (B) des Dotters als Messgrößen herangezogen werden.

$$\text{Dotterindex} = \left(\frac{H \times 100}{B} \right)$$

In diesem Fall liegt der Dotterindex mit einem Mittelwert von 38 in einem Wertebereich von 23 bis 52. Frische Hühnereier unterscheiden sich in ihrer Qualität und Herkunft, wobei auch die Lagerbedingungen variieren (SCHOLTYSSEK et al., 1978).

Im Verlauf der Alterungsprozesse des Eies nimmt der Dotterindex ab, da die Membranfestigkeit reduziert wird und sich die Faserstruktur der Dottermembran lockert (NABEL CO., LTD., 2022).

2.4 Bedeutung Calcium Ei und Schale

Der Mineralstoff Calcium ist für zahlreiche zelluläre Funktionen von entscheidender Bedeutung. Neben seiner extrazellulären Rolle bei der Knochenmineralisierung, der Übertragung von Nervenimpulsen und der Blutgerinnung erfüllt Calcium auch intrazelluläre Funktionen, indem es Muskelkontraktionen und den Glykogenstoffwechsel beeinflusst (JELKMANN und SINOWATZ, 1996).

SVENSSON und KIVIMÄE (1983) beschreiben, dass die Hauptaufgabe von Calcium bei jungem Geflügel der Aufbau eines stabilen Skeletts ist. Mit Beginn der Eiproduktion verschiebt sich der Fokus auf die Eischalenbildung, für die Calcium essentiell ist. Die Eischale besteht zu etwa 95% aus Calciumcarbonat und bildet somit den Hauptbestandteil der Schale (JIAMING et al., 2024). Die Qualität der Eischale wird demnach maßgeblich durch die Menge des in der Schale abgelagerten Calciums bestimmt.

BARTTER et al. (2018) gehen von einem Calciumgehalt in der Eischale von etwa 380 mg pro Gramm aus, während GRATZL und KÖHLER (1968) im Durchschnitt 1,6 bis 2,4 g Calcium pro Ei angeben. Dieses Calcium stammt fast ausschließlich aus dem Blut und kann innerhalb von 16 Stunden in die Schale umgelagert werden. SHAO et al. (2025) ermitteln abhängig von der Fütterung einen Calciumgehalt von 37,45 bis 37,94 %.

GRASHORN (2023) listet im Geflügeljahrbuch 2024 Vitamin-, Mengenelement- und Spurenelementgehalte von Hühnereiern auf und gibt für 53 g essbare Eimasse einen Calciumgehalt von 30 mg an. DORLOFF (2025) berichtet von 51 mg Calcium pro 100 g essbarem Anteil. Insgesamt spricht KOLB (1979) von etwa 2,0 bis 2,2 g Calcium pro Ei.

Für die Fütterung von Legehennen empfiehlt TAYLOR (1970) einen täglichen Calciumgehalt von etwa 3,5% der Futtertrockenmasse. Bei einer Aufnahme von 4 bis 6% Calcium kommt es bereits zu einem

Rückgang der Legeleistung, wie SCOTT et al. (1971) zeigen. GV SOLAS (2006) bestätigt über 30 Jahre später, dass der Calciumgehalt im Futter bei 3,7 bis 4,5 % liegen sollte.

HÄRTEL (1989) weist darauf hin, dass eine Überdosierung von Calcium neben einem Rückgang der Legeleistung auch die Eischalenqualität verschlechtert. Eine Unterversorgung sollte ebenfalls vermieden werden, da Calcium als essentieller Baustein der Eischale bereits nach wenigen Tagen Mangelercheinungen zeigen kann, die in einer vollständigen Einstellung der Eiproduktion resultieren (ANTILLON et al., 1977).

2.5 Gesundheitszustand Bonitur

Zur Verbesserung des Wohlbefindens und der Gesundheit von Legehennen kann der Einsatz eines Managementtools (MTool) sinnvoll sein. Die Bonitur mittels der MTool-Beurteilungskarten sollte während der Legeperiode alle vier Wochen durchgeführt werden. Hierbei werden die Tiere zunächst gefangen und gewogen, bevor eine systematische Untersuchung in vorgegebener Reihenfolge erfolgt. Zunächst werden Kopf, Hals und Kropf eingehend untersucht, gefolgt von der Kontrolle der Flügel, des Rückens, des Schwanzes sowie der Stoßfedern. Anschließend erfolgen die Beurteilung der Zehen und Fußballen, eine Legebauch- und Kloakenkontrolle sowie das Abtasten des Brustbeins. Während der gesamten Bonitur wird besonders auf den Gefiederzustand, Verletzungen und Parasitenbefall geachtet (KEPPLER, 2017).

Federn erfüllen eine Schutzfunktion für Hennen, indem sie vor Nässe, Kälte und Verletzungen schützen. Gleichzeitig dienen sie als Isolationsschicht gegenüber Temperaturschwankungen. Ein schlechter Gefiederzustand erhöht den Energiebedarf zur Aufrechterhaltung der Körperwärme, was wiederum zu einem gesteigerten Futterverbrauch und damit zu wirtschaftlichen Nachteilen führt. Zudem wird das Wohlbefinden der Tiere bei einem schlechten Gefiederzustand erheblich beeinträchtigt (BESSEI, 2006).

Die Beurteilung der Körperregionen der Legehennen erfolgt auf einer dreistufigen Skala von 0 bis 2. Eine Einstufung mit „0“ kennzeichnet Bereiche ohne Mängel oder Beeinträchtigungen; am Beispiel des Brustbeins entspricht dies einem intakten Knochen ohne fühlbare Verformungen. Eine „1“ wird vergeben, wenn Verformungen am Brustbein tastbar sind, während bei einem Bruch eine „2“ in das Protokoll einzutragen ist (KEPPLER, 2020).

2.6 Bedeutung Calcium in den Knochen

Die Knochenstabilität von Legehennen wird maßgeblich durch den Mineralstoffhaushalt bestimmt, wobei Calcium und Phosphor eine zentrale Rolle einnehmen (KOLB, 1979). Etwa 80 % des resorbierten Calciums und rund 40 % des Phosphors werden über den Austausch mit dem Blut in die Knochen eingebaut. Während der Legeperiode sollte der tägliche Bedarf bei 2,5 g Calcium und 0,7 g Phosphor liegen. Mit Beginn der Eiproduktion werden aus dem Inneren der Röhrenknochen innerhalb von 24 Stunden etwa 700 bis 1.000 mg Calcium für die Eischalenbildung mobilisiert. Eine Re-Mineralisierung dieser Menge ist bei ausreichender Calciumversorgung möglich. Ein Verlust an vollständig mineralisierter Knochensubstanz führt jedoch zu einer Reduktion der Knochenfestigkeit (WHITEHEAD, 1999), wodurch die Tiere anfälliger für Frakturen werden. Osteoporose stellt dabei das häufigste Problem in der Legehennenhaltung dar. Nach WILSON et al. (1992) beginnt die Entwicklung von Osteoporose bereits mit Erreichen der Geschlechtsreife und schreitet während der gesamten Legeperiode fort, sodass die deutlichsten Ausprägungen am Ende der Legedauer beobachtet werden.

Das Haltungssystem übt einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung von Osteoporose aus. Hennen aus Boden-, Volieren- und Freilandhaltung weisen eine höhere Knochenfestigkeit auf als Tiere aus konventioneller Käfighaltung (BARNETT et al., 1997; KNOWLES und BROOM, 1990; FLEMING et al., 1994; LEYENDECKER et al., 2005). BISHOP (2000) konnte zudem eine hohe Erbllichkeit der Knochenfestigkeit nachweisen und eine Korrelation zwischen der Knochenfestigkeit und dem Körpergewicht der Hennen feststellen. KNOWLES und BROOM (1990) bestätigen darüber hinaus eine geringere Knochenfestigkeit bei leichten Legerassen im Vergleich zu schweren Legerassen.

2.7 Brustbeinverletzungen

In der Legehennenhaltung treten Knochenbrüche nicht selten infolge von Kollisionen oder Unfällen auf, wobei das Brustbein besonders häufig betroffen ist (TELLE, 2011).

Die Hauptursache für brüchige Knochen liegt in der hohen Eiproduktion. Der Markknochen dient dabei als entscheidende Calciumquelle für die Eischale und fungiert als Zwischenspeicher, da ein schnelles Ein- und Auslagern von Calcium möglich ist (DACKE et al., 1993). Moderne Legehennenrassen können Calcium zudem aus weiteren Knochenarten mobilisieren. Der Kortikalisknochen erfüllt primär eine Stützfunktion für den Organismus. Eine Mobilisierung von Calcium hat dabei weitreichende Folgen, da die Knochenproduktion bis zur 16. Lebenswoche, also

bis zum Einsetzen der Geschlechtsreife und der Eiproduktion, abgeschlossen ist (HUDSON et al., 1993).

EUSEMANN et al. (2018) konnten beim Vergleich zweier Braunleger-Rassen feststellen, dass weniger produktive Rassen eine geringere Frakturrate aufweisen als hochproduktive Rassen. REGMI et al. (2016) hingegen berichten, dass bei einer weißen Legerasse mit geringer Produktivität die auffälligsten Frakturen auftraten. Zudem zeigte die weniger produktive traditionelle Barred Plymouth Rock-Rasse trotz höherer Knochendichte mehr frische Frakturen im Vergleich zu zwei produktiven kommerziellen Rassen (Hy-Line Brown, Hy-Line Silver). TOSCANO et al. (2020) identifizierten weitere Faktoren, die Frakturen begünstigen, darunter das Alter bei der ersten Eiproduktion sowie eine späte Verknöcherung des Brustbeins. Auch Knochenerkrankungen und mangelnde Aktivität der Tiere wirken sich negativ auf die Knochengesundheit aus.

Die Untersuchung von Brustbeinverletzungen in Abhängigkeit vom Haltungssystem stellt ein zentrales Forschungsthema dar. GIESEKE et al. (2015) konnten bei allen fünf untersuchten Rassen in zwei Haltungssystemen eine Verschlechterung der Brustbeingesundheit feststellen. Dabei zeigte sich einerseits eine höhere Frakturrate in der Bodenhaltung und andererseits mehr Deformationen in der Käfighaltung. WEIGL (2007) untersuchte zwar nicht direkt das Brustbein, kommt jedoch zu einer vergleichbaren Aussage zur Knochenbruchfestigkeit. Hennen in Großvolieren wiesen stabilere Knochen auf als solche in Kleinvolieren. KNOWLES und WILKINS (1998) bestätigten ähnliche Ergebnisse und führten die höhere Knochenbruchfestigkeit auf die vermehrte Bewegungsmöglichkeit zurück. BAZER (2005) konnte die höchste Knochenbruchfestigkeit bei Legehennen in der Auslaufhaltung feststellen.

LEE (2012) stellt den Anteil der Hennen mit und ohne Brustbeindeformation (%) in Abhängigkeit von der Rasse und dem Untersuchungszeitraum dar. Im Folgenden ist diese Abbildung einmal übernommen.

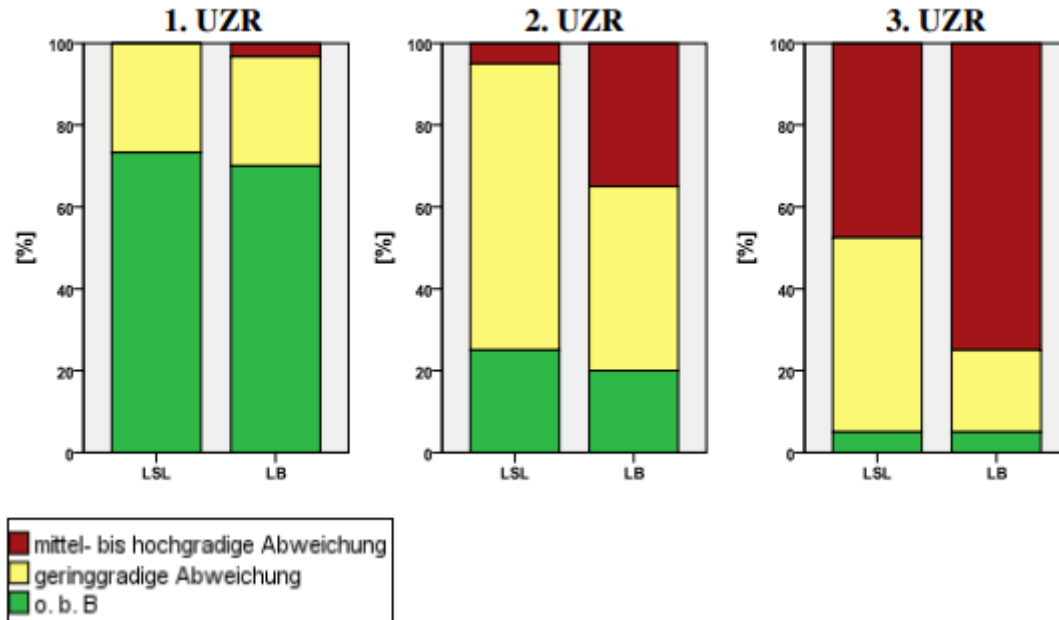


Abbildung 6: Anteil der Hennen mit und ohne Brustbeindeformationen (%) i. A. von der Legelinie und dem Untersuchungszeitraum (LEE, 2012)

Im Zeitraum von Oktober 2009 bis August 2010 wurden drei Untersuchungszeiträume festgelegt, in denen eine Brustbeinbonitur an zwei Legehennenrassen durchgeführt wurde. Dabei zeigten sich deutliche Veränderungen am Brustbein über den Verlauf der Legeperiode. Auf Grundlage der erhobenen Daten konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Rassen festgestellt werden. Die Hennen wurden im Rahmen des Versuchs ausschließlich in Käfigen gehalten (TELLE, 2011).

TELLE (2011) führt Deformationen am Brustbein unter anderem auf die Gestaltung der Sitzstangen zurück. In der Natur würden die Tiere auf unterschiedlich geformten Ästen ruhen, während in der Haltung standardisierte Stangen zum Einsatz kommen. Problematisch erscheint zudem die Anordnung der Sitzstangen, da beim Anfliegen häufig Verletzungen auftreten. In den Untersuchungen von TELLE (2011) bevorzugten LSL-Hennen eine Holzsitzstange mit rechteckigem Querschnitt. In einem anderen Abteil wurden runde, metallische Stangen gegenüber trapezförmigen Stangen aus Kunststoff bevorzugt. Auch der Standort der Sitzstangen beeinflusst deren Attraktivität.

Höher angebrachte Stangen in ruhigen Bereichen mit geringerem Durchgangsverkehr werden von den Hennen stärker frequentiert.

MARGGRAFF und AHLERS (2023) vergleichen in einer grafischen Darstellung zwei gesunde mit zwei deformierten Brustbeinen. Die vordere Abbildung zeigt dabei eine sagittale Deformation am rechten Brustbein, während das zweite Bild eine transversale Deformation des unteren Brustbeins dokumentiert.



Abbildung 7: Vergleich gesunder Brustbeine gegenüber deformierten Brustbeinen (MARGGRAFF und AHLERS, 2023)

3 Zielstellungen

Folgende Zielstellungen gilt es in dieser Arbeit zu betrachten:

- Welche Unterschiede können für die äußeren Eiquantitätsmerkmale des Eigewichts, des Formindexes, des Eischalengewichtes und der Eischalendicke unter Berücksichtigung der Genetik der Legehennen beschrieben werden?
- Wie unterscheiden sich die inneren Eiquantitätsmerkmale der Höhe und des Durchmessers von Eiklar und Eidotter sowie Rohprotein- und Rohfettgehalt im Ei unter Berücksichtigung der Genetik der Legehennen?
- Wie hoch ist der Calciumgehalt in der Schale und welche statistischen Zusammenhänge zur Eiquantität können aus den Untersuchungen unter Beachtung der Genetik der Legehennen beobachtet werden?
- Wie lässt sich der Calciumgehalt im Brustbein und im Ständer beschreiben und welche Zusammenhänge können zum optischen Befund am Schlachtkörper unter Beachtung der Genetik der Legehennen gezogen werden?

4 Material und Methode

4.1 Material

Im April 2024 wurden am Standort Strenzfeld der Hochschule Anhalt 20 Legehennen aufgenommen. Dabei handelt es sich bei zehn Tieren um die Legerasse Lohmann Selected Leghorn, die übrigen zehn Legehennen gehören der Rasse Lohmann Brown an. Die Haltung erfolgte in einem handelsüblichen Hühnermobil der Firma Farmermobil, dass an einen ca. 60 m² großen Außenauslauf angrenzte. Die Außenfläche war ausreichend mit Vegetation bewachsen, sodass die Legehennen die gesamte Fläche nutzen konnten. Zusätzlich standen zwei Sandbäder zur Verfügung, die der Gefiederpflege dienten.

4.2 Methode

In den Lebenswochen 46 bis 50, welche die letzten fünf Wochen der Legeperiode der Hennen darstellen, wurden jeweils mittwochs und donnerstags die täglich gesammelten Eier zufällig ausgewählt. Pro Tag wurden sechs Eier entnommen, darunter drei weiße Eier der Rasse Lohmann Selected Leghorn und drei braune Eier der Rasse Lohmann Brown. Somit konnten wöchentlich zwölf Eier für den Versuch separiert werden. Insgesamt wurden 60 Eier in die Untersuchung einbezogen, wobei jeweils 30 Eier einer Rasse zugeordnet sind.

Gegen Ende der 50. Kalenderwoche wurden sechs Legehennen geschlachtet, ausgenommen und vorläufig eingefroren, um weitere Analysen am Schlachtkörper durchführen zu können. Dabei handelte es sich um drei Tiere pro Genetik, sodass die Brustbeine und Ständer der zufällig ausgewählten Tiere detailliert untersucht werden konnten.

4.2.1 Gesundheitsbewertung

Das allgemeine Wohlbefinden der Hühner wurde nach der Vorgehensweise des M-Tools überwacht. Dabei fanden die Untersuchungen wöchentlich im April, Mai, Juni und November statt, hierbei waren keine Auffälligkeiten erkennbar. Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte unter fachlicher Anleitung durch Studierende des Masterstudiengangs Landwirtschaft an der Hochschule Anhalt, die die Dokumentation gemäß M-Tool protokollierten. Im Rahmen der Bonitur wurden neben Kopf, Hals, Rücken und Ständern insbesondere das Brustbein abgetastet. Über die Gefiederkontrolle hinaus wurden die Hühner auf Verschmutzungen und Verletzungen untersucht. Die Bewertung nach M-Tool erfolgt auf einer dreistufigen Skala. Am Beispiel des Brustbeins bedeutet die Bewertung „0“, dass das Brustbein vollständig intakt ist und keine Verformungen tastbar sind. Kleinere Auffälligkeiten am

Brustbein werden mit „1“ bewertet, während bei einem Bruch die höchste Bewertung „2“ vergeben wird. Zusätzlich umfasst die Untersuchung eine Gewichtskontrolle. Dank der unterschiedlichen Bänderungen an den Ständern konnte jedes Tier eindeutig identifiziert werden, sodass die Entwicklung des Gesundheitszustands jeder einzelnen Henne über den Beobachtungszeitraum nachvollziehbar ist. Das folgende Bild zeigt exemplarisch die Durchführung der Bonitur an einer Lohmann Brown Henne, wobei im Hintergrund der Mobilstall und der Auslauf erkennbar sind.



Abbildung 8: Bonitur am Hühnermobil an einer Lohmann Brown Henne

4.2.2 Schlachtung

Sechs Legehennen wurden nach der 50. Lebenswoche geschlachtet, sodass die Schlachtkörper für weitere Analysen im Labor zur Verfügung standen. Nach der Wägung der Tiere wurden die zu untersuchenden Proben separiert. Hierzu zählten Teile des Brustfleisches, die Brustbeine sowie die Ständer der Hennen. Die Brustbeine wurden jeweils in drei gleich große Abschnitte geteilt, sodass pro Huhn drei Brustbeinproben vorlagen. Die Ständer wurden oberhalb der Zehen und unterhalb des

Gelenks in etwa 3cm lange Stücke zerschnitten. Anschließend erfolgte das Einfrieren der unterschiedlichen Proben in Gefrierbeuteln.

4.2.3 Vermessung am Ei

Die wöchentlich anfallenden Eier wurden am Standort Bernburg zunächst mit Hilfe einer Feinwaage und einer analogen Schiebelehre vermessen. Dazu zählten die Erfassung der Eigewichte, des Verschmutzungsgrads, sowie die Länge und Breite der Eier. Nach dem Austarieren der Feinwaage wurde das Ei aufgelegt, und das Eigewicht in Gramm bestimmt.

Der Verschmutzungsgrad der Eier wurde anhand einer dreistufigen Skala klassifiziert. In die Kategorie „sauber“ wurden ausschließlich Eier ohne jegliche Kotverschmutzung eingeordnet. Leicht verschmutzte Eier erhielten die Einstufung „mittel“, während stark verschmutzte Eier der Kategorie „verschmutzt“ zugeordnet wurden. Durch das Einspannen der Eier längs und quer zwischen den Außenmessschenkeln der Schiebelehre, war das Ablesen der Länge und Breite in Zentimetern problemlos möglich. Eine ordnungsgemäße Lagerung im Kühlschrank sorgte für eine Sicherstellung der Frische der Eier. In Vorbereitung auf folgende Untersuchungen der Eier in Schönebeck, konnten die Eier jeden Donnerstag mit nach Hause genommen werden. Das folgende Bild dokumentiert exemplarisch die Vermessung eines Eis einer Lohmann Selected Leghorn Henne, dessen Eigewicht ermittelt und anschließend digital erfasst wurde.



Abbildung 9: Vermessen und Wiegen der Eier in Bernburg

Freitags wurde jedes Ei einzeln auf einem sauberen, weißen Teller aufgeschlagen, um weitere Analysen und Begutachtungen durchführen zu können. Die Untersuchungen erfolgten in folgender Reihenfolge. Zunächst wurde das Ei auf Blutbeimengungen kontrolliert, wobei Anzahl und Größe der Fleischflecken dokumentiert wurden. Anschließend wurde das Gewicht der Eischale mit einer Feinwaage ermittelt, wobei die anhaftende Membran, die das Innere des Eies umschließt, nicht entfernt wurde.

Die Dotterfarbe wurde mithilfe eines nummerierten Farbfächers bestimmt, der eine Skala von 1 bis 15 aufweist. Voraussetzung für eine exakte Farbbestimmung war ein heller Raum mit möglichst viel Tageslicht.

Daraufhin wurden Höhe und Durchmesser des Eiklars in Zentimetern gemessen. Die Eiklarhöhe wurde mit dem Tiefenmaß der Schiebelehre ermittelt, indem dieses zwei Zentimeter vom Rand in das Eiklar eingetaucht wurde. Der Durchmesser des Eiklars wurde mithilfe des Außenmessschenkels der Schiebelehre bestimmt, wobei der Mittelwert aus der längsten und kürzesten Achse des

gallertartigen Eiklars berechnet wurde. Für die Messung von Höhe und Durchmesser des Eidotters konnte das Tiefenmaß nicht direkt ins Gewebe eingetaucht werden, da dies zu einem Auslaufen und Verlust der Höhe führen würde. Daher wurde das Tiefenmaß neben dem Eidotter positioniert, was das Ablesen erschwerte und kleine Ungenauigkeiten verursachen kann. Ebenso sind bei der Ermittlung des Durchmessers aufgrund der gallertartigen Konsistenz des Eiklars geringe Messungenauigkeiten nicht auszuschließen.

Nachfolgend in Abbildung 10 ist der Arbeitsplatz mit der Feinwaage und der analogen Schiebelehre exemplarisch dargestellt. Das Gewicht der Eischale kann auf der Feinwaage abgelesen werden.



Abbildung 10: Arbeitsplatz mit Feinwaage und Schiebelehre in Schönebeck mit einem aufgeschlagenen Ei

Abschließend wurde die Eischalendicke mittels Schiebelehre bestimmt. Hierfür wurden drei Messpunkte am Ei festgelegt. Die drei Punkte befinden sich an der Spitze, in der Äquatorialebene und

am unteren Ende des Eies. An diesen Stellen wurde vorsichtig jeweils ein Teil der Eischale herausgebrochen. Nach Entfernung der Schalenhaut konnte die Dicke der Eischale mit dem Außenmessschenkel der Schiebelehre abgelesen werden. Im Anschluss wurden Eiklar und Eidotter separat von der Eischale in jeweils beschrifteten Gefrierbeuteln eingefroren.

Das folgende Bild zeigt den Messvorgang der Eischale mittels Schiebelehre.



Abbildung 11: Messung Eischalendicke mittels Schiebelehre

4.2.4 Laboranalysen

Versuchsaufbau

Im folgenden Abschnitt werden die Analysemethoden und die dafür benötigten Materialien für den Versuchsaufbau detailliert erläutert. Im Rahmen der Laboranalyse wurden verschiedene Arten an Proben untersucht. Dazu zählen die Hühnereier mit Eiklar, Eidotter und Eischalen sowie Brustbeine, Ständer und Fleisch der dazugehörigen Legehennen.

Das Ei wurde neben den beschriebenen äußeren und inneren Qualitätsmerkmalen zusätzlich auf Inhaltsstoffe wie Calcium, Natrium, Kalium, Magnesium, Eisen, Protein und Rohfett untersucht. Bei der Eischale belief sich die Analyse auf den Calciumgehalt. Auf den Gehalt an Phosphor und Calcium wurden die Brustbeine, Ständer und das Fleisch untersucht.

Die Vorgehensweise der Analysen erfolgt nach DIN oder zertifizierten LUFA-Verfahren.

Probenaufbereitung

4.2.4.1 Bestimmung der Trockensubstanz mittels DIN 18121

Prinzip

Die Trockensubstanzbestimmung ist notwendig, um weitere Analysen einheitlich daran anknüpfen zu können. Die eingefrorenen Proben galt es zunächst aufzutauen und anschließend zu trocknen. Die Trocknung der Brustbeine und Ständer erfolgte bei 103°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz. Die Eischalen konnten bei einer Temperatur von 65°C im Trockenschrank getrocknet werden. Das gefrorene Innere des Hühnereies wurde als Besonderheit einer Gefriertrocknung unterzogen, sodass den Eiern nach etwa zwölf Stunden ebenfalls die Flüssigkeit entzogen wurde. Die Gefriertrocknung erfolgte im LOC-1m von Christ, dabei konnten 21 Proben gleichzeitig gefriergetrocknet werden. Die Wägung der Proben erfolgt sowohl vor als auch nach dem Trocknen im Trockenschrank mit Hilfe einer Feinwaage auf drei Nachkommastellen.

Geräte und Hilfsmittel

- LOC-1m (Christ)
- Feinwaage
- Urinbecher

- Schlagmühle
- Trockenschrank
- Tiegelzange

Die Proben müssen homogenisiert werden, um einen aussagekräftigen und repräsentativen Versuch erstellen zu können. Alle oben genannten getrockneten Proben konnten mit Hilfe einer Schlagmühle anschließend zerkleinert werden.

4.2.4.2 Herstellung Königswasseraufschluss mittels DIN 38414-S7

Prinzip

Die Herstellung des Königswasseraufschlusses ist für jede Probe unabdingbar, da darauf weitere Analysen aufbauen. Bei einer Einwaage von 1,49 bis 1,51 g der Probe in Aufschlussgefäße erfolgte der Königswasseraufschluss. Dazu wurden 10,5 ml einer 37%igen Salzsäure und 3,5 ml einer 65%igen Salpetersäure zusammengegeben und anschließend für zwei Stunden bei 140°C gekocht. Nach dem abkühlen konnte auf 50,0 ml mit bidestilliertem Wasser aufgefüllt werden. Aufgrund des zu geringen Gewichtes der gedrittelten Brustbeine und der Ständer wurden diese Proben als Ausnahme mit 0,990 bis 1,010 g eingewogen. Der Königswasseraufschluss bildet die Grundlage zur Messung des Gehalts an Calcium, Kalium, und Natrium am Photometer und ist notwendig zur Ermittlung des Eisen- und Magnesiumgehaltes an der ICP-MS.

Geräte und Hilfsmittel

- Glaskolben
- Heizblock der SMA-Einheit (Firma C. Gerhardt GmbH & Co. KG)
- ICP-MS NexION (Firma Perkin Elmer)

4.2.4.3 Bestimmung des Calcium-, Kalium- und Natriumgehaltes am Flammenphotometer

Prinzip

Die Grundlage zur Bestimmung der Mineralien am Flammenphotometer bildet der Aufschluss im Königswasser. Um den Gehalt an Calcium in der Eischale am Flammenphotometer messen zu können, wurde die Aufschlusslösung mit bidestilliertem Wasser 1:100 verdünnt. Zur Ermittlung des Calciumgehalts im Ei und im Fleisch ist keine Verdünnung notwendig. Eine 1:10 Verdünnung wurde zur Messung der Kalium- und Natriumwerte am Photometer hergestellt. Am Flammenphotometer

wurde eine dreifach-Bestimmung durchgeführt, sodass für jede Probe drei Werte gemessen werden konnten.

Geräte und Hilfsmittel

- 100-ml-Messkolben
- Reagenzgläser
- Flammenphotometer (Firma Labexchange)

4.2.4.4 Bestimmung des Eisen- und Magnesiumgehalts an der ICP-MS

Prinzip

Der Königswasseraufschluss bildet die Grundlage für die Bestimmung der Elemente an der ICP-MS. Für die Elementaranalyse sind bei den Hühnereierproben keine Verdünnungen zur Ermittlung der Eisen- und Magnesiumwerte notwendig. Es erfolgte eine Doppelbestimmung für jede Probe.

Geräte und Hilfsmittel

- ICP-MS NexION (Firma Perkin Elmer)

4.2.4.5 Bestimmung des Rohfettgehaltes mittels VDLUFA III 5.1.1

Prinzip

Die Rohfettbestimmung im Ei erfolgte am Extraktionsapparat bei sechs Proben gleichzeitig. Die Einwaage der Probe lag hierbei zwischen 3,000 und 3,005 g. Als ergänzendes Lösungsmittel fungiert 100 ml Petrolether, der einen Siedebereich von 40 bis 60 °C besitzt. Der Prozess der Fettextraktion dauerte am Gerät 2:25 h. Die Trocknung im Trockenschrank bei 103 °C dauerte 1,5 h. Nach 20 min abkühlen im Exsikkator erfolgte abschließend die Rückwägung, sodass das Rohfett ermittelt werden konnte.

Geräte und Hilfsmittel

- Extraktionsapparat Soxtherm (Firma C. Gerhardt GmbH & Co. KG)
- Extraktionshülsen
- Trockenschrank
- Exsikkator

4.2.4.6 Bestimmung des Proteingehaltes mittels L 07.00-68 (§ 64 LFGB)Prinzip

Der Stickstoffgehalt wurde mittels Elementaranalyse bestimmt und anschließend mit dem Faktor 6,25 multipliziert, um den Proteingehalt im Hühnerei zu erhalten. Die Kalibrierung des Gerätes erfolgte mit Hilfe von 80,4 mg Nikotinsäure. Die Einwaage der Proben reichte dabei von 80 bis 100 mg. Jedes Ei wurde anschließend mit je zwei Proben in Zinnkapseln bei 950°C im Leco CN828 verbrannt.

Geräte und Hilfsmittel

- Analysenwaage
- Zinnkapseln
- Leco CN828

4.2.4.7 Bestimmung der Asche mittels L 06.00-4 (§ 64 LFGB)Prinzip

Bevor der Phosphorgehalt in den Ständern der Hühner ermittelt werden kann, ist die Bestimmung der Asche ein notwendiger Schritt dafür. Aufgrund des geringen Probenmaterials wurde die gesamte Probe eingewogen. Demnach lag die Einwaage zwischen 1,759 g und 2,456 g. Nach der vierstündigen Veraschung im Muffelofen bei 550°C und dem Abkühlen im Exsikkator wurde eine erneute Wägung durchgeführt.

Geräte und Hilfsmittel

- Porzellantiegel
- Muffelofen
- Exsikkator

4.2.4.8 Bestimmung des Gesamtposphorgehalts mittels L 06.00-9 (§ 64 LFGB)Prinzip

Die Bestimmung des Phosphorgehalts in den Ständern der Legehennen erfolgt mit Hilfe eines Photometrischen Verfahrens. Die Einwaage des Kaliumdihydrogenphosphat für die

Phosphorstammlösung beträgt 958,6 mg. Die Herstellung der Kalibrierlösungen erfolgte in Einmalküvetten. Dabei wurde eine Blindlösung und fünf Standardlösungen erstellt. Die Blindlösung beinhaltet ausschließlich 10 ml der verdünnten Salpetersäure. Den folgenden Standardlösungen werden zusätzlich 1 ml der Phosphat-Stammlösung zugefügt, sodass Standardlösung 5 am Ende 5 ml Phosphat-Stammlösung und 10 ml verdünnte Salpetersäure enthält. Die folgende Tabelle 2 stellt dies übersichtlich dar.

Tabelle 2: Herstellung der Standardlösungen

	Blindlösung	Standard- lösung 1	Standard- lösung 2	Standard- lösung 3	Standard- lösung 4	Standard- lösung 5
Phosphat- Stammlösung	0	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml
Salpetersäure verdünnt	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml

Der 100-ml-Messkolben wird im Anschluss bis zur Marke mit Wasser aufgefüllt. Die Blindlösung, Standardlösungen und Probenlösungen konnten nach über fünfzehn Minuten Wartezeit am Spektralphotometer bei 430 nm gemessen werden, sodass die Phosphorwerte ermittelt werden können.

Geräte und Hilfsmittel

- Wasserbad
- Faltenfilter
- Küvetten
- Spektralphotometer
- 100-ml-Messkolben

5 Ergebnisse

5.1 Äußere Eiqualität

Die Untersuchung der äußeren Eiqualität umfasst das Ei- sowie das Eischalengewicht. Ergänzend dienen die Parameter Eischalendicke und Formindex zur Beschreibung der äußeren Qualität von Hühnereiern.

Die erste betrachtete Variable ist das Gewicht der Eier, dessen Werte in Tabelle 3 in Gramm angegeben sind. Pro Woche wurden jeweils sechs Eier je Rasse analysiert. In der ersten Spalte jeder Woche sind der Mittelwert und die Standardabweichung dargestellt, gefolgt von den Minimal- und Maximalwerten. Nach demselben Schema sind auch die weiteren Tabellen aufgebaut.

Tabelle 3: Deskriptive Statistik zum Eigewicht (g) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	$66,26 \pm 7,13$	$62,43 \pm 1,72$
	Min - Max	59,2 – 78,4	60,4 – 64,6
Woche 47	Mittelwert	$67,80 \pm 6,50$	$66,02 \pm 2,34$
	Min - Max	62,6 – 80,5	62,1 – 68,4
Woche 48	Mittelwert	$64,70 \pm 3,28$	$64,02 \pm 6,07$
	Min - Max	60,2 – 69,1	53,4 – 70,7
Woche 49	Mittelwert	$64,47 \pm 4,17$	$62,27 \pm 4,65$
	Min - Max	60,6 – 72,5	55,7 – 68,7
Woche 50	Mittelwert	$65,77 \pm 5,44$	$67,33 \pm 5,63$
	Min - Max	59,8 – 73,7	62,3 – 75,8
Gesamt	Mittelwert	$65,80 \pm 5,25$	$64,4 \pm 4,59$
	Min - Max	59,2 – 80,5	53,4 – 75,8

Tabelle 3 verdeutlicht, dass in Abhängigkeit von der Versuchswoche weder ein durchgängiger Anstieg noch ein Abfall der Eigewichte zu erkennen ist. Die Mittelwerte zeigen rasseunabhängig leichte Schwankungen, ohne jedoch einen klaren Trend aufzuweisen. Im direkten Vergleich beider Rassen wird deutlich, dass die Lohmann LSL Hennen im Mittel schwerere Eier legen als die Lohmann

Brown Hennen. Exemplarisch lässt sich dies in Woche 46 beobachten, in der die Mittelwerte 66,26 g (LSL) und 62,43 g (Brown) betragen. In den ersten vier Wochen weisen die LSL-Eier durchgehend höhere Durchschnittswerte auf, während lediglich in Woche 50 die Lohmann Brown Eier mit 67,33 g über dem Mittelwert der LSL-Eier (65,77 g) liegen. Das insgesamt schwerste Ei wurde in Woche 47 mit einem Gewicht von 80,5 g bei den LSL-Hennen festgestellt, während das leichteste Ei in Woche 48 mit 53,4 g den Lohmann Brown zugeordnet werden konnte.

Die folgende Tabelle 4 zeigt die zweite Variable der äußeren Eiqualität. Grundlage hierfür bilden 60 in Gramm angegebene Werte der Eischalengewichte.

Tabelle 4: Deskriptive Statistik zum Eischalengewicht (g) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	8,63 ± 0,91	8,20 ± 0,41
	Min - Max	7,7 – 9,8	7,5 – 8,7
Woche 47	Mittelwert	9,28 ± 0,76	8,77 ± 0,52
	Min - Max	8,1 – 10,1	8,0 – 9,6
Woche 48	Mittelwert	8,85 ± 0,44	8,62 ± 0,38
	Min - Max	8,3 – 9,3	8,1 – 9,1
Woche 49	Mittelwert	8,45 ± 0,78	8,27 ± 0,76
	Min - Max	7,4 – 9,5	7,1 – 9,2
Woche 50	Mittelwert	7,72 ± 0,86	7,95 ± 0,85
	Min - Max	6,5 – 9,1	6,7 – 8,8
Gesamt	Mittelwert	8,59 ± 0,88	8,36 ± 0,64
	Min - Max	6,5 – 10,1	6,7 – 9,6

Die Analyse von Tabelle 4 zeigt eine Abnahme der Mittelwerte im Zeitraum von Woche 47 bis 50. Daraus lässt sich ableiten, dass das Eischalengewicht mit zunehmender Versuchsdauer tendenziell geringer ausfällt. Bei den Lohmann Selected Leghorn sinkt der Mittelwert von 9,28 g auf 7,72 g, während bei den Lohmann Brown eine Abnahme von 8,77 g auf 7,95 g erkennbar wird. Der direkte Vergleich der beiden Rassen verdeutlicht weitere Unterschiede. Im Wochenvergleich weisen die

braunen Eier durchgehend ein geringeres Schalengewicht auf als die Weißen, mit Ausnahme der 50. Woche. Hier liegt der Mittelwert der LB-Hennen um 0,32 g über dem der LSL-Tiere. Deutlich wird das insgesamt höhere Eischalengewicht der LSL-Eier auch bei Betrachtung der Minimal- und Maximalwerte. Während die Minimalwerte der LB-Eier, mit Ausnahme der 50. Woche, stets unter denen der LSL-Eier liegen, weisen die Maximalwerte der weißen Eier durchgehend höhere Werte auf. Zudem lassen die geringeren Standardabweichungen der LB-Hennen auf eine geringere Variabilität der Eischalengewichte schließen.

Die dritte untersuchte Variable ist die Eischalendicke, die in Tabelle 5 in Millimetern angegeben ist. Die Werte liegen zwischen 0,28 und 0,46 mm. Ab Woche 48 ist bei den LSL-Eiern eine Abnahme der Schalendicke erkennbar, während bei den Lohmann Brown Eiern eine Abnahme bereits ab Woche 47 auftritt. Im Vergleich der beiden Rassen zeigt sich, dass die braunen Eier in allen Wochen eine höhere durchschnittliche Schalendicke aufweisen als die der LSL-Hennen. Da Minimum, Maximum und Standardabweichung unregelmäßigen Schwankungen unterliegen, lassen sich in diesen Parametern keine eindeutigen Auffälligkeiten feststellen.

Tabelle 5: Deskriptive Statistik zur Eischalendicke (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	0,376 ± 0,010	0,382 ± 0,023
	Min - Max	0,37 – 0,39	0,34 – 0,41
Woche 47	Mittelwert	0,394 ± 0,039	0,422 ± 0,018
	Min - Max	0,36 – 0,46	0,40 – 0,45
Woche 48	Mittelwert	0,402 ± 0,017	0,411 ± 0,013
	Min - Max	0,38 – 0,43	0,39 – 0,43
Woche 49	Mittelwert	0,370 ± 0,026	0,376 ± 0,056
	Min - Max	0,34 – 0,41	0,28 – 0,43
Woche 50	Mittelwert	0,364 ± 0,058	0,367 ± 0,041
	Min - Max	0,30 – 0,46	0,31 – 0,40
Gesamt	Mittelwert	0,381 ± 0,035	0,391 ± 0,038
	Min - Max	0,30 – 0,46	0,28 – 0,45

Um Unterschiede in der Eischalendicke innerhalb eines einzelnen Eies zu erfassen, wurden an jedem Ei drei Messpunkte festgelegt. Diese befinden sich an der Spitze des Eies (Spitze), in der Äquatorialebene (Mitte) sowie auf Höhe der Luftkammer (Unten). Auf diese Weise kann die Variation der Schalendicke innerhalb des Eies systematisch erfasst werden. Insgesamt resultieren aus dieser Vorgehensweise 180 Messwerte, die in Tabelle 6 zusammengefasst sind.

Tabelle 6: Deskriptive Statistik zur Eischalendicke (mm) an drei verschiedenen Stellen am Ei i. A. der Genetik, gesamt $n = 180$

Messpunkte		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Spitze	Mittelwert	$0,396 \pm 0,052$	$0,397 \pm 0,038$
	Min - Max	0,30 – 0,48	0,30 – 0,46
Mitte	Mittelwert	$0,381 \pm 0,032$	$0,393 \pm 0,031$
	Min - Max	0,30 – 0,46	0,30 – 0,44
Unten	Mittelwert	$0,367 \pm 0,034$	$0,385 \pm 0,073$
	Min - Max	0,30 – 0,44	0,32 – 0,46
Gesamt	Mittelwert	$0,381 \pm 0,035$	$0,386 \pm 0,037$
	Min - Max	0,30 – 0,48	0,30 – 0,46

Die Analyse der Eischalendicke zeigt bei beiden Rassen ein vergleichbares Muster. Die größte Schalendicke tritt bei beiden Rassen an der Spitze des Eies auf, wobei die mittleren Werte 0,396 mm für die Lohmann LSL- und 0,397 mm für die Lohmann Brown Eier betragen. In Richtung Luftkammer nimmt die Schalendicke ab. Am unteren Ende der Eier weist die Eischale der LSL-Hennen einen Mittelwert von 0,367 mm auf, während die Eischale der Lohmann Brown Hennen auf 0,385 mm abnimmt. Der direkte Vergleich der beiden Rassen zeigt, dass die braunen Eier im Mittel eine etwas dickere Eischale aufweisen. Die mittlere Eischalendicke der LSL-Eier liegt mit 0,381 mm um 0,005 mm unter dem Mittelwert der Lohmann Brown Eier. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Lohmann Brown Eier eine geringere Variabilität, was durch die enger beieinanderliegenden Werte im Vergleich zu den LSL-Eiern verdeutlicht wird. Sowohl die Minimal- als auch die Maximalwerte unterscheiden sich zwischen den Rassen nur geringfügig.

Die folgende Tabelle 7 stellt den Formindex der weißen und braunen Eier dar. Der Formindex, der aus Breite und Länge des Eies berechnet wird, liegt bei den 60 untersuchten Eiern zwischen 67,11 und 81,47.

Tabelle 7: Deskriptive Statistik zum Formindex i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	$75,29 \pm 1,89$	$75,66 \pm 3,03$
	Min - Max	73,68 – 78,95	70,69 – 78,18
Woche 47	Mittelwert	$75,98 \pm 2,66$	$77,00 \pm 1,46$
	Min - Max	71,67 – 79,38	75,00 – 79,44
Woche 48	Mittelwert	$75,46 \pm 1,10$	$74,55 \pm 4,02$
	Min - Max	73,40 – 76,30	68,76 – 80,14
Woche 49	Mittelwert	$75,15 \pm 3,00$	$74,94 \pm 4,80$
	Min - Max	70,64 – 78,56	67,11 – 78,57
Woche 50	Mittelwert	$74,68 \pm 1,59$	$76,60 \pm 4,32$
	Min - Max	72,55 – 76,81	69,66 – 81,47
Gesamt	Mittelwert	$75,31 \pm 2,05$	$75,75 \pm 3,59$
	Min - Max	70,64 – 79,38	67,11 – 81,47

Bei der Betrachtung des Formindexes über die einzelnen Wochen hinweg ist zunächst weder ein eindeutiger Anstieg noch ein klarer Abfall erkennbar. Eine genauere Analyse offenbart jedoch, dass beide Rassen ihren jeweils höchsten mittleren Formindex in Woche 47 aufweisen. Darüber hinaus zeigen die Standardabweichungen der Lohmann Brown-Eier deutlich größere Schwankungen als die der LSL-Eier. So übersteigen bei vier von fünf Werten die Standardabweichungen der LB-Eier die maximale Schwankung der LSL-Eier von $\pm 3,00$ deutlich. Außerdem lässt sich feststellen, dass, mit Ausnahme der 46. Woche, das wöchentliche Maximum der LB-Eier durchgehend höher liegt als das der LSL-Eier, was auf eine tendenziell größere Variabilität der Form bei den braunen Eiern hinweist.

5.2 Innere Eiqualität

Die innere Eiqualität wurde durch die Bestimmung des Protein- und Fettanteils im Ei analysiert. Ergänzend werden auch der Durchmesser sowie die Höhe von Eiklar und Eidotter als wichtige Parameter herangezogen, um die innere Qualität der Eier umfassend zu beschreiben.

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse für den Proteinanteil der Eier in Prozent dargestellt. Die gemessenen Werte liegen dabei zwischen 38,03 % und 52,38 %, was die Variabilität des Proteingehalts innerhalb der untersuchten Eier deutlich macht.

Tabelle 8: Deskriptive Statistik zum Proteinanteil (%) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	$46,17 \pm 2,01$	$47,41 \pm 1,61$
	Min - Max	43,88 – 49,56	45,66 – 50,09
Woche 47	Mittelwert	$45,57 \pm 3,62$	$45,56 \pm 2,04$
	Min - Max	39,94 – 49,50	43,09 – 47,91
Woche 48	Mittelwert	$44,34 \pm 2,28$	$47,29 \pm 1,44$
	Min - Max	34,23 – 41,55	45,72 – 49,19
Woche 49	Mittelwert	$46,60 \pm 1,56$	$49,66 \pm 2,06$
	Min - Max	45,03 – 49,06	46,81 – 51,25
Woche 50	Mittelwert	$44,37 \pm 4,03$	$46,81 \pm 5,18$
	Min - Max	40,38 – 49,94	38,03 – 52,38
Gesamt	Mittelwert	$45,41 \pm 2,82$	$47,35 \pm 2,95$
	Min - Max	39,94 – 49,94	38,03 – 52,38

Im Verlauf der untersuchten Wochen ist bei beiden Rassen keine eindeutige Tendenz der Proteinanteile erkennbar. Beim Vergleich der beiden Lohmann Genetiken zeigen die Mittelwerte der Proteinanteile bei den LB-Eiern durchgehend höhere Werte. Eine Ausnahme bildet Woche 47, in der die Mittelwerte nahezu identisch sind, mit 45,57 % bei den LSL-Eiern und 45,56 % bei den LB-Eiern. Aus Tabelle 8 lässt sich insgesamt ablesen, dass der durchschnittliche Proteinanteil der LB-Eier 1,94 % über dem Mittelwert der LSL-Eier liegt.

Der Fettanteil der Eier ist in Tabelle 9 in Prozent angegeben. Die mittleren Werte der LSL-Eier liegen bei 38,48 %, während die LB-Eier einen Mittelwert von 36,78 % aufweisen.

Tabelle 9: Deskriptive Statistik zum Fettanteil (%) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	37,80 ± 2,01	36,62 ± 1,86
	Min - Max	35,00 – 40,05	34,27 – 39,49
Woche 47	Mittelwert	39,43 ± 2,24	37,83 ± 2,48
	Min - Max	37,10 – 42,79	34,39 – 39,87
Woche 48	Mittelwert	38,63 ± 2,59	37,55 ± 1,23
	Min - Max	34,23 – 41,55	35,66 – 39,12
Woche 49	Mittelwert	37,31 ± 1,35	34,75 ± 1,82
	Min - Max	35,53 – 38,77	33,09 – 38,00
Woche 50	Mittelwert	39,21 ± 2,86	37,17 ± 3,51
	Min - Max	34,97 – 42,43	32,52 – 41,90
Gesamt	Mittelwert	38,48 ± 2,26	36,78 ± 2,42
	Min - Max	34,23 – 42,79	32,52 – 41,9

Das wöchentliche Analysieren der Daten zeigt keinen klaren Trend, sodass weder ein Anstieg noch ein Abfall der Fettanteile in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf erkennbar ist. Beim Vergleich der beiden Rassen zeigen die Mittelwerte jedoch, dass die Lohmann LSL Hennen jede Woche im Mittel höhere Fettanteile im Ei aufweisen als die Lohmann Brown Hennen. Beispielfhaft lässt sich dies in Woche 49 ablesen, in der die Mittelwerte 37,31 % für die LSL-Eier und 34,75 % für die LB-Eier betragen. Die Minimal- und Maximalwerte stützen diese Beobachtung, da die LSL-Eier durchgehend höhere Werte als die LB-Eier aufweisen.

Der dritte Parameter zur Beurteilung der inneren Eiqualität ist der Durchmesser des Eiklars. Wie in Tabelle 10 dargestellt, liegen die Werte zwischen 64,0 mm und 83,0 mm. Für die 46. Woche liegen keine Messwerte vor, sodass insgesamt 48 Eier in die Analyse einbezogen wurden.

Tabelle 10: Deskriptive Statistik zum Durchmesser des Eiklars (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 48$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	-	-
	Min - Max	-	-
Woche 47	Mittelwert	$76,83 \pm 3,44$	$78,75 \pm 3,87$
	Min - Max	73,5 – 83,0	74,0 – 82,5
Woche 48	Mittelwert	$72,33 \pm 1,86$	$74,00 \pm 4,73$
	Min - Max	69,0 – 74,0	68,0 – 79,0
Woche 49	Mittelwert	$72,17 \pm 2,64$	$71,50 \pm 5,17$
	Min - Max	68,0 – 75,0	64,0 – 79,0
Woche 50	Mittelwert	$72,50 \pm 3,45$	$75,5 \pm 4,37$
	Min - Max	68,0 – 78,0	69,0 – 82,0
Gesamt	Mittelwert	$73,46 \pm 3,38$	$74,94 \pm 5,03$
	Min - Max	68,0 – 83,0	64,0 – 82,5

Die Betrachtung des wöchentlichen Verlaufs zeigt aufgrund der schwankenden Mittelwerte keine eindeutige Tendenz. Mit Ausnahme der 49. Woche liegt der mittlere Durchmesser des Eiklars der Lohmann Brown Eier durchgehend über dem der LSL-Eier.

Die Höhe des Eiklars ist in Tabelle 11 in Millimetern angegeben. Die Werte bewegen sich dabei im Bereich von 6,5 bis 9,6 mm.

Tabelle 11: Deskriptive Statistik zur Höhe des Eiklars (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	$8,88 \pm 0,72$	$8,00 \pm 0,86$
	Min - Max	7,7 – 9,6	6,9 – 9,5
Woche 47	Mittelwert	$8,62 \pm 0,35$	$7,42 \pm 0,54$
	Min - Max	8,2 – 9,2	6,9 – 8,3
Woche 48	Mittelwert	$8,22 \pm 0,32$	$7,95 \pm 0,31$
	Min - Max	7,9 – 8,8	7,6 – 8,4
Woche 49	Mittelwert	$8,43 \pm 0,50$	$8,20 \pm 0,85$
	Min - Max	7,9 – 9,1	6,9 – 9,3
Woche 50	Mittelwert	$8,12 \pm 0,66$	$7,08 \pm 0,60$
	Min - Max	7,0 – 8,8	6,5 – 8,2
Gesamt	Mittelwert	$8,45 \pm 0,57$	$7,73 \pm 0,75$
	Min - Max	7,0 – 9,6	6,5 – 9,5

Der wöchentliche Verlauf zeigt Schwankungen der Mittelwerte, die keinen einheitlichen Anstieg oder Abfall über den Zeitraum von fünf Wochen erkennen lassen. Bei der Gegenüberstellung der beiden Rassen liegen die Mittelwerte des Eiklardurchmessers der LSL-Eier tendenziell über denen der LB-Eier. Die Minimumwerte bestätigen dieses Bild. Die minimalen Eiklarhöhen der Lohmann Selected Leghorn liegen in jeder Woche über den entsprechenden Werten der Lohmann Brown Hennen. Über den gesamten Beobachtungszeitraum beträgt das kleinste Minimum 7,0 mm bei den LSL-Eiern und 6,5 mm bei den LB-Eiern. Ebenso befindet sich das maximale Eiklarmaß der LSL-Eier in fast allen Wochen über dem der LB-Eier, mit Ausnahme der 49. Woche, in der das Maximum der LB-Eier um 2 mm über dem der LSL-Eier liegt.

Neben Durchmesser und Höhe des Eiklars wurden auch der Durchmesser und die Höhe des Eidotters erfasst. Tabelle 12 zeigt den Durchmesser des Eidotters in Millimetern für die Wochen 47 bis 50. Für die 46. Woche liegen keine Messwerte vor, analog zum Eiklardurchmesser.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik zum Durchmesser des Eidotters (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 48$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	-	-
	Min - Max	-	-
Woche 47	Mittelwert	$41,65 \pm 0,55$	$40,67 \pm 1,21$
	Min - Max	41,0 – 42,3	39,0 – 42,0
Woche 48	Mittelwert	$40,50 \pm 1,52$	$38,67 \pm 2,07$
	Min - Max	39,0 – 43,0	35,0 – 41,0
Woche 49	Mittelwert	$40,17 \pm 2,23$	$39,00 \pm 1,10$
	Min - Max	36,0 – 42,0	38,0 – 40,0
Woche 50	Mittelwert	$41,33 \pm 1,86$	$39,17 \pm 1,60$
	Min - Max	38,0 – 43,0	38,0 – 42,0
Gesamt	Mittelwert	$40,91 \pm 1,67$	$39,38 \pm 1,64$
	Min - Max	36,0 – 43,0	35,0 – 42,0

Beim Betrachten der Wochen zeigt sich kein eindeutiger Trend hinsichtlich des Durchmessers des Eidotters. Insgesamt liegen die Mittelwerte der Eidotterdurchmesser der LSL-Eier bei 40,91 mm und damit über denen der LB-Eier mit 39,38 mm. Diese Tendenz zeigt sich auch im Wochenvergleich, wobei die Mittelwerte der Lohmann Selected Leghorn-Eier in jeder Woche über den entsprechenden Werten der Lohmann Brown Eier liegen.

Abschließend wird in Tabelle 13 die Höhe des Eidotters in Millimetern für beide Rassen in den Wochen 46 bis 50 dargestellt. Bei der Betrachtung des untersuchten Zeitraums fällt insbesondere Woche 47 bei den LSL-Eiern auf, in der der Mittelwert mit 15,67 mm deutlich unter dem Gesamtmittelwert von 18,11 mm liegt.

Tabelle 13: Deskriptive Statistik zur Höhe des Eidotters (mm) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	$18,83 \pm 1,27$	$17,58 \pm 1,31$
	Min - Max	17,8 – 21,2	15,8 – 19,8
Woche 47	Mittelwert	$15,67 \pm 4,80$	$18,43 \pm 0,56$
	Min - Max	9,4 – 19,7	17,8 – 19,3
Woche 48	Mittelwert	$18,55 \pm 1,19$	$17,88 \pm 1,33$
	Min - Max	17,1 – 19,7	15,5 – 19,1
Woche 49	Mittelwert	$18,03 \pm 0,59$	$18,12 \pm 1,21$
	Min - Max	17,3 – 18,8	16,8 – 19,6
Woche 50	Mittelwert	$19,45 \pm 0,71$	$18,88 \pm 1,56$
	Min - Max	18,5 – 20,3	16,9 – 21,6
Gesamt	Mittelwert	$18,11 \pm 2,53$	$18,18 \pm 1,24$
	Min - Max	9,4 – 21,2	15,5 – 21,6

In Woche 47 fällt das Minimum der Eidotterhöhe bei den LSL-Eiern mit 9,4 mm vergleichsweise niedrig aus. Bei den Lohmann Brown Eiern ist ein derartiger Einbruch der Werte nicht zu beobachten. Die wöchentliche Gegenüberstellung beider Rassen zeigt, dass mit Ausnahme der 47. Woche die Mittelwerte der Eidotterhöhe der LSL-Eier über denen der LB-Eier liegen.

Für die Berechnung der Haugh Units wird die Höhe des Eiklars herangezogen. In den folgenden Diagrammen sind die Haugh Units beider Rassen in Form von Punktwolken nebeneinander dargestellt, um die Verteilung der einzelnen Messwerte zu veranschaulichen.

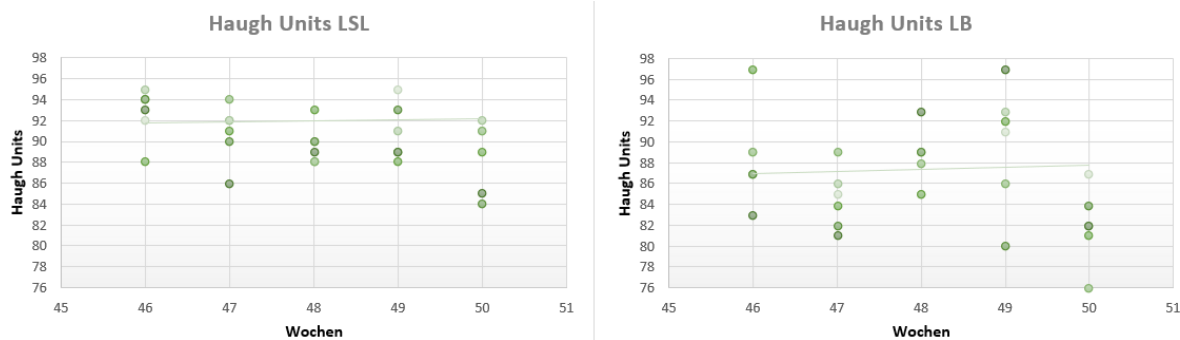


Abbildung 12: Punktwolke der Haugh Units i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

In der linken Grafik sowie in der rechten Abbildung sind die Haugh Units für die Wochen 46 bis 50 dargestellt. Die erste Grafik zeigt die Werte der Eier der LSL-Hennen, während die zweite Grafik die Ergebnisse der Eier der LB-Hennen darstellt. Zusätzlich wurden in beiden Abbildungen Trendlinien eingefügt. Bei den LSL-Eiern ist die Punktwolke der Haugh Units homogener. Die Trendlinie verläuft nahezu waagrecht bei 92, und die Werte liegen im Bereich von 84 bis 95. Bei den LB-Eiern ist die Streuung der Werte deutlich größer, mit einem Bereich von 76 bis 97. Die Trendlinie zeigt im zeitlichen Verlauf einen Anstieg von 87 auf 88, liegt jedoch unterhalb der Trendlinie der LSL-Eier.

Die nachfolgende Übersicht zeigt den Dotterindex beider Rassen nebeneinander. Aufgrund fehlender Daten für den Eiklardurchmesser in Woche 46 konnten die Berechnungen und Darstellungen nur für die Wochen 47 bis 50 vorgenommen werden.

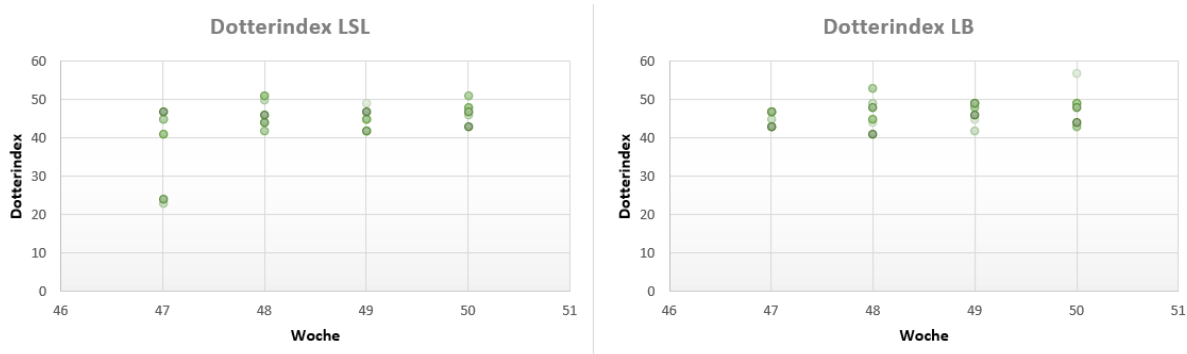


Abbildung 13: Punktwolke des Dotterindex i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Auf den ersten Blick unterscheiden sich die Punktwolken der beiden Rassen nur geringfügig. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass bei den LSL-Eiern in Woche 47 zwei Werte deutlich von der restlichen Verteilung abweichen. Diese Werte liegen bei 23 und 24 und liegen damit unter dem Mittelwert von 43,9. Der Wertebereich der Lohmann Brown Eier reicht von 41 bis 57, wobei der Mittelwert mit 46,7 über dem der LSL-Eier liegt.

5.3 Deskriptive Zusammenhänge

Zunächst wird der Gehalt an Calcium in der Eischale betrachtet. In Tabelle 14 ist der Calciumgehalt der Eischale in Gramm dargestellt. Für die Analyse wurden insgesamt 60 Eier untersucht.

Tabelle 14: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt in der Schale (g) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	$3,39 \pm 0,39$	$3,36 \pm 0,31$
	Min - Max	2,9 – 3,9	2,8 – 3,7
Woche 47	Mittelwert	$3,85 \pm 0,23$	$3,65 \pm 0,31$
	Min - Max	3,4 – 4,2	3,3 – 4,0
Woche 48	Mittelwert	$3,95 \pm 0,42$	$3,85 \pm 0,21$
	Min - Max	3,2 – 4,4	3,6 – 4,2
Woche 49	Mittelwert	$3,43 \pm 0,37$	$3,42 \pm 0,30$
	Min - Max	2,9 – 3,8	3,1 – 3,9
Woche 50	Mittelwert	$3,26 \pm 0,42$	$3,33 \pm 0,35$
	Min - Max	2,6 – 3,9	2,8 – 3,7
Gesamt	Mittelwert	$3,58 \pm 0,44$	$3,52 \pm 0,34$
	Min - Max	2,6 – 4,4	2,8 – 4,2

Der mittlere Calciumgehalt der Eischale beträgt bei den Lohmann LSL Hennen 3,58 g und bei den Lohmann Brown Hennen 3,52 g. Die Minimal- und Maximalwerte verdeutlichen die höhere Streuung bei den LSL-Eiern, deren Standardabweichung um 0,1 g über der der LB-Eier liegt. Die Analyse der

wöchentlichen Werte zeigt bei beiden Rassen einen Anstieg des Calciumgehalts von Woche 46 bis Woche 48, gefolgt von einem Rückgang von Woche 48 bis Woche 50.

In Tabelle 15 ist der Calciumgehalt der Eischale in Prozent dargestellt. Die Werte liegen zwischen 37,0 % und 47,2 %.

Tabelle 15: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt in der Schale (%) i.A. der Genetik im Verlauf der Legeperiode, gesamt $n = 60$

Woche		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Woche 46	Mittelwert	39,29 ± 1,35	40,92 ± 1,95
	Min - Max	37,9 – 40,7	37,9 – 43,8
Woche 47	Mittelwert	41,53 ± 2,06	41,60 ± 2,98
	Min - Max	38,5 – 43,9	37,0 – 46,1
Woche 48	Mittelwert	44,58 ± 3,65	44,67 ± 1,02
	Min - Max	37,4 – 47,2	43,7 – 46,4
Woche 49	Mittelwert	40,62 ± 2,01	41,47 ± 1,97
	Min - Max	37,2 – 42,8	38,8 – 43,5
Woche 50	Mittelwert	42,11 ± 1,67	41,95 ± 3,10
	Min - Max	39,6 – 43,9	37,6 – 45,3
Gesamt	Mittelwert	41,63 ± 2,77	42,12 ± 2,54
	Min - Max	37,2 – 47,2	37,0 – 46,4

Beim Betrachten der Werte im wöchentlichen Verlauf zeigt sich dieselbe Tendenz wie zuvor. Auffällig ist die 48. Woche, in der die höchsten Calciumwerte beider Rassen gemessen wurden. Der Calciumgehalt beträgt hierbei 44,58 % in der Schale der LSL-Eier und 44,67 % in der Schale der LB-Eier. Insgesamt liegen die wöchentlichen Calciumwerte der beiden Rassen eng beieinander. Im Mittel zeigt sich eine leicht höhere Calciumkonzentration in den Schalen der LB-Eier, mit Ausnahme von Woche 50, in der der Mittelwert der LSL-Eier 0,16 % über dem der LB-Eier liegt. Das Maximum aller 60 Messwerte wurde mit 47,20 % bei einem LSL-Ei festgestellt, während das Minimum mit 37,00 % in Woche 47 bei einem LB-Ei gemessen wurde.

Die folgende Darstellung zeigt eine Korrelationsmatrix, die die Zusammenhänge zwischen den Parametern Schalengewicht, Calciumgehalt in der Schale, Formindex, Haugh Units, Eischalendicke und Calciumgehalt im Ei veranschaulicht. Die Einfärbung der Matrix orientiert sich an einer Wärmekarte, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen und die Unterschiede der Korrelationskoeffizienten deutlich zu machen. Grün steht hierbei für positive Korrelationen, Rot für negative Korrelationen. Eine Markierung mit „**“ kennzeichnet Korrelationen, die auf dem Signifikanzniveau von 0,01 liegen, während „*“ Korrelationen auf dem Niveau von 0,05 anzeigt.

Tabelle 16: Korrelationsmatrix mit Schalengewicht (g), Calcium in der Schale (mg/g), Formindex, Haugh Units, Schalendicke (mm) und Calcium im Ei (mg/g)

	Gewicht Schale (g)	Ca Schale (mg/g)	Form- index	Haugh Units	Schalen- dicke (mm)	Ca Ei (mg/g)
Gewicht Schale (g)	1					
Ca Schale (mg/g)	0,01	1				
Formindex	0,10	-0,07	1			
Haugh Units	0,11	-0,22	-0,21	1		
Schalen- dicke (mm)	0,59**	0,11	0,30*	-0,13	1	
Ca Ei (mg/g)	0,04	-0,35**	-0,06	0,30*	-0,08	1

Bei Werten nahe 0 konnte kein Zusammenhang zwischen den betrachteten Parametern festgestellt werden. Aus der Korrelationsmatrix lassen sich vier signifikante Korrelationen ableiten. Ein deutlich signifikanter Zusammenhang besteht zwischen dem Eischalengewicht und der Eischalendicke, wobei es sich um eine positive Korrelation handelt. Mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,59 stellt dieser Zusammenhang den stärksten in der Matrix dar. Zwei weitere schwach positive lineare

Zusammenhänge zeigen sich zwischen dem Formindex und der Schalendicke sowie zwischen den Haugh Units und dem Calciumgehalt im Ei, jeweils mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,30. Die vierte signifikante Korrelation besteht zwischen dem Calciumgehalt in der Schale und dem Calciumgehalt im Ei. Hierbei handelt es sich um eine schwach negative Korrelation mit einem Wert von -0,35.

5.4 Calciumgehalt in Brustbein und Ständer

Sechs Versuchstiere wurden zur Untersuchung des Calciumgehalts in den Knochen geschlachtet. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse von jeweils drei Hennen der Rasse Lohmann LSL und drei Hennen der Rasse Lohmann Brown zusammengefasst. Tabelle 17 zeigt die Calciumgehalte der Knochen der Hennen, angegeben in Milligramm pro Gramm des Knochens.

Tabelle 17: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt in den Ständern (mg/g) i.A. der Genetik, gesamt $n = 6$

		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Gesamt	Mittelwert	14,86 ± 0,88	14,05 ± 0,55
	Min - Max	13,92 – 15,67	13,70 – 14,68

Der Calciumgehalt in den Ständern liegt zwischen 13,70 und 15,67 mg/g. Der Mittelwert beträgt bei den Lohmann Selected Leghorn Hennen 14,86 mg/g, während die Lohmann Brown Hennen im Mittel mit 14,05 mg/g leicht darunterliegen. Die Werte liegen eng beieinander, und die Standardabweichungen von 0,88 (LSL) bzw. 0,55 (LB) weisen nur geringe Streuungen auf.

Die Brustbeine wurden in drei Teilstücke gegliedert. Das craniale Teilstück umfasst den oberen Bereich des Brustbeins, der dem Kopf am nächsten liegt. Das mittlere Teilstück befindet sich zwischen dem cranialen und dem caudalen Abschnitt. Das caudale Teilstück bildet den unteren Bereich des Brustbeins.

Tabelle 18 zeigt die Calciumgehalte in den Brustbeinen der Hennen.

Tabelle 18: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt im Brustbein (mg/g) i.A. der Genetik, gesamt $n = 6$

Teilstück		Lohmann LSL	Lohmann Brown
craniales Teilstück	Mittelwert	$9,61 \pm 0,33$	$11,73 \pm 2,16$
	Min - Max	9,32 – 9,96	9,88 – 14,10
mittleres Teilstück	Mittelwert	$11,32 \pm 0,29$	$11,67 \pm 0,59$
	Min - Max	11,14 – 11,65	11,04 – 12,22
caudales Teilstück	Mittelwert	$9,99 \pm 0,13$	$10,34 \pm 1,28$
	Min - Max	9,91 – 10,14	9,05 – 11,60
Gesamt	Mittelwert	$10,30 \pm 0,24$	$11,25 \pm 0,52$
	Min - Max	10,12 – 10,58	10,67 – 11,68

Die Mittelwerte der einzelnen Teilstücke der Brustbeine der Lohmann Brown Hennen liegen im Vergleich zu den LSL-Hennen durchgehend höher. Zudem zeigen die LB-Brustbeine eine größere Standardabweichung. Sowohl das Minimum als auch das Maximum der Calciumgehalte der LB-Hennen liegen über den entsprechenden Werten der LSL-Hennen. Der Vergleich der jeweiligen Teilstücke beider Rassen zeigt, dass der höchste Calciumgehalt im mittleren Teilstück zu finden ist. Bei den Lohmann LSL Hennen beträgt dieser 11,32 mg/g, während er bei den Lohmann Brown Hennen 11,67 mg/g erreicht.

Bei den LSL-Hennen weist das caudale Teilstück, also der Bereich zum Schwertansatz hin, mit 9,99 mg/g einen höheren Calciumgehalt auf als das craniale Teilstück mit 9,61 mg/g. Bei den LB-Hennen zeigt sich ein anderes Muster. Das craniale Teilstück, also der obere Bereich des Brustbeins, enthält mit 11,73 mg/g mehr Calcium als das caudale Teilstück mit 10,34 mg/g.

Tabelle 19 stellt abschließend die Calciumgehalte in Ei, Eischale, Brustbein und Ständern beider Rassen dar.

Tabelle 19: Deskriptive Statistik zum Calciumgehalt (mg/g) im Vergleich Ei, Eischale, Brustbein und Ständer i.A. der Genetik

Bereich		Lohmann LSL	Lohmann Brown
Ei (mg/g)	Mittelwert	2,65 ± 0,11	2,63 ± 0,15
	Min - Max	2,46 – 2,85	2,36 – 2,95
Eischale (mg/g)	Mittelwert	416,25 ± 27,75	421,21 ± 25,45
	Min - Max	372,3 – 472,4	370,2 – 464,3
Brustbein (mg/g)	Mittelwert	10,30 ± 0,24	11,25 ± 0,52
	Min - Max	10,12 – 10,58	10,67 – 11,68
Ständer (mg/g)	Mittelwert	14,86 ± 0,88	14,05 ± 0,55
	Min - Max	13,92 – 15,67	13,70 – 14,68

Der Gehalt an Calcium ist in Milligramm pro Gramm angegeben, sodass die Werte in Tabelle 19 direkt vergleichbar sind. Die höchsten Calciumgehalte befinden sich in der Eischale und liegen bei über 400 mg/g. Der geringste Calciumanteil wurde im Hühnerei selbst mit etwa 2,6 mg/g festgestellt.

6 Diskussion

6.1 Äußere Eiqualität

Die Eigewichte der LSL- und LB-Hennen stimmen mit Mittelwerten zwischen 59,9 und 62,7 g weitgehend mit den Ergebnissen von VITS et al. (2005) überein. Diese ermittelten bei verschiedenen Haltungssystemen und Lohmann-Genetiken Eigewichte von 59,9 bis 63,4 g. Ein in der Literatur beschriebener Anstieg der Eigewichte mit zunehmendem Alter der Hennen (GRASHORN, 2023) konnte in diesem Versuch jedoch nicht bestätigt werden. Über den Beobachtungszeitraum von fünf Wochen blieb das Eigewicht konstant. Eine längerfristige Untersuchung über einen erweiterten Zeitraum der Legeperiode könnte jedoch einen Anstieg der Eigewichte aufzeigen und somit die Ergebnisse beeinflussen. Im Mittel legten die Lohmann LSL Hennen schwerere Eier als die Lohmann Brown Hennen. Die von GRASHORN (2023) getroffene Aussage, dass Braunleger tendenziell schwerere Eier als Weißleger produzieren, konnte somit nicht bestätigt werden. Der im Mittel um 1,4 g höhere Eigewichtswert der LSL-Hennen stellt jedoch lediglich einen geringen Unterschied dar. Es ist anzunehmen, dass sich dieses Ergebnis bei einer größeren Stichprobe an Versuchseiern relativieren könnte. Zudem sollte ein möglicher Zusammenhang mit dem früheren Legebeginn der Lohmann LSL Rasse berücksichtigt werden. Da die Lohmann Brown Hennen erst eine Woche später in die Legephase eintraten, könnten die geringeren Eigewichte auch auf diesen zeitlichen Unterschied zurückzuführen sein. Der überwiegende Anteil der in diesem Versuch produzierten Eier fiel in die Gewichtsklasse M und ist damit für die Vermarktung im Handel als marktfähig einzustufen.

Die Eischalengewichte schwankten zwischen 6,5 und 10,1 g. Mit einem Mittelwert von über 8,0 g liegen die ermittelten Werte über den Angaben von JIAMING et al. (2024). Das dort angegebene mittlere Schalengewicht von 4,8 g erschwert jedoch die Vergleichbarkeit der beiden Untersuchungen. Die Unterschiede können einerseits auf die unterschiedlichen Rassen zurückgeführt werden, andererseits befanden sich die Hennen der Rhode Island Reds Pure Line bereits in der 90. Legewoche. Die LSL- und LB-Hennen befanden sich zu Beginn der vorliegenden Untersuchung hingegen in der 30. bzw. 29. Legewoche und somit in einem deutlich früheren Stadium der Legeperiode. Das hohe Eischalengewicht weist auf eine gute Schalenfestigkeit und damit auf eine insgesamt hohe äußere Eiqualität hin. Innerhalb der fünfwöchigen Analyse konnte eine leichte Abnahme des Eischalengewichts festgestellt werden. CORDT et al. (2001) beschreiben eine Abnahme der Eischalendicke mit zunehmendem Alter der Hennen. In Verbindung mit steigenden Eigewichten im Verlauf der Legeperiode lässt sich hieraus die beobachtete Reduktion der Eischalengewichte erklären. Beim Vergleich der beiden Rassen zeigte sich, dass das mittlere Eischalengewicht der

Lohmann LSL Hennen um weniger als ein Gramm über dem der Lohmann Brown Hennen lag. Ein Zusammenhang mit den insgesamt schwereren LSL-Eiern könnte die Bildung der etwas massereicheren Schale erklären. Allerdings ist der Unterschied zwischen den beiden Rassen gering und könnte sich bei einer größeren Anzahl an Versuchseiern relativieren. Die Stichprobengröße von 60 Eiern stellt einen vergleichsweise kleinen Versuchsumfang dar, wodurch einzelne Ausreißer das Gesamtergebnis stärker beeinflussen können.

Die mittlere Eischalendicke von 0,38 mm bei den LSL-Hennen und 0,39 mm bei den LB-Hennen stimmt mit den Ergebnissen von BAZER (2005) überein. BAZER (2005) ermittelte in der strukturierten Auslaufhaltung ebenfalls eine mittlere Eischalendicke von 0,38 mm. Dieses Haltungssystem ähnelt, im Gegensatz zu anderen in der Literatur beschriebenen Haltungsformen, am ehesten der Mobilstallhaltung. Die in der Literatur angegebenen Werte reichen insgesamt von 0,32 bis 0,40 mm. Somit liegen die im vorliegenden Versuch gemessenen Eischalendicken im oberen Bereich, was auf eine gute Eischalenqualität hinweist. Dennoch zeigen die Daten eine relativ hohe Streuung der Einzelwerte zwischen 0,28 und 0,46 mm. Ab der 48. Woche bei den Lohmann LSL Hennen und ab der 47. Woche bei den Lohmann Brown Hennen konnte eine Abnahme der Eischalendicke festgestellt werden. Diese Beobachtung steht im Einklang mit der zuvor beschriebenen Abnahme der Eischalengewichte. Auch hier lässt sich der Rückgang der Eischalendicke mit den im Verlauf der Legeperiode steigenden Eigewichten erklären. Die Eier der LSL-Hennen wiesen im Mittel eine um 0,01 mm dünnere Schale auf als die Eier der Lohmann Brown Hennen. Aufgrund der hohen Streuung der Messwerte ist jedoch eine größere Stichprobengröße erforderlich, um eine statistisch belastbare Aussage treffen zu können. Die Ermittlung der Eischalendicke erfolgte unabhängig von der Rasse an drei verschiedenen Messpunkten, orientiert an den Positionen 7, 4 und 1 nach SHAO et al. (2025). Der Messpunkt 7 befindet sich an der oberen Seite des Eies, wo die höchsten Werte der Eischalendicke gemessen wurden. Dies kann durch die stärkere Krümmung des Eies an dieser Stelle erklärt werden. Im Gegensatz dazu wurde die dünnste Eischale am Messpunkt 1, und somit am gegenüberliegenden Ende des Eies, festgestellt. Da sich dort die Luftkammer befindet, könnte ein Zusammenhang zwischen deren Lage und der geringeren Schalenstärke bestehen. Der erhöhte Gasaustausch zwischen Ei und Umgebung an der Luftkammer könnte anatomisch bedingt zu einer geringfügig dünneren Schale führen. Zur Überprüfung dieser Annahmen sind jedoch weiterführende Untersuchungen mit größerem Stichprobenumfang erforderlich. Zudem ist die Messung der Eischalendicke mittels Schiebelehre mit methodischen Unsicherheiten verbunden. Aufgrund der Eikrümmung muss die Schale zur Messung häufig gebrochen werden, wodurch geringfügige

Ungenauigkeiten entstehen können. Da jedoch bei allen Eiern unter denselben Bedingungen gemessen wurde, bleibt die Vergleichbarkeit der Ergebnisse insgesamt gewährleistet.

In der Literatur wird ein idealer Formindex von 74 angegeben (GRASHORN, 2023). GRASHORN (2023) weist zudem darauf hin, dass Werte unter 70 bzw. über 80 mit Nachteilen verbunden sein können. Der durchschnittliche Formindex der LSL-Hennen liegt bei 75, jener der LB-Hennen bei 76. Beide Mittelwerte befinden sich somit in dem von GRASHORN (2023) als optimal beschriebenen Bereich. Der im Versuch ermittelte Wertebereich von 67 bis 81 zeigt, dass nur wenige Eier außerhalb des Idealbereichs liegen. Lediglich zwei Eier wiesen einen Formindex unterhalb von 70 auf, während ein Ei mit einem Wert von 81 leicht darüber lag. Insgesamt konnten somit zufriedenstellende Ergebnisse für beide Rassen hinsichtlich des Parameters Formindex festgestellt werden. Die positiven Resultate deuten auf eine vorteilhafte Eiform hin, die ein problemloses und sicheres Verpacken der Eier ermöglicht. Insgesamt lässt sich festhalten, dass die äußere Eiqualität in den untersuchten Parametern sehr gute Werte aufweist.

6.2 Innere Eiqualität

Der Proteingehalt eines Hühnereies liegt laut Literatur bei etwa 13 % (JAEGER et al., 2025; LAND SCHAFFT LEBEN, 2025). DORLOFF (2025) gibt einen geringeren Wert an und geht bei einer essbaren Eimasse von 50 g von lediglich 6,25 g Eiweiß aus. Im vorliegenden Versuch wurden im Vergleich zu den Literaturangaben deutlich höhere Proteinwerte festgestellt. Die gemessenen Werte von etwa 34 bis 52 % weisen eine große Spannweite auf und müssen zudem umgerechnet werden, da sich die Literaturangaben auf die Frischmasse beziehen, während im Versuch die Trockenmasse betrachtet wurde. Da ein Hühnerei zu rund 75 % aus Wasser besteht (LAND SCHAFFT LEBEN, 2025), beträgt die Trockenmasse etwa 25 %. Wird der Proteinanteil auf die Frischmasse umgerechnet, indem die Werte der Trockenmasse mit dem Faktor 0,25 multipliziert werden, ergeben sich vergleichbare Ergebnisse. Für die LSL-Hennen wurde bei einem mittleren Proteinanteil von 45 % (bezogen auf die Trockenmasse) ein Eiweißgehalt von 11,25 % (bezogen auf die Frischmasse) ermittelt. Die Eier der Lohmann Brown Rasse wiesen im Mittel einen um 2 % höheren Proteingehalt (Trockenmasse) auf, was nach der Umrechnung einem Wert von 11,75 % entspricht. Somit liegen die ermittelten Proteinwerte beider Rassen im Bereich der in der Literatur beschriebenen Ergebnisse. Der geringfügig höhere Proteingehalt der Lohmann Brown Eier ist aufgrund der großen Streuung der Messwerte statistisch nicht eindeutig zu bewerten. Auch im zeitlichen Verlauf konnte keine deutliche Veränderung der Proteingehalte festgestellt werden. Die Literaturangaben zum Fettgehalt im Ei variieren zwischen 5,7 g Fett pro 50 g essbarer Eimasse und 11,3 % Fettgehalt (LAND SCHAFFT LEBEN,

2025). Im vorliegenden Versuch wurden bei den Lohmann LSL Hennen durchschnittlich 38,5 % und bei den Lohmann Brown Hennen 36,8 % Fett (bezogen auf die Trockenmasse) ermittelt. Die Werte schwankten insgesamt zwischen etwa 32,5 und 42,8 %. Auch hier ist eine Umrechnung erforderlich, um eine Vergleichbarkeit mit den Literaturangaben herzustellen. Nach Umrechnung auf die Frischmasse ergeben sich Fettgehalte von 8,1 % (LB) bis 10,7 % (LSL), welche gut mit den Ergebnissen von JAEGER et al. (2025) übereinstimmen. Die leicht höheren Fettwerte der LSL-Rasse lassen keine signifikanten Rückschlüsse auf rassespezifische Unterschiede zu. Um eine belastbare Aussage treffen zu können, wäre ein umfangreicherer Versuch mit einer größeren Anzahl an Hühnereiern erforderlich.

Bei der Betrachtung der beiden Inhaltsstoffe Protein und Fett im Ei wird deutlich, dass der Proteingehalt grundsätzlich über dem Fettgehalt liegt. Dieses Verhältnis konnte sowohl im vorliegenden Versuch als auch in den Literaturangaben bestätigt werden. Bei den Lohmann LSL-Hennen fielen die Proteingehalte im Vergleich etwas geringer aus, während die Fettgehalte tendenziell höhere Werte aufwiesen. Im Gegensatz dazu zeigten die Eier der Lohmann Brown Rasse einen relativ höheren Proteingehalt und einen geringeren Fettgehalt. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ein negativer Zusammenhang zwischen dem Protein- und Fettgehalt im Ei vermuten. Eine statistische Überprüfung dieser Annahme erfolgte jedoch nicht, da sie den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten würde. Für beide Rassen und beide Inhaltsstoffe konnte im zeitlichen Verlauf keine signifikante Veränderung der Werte festgestellt werden.

Die Haugh Units beschreiben den Frischegrad von Hühnereiern und basieren auf der gemessenen Eiklarhöhe. Für eine hochwertige Eikualität sollten Haugh-Werte von über 70 erreicht werden (GRASHORN, 2023). Die Eier der Lohmann LSL Hennen erreichten Werte zwischen 83,7 und 95,4 und liegen damit vollständig oberhalb der geforderten 70 Einheiten. Gleiches gilt für die Eier der Lohmann Brown Hennen, deren Haugh Units zwischen 76,3 und 96,6 lagen. Somit kann bei beiden Rassen von einer hohen Eiklarhöhe und einer ausgeprägten Festigkeit des Eiklars ausgegangen werden. Nach DA SILVA PIRES et al. (2020) zählen die Eier damit ausnahmslos zur Frischeklasse AA und weisen eine sehr gute Qualität auf. Dieses Ergebnis war aufgrund des jungen Alters der Legehennen, sowie des regelmäßigen Absammelns der Eier zu erwarten. In Abbildung 12 sind die Punktwolken beider Rassen hinsichtlich des Parameters Haugh Units dargestellt. Die direkte Gegenüberstellung verdeutlicht die Unterschiede zwischen den LSL- und LB-Eiern. Die Eier der Lohmann Brown Hennen zeigen eine größere Streuung als jene der Lohmann LSL Hennen. Da die Eiklarfestigkeit mit zunehmender Lagerdauer abnimmt und die Eiklarhöhe sinkt (GRASHORN, 2023),

ist der niedrigste gemessene Wert von etwa 76 Haugh Units als weniger zufriedenstellend zu bewerten. Mit fortschreitender Lagerung ist es zudem möglich, dass dieser Wert unter die Grenze der Frischeklasse AA fällt. Beim Vergleich der Trendlinien zeigt sich, dass die Kurve der Lohmann LSL Hennen deutlich über jener der Lohmann Brown Hennen liegt. Dies weist auf homogenere und im Mittel höhere Haugh Units der LSL-Eier hin. Diese Beobachtung wird durch die gemessenen Eiklarhöhen bestätigt, die bei den Lohmann LSL Eiern im Mittel höher ausfielen als bei den Lohmann Brown Eiern. Zudem weisen die Eiklarhöhen der Lohmann Brown Eier höhere Standardabweichungen auf, was auf eine größere Variabilität innerhalb der Stichprobe hinweist. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Lohmann LSL Hennen im Parameter Haugh Units tendenziell besser und gleichmäßiger abschnitten als die Lohmann Brown Hennen. Dennoch erreichten die 60 untersuchten Eier beider Rassen die Frischeklasse AA.

Ebenso aussagekräftig für die Beurteilung der Eiqualität ist der Dotterindex, der den Frischegrad des Eies widerspiegelt. Nach RAUCH (1959) sollte dieser idealerweise bei 45 ± 4 liegen. Mit einem Mittelwert von etwa 44 bei den Eiern der Lohmann LSL Hennen und rund 47 bei den Lohmann Brown Hennen entsprechen die Ergebnisse weitgehend den Angaben von RAUCH (1959). Daraus lässt sich ein insgesamt guter Frischegrad ableiten, wobei die Lohmann Brown Hennen im Mittel leicht bessere Werte aufweisen. Eine detaillierte Analyse zeigt jedoch zwei auffällige Ausreißer bei den LSL-Hennen. Zwei Eier wiesen Dotterindizes von 23 bzw. 24 auf und lagen damit deutlich außerhalb des üblichen Wertebereichs. Diese Ausnahmen senken den Mittelwert der LSL-Rasse merklich ab. Ob es sich bei diesen Werten um Messfehler handelt, lässt sich auf Grundlage der vorliegenden Berechnungen nicht eindeutig feststellen. Abgesehen von diesen Ausreißern sind zwischen den beiden Rassen keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Auch im zeitlichen Verlauf konnten keine klaren Tendenzen beobachtet werden. Die Ergebnisse des Dotterindexes stehen im Einklang mit den ermittelten Haugh Units und bestätigen die insgesamt hohe Frischequalität der untersuchten Eier. Somit können die Eier als handelsfähig eingestuft werden, da sie eine sehr gute äußere und innere Qualität aufweisen.

6.3 Deskriptive Zusammenhänge

Der Calciumgehalt in der Eischale liegt laut GRATZL und KÖHLER (1968) zwischen 1,6 und 2,4 g. Im vorliegenden Versuch wurde bei beiden Rassen ein Calciumgehalt von über 3,5 g pro Ei festgestellt, was deutlich über den Literaturwerten liegt. Der mittlere Calciumwert in Milligramm pro Gramm beträgt 419 mg/g und übersteigt ebenfalls die Angaben aus der Literatur. BARTTER et al. (2018) berichteten von 380 mg/g Calcium in der Schale. Bei der Berechnung des Calciumgehalts in Prozent zur Schale ergeben sich Werte von 41,6 % bei den LSL-Hennen und 42,1 % bei den Lohmann Brown

Eiern. Diese Ergebnisse liegen ebenfalls über den von SHAO et al. (2025) angegebenen Werten von 37,5 bis 37,9 %. Insgesamt liegen die ermittelten Calciumwerte somit über den Literaturangaben. Eine mögliche Fehlerquelle könnte eine zu hohe Kalibrierung des Flammenphotometers darstellen. Um Schwankungen zu minimieren, wurden die Messungen dreifach durchgeführt. Dennoch ist zu beachten, dass vor der Bestimmung des Calciumgehalts in Milligramm pro Liter mehrere Arbeitsschritte im Labor erforderlich sind, gefolgt von Berechnungen in Microsoft Excel und SPSS. Mit zunehmender Anzahl der Teilschritte steigt das Fehlerrisiko, sodass Ungenauigkeiten bei Probenvorbereitung und Durchführung nicht ausgeschlossen werden können. Darüber hinaus hat die Fütterung der Hennen einen wesentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Calcium für die Eiproduktion (TAYLOR, 1970; SCOTT et al., 1971; GV SOLAS, 2006). Außerdem befanden sich die Hennen in dem Versuch von GRATZL und KÖHLER (1968) vermutlich zu einem anderen Zeitpunkt der Legeperiode als im vorliegenden Versuch, was ebenfalls Unterschiede erklären kann. Auch rassespezifische Unterschiede könnten die höheren Calciumwerte im vorliegenden Versuch teilweise erklären. Zwischen den beiden getesteten Rassen konnte jedoch kein klarer Unterschied im Calciumgehalt festgestellt werden. Eine Abnahme des Calciumgehalts über den Untersuchungszeitraum von fünf Wochen konnte nur teilweise nachgewiesen werden, da dieser Zeitraum relativ kurz ist. Eine Reduktion der Calciumwerte war lediglich von Woche 48 bis 50 erkennbar. Für aussagekräftigere Ergebnisse wäre eine Untersuchung über einen längeren Zeitraum notwendig. Zusätzliche Analysen zu späteren Zeitpunkten der Legeperiode würden mit hoher Wahrscheinlichkeit niedrigere Calciumwerte in der Schale zeigen. Eine größere Anzahl an Proben könnte zudem die Ergebnisse weiter präzisieren. Im Mittel lagen die Calciumwerte der LB-Hennen leicht über denen der LSL-Hennen, der Unterschied war jedoch zu gering, um eine klare Aussage zu treffen.

Aus der Korrelationsmatrix lassen sich vier signifikante Zusammenhänge ableiten. Dazu zählt die Korrelation zwischen dem Calciumgehalt in der Eischale und dem Calciumgehalt im Ei. Mit einem Korrelationswert von $-0,35$ handelt es sich um einen schwach negativen Zusammenhang. Calcium wird von den Hennen über die Fütterung aufgenommen und in die Eiproduktion eingebracht, fehlendes Calcium wird zusätzlich aus den Knochen mobilisiert (KOLB, 1979). Da Calcium ein limitierter Mineralstoff ist, der vom Tier nicht selbst synthetisiert werden kann, wird das verfügbare Calcium sowohl auf die Schale als auch auf das Ei verteilt. Der überwiegende Anteil des Calciums fließt in die Eischale, um den äußeren Schutz des Eies zu gewährleisten. In diesem Versuch stellte dies die einzige festgestellte negative lineare Korrelation dar. Die stärkste positive Korrelation zeigte

sich zwischen Eischalendicke und Schalengewicht des Eies. Mit einem Wert von 0,59 besteht ein positiver Zusammenhang zwischen den beiden Parametern. Sowohl die Ergebnisse des vorliegenden Versuchs als auch die Literatur zeigen, dass mit zunehmendem Alter der Legehennen und fortschreitender Legeperiode das Eischalengewicht abnimmt (GRASHORN, 2004). In Kombination mit dem Anstieg der Eigewichte im Verlauf der Legeperiode erklärt dies die Reduktion der Eischalendicke. Ein weiterer signifikanter Zusammenhang besteht zwischen der Eischalendicke und dem Formindex. Mit einem Korrelationswert von 0,30 wurde ein leicht positiver Zusammenhang auf Signifikanzniveau von 0,005 festgestellt. Dieses Ergebnis wurde so nicht antizipiert. Da der Formindex in einem Bereich von 70 bis 80 liegen sollte (GRASHORN, 2023), lässt sich folgern, dass auch für die Eischalendicke ein Optimum existiert. Die Annahme, dass die Eischale möglichst dick sein sollte, wird damit teilweise widerlegt. Biologisch lassen sich die negativen Begleiterscheinungen einer zu dicken Schale erklären. Je dicker die Eischale, desto mehr Calcium muss aus den Knochen mobilisiert werden, was das Risiko für Osteoporose erhöhen könnte. Darüber hinaus kann eine zu dicke Schale das Schlupfverhalten der Küken beeinträchtigen. Insgesamt spricht die positive Korrelation für ein Optimum der Eischalendicke, das eine ausreichende Schutzfunktion gewährleistet, ohne negative Effekte zu verursachen. Der letzte signifikante Zusammenhang besteht zwischen dem Calciumgehalt im Ei und den Haugh Units. Mit einem Korrelationswert von 0,30 besteht ein schwach positiver Zusammenhang. Calcium sorgt sowohl in den Knochen als auch in der Eischale für Stabilität und Festigkeit (SVENSSON und KIVIMÄE, 1983). Der positive lineare Zusammenhang deutet darauf hin, dass ein höherer Calciumgehalt im Ei mit höheren Haugh Units einhergeht. Folglich kann der Calciumgehalt im Ei die Festigkeit des Eiklars beeinflussen und damit den Frischegrad der Eier erhöhen. Es wird daher vermutet, dass die Stabilität des Eiklars maßgeblich durch den Calciumgehalt im Ei beeinflusst wird.

Die Ergebnisse der Korrelationsmatrix ermöglichen erste Vermutungen und Hypothesen, die ohne weiterführende Untersuchungen jedoch vorerst nicht bestätigt werden können. Eine erwartete Korrelation zwischen dem Calciumgehalt in der Eischale und der Eischalendicke beziehungsweise dem Schalengewicht konnte nicht nachgewiesen werden. Es wurde angenommen, dass ein zeitlicher Rückgang des Calciumgehalts in der Schale im Verlauf der Legeperiode eine positive Korrelation mit der Eischalendicke und dem Schalengewicht zeigen würde. Trotzdem ist ein Zusammenhang zwischen den Parametern nicht ausgeschlossen. Die Begrenzung des Versuches auf 60 Eier und einen Untersuchungszeitraum von fünf Wochen stellt einen vergleichsweise kleinen Versuchsumfang dar. Eine größere Stichprobe und eine längere Beobachtungsdauer könnten

weitere Erkenntnisse zu den angenommenen Zusammenhängen liefern. Darüber hinaus wäre das Einbeziehen weiterer Rassen von Vorteil, da die getesteten Lohmann Genetiken untereinander sehr ähnlich sind und mögliche rassespezifische Unterschiede dadurch nur begrenzt erfasst werden.

6.4 Calciumgehalt in Brustbein und Ständer

Die Calciumwerte in den Ständern und Brustbeinen der Hennen wurden an sechs Tieren bestimmt. Der Calciumgehalt in den Ständern lag bei den Lohmann Selected Leghorn bei 14,86 mg/g, bei den Lohmann Brown Hennen bei 14,05 mg/g. Ein deutlicher Unterschied zwischen den Rassen war somit nicht erkennbar. Die Mittelwerte für die Brustbeine unterschieden sich mit 10,30 mg/g (LSL) und 11,25 mg/g (LB) ebenfalls nur geringfügig. Insgesamt zeigt sich, dass der Calciumgehalt in den Ständern deutlich höher ist als in den Brustbeinen, was die Stabilität der Knochen unterstützt (SVENSSON und KIVIMÄE, 1983). Da die Ständer das gesamte Körpergewicht der Hennen tragen, sind die höheren Calciumgehalte in diesen Knochenabschnitten nachvollziehbar. Beim Vergleich zwischen den Rassen zeigen die LSL-Hennen höhere Calciumwerte in den Ständern und etwas niedrigere Werte in den Brustbeinen im Vergleich zu den LB-Hennen. Die Brustbeine der Lohmann Brown Hennen wiesen insgesamt leicht höhere Calciumgehalte auf. Die Betrachtung der drei Teilstücke der Brustbeine ergab unterschiedliche Muster. Bei den LSL-Hennen war der Calciumgehalt im mittleren Abschnitt am höchsten, während bei den LB-Hennen das obere Teilstück den höchsten und das Schwanzende den niedrigsten Calciumwert aufwies. Verformungen der LSL-Brustbeine im mittleren Abschnitt ließen zunächst auf einen niedrigen Calciumgehalt schließen, konnten jedoch durch die Messungen nicht bestätigt werden. Diese Verformungen treten an der Stelle auf, an der die Hennen auf den Sitzstangen liegen, was die Ursache eher im Haltungssystem als im Calciumgehalt vermuten lässt (TELLE, 2011). Die Ergebnisse der Lohmann Brown Hennen zeigten höhere Calciumwerte in den cranialen und mittleren Brustbeinabschnitten, wodurch die Tiere besser geschützt sind. Zudem traten bei den LB-Hennen kaum Brustbeinverformungen auf. Bei allen untersuchten LSL-Hennen wurde hingegen eine Fettleber festgestellt, was auf Stoffwechselprobleme hinweist, obwohl die Tiere jung waren und nach der 50. Lebenswoche geschlachtet wurden. Bei den LB-Hennen wurden keine Fettlebern beobachtet. Es ist jedoch zu beachten, dass der Versuch nur sechs Ständer und sechs Brustbeine umfasste. Die unterschiedlichen Calciumgehalte in den drei Brustbeinabschnitten zwischen den Rassen verdeutlichen die Notwendigkeit eines größeren Versuchs, um belastbare Aussagen treffen zu können. Die Zuordnung der Eier zu den einzelnen Hennen war in diesem Versuch nicht möglich. Eine tierindividuelle Untersuchung der Eier könnte spezifischere Ergebnisse liefern und die Vergleichbarkeit zwischen Calciumgehalt in den Knochen

und im Ei verbessern. Dadurch wären Rückschlüsse vom Ei auf die Henne möglich, was ein gezieltes Herdenmanagement erlauben würde. Obwohl eine individuelle Anpassung bei großen Legehennenbeständen für Landwirte möglicherweise nicht praktikabel oder rentabel erscheint, stellt sie einen zukunftsorientierten Ansatz dar.

Der Versuch mit 60 Hühnereiern von 20 Legehennen aus zwei verschiedenen Rassen in einem Mobilstall über einen Zeitraum von fünf Wochen stellt einen vergleichsweise kleinen Versuchsaufbau dar. Daraus ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, einen erneuten Versuch auf dieser Basis auszuweiten. Insbesondere sollte die Anzahl der Legehennen und der Versuchseier erhöht werden. Darüber hinaus könnte die Einbeziehung weiterer Rassen sowie unterschiedlicher Haltungssysteme zusätzliche Erkenntnisse liefern. Eine Untersuchung über die vollständige Legeperiode und gegebenenfalls über die Mauser hinaus würde aussagekräftige Daten zur zeitlichen Entwicklung der Parameter liefern. Verschiedene Altersgruppen der Hennen könnten ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse liefern. Auch eine Ausweitung der Anzahl untersuchter Schlachtkörper kann das Erkenntnisspektrum vergrößern, sollte jedoch mit Bedacht erfolgen. In Bezug auf Calcium hat die Fütterung einen wesentlichen Einfluss, weshalb der Versuch durch verschiedene Fütterungsvarianten ergänzt werden könnte.

Viele Parameter und Umwelteinflüsse wirken auf die Qualität von Hühnereiern ein, sodass das Herdenmanagement eine zentrale Rolle einnimmt. Die Gesundheit der Tiere beeinflusst die Eiqualität maßgeblich. Aufgrund der engen Verknüpfung von Tiergesundheit und Eiqualität lassen sich Rückschlüsse vom Zustand der Eier auf den Gesundheitszustand der Legehennen ziehen. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen jedoch keine auffälligen Unterschiede zwischen den Eiern der beiden Rassen, obwohl bei den sechs untersuchten Schlachtkörpern deutliche Unterschiede erkennbar waren. Die bei den LSL-Hennen festgestellte Fettleber führte bis zur 50. Lebenswoche nicht zu untypischen Verhaltensweisen. Zudem konnten keine Veränderungen der inneren oder äußeren Eiqualität festgestellt werden. Dies bestätigt, dass die Analyse der Eier anhand der ausgewählten Parameter allein nicht ausreicht, um den vollständigen Gesundheitszustand der Tiere zu erfassen.

Schlussfolgerungen

- Die Untersuchung der beiden Rassen Lohmann LSL und Lohmann Brown zeigen keine signifikanten Unterschiede in der äußeren Eiqualität. Unabhängig von der Genetik konnte jedoch im Verlauf der Legeperiode eine Abnahme sowohl des Eischalengewichtes als auch der Eischalendicke festgestellt werden.
- Die Parameter zur inneren Eiqualität lieferten insgesamt zufriedenstellende Ergebnisse, ohne dass relevante Unterschiede zwischen den beiden Rassen nachweisbar waren.
- Der mittlere Calciumgehalt der Eischalen lag mit über 416 mg/g über den in der Literatur angegebenen Referenzwerten. Diese Abweichung lässt sich durch verschiedene Einflussfaktoren wie Genetik, Fütterung, Alter der Tiere, sowie den Zeitpunkt innerhalb der Legeperiode erklären. Darüber hinaus wurden vier statistische Zusammenhänge identifiziert, die unabhängig von der Rasse bestehen. Die negative Korrelation zwischen dem Calciumgehalt im Ei und jenem in der Schale, sowie die positive Korrelation zwischen Eischalengewicht und Schalendicke bestätigen etablierte Zusammenhänge. Demgegenüber erwiesen sich die schwach positiven Korrelationen zwischen dem Calciumgehalt im Ei und den Haugh Units sowie zwischen Schalendicke und Formindex als unerwartete Ergebnisse. Diese Befunde deuten auf ein weiterführendes Forschungspotential hin.
- Hinsichtlich des Calciumgehalts in den Knochen zeigten die Analysen höhere Werte in den Ständern im Vergleich zu den Brustbeinen. Obwohl die Calciumgehalte in den Brustbeinen zwischen den beiden Lohmann Genetiken vergleichbar waren, traten bei den Lohmann LSL Hennen vermehrt Brustbeinverformungen auf. Da die Befunde nicht auf den Calciumgehalt zurückgeführt werden können, weisen die bei dieser Rasse nachgewiesenen Fettlebern auf ein spezifisches metabolisches Problem hin.

Zusammenfassung

Der aktuelle Strukturwandel in den Haltungssystemen und der Nutzungsdauer von Legehennen verdeutlicht die Notwendigkeit, sowohl die Eiqualität als auch die Tiergesundheit umfassend zu kennen. Dieses Wissen ermöglicht gezielte Anpassungen im Herdenmanagement. Der entsprechende Versuch wurde erstmals an der Hochschule Anhalt durchgeführt. Vorgehensweise und Methodik mussten dabei eigenständig entwickelt werden. Die Erstellung der Anleitung stellte einen Prozess dar, bei dem Fehler nicht ausgeschlossen werden konnten. In dieser Untersuchung wurde in der 46. Woche keine Eiklarhöhe erfasst, sodass die Haugh Units für diese Woche nicht berechnet werden konnten. Zudem traten im Labor Komplikationen auf, wodurch einige Analysen wiederholt werden mussten. Die innere und äußere Eiqualität zeigte bei beiden Rassen sehr gute Ergebnisse, wobei keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Da der Versuchsaufbau mit 60 Hühnereiern in einem überschaubaren Rahmen erfolgte, erscheint eine Erweiterung des Untersuchungsdesigns sinnvoll. Der Versuchszeitraum von fünf Wochen bildet lediglich einen kurzen Abschnitt der Legeperiode ab. Somit wurde ein Grundstein für weiterführende Versuche und Analysen gelegt, bei denen eine höhere Anzahl an Versuchstieren und -eiern sowie ein längerer Untersuchungszeitraum angestrebt werden sollten. Darüber hinaus kann die Einbeziehung weiterer Rassen wertvolle Erkenntnisse liefern. Die unerwarteten Zusammenhänge dieser Arbeit verdeutlichen das Potenzial dieser Grundlagenforschung.

Eine zukünftige Zuordnung der Eier zu den jeweiligen Legehennen würde den Erkenntnisgewinn des Versuchs deutlich erhöhen. Ein direkter Vergleich des Calciumgehalts in den Knochen mit dem Calciumgehalt der Eischale und des Eies könnte wertvolle Hinweise auf die Calciumversorgung liefern. Dies würde zu einem vertieften Verständnis der Calciumaufnahme, -einlagerung und -mobilisierung beim Tier beitragen.

Die Rassen Lohmann Selected Leghorn und Lohmann Brown eignen sich hervorragend für alternative Haltungssysteme. Sowohl in Bezug auf die Eiqualität als auch bei den Bonituren erzielten beide Rassen gute Ergebnisse. Lediglich die Fettleberbefunde bei den LSL-Hennen deuten auf mögliche Stoffwechselprobleme hin, deren Ursachen bislang ungeklärt sind.

Literaturverzeichnis

ANTILLON et al. (1977)

Antillon, A.; Scott, M.L.; Krock, L.; Wassermann, R.H.: Metabolic response of laying hens to different dietary levels of Ca, P and vitamin D; 1977; Cornell vet. 67; 413- 444

BARNETT et al. (1997)

Barnett, J.L.; Glatz, P.C.; Newman, E.A.; Cronin, G.M.: Effects of modifying layer cages with perches on stress physiology, plumage, pecking and bone strength of hens; 1997; Austral. J. Exp. Agric. 37; 523- 529

BARTTER et al. (2018)

Bartter, J.; Diffey, H.; Yeung, Y.H.; O'Leary, F.; Häsler, B.; Maulaga, W.; Alders R.: Use of chicken eggshell to improve dietary calcium intake in rural sub-Saharan Africa; 17.10.2018; Zugriff: 18.09.2025, unter:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6221107/#:~:text=Chicken%20eggshell%20contains%20approximately%20380,no%20risk%20to%20human%20consumption.>

BAUMGART (2005)

Baumgart, B.: Tiergesundheit, Verhalten und Leistung unter besonderer Berücksichtigung der Besatzdichte bei Legehennen in Volierenhaltung; 2005; Dissertation; LMU; Tierärztliche Fakultät München

BAZER (2005)

Bazer, D.: Einfluss einer Auslaufstrukturierung auf das Verhalten, den Gesundheitszustand und die Leistung von Legehennen in Freilandhaltung; 15.07.2005; Zugriff: 23.06.2025, unter: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/4140/1/Bazer_Daniela.pdf

BESSEI (2006)

Bessei, W.: Legehennenhaltungssysteme der Zukunft – wo liegen ihre Stärken und Schwächen?; 2006; RFL 58; 237–241

BISHOP (2000)

Bishop, S.C.; Fleming, R.H.; McCormack, H.A.; Flock, D.K.; Whitehead, C.C.: Inheritance of bone characteristics affecting osteoporosis in laying hens; 2000; Br. Poult. Sci. 41; 33- 40

BLE (2023a)

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): Öko-Legehennen: Längere Legezeiten sind möglich; 01.04.2023; Zugriff: 22.09.2025, unter: <https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologische-tierhaltung/oekologische-gefluegelhaltung/bio-legehennenhaltung/oeko-legehennen-laengere-legezeiten-sind-moeglich/#:~:text=Die%20Verl%C3%A4ngerung%20der%20Haltungsdauer%20von,die%20verf%C3%BCgbaren%20Stallpl%C3%A4tze%20%E2%80%93%20unwirtschaftlicher%20wird.>

BLE (2023b)

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): Grundlagen der Bio-Geflügelhaltung; 26.09.2023; Zugriff: 23.06.2025, unter: <https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologische-tierhaltung/oekologische-gefluegelhaltung/grundlagen-der-bio-gefluegelhaltung/>

BLE (2025)

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): Legehennenhaltung in Deutschland – Ein Überblick; 18.03.2025; Zugriff: 22.09.2025, unter: [https://www.nutztierhaltung.de/gefluegel/legehennenhaltung-in-deutschland/#:~:text=Seit%20dem%20Verbot%20der%20K%C3%A4fighaltung,\)%20und%20Polen%20\(13%20%25\).](https://www.nutztierhaltung.de/gefluegel/legehennenhaltung-in-deutschland/#:~:text=Seit%20dem%20Verbot%20der%20K%C3%A4fighaltung,)%20und%20Polen%20(13%20%25).)

BMLEH (2025)

Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH): Mehr Tierschutz in der Legehennenhaltung; 16.04.2025; Zugriff: 23.06.2025, unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/haltung-legehennen.html>

CORDTS et al. (2001)

Cordts, C.; Schmutz, M.; Preisinger, P.: Züchterische Möglichkeiten zur Verbesserung der Schalenstabilität von Eiern; 2001; Lohmann Information 3; 15- 18

DACKE et al. (1993)

Dacke, C.G.; Arkle, S.; Cook, D.J.; Wormstone, I.M.; Jones, S.; Zaidi, M.; Bascal, Z.A.: Markknochen und Kalziumregulierung bei Vögeln; 1993; J. Exp. Biol. 184; 63 - 88

DORLOFF (2025)

Dorloff, V.: Eier: Gesundheit und Umwelt; 21.01.2025; Zugriff: 05.07.2025, unter: <https://www.bzfe.de/kueche-und-alltag/vom-acker-bis-zum-teller/eier/eier-gesundheit-und-umwelt>

EUSEMANN et al. (2018)

Eusemann, B.K.; Baulain, U.; Schrader L.; Thöne-Reineke, C.; Patt A.; Petow, S.: Radiographic examination of keel bone damage in living laying hens of different strains kept in two housing systems; 09.05.2018; Zugriff: 18.09.2025, unter: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194974>

FEHLHABER und JANESCHKE (1992)

Fehlhaber, K.; Janeschke, P.: Veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene; 1992; Paul Parey Verlag; Berlin und Hamburg

FLEMING et al. (1994)

Fleming, R.H.; Whitehead, C.C.; Alvey, D.; Gregory, N.G.; Wilkins, L.J.: Bone structure and breaking strength in laying hens housed in different husbandry systems; 1994; Br. Poult. Sci. 35; 651- 662

FLOCK et al. (2007)

Flock, D.K.; Schmutz, M.; Preisinger, R.: Optimierung der Eiqualität aus züchterischer Sicht; 2007; Züchtungskunde 79; 309-319; ISSN 0044-5401; Eugen Ulmer KG; Stuttgart

GÄBEL und PFANNKUCHE (2001)

Gäbel, G.; Pfannkuche, H.: Anatomie und Physiologie der Haustiere; 2001; Eugen Ulmer Verlag; 16. Auflage

GIESEKE et al. (2015)

Gieseke, D.; Busch, G.; Iking, C.; Kühl, S.; Prisch, W.: Tierhaltung im Spannungsfeld von Tierwohl, Ökonomie und Gesellschaft; 08.10.2015; Zugriff: 18.09.2025, unter:
https://www.researchgate.net/profile/Jochen-Link/publication/378299327_Tierhaltung_im_Spannungsfeld_von_Tierwohl_Okonomie_und_Gesellschaft_Tagungsband_zur_Tierwohl-Tagung_2015_in_Goettingen/links/65d239d828b7720cecd5a58d/Tierhaltung-im-Spannungsfeld-von-Tierwohl-Oekonomie-und-Gesellschaft-Tagungsband-zur-Tierwohl-Tagung-2015-in-Goettingen.pdf#page=48

GRASHORN (2004)

Grashorn, M.: Faustzahlen zur Eikualität; 2004; In: DAMME, K.; MÖBIUS, C.: Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft 2004; Eugen Ulmer Verlag; 187- 197; Stuttgart

GRASHORN (2023)

Grashorn, M.: Krisenmanagement; 2023; Geflügeljahrbuch 2024; Eugen Ulmer Verlag; ISBN 978-3-8186-2090-5; Stuttgart

GRATZL und KÖHLER (1968)

Gratzl, E.; Köhler, H.: Ernährungsstörungen; 1968; In: Gratzl, E. (Hrsg.): Spezielle Pathologie und Therapie der Geflügelkrankheiten; Enke Verlag; 945- 953; Stuttgart

GV SOLAS (2006)

Gesellschaft für Versuchstierkunde SOLAS: Fütterungskonzepte und -methoden in der Versuchstierhaltung und im Tierversuch: Huhn; 2006; Ausschuss für Ernährung der Versuchstiere

HÄRTEL (1989)

Härtel, H.: Evaluation of the dietary interaction of calcium and phosphorus in the high producing laying hen; 1989; Brit. Poult. Sci. 31 ; 473-495

HUDSON et al. (1993)

Hudson, H.A.; Britton, W.M.; Rowland, G.N.; Buhr, R.J.: Histomorphometric Bone Properties of Sexually Immature and Mature White Leghorn Hens with Evaluation of Fluorochrome Injection on Egg Production Traits; 01.08.1993; Zugriff: 18.09.2025, unter : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119451602>

JAEGER et al. (2025)

Jaeger, S.R.; Chheang, S.L.; Ares, G.: How do omnivore consumers perceive plant-based alternatives to yoghurt, cheese, eggs and salmon? Comparison with animal-based counterparts and consideration of the effect of nutrition and ingredient information; 09.2025; Food Quality and Preferences Band 130; 105531

JELKMANN und SINOWATZ (1996)

Jelkmann, W.; Sinowatz, F.: Physiologie: Kurzlehrbuch; 1996; Dt. Ärzte- Verlag; ISBN 978-3769170368; Köln

JIAMING et al. (2024)

Jiaming, J.; Quanlin, L.; Qianqian, Z.; Xiaochang, L.; Fangren, L.; Chaoliang, W.; Guiqin, W.; Guangqi, L.; Yiyuan, Y.; Ning, Y.; Congjiao, S.: Calcium deposition in chicken eggshells: role of host genetics and gut microbiota; 10.2024; Poultry Science Band 103; Ausgabe 10; 104073

JUADJUR (2024)

Juadjur, A.: Am Ei erkennen, ob es aus ökologischer Haltung stammt; 10.12.2024; Zugriff: 05.07.2025, unter: <https://www.oekolandbau.de/forschung/forschung-im-boel/am-ei-erkennen-ob-es-aus-oekologischer-haltung-stammt/#:~:text=Die%20Konzentration%20dieser%20und%20anderer,als%20auch%20au%C3%9Ferhalb%20%C3%B6kologischer%20Haltungen>

KEPPLER (2020)

Keppler, C.: M Tool Beurteilungskarten Legehennen; 08.2020; Zugriff: 14.08.2025, unter: <https://www.nutztierhaltung.de/mud-tierschutz/beratungsinitiativen/legehennenhaltung/projekt-etablierung-eines-managementtools/materialien-zum-mtool/>

KEPPLER et al. (2017)

Keppler, C.; Fetscher, S.; Hilmes, N.; Knierim, U.: Basiswissen MTool Eine Managementhilfe für Legehennenaufzucht und -haltung; 07.2017; Zugriff: 18.09.2025, unter: https://www.nutztierhaltung.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/4-Nutztierstrategie/MuD_Tierschutz/MTool/Basiswissen_Legehennen_2021_web.pdf

KNOWLES und BROOM (1990)

Knowles, T.G.; Broom, D.M.: Limb bone strength and movement in laying hens from different housing systems; 1990; Vet. Rec. 126; 354- 356

KNOWLES und WILKINS (1998)

Knowles, T.G.; Wilkins, L.J.: The problem of broken bones during the handling of laying hens; 1998; Br. Poult. Sci. 77; 1798-1802

KÖRKEL (2023)

Körkel, A.: Hühnerhaltung im Mobilstall; 03.2023; Zugriff: 30.09.2025, unter: <https://www.landwirtschaft.de/tier-und-pflanze/tier/gefluegel/huehnerhaltung-im-mobilstall>

KOLB (1979)

Kolb, E.: Der Kalziumstoffwechsel bei Legehennen und seine Beziehungen zur Eischalenqualität; 1979; Mh. Vet.-Med. 34; 305-310; Kolb, E.: Störungen infolge eines Mangels bzw. eines Überschusses an Mineralstoffen; 1992; In: Heider, G.; Monreal G.: Krankheiten des Wirtschaftsgeflügels; 1992; Gustav Fischer Verlag; Jena und Stuttgart

KRAMPITZ, 1983

Krampitz, G.: Eischale; 1983; In: Mehner, A.; Hartfiel, W.: Handbuch der Geflügelphysiologie; Gustav Fischer Verlag; ISBN 3-8055-3738-7; Jena

LAND SCHAFFT LEBEN (2025)

Land schafft Leben: Das Ei und seine inneren Werte; 2025; Zugriff: 05.07.2025, unter: <https://www.landschafttleben.at/lebensmittel/ei/gesundheit>

LE BRIS (2005)

Le Bris, M.: Vergleichende Untersuchungen zum Verhalten sowie zur Gesundheit und Leistung von Legehennen unterschiedlicher Linien (LSL, LB, LT) in Volierenhaltung; 2005; Dissertation; Ludwig-Maximilian Universität München

LEE (2012)

Lee, H.-W.: Vergleichende Untersuchungen der Legelinien Lohmann Selected Leghorn-Classic und Lohmann Brown-Classic hinsichtlich der Nutzung von maximal verfügbaren Ressourcen (1:1) in einem ausgestalteten Käfigsystem; 2012; Zugriff: 18.09.2025, unter: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/14894/1/Lee_Hye-Won.pdf

LEYENDECKER et al. (2002)

Leyendecker, M.; Hamann, H.; Hartung, J.; Glünder, G.; Nogosse, N.; Neumann, U.; Sürle, C.; Kamphues, J.; Distl, O.: Untersuchungen zur Schalenfestigkeit und Knochenstabilität von Legehennen in drei verschiedenen Haltungssystemen; 2002; Züchtungsk. 74; 144-155

LEYENDECKER et al. (2005)

Leyendecker, M.; Hamann, H.; Hartung, J.; Kamphues, J.; Neumann, U.; Sürle, C.; Distl, O.: Keeping laying hens in furnished cages and an aviary housing system enhances their bone stability; 2005; Brit. Poult. Sci. Vol. 46; Issue 5; 536-544

LOHMANN BREEDERS (2021a)

Lohmann Breeders: Lohmann LSL-Classic; 06.2021; Zugriff: 24.06.2025, unter: https://lohmann-deutschland.de/wp-content/uploads/2025/01/Protected_LB_Zusatzheft_Alternative-Haltung_LSL-Classic_DE_06.21_V01-21_high.pdf

LOHMANN BREEDERS (2021b)

Lohmann Breeders: Lohmann Brown-Classic; 06.2021; Zugriff: 24.06.2025, unter: https://lohmann-breeders.com/files/downloads/MG/Data%20Tables/Protected_LB_Zusatzheft_Alternative%20Haltung_LB-Classic_DE_06.21_V01-21_high.pdf

MARGGRAFF et al. (2021)

Marggraff, J.; Ahlers, C.; Rautenschlein, S.: Brustbeinveränderungen bei Legehennen; 2021; Zugriff: 18.09.2025, unter: https://elib.tiho-hannover.de/receive/tiho_mods_00006442

MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES
BRANDEBURG (2019)

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg: Mit Bio mobil – Mehrwert für Hühner und Böden; 01.10.2019; Zugriff: 23.06.2025, unter <https://eler.brandenburg.de/eler/de/veroeffentlichungen/projekte-des-monats/2019/oktober-2019/#>

MLEUV (2025)

Ministerium für Land- und Ernährungswirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz; Handelsklassen und Vermarktungsnormen; 2025; Zugriff: 18.08.2025, unter: <https://mleuv.brandenburg.de/mleuv/de/land-und-ernaehrungswirtschaft/agraemaerke-und-lebensmittelqualitaet/handelsklassen-und-vermarktungsnormen/#>

NABEL CO., LTD. (2022)

Nabel Co., Ltd: Egg Quality; 2022; Zugriff: 10.07.2025, unter: <https://digitaleggtester.com/en/egg-quality/>

PETERSEN (2021)

Petersen, M.: Ein Leben im Stall – Bodenhaltung von Legehennen; 08.01.2021; Zugriff: 23.06.2025, unter: <https://www.provieh.de/2021/03/ein-leben-im-stall-bodenhaltung-von-legehennen>

PINGEL und JEROCH (1980)

Pingel, H.; Jeroch, H.: Biologische Grundlagen der industriellen Geflügelproduktion; 1980; VEB Gustav Fischer Verlag; 74 – 115; Jena

DA SILVA PIRES et al. (2020)

Da Silva Pires, P.G.; Da Silva Pires, P.D.; Cardinal, K.M.; Bavaresco C.: The use of coatings in eggs: A systematic review; 12.2020; Trend in Food Science & Technology; Band 106; 312-321

RAUCH (1959)

Rauch, W.: Mathematisch-statistische Beziehungen zwischen Eiqualitätsmerkmalen (Korrelationen und Regressionen); 1959; Europäische Geflügelwissenschaft; Band 23; 108-121

REGMI et al. (2016)

Regmi, P.; Nelson, N.; Steibel, J.P.; Anderson, K.E.; Karcher, D.M.: Comparisons of bone properties and keel deformities between strains and housing systems in end-of-lay hens; 01.10.2016; Poultry Science ; Band 95; Ausgabe 10; 2225-2234

SCHOLTYSSSEK et al. (1978)

Scholtyssek, S.; Raber, A.; Deissler E.: Der Einfluß der Lagerung auf die Qualität von Konsumeiern; 12.08.1978; Europäische Geflügelwissenschaften; Band 43; 11-17

SCHOLTYSSSEK (1991)

Scholtyssek, S.: Wie man Eier richtig konserviert; 1991; Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion; Band 43; Ausgabe 28; ISSN 0340-3858; 867–869

SCHÜMANN (2008)

Schümann, A.: Einfluss einer Auslaufstrukturierung mit Flachdächern auf die Gesundheit, Leistung und das Verhalten von Legehennen in Freilandhaltung; 08.02.2008; Zugriff: 24.06.2005, unter: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/8162/1/Schuemann_Alexandra.pdf

SCOTT et al. (1971)

Scott, M.L.; Hull, S.J.; Mullenhoff, P.A.: The calcium requirements of laying hens and effects of dietary oyster shell upon egg shell quality; 1971; Poult. Sci. 50; 1055

SHAO et al. (2025)

Shao, D.; Liu, L.; Tong, H.: Responses of laying performance, eggshell quality, calcium, and phosphorus metabolism to feeding patterns and dietary available phosphorus levels in aged laying hens; 2025; Poultry Science; Band 104; 104469

SILVERSIDES et al. (1993)

Silversides, F. G.; Twizeyimana, F.; Villeneuve, P.: Research Note: A Study Relating to the Validity of the Haugh Unit Correction for Egg Weight in Fresh Eggs; 01.04.1993; Poultry Science, Band 72, Ausgabe 4, 760-764

SUN et al. (2012)

Sun, C.J.; Chen, S.R.; Xu, G.Y.; Liu, X.M.; Yang, N.: Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs; 2012; Poultry Science; 2718-2721

SVENSSON und KIVIMÄE (1983)

Svensson, S.A.; Kivimäe, A.: Mineralstoffwechsel; 1983; In Mehner, A., Hartfiel, W.: Handbuch der Geflügelphysiologie; Gustav Fischer Verlag; ISBN 3- 8055-3738-7; Jena

TAYLOR (1970)

Taylor, T.G.: How an egg-shell is made; 1970; Scientific American 222; 89-95

TELLE (2011)

Telle, M.M.: Verhaltensbeobachtung bei der Kleingruppenhaltung von Legehennen (LSL); 30.07.2011; Zugriff: 18.09.2025, unter: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/13429/1/Telle_Monika.pdf

TOSCANO et al. (2020)

Toscano, M.J.; Dunn, I.C.; Christensen, J.-P.; Petow, S.; Kittelsen, K.; Ulrich, R.: Explanations for keel bone fractures in laying hens: are there explanations in addition to elevated egg production?; 09.2020; Poultry Science; Band 99; 4183-4194

VAN DER LINDE et al. (2020)

Van der Linde, J.; Berk, J.; Damme, K.; Hartmann, J.; Grashorn, M.: Legehennenhaltung; 07.2020; DLG-Ausschuss für Geflügel; DLG-Merkblatt 405; 3. Auflage; Zugriff: 23.06.2025, unter: <https://www.dlg.org/mediacenter/dlg-merkblaetter/dlg-merkblatt-405-legehennenhaltung>

VITS (2005)

Vits, A.: Evaluierung von Kleingruppenhaltung und ausgestalteten Käfigen für Legehennen hinsichtlich wirtschaftlicher und gesundheitlicher Parameter mit besonderer Berücksichtigung von Legeleistung, Eiqualität und Knochenfestigkeit; 2005; Dissertation; Tierärztliche Hochschule Hannover

VITS et al. (2005)

Vits, A.; Weitzenbürger, D.; Hamann, H.; Distl, O.: Einfluss der Etagenordnung in ausgestalteten Käfigen und Kleingruppenhaltungssystemen auf die Legeleistung, Mortalität, Eiqualität, Knochenfestigkeit, Krallenlänge und den Brustbeinstatus von Legehennen; 08.2006; Europäische Geflügelwirtschaft; Band 70; Ausgabe 4; 145-153

WEBER et al. (2003)

Weber, R.M.; Nogosse, M.; Sander, I.; Wandt, B.; Neumann, U.; Glünder, G.: Untersuchungen zum Gesundheitsstatus von Legehennen in ausgestalteten Käfigen im Vergleich zu Tieren in konventioneller Käfig- und Bodenhaltung; 23.06.2003; Zugriff: 23.06.2025, unter: https://www.wtm.at/explorer/WTM/Archiv/2003/WTM_10-2003/WTM_10-2003_Artikel_1.pdf

WEIGLE (2007)

Weigl, B.: Gesundheitsstatus von Legehennen in Klein- und Großvolierenhaltung im Vergleich; 20.07.2007; Zugriff: 18.09.2025, unter: <https://d-nb.info/985556013/34>

WHITEHEAD (1999)

Whitehead, C.C.: Reducing osteoporosis in laying hens; 1999; World Poultry 15; 78-82

WILLIG (2011)

Willig, H.-P.: Geflügelproduktion; 11.2011; Zugriff: 23.06.2025, unter: <https://www.biologie-seite.de/Biologie/Gefl%C3%BCgelproduktion>

WILSON et al. (1992)

Wilson, S.; Duff, S.R.I.; Whitehead, C.C.: Effects of age, sex and housing on the trabecular bone of laying strain domestic fowl; 1992; Res. Vet. Sci. 53; 52- 58

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass die Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Schönebeck, 07.10.2025



Katharina Seeck