



Schlussbericht zum Thema

**Untersuchungen zur Verdaulichkeit von
Aminosäuren aus Körnerleguminosen unter
Berücksichtigung von Bearbeitungsverfahren
(Vermahlung, Schälen, Toasten), der
Rationszusammensetzung und tierspezifischen
Faktoren (Geschlecht, Alter) beim Broiler**

FKZ: 2815OE036

**Projektnehmer: Martin-Luther-
Universität Halle-Wittenberg**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung
und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages im Rahmen des
Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere
Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖLN-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter
www.bundesprogramm.de

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel: 0228-6845-3280
E-Mail: boeln@ble.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Professur für Tierernährung	Förderkennzeichen: 2815OE036
---	-------------------------------------

Vorhabenbezeichnung:

Untersuchungen zur Verdaulichkeit von Aminosäuren aus Körnerleguminosen unter Berücksichtigung von Bearbeitungsverfahren (Vermahlung, Schälen, Toasten), der Rationszusammensetzung und tierspezifischen Faktoren (Geschlecht, Alter) beim Broiler

Akronym: Legumi

Laufzeit des Vorhabens:

01.06.2017 - 28.02.2022

Berichtszeitraum:

01.06.2017 - 30.06.2022

Projektleitung:

Prof. Dr. Annette Zeyner

Projektbearbeitung:

PD Dr. Holger Kluth, Dr. Martin Bachmann, M. Sc. Paul Okon

Kurzfassung

Das Projekt hatte das Ziel, den Futterwert von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen beim Broiler zu charakterisieren, um den Einsatz einheimischer Körnerleguminosen in der Geflügelfütterung zu fördern. Hierfür wurden Messungen zur praecaecalen (pc) Verdaulichkeit von Aminosäuren durchgeführt, wobei die Effekte von technologischen Bearbeitungsverfahren wie Vermahlen, Schälen und Toasten sowie der Rationszusammensetzung (Einsatz von ganzem Weizen) untersucht wurden. Des Weiteren wurden die Wirkungen des Tieralters und Geschlechtes untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die pc Verdaulichkeit der essentiellen Aminosäuren aus unbehandelten Körnerleguminosen auf hohem Niveau liegt, und zwar bei 81, über 84 und 90 % für Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen. Schälen führt insbesondere bei Erbsen, weniger bei Lupinen, zu einer deutlichen Verbesserung der pc Verdaulichkeit, wobei für die nach diesem Verfahren behandelten Erbsen und Lupinen pc Verdaulichkeiten von 95 und 90 % gemessen wurden. Dagegen zeigte eine Kombination von Toasten und anschließendem Schälen keine weitere Verbesserung.

Der Zusatz von ganzem Weizen hatte keine Wirkung auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus unbehandelten Erbsen und Lupinen.

Gleichfalls konnte ein Effekt des Vermahlungsgrades (Partikelgröße) durch die grob und fein vermahlene Erbsen und Lupinen nicht nachgewiesen werden, da das Pelletieren zu einer Angleichung zwischen den Partikelfractionen („Sekundärvermahlung“) führte.

Hennen und Hähne verdauten die Aminosäuren aus geschälten Erbsen und Lupinen auf ähnlich hohem Niveau wie in vorheriger Studie. Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss. Darüber hinaus blieb das Tieralter, geprüft in der 5., 8. und 11. Woche, ohne signifikante Wirkung auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus unbehandelten Erbsen. Allerdings war das Niveau für die geprüfte Charge mit über 90 % ohnehin relativ hoch.

Insgesamt betrachtet bestätigen die Ergebnisse dieses Projektes erneut das hohe Potential von einheimischen Körnerleguminosen zur Proteinversorgung von Geflügel beitragen zu können.

Adresse: Prof. Dr. Annette Zeyner, PD Dr. Holger Kluth, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Theodor-Lieser-Str. 11, 06120 Halle (Saale); annette.zeyner@landw.uni-halle.de, holger.kluth@landw.uni-halle.de

Abstract

The purpose of the project was to assess the feed value of faba beans, peas and lupines to promote the use of local legume grains in poultry nutrition. Measurements of precaecal (pc) digestibility of amino acids were conducted to study the effects of feed processing technologies like grinding, dehulling and toasting. Furthermore, effects of the inclusion of whole wheat in the diet and also the age and sex of the birds were examined.

The results show, that the pc digestibility of essential amino acids of untreated legume grains is on a high level and varied between 81, above 84 and 90 % for peas, lupines and faba beans. Dehulling especially for peas leads to a higher digestibility but lesser for lupines. For this kind of treated peas and lupines, pc digestibility of 95 and 90 % was measured. In contrast, a combination of dehulling and subsequent toasting offered no further enhancement. Including whole wheat grains into the diet did not affect the pc digestibility of amino acids of untreated peas and lupines. There was also no impact of the grinding intensity (particle size) of pea and lupine grains on pc amino acid digestibility due to the equilibration of particle sizes during pelleting. Hens and roosters digested the amino acids of dehulled peas and lupines at a similarly high level which confirms results of a previous study. The sex of the birds had no significant influence too. Furthermore, the age of birds, which was investigated at week 5, 8 and 11, did not affect the pc amino acid digestibility in untreated peas, but the level of more than 90 % was generally high.

In conclusion, the results of this project confirm the high potential of local legume grains to contribute to the protein supply of poultry.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1. Einführung.....	8
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	8
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes.....	8
1.3 Planung und Ablauf.....	9
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	10
3. Material und Methoden.....	11
3.1 Behandlungsverfahren.....	12
3.2 Versuchsmischungen.....	12
3.3 Versuchstiere, Probenahme und Aufbereitung.....	12
3.4 Analysen und statistische Auswertung.....	12
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	13
4.1 Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und antinutritiven Inhaltsstoffen..	13
4.2 Partikelgrößenverteilung.....	13
4.3 Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme.....	14
4.4 Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren.....	15
4.4.1 Versuch A: Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen, unbehandelt Versuch B: Erbsen und Lupinen, geschält Versuch C: Erbsen und Lupinen, getoastet und geschält in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad.....	15
4.4.2 Versuch D: Erbsen und Lupinen, unbehandelt, plus Zusatz von ganzem Weizen in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad Versuch E: Erbsen und Lupinen, geschält, in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	15
4.4.3 Versuch F: Erbsen, unbehandelt, in Abhängigkeit vom Alter.....	16
5. Diskussion der Ergebnisse.....	16
5.1 Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und antinutritiven Inhaltsstoffen..	16
5.2 Partikelgrößenverteilung.....	17
5.3 Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme.....	17
5.4 Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren.....	18
5.4.1 Versuch A: Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen, unbehandelt Versuch B: Erbsen und Lupinen, geschält Versuch C: Erbsen und Lupinen, getoastet und geschält in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad.....	18

5.4.2	Versuch D: Erbsen und Lupinen, unbehandelt, plus Zusatz von ganzem Weizen in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad Versuch E: Erbsen und Lupinen, geschält, in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	19
5.4.3	Versuch F: Erbsen, unbehandelt, in Abhängigkeit vom Alter.....	19
6.	Aussagen zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	20
7.	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	21
8.	Zusammenfassung.....	21
9.	Literaturverzeichnis.....	21
10.	Übersicht über alle im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen.....	22
11.	Kurz gefasster Erfolgskontrollbericht.....	25
11.1	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen.....	25
11.2	Wissenschaftliches und technisches Ergebnis des Vorhabens.....	25
11.3	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte.....	25
11.4	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.....	25
11.5	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende.....	25
11.6	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	25
11.7	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer.....	26
11.8	Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung.....	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Im Projektzeitraum durchgeführte Versuche A bis C.....	27
Tabelle 2	Im Projektzeitraum durchgeführte Versuche D bis F.....	28
Tabelle 3	Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und antinutritiven Inhaltsstoffen in den geprüften Körnerleguminosen aus den Versuchen A bis C (in g/kg Trockenmasse).....	30
Tabelle 4	Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren in den geprüften Körnerleguminosen in den Versuchen D bis F (in g/kg Trockenmasse)....	30
Tabelle 5	Anteile der Partikelfractionen in Abhängigkeit von der Größe in den Versuchen A bis D (in %).....	31
Tabelle 6	Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen in den Versuchen A bis C (arithmetisches Mittel, \pm SE).....	32
Tabelle 7	Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen in den Versuchen D bis E (arithmetisches Mittel, \pm SE).....	33
Tabelle 8	Mittlere Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme der Hähne in Abhängigkeit vom Alter (Versuch F; arithmetisches Mittel, \pm SE).....	34
Tabelle 9	Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen der Hähne im Versuch F (arithmetisches Mittel, \pm SE).....	35
Tabelle 10	Mittlere Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme der Hennen in Abhängigkeit vom Alter (Versuch F; arithmetisches Mittel, \pm SE)....	36
Tabelle 11	Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen der Hennen im Versuch F (arithmetisches Mittel, \pm SE).....	37
Tabelle 12	Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen unter Berücksichtigung der Behandlung sowie bei grober und feiner Vermahlung aus den Versuchen A bis C (in %).....	38
Tabelle 13	Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Erbsen und Lupinen bei grober und feiner Vermahlung sowie unter Berücksichtigung des Einsatzes von ganzem Weizen (Versuch D) sowie unter Berücksichtigung von Schälung und Geschlecht (Versuch E; in %).....	39
Tabelle 14	Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Erbsen bei Hähnen in Abhängigkeit vom Alter (Versuch F; in %, \pm Standardfehler der Schätzung, r^2).....	40
Tabelle 15	Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Erbsen bei Hähnen in Abhängigkeit vom Alter (Versuch F; in %, \pm Standardfehler der Schätzung, r^2).....	41

Abkürzungsverzeichnis

AEVZ	Agrar- und Ernährungswissenschaftliches Versuchszentrum
AS	Aminosäure
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
pc	praecaecal
VDLUFA	Verein Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungsanstalten

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Gegenstand des Projektes war es, Messungen zum Futterwert auf Basis der praecaecalen (pc) Verdaulichkeit von Aminosäuren aus den Körnerleguminosen Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen am Broiler zu bestimmen. Dabei wurden Wirkungen von technologischen Bearbeitungs- und Behandlungsverfahren wie Schrotten (Vermahlungsgrad, Partikelgröße), Schälen und Toasten auf das Leguminosenkorn bzw. deren Verarbeitungsprodukte untersucht. Da gegenwärtig noch unklar ist, in wie weit sich derart bearbeitete Einzelfutter im Rahmen von kompletten Futtermischungen verhalten, wurden darüber hinaus mögliche Wechselwirkungen durch den Einsatz von ganzem Weizenkorn untersucht. Des Weiteren wurden tierspezifische Faktoren wie Alter und Geschlecht mit ihrer Wirkung auf die Verdaulichkeit geprüft. Entsprechende Empfehlungen sollten abgeleitet werden, um den Einsatz der so behandelten Körnerleguminosen in der Geflügelernährung zu erhöhen.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Ziel einer nachhaltigen Tierernährung ist es, umweltrelevante Emissionen, die mit der Erzeugung tierischer Produkte verbunden sind, möglichst auf niedrigem Niveau zu halten. Dafür ist es notwendig, existierende Bedarfsnormen konsequent umzusetzen, was im ökologischen Landbau aufgrund von Zulassungsbeschränkungen von geeigneten Futtermitteln wie Extraktionsschrotten oder Futterzusatzstoffen wie freien Aminosäuren nur schwierig umzusetzen ist.

Mit der politischen Forderung zukünftig nur noch Futtermittel ökologischer Herkunft zuzulassen mit dem Ziel den Einsatz von konventionellen Futtermitteln gänzlich zu vermeiden, verschärft sich die Situation zunehmend, da auch bisher erlaubte Futtermittel ohnehin nur knapp verfügbar waren. Erschwerend kommt hinzu, dass der noch praxisübliche Einsatz von importierten Sojabohnen kritisch gesehen wird.

Deshalb sollten einheimische Körnerleguminosen als Alternative in den Mittelpunkt weiterer Forschungsvorhaben gestellt werden. Hinsichtlich ihres Futterwertes muss jedoch beachtet werden, dass die relativ geringen Gehalte an schwefelhaltigen Aminosäuren den Bedarf des Geflügels nicht ausreichend decken können. Darüber hinaus sind die zahlreichen antinutritiven Substanzen nachteilig, was nur einen restriktiven Einsatz ermöglicht. Allerdings existieren Bearbeitungs- und Behandlungsverfahren, die diese wirksam reduzieren können, was die Attraktivität eines Einsatzes von Körnerleguminosen wieder steigern würde.

Gesamtziel des Projektes war es deshalb, zu prüfen, ob Körnerleguminosen durch genannte Bearbeitungsmaßnahmen einen höheren Beitrag zur Proteinversorgung von Broilern als bisher leisten können und somit auf importiertes Soja stärker verzichtet werden kann. Der Bezug zu förderpolitischen Zielen bzw. zum Förderprogramm ist eindeutig gegeben, da das Bundesprogramm ökologischer Landbau und andere Formen der nachhaltigen Landwirtschaft das Ziel verfolgt, mit einheimischen Leguminosen die Proteinversorgung der Monogastriden zu verbessern.

1.3 Planung und Ablauf

Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen sollen hinsichtlich ihrer pc Aminosäurenverdaulichkeit unter Berücksichtigung von Bearbeitungs- und Behandlungsverfahren, der Rationszusammensetzung und tierspezifischen Faktoren beim Broiler geprüft werden. Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden insgesamt 6 Versuche geplant:

A: Partikelgröße) alle 3 Komponenten werden über ein 3 (grob) und 2 (fein) mm-Sieb vermahlen

B: Partikelgröße + Schälén) Erbse und Lupine, grob und fein vermahlen werden zusätzlich geschält

C: Partikelgröße + Schälén + Toasten) Erbse und Lupine, grob und fein vermahlen sowie geschält werden zusätzlich getoastet

D: Partikelgröße + ganzer Weizen) Erbse und Lupine, grob und fein vermahlen bei Einsatz von ganzem Weizen

E: Partikelgröße + Geschlecht) 1 Leguminose, grob und fein vermahlen, Prüfung bei männlichen und weiblichen Tieren

F: Partikelgröße + Alter) 1 Leguminose, grob oder fein vermahlen.

Nach Genehmigung des Projektes wurde mit den ersten tierexperimentellen Untersuchungen am 24. April 2018 für den Versuch A, erster Teilversuch mit unbehandelten Erbsen und Lupinen, begonnen. Projektende war der 28. Februar 2022. Alle weiteren Informationen zum zeitlichen Ablauf der Versuche, Details zur Versuchsdurchführung bzw. -methodik sowie zu gegebenenfalls notwendigen Modifikationen (siehe Punkt 7) der Versuche im Vergleich zur ursprünglichen Planung können den Tabellen 1 und 2 entnommen werden.

Alle Versuche wurden bis zum Versuch D (Einsatz von ganzem Weizen bei unbehandelten Erbsen und Lupinen) laut ursprünglicher Planung durchgeführt. Allerdings war es nicht möglich, die geplanten Unterschiede in der Partikelstruktur durch die gewählten Vermahlungsintensitäten grob und fein technisch zu realisieren (siehe Tabelle 5), weshalb ab dem Versuch E die Wirkung der Vermahlung nicht weiter untersucht wurde (siehe Zwischenbericht 2020).

Als Ersatz hierfür wurde für den Versuch E, für den ursprünglich lediglich eine Körnerleguminose in Planung war, eine zweite untersucht. Neben der Erbse wurde nochmals die Lupine eingesetzt, wobei für diese Entscheidung die deutliche Verbesserung in der Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den geschälten Erbsen und Lupinen gegenüber dem ungeschälten Material ausschlaggebend war (siehe Tabelle 12). Diese wurden in zwei Teilversuchen (Erbse: E1; Lupine: E2) wie auch ursprünglich geplant in Abhängigkeit vom Geschlecht bei Hähnen und Hennen untersucht.

Ähnliche Modifikationen wurden ebenfalls für den Versuch F vorgenommen. Der Effekt des Alters wurde deshalb in zwei weiteren Versuchen anstatt in nur einem geprüft. Neben dem Alter wurde zusätzlich das Geschlecht einbezogen. Ausschlaggebend hierfür waren die tendenziell höheren Verdaulichkeiten der Aminosäuren aus den geschälten Erbsen (Versuch E1) und Lupinen (Versuch E2) wie sie bei den Hennen gegenüber den Hähnen ermittelt wurden (siehe Tabelle 13).

Aufgrund der Coronapandemie sowie häufig auftretender technischer Probleme in der Probenaufbereitung (mehrmonatiger Ausfall der Gefriertrocknungsanlage; Totalausfall und deshalb Neuanschaffung eines Trockenschrankes für den Aminosäureaufschluß) sowie eines Tieraufstallungsverbotes durch einen Vogelgrippefall in der Nähe der Versuchseinrichtung, AEVZ Merbitz, kam es mehrfach zu zeitlichen Verzögerungen des Projektes (siehe Zwischenberichte 2020, 2021).

Alle von der ursprünglichen Planung abweichenden Projektarbeiten wurden dem Projektträger mitgeteilt und entsprechend abgestimmt.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Körnerleguminosen unterliegen während der Mischfutterherstellung Vermahlungs- und Konfektionierungsprozessen. Demzufolge stellt sich die Frage nach einem optimalen Vermahlungsgrad (Partikelgröße), der mit einer möglichst hohen pc Verdaulichkeit der Aminosäuren verbunden ist. Gleiche Fragestellung wird seit längerem beim Schwein untersucht, wobei mittlerweile eine eher gröbere als zu feine Futterstruktur empfohlen wird (Kamphues, 2007). Untersuchungen beim Geflügel beschreiben eine ähnlich positive Wirkung größerer Futterpartikel auf die Leistung (Amerah et al. 2008).

Studien der hiesigen Professur von Ganzer et al. (2007) führten jedoch zu uneinheitlichen Ergebnissen, wonach bei einem weniger stark vermahlenden Mais mit einer höheren Verdaulichkeit der Aminosäuren als bei einem stärker zerkleinerten zu rechnen ist. Im Gegensatz dazu wurde für Sojaextraktionsschrot bei intensiverer Vermahlung eine höhere Verdaulichkeit gemessen. Demnach scheint es gegenwärtig nicht möglich zu sein, eine allgemeingültige Empfehlung für eine „optimale“ Partikelgröße von Einzelkomponenten zu geben.

Körnerleguminosen enthalten eine Vielzahl antinutritiver Substanzen, die nicht nur in tropischen sondern auch allen einheimischen Arten enthalten sind (Laudadio und Tufarelli, 2010; Olkowski et al. 2001; Gefrom, 2013ab; Gefrom, 2014) und letztlich einen nur restriktiven Einsatz primär bei monogastrischen Nutztieren gestatten (Castell et al., 1996; Olver und Jonker, 1997).

Eine effektive Reduzierung von Antinutritiva ist bereits durch einfache Konservierungsverfahren wie die milchsäure Fermentation möglich (González et al., 2012ab, Gefrom et al., 2013ab; Gefrom et al., 2014; Zeyner et al., 2015).

Des Weiteren existieren mechanische oder (hydro-) thermische Verfahren, die seit Jahrzehnten in der Mischfutterindustrie etabliert sind, aber regelmäßig im Mittelpunkt neuerer Studien stehen (Rehman und Shah, 2005; Emiola et al. 2007; Dahouda et al. 2009). Auch jüngere, durch die BLE geförderte Untersuchungen, bestätigen dies (2811NA034; Kempkens, 2016). Demnach führte eine hydrothermische Behandlung eines Gemisches aus Körnerleguminosen (LEGUMI-mix) zu einer z.T. deutlichen Reduzierung der Gesamtphenole aus Süßlupinen bzw. Wintererbsen um 17 bzw. 56 %. Ebenfalls nahm der Gehalt an Vicin und Convicin aus Ackerbohnen ab. Ein vergleichbar positiver Effekt wurde bei tanninreichen Wintererbsen erzielt. Allerdings blieb diese Verbesserung im Futterwert ohne Wirkung auf die Leistung von Mastschweinen (2811NA036; Ebert, 2016). Durch die Schälung von Lupinen konnte gezeigt werden, dass selbst bei einem Anteil von 40 % in der Ration von Broilern vergleichbare Leistungen wie mit einer konventionellen Mischung auf Basis von Sojaextraktionsschrot erzielt werden können (Brenes et al. 1993).

Mit einem Schälen werden insbesondere Tannine entfernt, die in den rohfaserreichen Schalen enthalten sind (Emiola et al., 2007). Allerdings ist eine Inaktivierung aller Antinutritiva nur durch Schälen nicht möglich, da sie wie Trypsininhibitoren auch im Inneren des Korns vorkommen können (Wiryawan und Dingle, 1999).

Eine zusätzliche thermische Behandlung kann aber durchaus zu einer weiteren Reduzierung führen, wovon gleichermaßen die Aminosäurenverdaulichkeit betroffen wäre (Arija et al., 2006).

Der Einfluss des Alters auf die pc Verdaulichkeit wird unterschiedlich diskutiert, jedoch scheint sich eine Erhöhung mit zunehmendem Alter abzuzeichnen. Diesen Standpunkt vertreten auch Huang et al. (2005), obwohl die Ergebnisse ihrer Untersuchungen in Abhängigkeit von Futtermittel und Alter (14., 28., 42. Tag) nicht immer gleichgerichtet waren. Eigene Studien lassen ebenfalls eine ansteigende Verdaulichkeit mit zunehmendem Alter vermuten (Petzold et al. 2010). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen keine diesbezüglichen experimentellen Ergebnisse an deutlich älteren Tieren vor, wie sie für den ökologischen Landbau typisch sind.

Berücksichtigt man die in der ökologischen Geflügelhaltung praktizierte längere Mast und die damit verbundenen Unterschiede in der Futteraufnahme zwischen den Geschlechtern wäre es sinnvoll zu klären, ob die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren hiervon beeinflusst wird. Es könnte sich ein deutliches Einsparpotential an Futterrohprotein bei Realisierung einer getrenntgeschlechtlichen Mast ergeben. Erste Hinweise dazu kamen von Ten Doeschate et al. (1993), wonach die Verdaulichkeit bei weiblichen Broilern höher war als bei männlichen.

Unabhängig von der Verdaulichkeit der Einzelkomponente sollte eine ganzheitliche Futtermittelbewertung nicht unabhängig von Faktoren wie der Rationszusammensetzung (Komponentenwahl für Mischfuttermittel) und der Futtermittelstruktur erfolgen. So wird Weizen als Hauptkomponente im Mischfutter für Geflügel zunehmend in Form ganzer Körner eingesetzt. Betrachtet man das Weizenkorn als „Partikel“, könnte dies, wie von größeren Futterpartikeln bekannt, im Gegensatz zu feineren zu einer längeren Passagezeit bzw. Verweildauer im Verdauungstrakt führen (Carré, 2000), wobei mehr Zeit für die Nährstoffverdauung zur Verfügung steht. Gründe hierfür könnten u.a. eine bessere Entwicklung des Muskelmagens (Svihus et al., 1997; Amerah et al., 2008) sein. Eine höhere Pankreasmasse, wie sie in Untersuchungen von Williams et al. (2008) festgestellt wurde, lässt zudem eine gesteigerte Enzymsekretion vermuten, die neben einer längeren Verweildauer die Verdaulichkeit zusätzlich fördern könnte, wovon gleichermaßen die Aminosäuren aus den Körnerleguminosen betroffen wären.

3. Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt 6 Versuche (A bis F) mit Broilern durchgeführt. Nähere Informationen zum Versuchsdesign der einzelnen Versuche sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

3.1 Behandlungsverfahren

Alle Körnerleguminosen waren ökologischer Herkunft und wurden von der Börde-Kraftkorn-Service GmbH zur Verfügung gestellt. Zur Herstellung der unterschiedlichen Vermahlungsgrade (Versuche A bis C) wurden diese jeweils über ein 2 mm-Sieb (fein) sowie über ein 3 mm-Sieb bzw. 5 mm-Sieb (grob) im Versuch D mittels Hammermühle vermahlen (Tabelle 1 und 2). Ab Versuch E wurde nur noch ein 3 mm-Sieb verwendet. Erbsen und Lupinen wurden zusätzlich geschält (Versuch B) bzw. getoastet und danach geschält (Versuch C). Das Toasten (Kurzzeit-Hochtemperatur-Verfahren; trocken; 125 °C; sofortige Abkühlung im Gegenluftstrom) erfolgte ebenfalls durch die Börde-Kraftkorn-Service GmbH, 39397 Gröningen, die Schälung durch die Schule Mühlenbau GmbH, 21465 Reinbek. Letztere führte ebenfalls die Schälung der Erbsen für den Versuch E durch. Die in den Versuchen D und F verwendeten Erbsen und Lupinen bzw. Erbsen waren jeweils unbehandelt.

3.2 Versuchsmischungen

Zur Messung der pc Aminosäurenverdaulichkeit wurde eine Grundmischung auf der Basis von Maisstärke, Sojaextraktionsschrot und Weizenkleber erstellt. Im Austausch gegen die Maisstärke wurden die nach den oben beschriebenen Verfahren behandelten und vermahlenden Körnerleguminosen in Anteilen von 10 und 20 % zugelegt. Die Mischungen enthielten TiO₂ als unverdaulichen Marker und wurden pelletiert (3 mm Matrize). Angaben zur Anzahl an Abteilen bzw. Wiederholungen pro Versuchsmischung sowie zur Tieranzahl pro Abteil sind den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen. Die Tieranzahl pro Abteil konnte in Abhängigkeit vom Geschlecht bzw. mit zunehmendem Alter in den Versuchen E bzw. F reduziert werden, da pro Tier mehr Dünndarminhalt für die Analytik gewonnen werden konnte.

3.3 Versuchstiere, Probenahme und Aufbereitung

Für alle Versuche wurden Eintagsküken der Herkunft Isa 757 verwendet, die bis zur Umstellung auf die Versuchsmischungen (Versuch A bis E: ab 4. Woche; Versuch F: ab 4., 7. und 10. Woche) mit einem handelsüblichen Starterfutter ökologischer Herkunft aufgezogen wurden. Die Verfütterung erfolgte über 4 bis 6 Tage ad libitum. Zum Versuchsende wurden alle Tiere mittels CO₂-Applikation getötet, der Bauchraum eröffnet und der Dünndarmabschnitt zwischen Meckel'schem Divertikel bis 2 cm vor der Ileo-Caecal-Klappe entnommen und gedrittelt (Kluth et al. 2005a). Lediglich der Chymus aus dem medialen und terminalen Abschnitt wurde mit destilliertem Wasser ausgespült und von allen Tieren eines Abteils gepoolt, eingefroren sowie für die Analytik gefriergetrocknet.

3.4 Analysen und statistische Auswertung

Die Gehalte an Trockenmasse und Rohnährstoffen wurden nach dem VDLUFA-Methodenbuch III analysiert (VDLUFA, 2012), die Aminosäuren und TiO₂ in Futter und Chymus nach Rodehutscord et al. (2004) bzw. nach Brandt und Allam (1987). Die Analysen der antinutritiven Inhaltsstoffe wurden durch die JenaBios GmbH durchgeführt. Die Bestimmung der Trypsininhibitoraktivität erfolgte nach Kakade et al.

(1969), die der freien Tannine nach Terrill et al. (1992) mittels Vanillinmethode. Vicin wurde mittels HPLC nach Pulkkinen et al. (2015) gemessen.

Die nasse Siebanalyse zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung aus den Futtermischungen mit grob und fein vermahlenden Körnerleguminosen erfolgte nach dem Verfahren von Sander et al. (2012).

Die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren wurde nach etablierter Methode ermittelt (Rodehutsord et al. 2004). Die Berechnung der hierfür notwendigen linearen Regression erfolgte mit dem Programm GraphPad Prism 5.0.

Die statistische Auswertung wurde mit SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC USA) durchgeführt. Die Prozeduren REG und MIXED wurden zur Schätzung der Verdaulichkeit genutzt, wobei die aufgenommene Aminosäurenmenge (24 h-Futteraufnahme) zur pc verdauten Menge in Beziehung gesetzt wurde. Der Anstieg der Regression wird dabei als Verdaulichkeit interpretiert (Rodehutsord et al. 2004).

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und antinutritiven Inhaltsstoffen

Die Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren der Körnerleguminosen, die in den Versuchen A bis C und D bis F eingesetzt wurden, sind in den Tabellen 3 und 4 aufgeführt. Die im Versuch A bis C eingesetzten Chargen war die gleichen, weshalb zusätzlich die wichtigsten antinutritiven Inhaltsstoffe bestimmt wurden, um die Wirkung der Behandlungsverfahren bewerten zu können.

Die Gehalte an Rohnährstoffen der Körnerleguminosen liegen in einem typischen Bereich. Die höchsten Gehalte an Rohprotein wiesen die Lupinen mit 329 g/kg TM (Versuch A und D) auf, gefolgt von den Ackerbohnen mit 304 g/kg TM. Die Gehalte in den Erbsen variierten deutlicher zwischen 201, über 234 bis 266 g/kg TM in den Versuchen D, F1 und 2 sowie A. Dies korrelierte im Wesentlichen mit den Gehalten an Aminosäuren.

In den geschälten Lupinen (Versuch B) wurde ein höherer Rohproteingehalt mit 408 g/kg TM bestimmt. Der Gehalt an Rohfaser in gleicher Charge war mit 25 g/kg TM deutlich niedriger als im unbehandelten Material mit 158 g/kg TM. Ähnliches war für die Erbsen festzustellen. Der Gehalt verringerte sich durch die Schälung von 62 auf 18 g/kg TM. Die Kombination aus Toasten und Schälungen in Versuch C hatte keine nennenswerte Änderung in den Gehalten zur Folge.

Die Rohnährstoffgehalte der geschälten Erbsen und Lupinen aus Versuch E1 und 2 waren im Wesentlichen mit denen aus den Chargen aus Versuch B vergleichbar.

Die Trypsininhibitoraktivität in den unbehandelten Erbsen (Versuch A) lag bei 2,1 g/kg TM. Die gleichen Konzentrationen waren im geschälten sowie getoasteten und geschälten Material nachweisbar. Die niedrigste Konzentration an freien Tanninen mit 0,11 g/kg TM konnte in den geschälten Erbsen bestimmt werden, während im unbehandelten sowie getoasteten und geschälten Material die Gehalte doppelt so hoch waren. Der höchste Gehalt an Alkaloiden mit 1,25 mg/kg TM wurde in den geschälten Lupinen analysiert. Die Ackerbohne wies einen Gehalt an Vicin mit 10,8 g/kg TM auf.

4.2 Partikelgrößenverteilung

Die in der Tabelle 5 dargestellten Partikelgrößenverteilungen der Versuchsmischungen zeigen keine wesentlichen Unterschiede trotz grober und feiner Vermahlung der Körnerleguminosen. Selbst der Einsatz eines Siebes mit größerer Lochweite von 5 mm anstatt des bisher verwendeten 3 mm-Siebes in Versuch D blieb ohne Wirkung.

Unabhängig vom Vermahlungsgrad war der höchste Anteil von 45 % für die mittlere Partikelfraktion zwischen 0,2 bis 0,8 mm zu verzeichnen. Es folgten Anteile mit 36 und 19 % für die Fraktionen < 0,2 sowie > 1,0 mm.

4.3 Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme

Da nur die wichtigsten Projektergebnisse Teil des Berichtes sein sollen, werden für diese Parameter im Folgenden lediglich die Bereiche aufgeführt. Weitere Informationen können den entsprechenden Zwischenberichten entnommen werden.

Das Leistungsniveau der Tiere in den Versuchen A bis C variierte zu Beginn des jeweiligen Versuches zwischen 653 bis 892 g pro Tier (Tabelle 6). Zu Versuchsende wurden Lebendmassen zwischen 919 und 1313 g pro Tier erfasst. Die höchste und niedrigste mittlere Futteraufnahme wurde bei der Verfütterung der unbehandelten Erbsen und Lupinen (114 g/d) bzw. der geschälten Erbsen und Lupinen (72 g/d) gemessen. Ebenso wurden die Mischungen mit den unbehandelten Erbsen und Lupinen am letzten Tag in einem Bereich von 101 bis 119 g am besten aufgenommen. Ähnliches war für die Mischungen mit den Ackerbohnen zu verzeichnen (108 bis 112 g/d).

Die Lebendmassen und Futteraufnahmen aus dem Versuch D waren auf einem ähnlichen Niveau wie in den Versuchen A bis C (Tabelle 7). Demgegenüber waren zwischen den Geschlechtern in den Versuchen E1 und E2 zur Prüfung der geschälten Erbsen und Lupinen deutlichere Unterschiede festzustellen. Die Hähne waren erwartungsgemäß schwerer als die Hennen. Ebenso war das Niveau in der Futteraufnahme bei den Hähnen höher als bei den Hennen.

Abweichend von der bisherigen zusammenfassenden Ergebnisdarstellung werden für die Hähne, die zur Prüfung des Alterseffektes im Versuch F1 aufgestellt wurden, die detaillierten Ergebnisse wie sie bisher in den Zwischenberichten für die jeweiligen Versuche üblicherweise mitgeteilt wurden, dargestellt. Somit werden die ersten Ergebnisse für die Altersstufen 5. und 8. Woche aus dem letzten Zwischenbericht von April 2022 um die fehlenden aus der 11. Woche ergänzt (Tabelle 8). Um allerdings den versuchsübergreifenden Vergleich zu ermöglichen, erfolgt anschließend eine vereinfachte zusammenfassende Darstellung in Tabelle 9. Auf eine nochmalige Kommentierung der Daten wird dann jedoch verzichtet. In gleicher Form werden die Ergebnisse aus dem Hennenversuch (Versuch F2) dargestellt.

Die Hähne wogen zu Beginn des Versuches in der 5. Woche im Mittel 772 g (Tabelle 8). Diese erhöhte sich in der 8. bzw. 11. Woche auf 2122 bzw. 3649 g. Nach Beendigung der Versuchsfütterung wurden mittlere Lebendmassen von 1064, 2560 und 4047 g (5., 8., 11. Woche) gemessen. Die mittlere Futteraufnahme variierte in einem Bereich von 96 g in der 5. Woche bis 198 g in der 11. Woche. Am letzten Tag wurden für gleiche Altersstufen 96 und 221 g pro Tier erfasst. Innerhalb der Wochen waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parametern festzustellen, erwartungsgemäß jedoch zwischen den Altersstufen.

Für die Hennen wurden mittlere Lebendmassen zu Versuchsbeginn von 664, 1708 sowie 2844 g pro Tier ermittelt (5., 8. und 11. Woche, Tabelle 10). Zu Versuchsende wurden Lebendmassen von 824, 1974 und 3067 g erfasst. Sowohl zwischen als auch innerhalb der Altersstufe waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen mit Ausnahme der Lebendmassen zu Versuchsende in der 5. Woche. In diesem Fall realisierten die Tiere mit 20 % Erbsen in der Mischung die signifikant höchste mittlere Lebendmasse mit 854 g. Die mittlere tägliche Futtermittelaufnahme schwankte zwischen 65 und 165 g in der 5. und 11. Woche. Am letzten Tag nahmen die Tiere gleicher Altersstufe im Mittel zwischen 70 und 160 g auf. Dabei ergaben sich vor allem zwischen der 8. und 11. Woche z.T. signifikante Unterschiede. Tabelle 11 enthält eine nochmalige zusammenfassende Ergebnisdarstellung wie Tabelle 9 für die Hähne.

4.4 Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren

4.4.1 Versuch A: Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen, unbehandelt

Versuch B: Erbsen und Lupinen, geschält

Versuch C: Erbsen und Lupinen, getoastet und geschält in

Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad

In der Tabelle 12 sind ausschließlich die Angaben zur pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den Versuchen A bis C dargestellt. Aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit wird auf eine ausführliche Darstellung aller Schätzparameter der linearen Regressionen verzichtet, die für die Ableitung der Verdaulichkeit berechnet wurden. Entsprechende Kennwerte zur Schätzgenauigkeit wie R^2 und $s_{y,x}$ können den Zwischenberichten entnommen werden.

Die mittlere Verdaulichkeit der essentiellen Aminosäuren über beide Vermahlungsgrade variierte zwischen 81, 84 und 90 % für die unbehandelten Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen. Die Schälung von Erbsen und Lupinen hatte einen Anstieg in der Verdaulichkeit zur Folge, welcher bei den Erbsen deutlicher ausgeprägt war. So erhöhte sich diese von 81 % um 14 Prozentpunkte auf 95 %. Diese Erhöhung betrug bei den Lupinen lediglich 6 Prozentpunkte. Die Schälung der getoasteten Erbsen und Lupinen führte zu mittleren Werten von 87 und 89 % und blieb somit bei den Lupinen annähernd gleich. Demgegenüber nahm die Verdaulichkeit der Erbsen um 8 Prozentpunkte ab. Unabhängig von der Behandlung waren Arginin und Methionin die Aminosäuren mit der höchsten pc Verdaulichkeit. Die niedrigste Verdaulichkeit wurde für Tryptophan ermittelt. Der Vermahlungsgrad hatte keinen signifikanten Effekt auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den unbehandelten, geschälten sowie getoasteten und geschälten Körnerleguminosen. Lediglich Cystin ($p = 0,030$) und Tryptophan ($p = 0,028$) wurden aus den geschälten Lupinen bei feiner Vermahlung im Vergleich zu geschälten Erbsen bei gleicher Vermahlung signifikant niedriger verdaut.

4.4.2 Versuch D: Erbsen und Lupinen, unbehandelt, plus Zusatz von ganzem Weizen in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad

Versuch E: Erbsen und Lupinen, geschält, in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren der Erbsen und Lupinen aus Versuch D war höher als in Versuch A (Tabelle 13). Es wurden mittlere Werte für die Erbsen bei grober und feiner Vermahlung von 91 und 85 % ermittelt. Für die Lupinen konnten Werte mit jeweils

88 % für beide Vermahlungsgrade gemessen werden. Allerdings hatte weder der Vermahlungsgrad noch der Zusatz des ganzen Weizens eine signifikante Wirkung auf die Verdaulichkeit der Aminosäuren.

Für die in Versuch E1 geprüften geschälten Erbsen in Abhängigkeit vom Geschlecht konnte wiederum eine relativ hohe Verdaulichkeit ermittelt werden (Tabelle 13). Diese lag bei den Hähnen bei 91 %, bei den Hennen bei 95 %. Für die geschälten Lupinen in Versuch E2 wurden im Vergleich hierzu geringfügig niedrigere Werte gemessen. Für die Hähne wurde ein mittleres Niveau von 88 % bestimmt. Dagegen verdauten die Hennen die Aminosäuren mit 91 % wiederum besser als die Hähne. Allerdings waren diese Unterschiede nicht signifikant.

4.4.3 Versuch F: Erbsen, unbehandelt, in Abhängigkeit vom Alter

Die Ergebnisse aus diesem Versuch werden ebenso ausführlich mit allen Schätzparametern für die berechneten linearen Regressionen dargestellt, da diese bisher noch nicht mitgeteilt werden konnten (siehe auch 4.3 Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme).

Die Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den Erbsen bei den Hähnen war relativ hoch (Tabelle 14). Die mittlere Verdaulichkeit der essentiellen Aminosäuren lag in der 5. Woche bei 94 %, verringerte sich aber in der 8. und 11. Woche auf jeweils 91 %.

Mit Ausnahme des Cystins zwischen 5. und 8. Woche ($p = 0,013$) und des Phenylalanins zwischen 5. und 11. Woche ($p = 0,038$) waren zwischen den Altersstufen keine weiteren signifikanten Unterschiede festzustellen.

Wie bei den Hähnen war die Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den Erbsen bei den Hennen ebenfalls relativ hoch, zeigte allerdings einen tendenziellen Anstieg (Tabelle 15). So wurden Werte von 90, 92 und 96 % für die Wochen 5, 8 und 11 gemessen allerdings ohne signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Aminosäuren und Wochen. Lediglich für Methionin wurde in der 11. Woche gegenüber der 5. Woche die signifikant ($p = 0,026$) höchste Verdaulichkeit mit 100 % ermittelt.

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1 Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und antinutritiven Inhaltsstoffen

Die analysierten Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren waren mit den Angaben aus aktuellen Tabellenwerken bzw. neueren Studien im Wesentlichen vergleichbar (DLG, 2014; Evonik Industries, 2016; Abdulla et al. 2021; Siebert et al. 2021).

Während die Schälung insbesondere bei den Lupinen erwartungsgemäß zu einem Anstieg des Rohprotein- und Aminosäuregehalts sowie einer Abnahme des Rohfasergehalts führte (Tabelle 3; Brenes et al. 1993), war diese Wirkung bei den Erbsen lediglich bei der Rohfaser zu verzeichnen. Dagegen wurde der Gehalt an Rohprotein durch das Schälen verringert.

Die Gehalte an Trypsininhibitoren in den Erbsen lagen mit 2,0 g/kg TM auf einem niedrigen Niveau. Höhere Aktivitäten von ca. 4,0 g inhibiertes Trypsin/kg TM wurden von Bachmann et al. (2019) in einer Untersuchung zur Wirkung von Silierung und Toastung auf die Antinutritiva in Erbsen und Ackerbohnen ermittelt. In dieser Studie führte ein zusätzliches Toasten zu einer signifikanten Verringerung, was die eigenen Ergebnisse zu den eher

hitzelablen Trypsininhibitoren aus dem getoasteten und geschälten Material aus Versuch C jedoch nicht widerspiegeln.

Dagegen gelten Tannine eher als hitzestabil, was aus Untersuchungen mit Ackerbohnen bekannt ist (Khamassi et al. 2013), weshalb eine Toastung in Kombination mit einer Schälung ohne Wirkung blieb.

Für die Alkaloide Lupanin und 13-Hydroxylupanin wurden relativ hohe und über den Grenzwert hinausgehende Konzentrationen von mehr als 0,05 % in der TM gemessen. Die Schälung führte zu einem Anstieg, was durch das anteilige Entfernen von Frucht- und Samenschale erklärbar ist, da Alkaloide hauptsächlich im Inneren des Kornes lokalisiert sind.

Für die Ackerbohnen wurde mit 10,8 g/kg TM eine höhere Vicinkonzentration als in der untersuchten Charge von Bachmann et al. (2019) mit nur 7 g/kg TM ermittelt.

Nach wie vor können die Konzentrationen dieser Gruppe an Antinutritiva deutlich variieren. So wurden in der Studie von Siegert et al. (2021) insgesamt 17, sowohl vicin-reiche als auch vicin-arme, Sorten geprüft. Die Gehalte schwankten zwischen 0,3 bis 9,3 g/kg TM. Allerdings wurden Vicin und Convicin zusammengefasst.

5.2 Partikelgrößenverteilung

Die Ergebnisse zur Nasssiebung der pelletierten Futtermischungen zeigen trotz unterschiedlicher Vermahlungsintensität bei Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen keine wesentlichen Unterschiede (Tabelle 5). Vermutlich bedingt der Pelletierprozess eine als „Sekundärvermahlung“ bekannte weitere Zerkleinerung der Partikel und führt somit zu einer dem eigentlichen Vermahlen nachgelagerten Angleichung zwischen Fraktionen unterschiedlicher Größe (Amerah et al. 2007; Rougiere et al. 2009).

Dies bestätigen auch eigene weiterführende Untersuchungen. So wurden die Mischungen mit den unbehandelten Erbsen (grob: 5 mm-Sieb anstatt 3 mm-Sieb) aus dem Versuch D zusätzlich in mehlförmiger Form vor dem Pelletieren untersucht. Es ergaben sich für die Partikelfraktionen > 1,0, 0,8 - 0,2 und < 0,2 mm aus den mehlförmigen und pelletierten Mischungen Anteile von 46, 23 und 27 sowie 39, 27 und 38 % (Kluth et al. 2021).

5.3 Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme

Das in den Versuchen realisierte Leistungsniveau der eingesetzten Broilerherkunft Isa ist mit dem aus anderen Studien vergleichbar (Bellof et al. 2005; Schmidt und Bellof, 2008). Erwartungsgemäß werden Hähne im Vergleich zu Hennen schwerer, was auf den Geschlechtsdimorphismus zurückzuführen ist, der auch bei alternativen Herkünften ausgeprägt ist (Carrasco et al. 2014).

Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass in den hier vorliegenden Untersuchungen die Messungen zur pc Verdaulichkeit von Aminosäuren und folglich Fragen zur Futtermittelbewertung im Mittelpunkt standen und weniger eine Bewertung der tierischen Leistung.

5.4 Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren
5.4.1 Versuch A: Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen, unbehandelt
Versuch B: Erbsen und Lupinen, geschält
Versuch C: Erbsen und Lupinen, getoastet und geschält
in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad

Die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus den unbehandelten Leguminosen liegt in einem Bereich wie sie aus anderen Studien bekannt ist.

Für Erbsen liegen vergleichbare Ergebnisse von Kluth et al. (2005b) vor, wobei für die Sorten Avia, Laser und Madonna mittlere Verdaulichkeiten von 82 bis 83 % ermittelt wurden. Von Witten et al. (2018) wird ein mittlerer Wert von 85 % für die Sorte Alvesta mitgeteilt.

Betrachtet man versuchsübergreifend die 3 geprüften Chargen unbehandelter Erbsen, variiert die mittlere Verdaulichkeit der Aminosäuren einem Bereich von 81 % (Versuch A, Tabelle 12), über 88 % (Versuch D, Tabelle 13) bis 92 % (Mittelwert aus Versuchen F1 und 2 mit Hähnen und Hennen, Tabelle 14 und 15), wobei letzterer Wert allerdings relativ hoch ist.

Für Lupinen weisen die Futterwerttabellen von Bryden et al. (2009) niedrigere Verdaulichkeiten von 80 bis 82 % aus. Dagegen waren die Aminosäuren aus den geprüften Ackerbohnen mit 90 % relativ hoch verdaulich. Ein mittleres Niveau von 85 % ermittelten Nalle et al. (2010) für 4 Sorten, was vergleichbar ist mit den Angaben von Abdulla et al. (2021) mit durchschnittlich 82 % (ohne Tryptophan). Geringere Werte mit nur 73 % wurden von Woyengo und Nyachoti (2012) gemessen. Allerdings wird von gleichen Autoren in diesem Zusammenhang auf die Bedeutung der Tannine hingewiesen, die maßgeblich die Verdaulichkeit beeinflussen können.

Ein Vergleich der eigenen Angaben zur pc Verdaulichkeit der Aminosäuren der geschälten sowie der getoasteten und geschälten Erbsen und Lupinen mit Angaben aus der Literatur ist schwierig. Zwar liegen Studien zum Einsatz von geschälten oder thermisch behandelten Körnerleguminosen beim Broiler vor (Arija et al. 2006). Allerdings waren sie Teil von Rationen und wurden nicht als Einzelkomponente hinsichtlich ihrer pc Aminosäurenverdaulichkeit geprüft.

Aus neueren Studien mit Ackerbohnen bei Legehennen ist jedoch bekannt, dass eine Schälung die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren erhöht, was gleichzeitig mit einer Erhöhung des Gehaltes an ME verbunden war (Siegert et al. 2021). Auch konnte in Untersuchungen mit Schweinen nachgewiesen werden, dass ein Schälen von Ackerbohnen ebenfalls zu einem Anstieg in der Verdaulichkeit der Aminosäuren führt (Mariscal-Landin et al. 2002). Aus gleicher Studie liegen auch Ergebnisse zur Wirkung einer separaten Wärmebehandlung vor allerdings von unbehandeltem Ausgangsmaterial. Demnach führte ein Extrudieren von Erbsen im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen zu einer Erhöhung in der pc Verdaulichkeit.

Allerdings müssen bei einem Vergleich von Ergebnissen aus derartigen Studien die Unterschiede bzw. die technischen Details der jeweiligen thermischen Behandlungsverfahren (Toasten vs. Extrudieren) berücksichtigt werden.

5.4.2 Versuch D: Erbsen und Lupinen, unbehandelt, plus Zusatz von ganzem Weizen in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad Versuch E: Erbsen und Lupinen, geschält, in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die mittlere pc Verdaulichkeit der Aminosäuren der Erbsen und Lupinen aus dem Versuch D lag über den Werten der in Versuch A geprüften Chargen.

Allerdings blieb der eingesetzte ganze Weizen ohne Wirkung auf die pc Verdaulichkeit. Laut Projektziel sollten mögliche Effekte des ganzen Weizens in Abhängigkeit vom Vermahlungsgrad der Leguminosen auf die Verdaulichkeit der Aminosäuren untersucht werden, was jedoch nicht realisiert werden konnte, da durch das Pelletieren die Partikelfractionen angeglichen wurden (siehe Abschnitt 5.2, Tabelle 5).

Auf eine weitere Diskussion soll deshalb verzichtet werden. Die Gründe für den Einsatz des ganzen Weizens sind unter Punkt 2 dargelegt.

Effekte des Geschlechtes auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren wie sie auch im Versuch E untersucht wurden, werden in der Literatur nach wie vor unterschiedlich diskutiert.

Wie bereits erwähnt, wiesen Ten Doeschate et al. (1993) auf Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei Broilern hin. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Messungen auf der Basis von Exkrementensammlungen durchgeführt wurden, was einen umfänglichen Vergleich mit Daten, die auf pc Basis bestimmt wurden, einschränkt.

Neuere Studien von Kim and Corzo (2012) weisen gleichfalls auf Wechselwirkungen zwischen Alter, Geschlecht, genetischer Herkunft und der pc Verdaulichkeit hin. Allerdings waren diese Wirkungen für die geprüften Futtermittel Sojaextraktionsschrot und Tiermehl nicht einheitlich.

Dagegen zeigen die eigenen Ergebnisse eine tendenziell höhere pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus geschälten Erbsen und Lupinen bei den Hennen im Vergleich zu den Hähnen (Tabelle 13), wobei das Niveau unabhängig vom Geschlecht ein vergleichbares war wie es für die geschälten Chargen in Versuch B (Tabelle 12) ermittelt wurde.

5.4.3 Versuch F: Erbsen, unbehandelt, in Abhängigkeit vom Alter

Der Einfluss des Alters auf die pc Verdaulichkeit wird in der Literatur unterschiedlich diskutiert, jedoch scheint sich eine Erhöhung mit zunehmendem Alter abzuzeichnen.

Zu diesem Fazit gelangen auch Huang et al. (2005), obwohl die Ergebnisse ihrer Untersuchungen in Abhängigkeit von Futtermittel und Alter (14., 28., 42. Tag) nicht immer gleichgerichtet waren. Von einer ähnlich ansteigenden Verdaulichkeit bei Broilern und Puten berichten Adedokun et al. (2008). In diesem Fall wurden die gleichen Futtermittel Mais, Raps- und Sojaextraktionsschrot wie in der Untersuchung von Huang et al. (2005) geprüft, wobei die Tiere am 21. Tag die Aminosäuren gleichfalls besser verdauten als am 5. Tag.

Frühere eigene Untersuchungen mit Broiler konventioneller Herkunft lassen ebenfalls eine ansteigende Verdaulichkeit mit zunehmendem Alter vermuten (Petzold et al. 2010), wobei Sojaextraktionsschrot nur in einem Alter von 14, 21 und 28 Tagen geprüft wurde. Die Ergebnisse aus vorliegender Untersuchung mit den unbehandelten Erbsen scheinen dies zu bestätigen, allerdings eher für die Hennen als für die Hähne (Tabelle 14 und 15). Hierbei ist jedoch das deutlich höhere Alter der Tiere mit 5, 8 und 11 Wochen zu berücksichtigen.

Vergleichbare systematische Studien mit derart alten Broilern konnten bisher nicht nachgewiesen werden.

Für das Methionin aus den Erbsen wurde bei den Hennen in der 11. Woche die höchste Verdaulichkeit von 100 % gemessen. Aus Sicht einer Futtermittelbewertung erscheint dies für futterproteingebundene Aminosäuren wenig wahrscheinlich, allerdings wurde in früheren Untersuchungen von Kluth et al. (2007) ein ähnliches und sehr hohes Niveau für die Aminosäuren aus Weizenkleber gemessen.

6. Aussagen zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der voraussichtliche Nutzen besteht darin, dass die Daten zur pc Aminosäuren-verdaulichkeit unmittelbar dem Praktiker, Berater oder Mischfutterunternehmen zur Verfügung stehen, um Futtermischungen für den Broiler zu optimieren. Hierfür können folgende Empfehlungen gegeben werden.

Die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus unbehandelten Körnerleguminosen liegt auf hohem Niveau. Dabei sollte jedoch die Variabilität bei diesem Futterwertkriterium beachtet werden. Ein Schälen führt insbesondere bei Erbsen weniger aber bei Lupinen zu einer deutlichen Verbesserung in der pc Verdaulichkeit. Dagegen führt ein Toasten und anschließendes Schälen zu keiner weiteren Verbesserung. Antinutritiva wie Tannine sind durch Schälen reduzierbar. Dagegen erhöht sich die Konzentration an Alkaloiden in geschälten Lupinen. Effekte des Toastens auf die Trypsininhibitoren waren nicht festzustellen, allerdings war der Gehalt im unbehandelten Material bereits relativ niedrig. Effekte des Alters (ab 5. Woche) und des Geschlechtes wurden nicht nachgewiesen.

Diese neuen Informationen könnten die Attraktivität des Einsatzes einheimischer Körnerleguminosen verbessern, was möglicherweise den Import von Sojaprodukten reduziert würde. Darüber hinaus wäre ein verstärkter Körnerleguminosenanbau durch regionale Landwirtschaftsbetriebe, sowohl ökologisch als auch konventionell wirtschaftende, denkbar, was mit einem wirtschaftlichen Nutzen verbunden sein kann.

Alle Ergebnisse zur pc Verdaulichkeit der Aminosäuren können bereits bestehende Futterwerttabellen ergänzen und ermöglichen somit eine sinnvolle Verknüpfung mit Daten vergangener ähnlich gelagerter Projekte („Untersuchungen zur Aminosäuren-verdaulichkeit bei Geflügel unterschiedlicher Herkunft und Nutzungsrichtung“, 03OE386; „Bestimmung praececaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energiefuttermittel für die Hühnermast“, 11OE070).

Da es aus technischen Gründen nicht möglich war, unterschiedliche Vermahlungsgrade bzw. Partikelgrößen für die Körnerleguminosen herzustellen bzw. in der pelletierten Mischung noch zu gewährleisten, wäre hier die Schnittstelle für weitere wissenschaftliche Untersuchungen. Empfehlungen zur „Strukturversorgung“ werden verstärkt auch beim Geflügel diskutiert, ähnlich wie sie beim Schwein mittlerweile etabliert sind, um gleichfalls in der Rationsoptimierung Berücksichtigung zu finden.

Dies berührt aber nicht nur Fragen einer positiven Beeinflussung der Nährstoff-verdaulichkeit und damit einer verbesserten Nutzung des Futterwertes durch das Tier, sondern ebenfalls Aspekte der Tiergesundheit und damit des Tierwohls.

In diesem Zusammenhang ergeben sich weitere Anknüpfungspunkte auch mit einem möglichen wirtschaftlichen Nutzen im Hinblick auf eine Optimierung von technologischen Prozessen mit dem Ziel in der pelletierten Mischung eine unterschiedliche Partikelgrößenverteilung zu erhalten.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die Untersuchungen zum Projekt wurden bis Versuch D gemäß der ursprünglichen Planung durchgeführt. Da es jedoch nicht möglich war, die entsprechenden Vermahlungsgrade für die Körnerleguminosen herzustellen, wurden für die noch ausstehenden Versuche die Fragestellungen nach den Wirkungen von Geschlecht (Versuch E) und Alter (Versuch F) auf die Verdaulichkeit neu formuliert bzw. modifiziert (siehe Punkt 1.3). Diese neu geplanten Versuche wurden vollständig umgesetzt.

8. Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, die praecaecale (pc) Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen unter Berücksichtigung von technologischen Bearbeitungs- bzw. Behandlungsverfahren wie Vermahlen, Schälen und Toasten zu untersuchen. Hierfür wurden Messungen beim Broiler durchgeführt. Darüber hinaus wurden Effekte der Rationszusammensetzung (Einsatz von ganzem Weizen) sowie des Tialters und Geschlechtes geprüft.

Die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus unbehandelten Körnerleguminosen liegt auf hohem Niveau und schwankt einem Bereich von 81, über 84 bis 90 % für Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen. Ein Schälen führt insbesondere bei Erbsen weniger bei Lupinen zu einer deutlichen Verbesserung in der pc Verdaulichkeit der Aminosäuren, wobei für die nach diesem Verfahren behandelten Erbsen und Lupinen Werte von 95 und 90 % gemessen wurden. Eine Kombination von Toasten und anschließendem Schälen zeigte dagegen keine weitere Verbesserung. Antinutritiva sind mit den angewandten Verfahren teilweise reduzierbar.

Ein Effekt des Vermahlungsgrades bzw. der Partikelgröße durch die grob und fein vermahlene Erbsen und Lupinen konnte nicht nachgewiesen werden, da das Pelletieren zu einer Angleichung zwischen den Partikelfractionen („Sekundärvermahlung“) führte.

Der Zusatz von ganzem Weizen hatte keine Wirkung auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus unbehandelten Erbsen und Lupinen.

Hennen und Hähne verdauten die Aminosäuren aus geschälten Erbsen und Lupinen auf ähnlich hohem Niveau wie in vorheriger Studie. Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss. Darüber hinaus blieb auch das Tialter, geprüft in der 5., 8. und 11. Woche, ohne signifikante Wirkung auf die pc Verdaulichkeit der Aminosäuren aus unbehandelten Erbsen. Allerdings war das Niveau für diese Charge mit über 90 % relativ hoch.

9. Literaturverzeichnis

- Abdulla, J.M., S.P. Rose, A.M. Mackenzie and V.R. Pirgozliev (2021): Variability of amino acid digestibility in different field bean cultivars for broilers. *Br. Poult. Sci.* 62, 596-600
- Adedokun, S.A., O. Adeola, C.M. Parsons, M.S. Lilburn and T.J. Applegate (2008): Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poults using a nitrogen-free or casein diet. *Poult. Sci.* 87, 2535-2548
- Amerah, A.M., V. Ravindran, R.G. Lentle, D.G. Thomas (2008): Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development and digesta parameters of broiler starters fed wheat- and corn-based diets. *Poult. Sci.* 87, 2320-2328

- Amerah, A.M., V. Ravindran, R.G. Lentle and D.G. Thomas (2007): Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. *Poult. Sci.* 86, 2615-2623
- Arija, I., C. Centeno, A. Viveros, A. Brenes, F. Marzo, J.C. Illera and G. Silvan (2006): Nutritional evaluation of raw and extruded kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. *pinto*) in chicken diets. *Poult. Sci.* 85, 635-644
- Bachmann, M., C. Kuhnitzsch, S.D. Martens, O. Steinhöfel und A. Zeyner (2019): Einfluss des Silierens und Toastens auf antinutritive Inhaltsstoffe von Erbsen und Ackerbohnen. In: Zeyner, A. und H. Kluth (Hrsg.) 15. Tagung Schweine- und Geflügelernährung 19.-21. November 2019, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, 146-148
- Bellof, G., E. Schmidt und M. Ristic (2005): Einfluss abgestufter Aminosäuren-Energie-Verhältnisse im Futter auf die Mastleistung und den Schlachtkörperwert einer langsam wachsenden Herkunft in der ökologischen Broilermast. *Arch. Geflügelkde* 69, 252-260
- Brandt, M. und S.M. Allam (1987): Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluß. *Arch. Anim. Nutr.* 37, 453-454
- Brenes, A., R.R. Marquardt, W. Guenter and A.A. Rotter (1993): Effect of enzyme supplementation on the nutritional value of raw, autoclaved, and dehulled lupins (*Lupinus albus*) in chicken diets. *Poult. Sci.* 72, 2281-2293
- Bryden, W.L., X. Li, G. Ravindran, L. Hew and V. Ravindran (2009): Ileal digestible amino acid values in feedstuffs for poultry. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC publication No 09/071
- Carasco, S., G. Bellof and E. Schmidt (2014): Nutrient deposition and energy utilization in slow-growing broilers fed with organic diets containing graded nutrient concentration. *Livestock Sci.* 161, 114-122
- Carre, B. (2000): Effects de la taille des particules alimentaires sur les processus digestifs chez les oiseaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 13, 131-136
- Castell, A.G., W. Guenter, F.A. Igbasan (1996): Nutritive value of peas for nonruminant diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60, 209-227
- Dahouda, M., S.S. Toléba, A.K.I. Youssao, A. Hambuckers, R. Dangou-Sapoho, G.B. Martin, M. Fillet, J.-L. Hornick (2009): Nutrient digestibility of *Mucuna* (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) bean in guinea fowl (*Numida meleagris*, L): Effects of heat treatment and levels of incorporation in diets. *Br. Poult. Sci.* 50, 564-572
- DLG (Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft; 2014): DLG-Futterwerttabellen - Schweine. 7. erweiterte Auflage, DLG e.V. Frankfurt am Main
- Ebert, U. (2016): Buntblühende Wintererbsen in der Schweinefütterung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. www.bundesprogramm.de/index.php?id=917&fkz=11NA036&pos=764, Zugriff 18.01.2016
- Emiola, I.A., A.D. Ologhobo, R.M. Gous (2007): Performance and histological responses of internal organs of broiler chickens fed raw, dehulled, and aqueous and dry-heated kidney bean meals. *Poult. Sci.* 86, 1234-1240
- Evonik Industries (2016): AminoDat® 5.0, Evonik Nutrition & Care GmbH, Essen
- Ganzer, C., H. Kluth and M. Rodehutschord (2007): Effect of particle size on precaecal digestibility of amino acids from maize and soybean meal in broilers. *Proc. 16th Eur. Symp. Poult. Nutr.*, August 26-30, 2007, Strasbourg, France, on CD 459-462
- Gefrom, A., C. Balko und A. Zeyner (2014): Silierung von feuchtem Körnerschrot von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen als Verfahren der Konservierung und zur Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe. Proteinmarkt.de
- Gefrom, A., E.M. Ott, S. Hoedtke und A. Zeyner (2013a): Effect of ensiling moist field bean (*Vicia faba*), pea (*Pisum sativum*) and lupine (*Lupinus* spp.) grains on the content of alkaloids, oligosaccharides and tannins. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97, 1152-1160
- Gefrom, A., E.M. Ott, S. Hoedtke und A. Zeyner (2013b): Silierung rückbefeuchteter Leguminosenkörner und der Einfluss der Silierung auf den Gehalt an Alkaloiden, Oligosacchariden, Phytat-Phosphor und Tanninen. *Züchtungskde* 85, 154-168

- González, L.A., S. Hoedtke, K. Büsing, A. Castro and A. Zeyner (2012a): Effects of ensiling soaked cowpea (*Vigna unguiculata*) grains mixed with sorghum (*Sorghum bicolor*) grains on fermentation quality, selected anti-nutritional factors and precaecal digestibility of amino acids in pigs. Proc. XIth Int. Silage Conf., July 2-4, 2012, Hämeenlinna, Finland, pp. 524-525
- González, L.A., S. Hoedtke, A. Castro and A. Zeyner (2012b): Assessment of in vitro ensilability of jack bean (*Canavalia ensiformis*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) grains, sole or mixed with sorghum (*Sorghum bicolor*) grains (Evaluación de la ensilabilidad in vitro de granos de canavalia (*Canavalia ensiformis*) y vigna (*Vigna unguiculata*), solos o mezclados con granos de sorgo (*Sorghum bicolor*)). Cuban J. Agric. Sci. (revista Cubana de Ciencia Agrícola) 46, 55-62
- Huang, K.H., V. Ravindran, X. Li and W.L. Bryden (2005): Influence of age on apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients for broiler chickens. Br. Poult. Sci. 46, 236-245
- Kakade M.L., N. Simons and I.E. Liener (1969): An evaluation of natural vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. Cereal Chem. 46, 518-526
- Kamphues, J. (2007): Die "Struktur" im Mischfutter für Schweine: Charakterisierung und Bedeutung. In: Kamphues, J. und P. Wolf: Tierernährung für Tierärzte. Im Fokus: Die Fütterung von Schweinen. Institut für Tierernährung, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, 13. April 2007, 37-45
- Kempkens, K. (2016): Untersuchungen zum Einsatz eines hydrothermisch behandelten Gemisches aus einheimischen Körnerleguminosen in der ökologischen Ferkelaufzucht. www.bundesprogramm.de/index.php?id=917&fkz=11NA034&pos=800, Zugriff 21.01.2016
- Khamassi, K., F. Ben Jeddi, D. Hobbs, J. Irigoyen, F. Stoddard, D.M. O'Sullivan and H. Jones (2013): A baseline study of vicine-convicine levels in faba bean (*Vicia faba L.*) germplasm. Plant Gen. Res. 11, 250-257
- Kim, E.J. and A. Corzo (2012): Interactive effects of age, sex, and strain on apparent ileal amino acid digestibility of soybean meal and an animal by-product blend in broilers. Poultry Science 91, 908-917
- Kluth, H., M. Bachmann, U. Abraham und A. Zeyner (2021): Praecaecale Aminosäurenverdaulichkeit von Erbsen und Lupinen beim Broiler unter Beachtung von Schälern, Toasten und Vermahlen. 132. VDLUFA-Kongress, 14.-16. September 2021, Speyer, Tagungsband 313-321
- Kluth, H., C. Ganzer und M. Rodehutschord (2007): Zur praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren aus Proteinträgern ökologischer Herkunft beim Broiler. 119. VDLUFA-Kongress, 18.-21. September 2007, Göttingen, VDLUFA-Schriftenreihe 63, 645-651
- Kluth, H., K. Mehlhorn and M. Rodehutschord (2005a): Studies on the intestine section to be sampled in broiler studies on precaecal amino acid digestibility. Arch. Anim. Nutr. 59, 271-279
- Kluth, H., Mantei, M., Elwert, C. and Rodehutschord, M. (2005b): Variation in precaecal amino acid and energy digestibility between pea (*Pisum sativum*) cultivars determined using a linear regression approach. Br. Poult. Sci. 46, 325-332
- Laudadio V. and V. Tufarelli (2010): Growth performance and carcass and meat quality of broiler chickens fed diets containing micronized-dehulled peas (*Pisum sativum* cv. Spirale) as a substitute of soybean meal. Poult. Sci. 89, 1537-1543
- Mariscal-Landín, G., Y. Lebreton and B. Sève (2002): Apparent and standardised true ileal digestibility of protein and amino acids from faba bean, lupin and pea, provided as whole seeds, dehulled or extruded in pig diets. Anim. Feed Sci. Technol. 97, 183-198
- Nalle, C.L., V. Ravindran and G. Ravindran (2010): Nutritional value of faba beans (*Vicia faba L.*) for broilers: Apparent metabolisable energy, ileal amino acid digestibility and production performance. Anim. Feed Sci. Technol. 156, 104-111
- Olkowski, A.A., B.I. Olkowski, R. Amarowicz, H.L. Classen (2001): Adverse effects of dietary lupine in broiler chickens. Poult. Sci. 80, 621-625
- Olver, M.D. and A. Jonker (1997): Effect of sweet, bitter and soaked micronised bitter lupins on broiler performance. Brit. Poult. Sci. 38, 203-208
- Petzold, M., C. Georgi and H. Kluth (2010): Effect of age on the precaecal amino acid digestibility in broilers. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 19, 23

- Pulkkinen, M., M. Gautam, A.M. Lampi, V. Ollilainen, F. Stoddard, T. Sontag-Strohm, H. Salovaara and V. Piironen (2015): Determination of vicine and convicine from faba bean with an optimized high-performance liquid chromatographic method. *Food Res. Int.* 76, 168-177
- Rehman, Z. and W.H. Shah (2005): Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chem.* 91, 327-331
- Rodehutsord, M., M. Kapocius, R. Timmler and A. Dieckmann (2004): Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 45, 85-92
- Rougiere, N., J. Gomez, S. Mignon-Grasteau and B. Carre (2009): Effects of diet particle size on digestive parameters in D+ and D- genetic chicken lines selected for divergent digestion efficiency. *Poult. Sci.* 88, 1206-1215
- Sander, S., J. Bullermann, M. Arlinghaus, M. Verspohl and J. Kamphues (2012): The influence of grinding intensity and compaction of diets on the microbial community in the gastrointestinal tract of young pigs. *J. Anim. Sci.* 90, 16-18
- Schmidt, E. und G. Bellof (2008): Rationsgestaltung und Eignung unterschiedlicher Herkünfte für die ökologische Hähnchenmast. Bundesprogramm ökologischer Landbau, Abschlussbericht 06OE151, orgprints.org/id/eprint/15871/1/15871-06OE151-fh-weihenstephan-schmidt-2008-haehnchenmast.pdf
- Siegert, W., A. Ibrahim, W. Link, G. Lux, K. Schmidtke, J. Hartung, N. Nautscher and M. Rodehutsord (2021): Amino acid digestibility and metabolisable energy of spring and winter faba beans grown on two sites and effects of dehulling in caecectomised hens. *J. Sci. Food Agric.* 102, 920-930
- Svihus, B., O. Herstad, C.W. Newman and R.K. Newman (1997): Comparison of performance and intestinal characteristics of broiler chickens fed on diets containing whole, rolled or ground barley. *Br. Poult. Sci.* 38, 524-529
- Ten Doeschate, R.A.H.M., C.W. Scheele, V.V.A.M. Schreurs and J.D. Van der Klis (1993): Digestibility studies in broiler chickens: Influence of genotype, age, sex and method of determination. *Br. Poult. Sci.* 34, 131-146
- Terrill, T.H., A.M. Rowan, G.B. Douglas and T.N. Barry (1992): Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains. *J. Sci. Food Agric.* 58, 321-329
- VDLUFA (2012): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch III, VDLUFA Verlag Darmstadt
- Williams, J., S. Mallet, M. Leconte, M. Lessire and I. Gabriel (2008): The effects of fructo-oligosaccharides or whole wheat on the performance and digestive tract of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 49, 329-339
- Wiryawan, J.K. and G. Dingle (1999): Recent research on improving the quality of grain legumes for chicken growth. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76, 185-193
- Witten, S., M.A. Grashorn and K. Aulrich (2018): Precaecal digestibility of crude protein and amino acids of a field bean (*Vicia faba* L.) and a field pea (*Pisum sativum* L.) variety for broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 243, 35-40
- Woyengo, T.A. and C.M. Nyachoti (2012): Ileal digestibility of amino acids for zero-tannin faba bean (*Vicia faba* L.) fed to broiler chicks. *Poult. Sci.* 91, 439-443
- Zeyner A., A. Gefrom, D. Hillegeist, M. Sommer and J. M. Greef (2015): Contribution to the method of sugar analysis in legume grains for ensiling - a pilot study. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol.* 1(2), 74-80

10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen

Kluth, H., M. Bachmann, U. Abraham und A. Zeyner (2022): Effect of the sex of broilers on the precaecal digestibility of amino acids from dehulled pea and lupin grains. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 31, 107

Kluth, H., M. Bachmann, U. Abraham und A. Zeyner (2021): Proteinwert von Körnerleguminosen für Öko-Broiler. Nossener Fachgespräch Leguminosen, 5. Oktober 2021, Nossen

Kluth, H., M. Bachmann, U. Abraham und A. Zeyner (2021): Praecaecale Aminosäuren-verdaulichkeit von Erbsen und Lupinen beim Broiler unter Beachtung von Schälchen, Toasten und Vermahlen. 132. VDLUFA-Kongress, 14.-16. September 2021, Speyer, Tagungsband 313-321

Kluth, H., M. Bachmann, U. Abraham, M. Wensch-Dorendorf und A. Zeyner (2019): Zur praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren aus Körnerleguminosen beim Broiler. In: Zeyner, A. und H. Kluth (Hrsg.) 15. Tagung Schweine- und Geflügelernährung 19.-21. November 2019, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, 142-145

11. Kurz gefasster Erfolgskontrollbericht

11.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Der Beitrag des Projektes zu förderpolitischen Zielen ist unter Punkt 1.2 im Schlussbericht beschrieben.

11.2 Wissenschaftliches und technisches Ergebnis des Vorhabens

Die wichtigsten wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektes sind unter Punkt 8 im Schlussbericht zusammengefasst.

11.3 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Trifft nicht zu.

11.4 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Mögliche wirtschaftliche Erfolgsaussichten sind unter Punkt 6 des Schlussberichtes genannt.

11.5 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten sind unter Punkt 6 des Schlussberichtes dargelegt.

11.6 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Sowohl die wissenschaftliche als auch die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit des Projektes ist gegeben und wird unter Punkt 6 des Schlussberichtes beschrieben.

11.7 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse werden über Publikationen, Tagungsbeiträge oder Workshops präsentiert. Weitere Möglichkeiten für einen Wissenstransfer sind u.a. die Lehrveranstaltungen der Professur.

11.8 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Das Projekt wurde unter Berücksichtigung von Anpassungen bzw. Modifikationen entsprechend der realisierten Ergebnisse abgearbeitet. Aufgrund von verschiedenen Verzögerungen wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt (siehe Punkt 1.3).

Tabelle 1: Im Projektzeitraum durchgeführte Versuche A bis C

Versuch	A		B	C
Körnerleguminose	Ackerbohnen	Erbsen und Lupinen	Erbsen und Lupinen	Erbsen und Lupinen
Behandlung	unbehandelt		geschält	getoastet und geschält
Vermahlung	grob und fein			grob und fein
Geschlecht	unsortiert			unsortiert
Alter	5. Woche			5. Woche
Abteile pro Behandlung	6			6
Tiere pro Abteil	13			7 - 10
Zeitraum	20.08. - 25.09.2018	24.04. - 30.05. 2018	14.03. - 17.04.2019	21.05. - 26.06.2019

Tabelle 2: Im Projektzeitraum durchgeführte Versuche D bis F

Versuch	D	E1	E2	F1	F2
Körnerleguminose	Erbsen und Lupinen	Erbsen	Lupinen		Erbsen
Behandlung	unbehandelt + ganzer Weizen		geschält		unbehandelt
Vermahlung	grob ¹ und fein	3 mm-Sieb	3 mm-Sieb		3 mm-Sieb
Geschlecht	unsortiert	Hähne und Hennen	Hähne und Hennen	Hähne	Hennen
Alter	5. Woche		5. Woche		5., 8. und 11. Woche
Abteile pro Behandlung	6		10		10
Tiere pro Abteil	7 - 10		4 - 8		4 - 7
Zeitraum	10.09. - 16.10.2019	23.07. - 26.08.2020	14.10. - 18.11.2020	10.06. - 24.08.2021	23.09. - 07.12.2021

¹ 5 mm- anstatt 3 mm-Sieb

Tabelle 3: Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und antinutritiven Inhaltsstoffen in den geprüften Körnerleguminosen aus den Versuchen A bis C (in g/kg Trockenmasse)

Versuch	A			B		C	
Körnerleguminose	Erbsen	Lupinen	Ackerbohnen	Erbsen	Lupinen	Erbsen	Lupinen
Behandlung	unbehandelt			geschält		getoastet und geschält	
Trockenmasse (in g/kg)	916	919	898	880	917	923	935
Rohasche	28	38	33	30	42	34	44
Rohprotein	266	329	304	223	408	226	428
Rohfett	15	57	18	16	75	17	81
Rohfaser	62	158	76	18	25	17	17
Arginin / Cystin	18,8 / 2,7	30,8 / 3,5	30,2 / 3,2	19,1 / 2,9	43,8 / 5,2	19,0 / 2,4	41,2 / 4,3
Isoleucin / Leucin	9,4 / 16,4	12,0 / 20,0	13,0 / 23,5	10,1 / 17,1	16,6 / 28,4	9,7 / 17,1	15,4 / 26,6
Lysin / Methionin	16,9 / 1,9	14,1 / 1,7	20,1 / 2,0	17,4 / 1,9	19,6 / 2,4	17,0 / 2,1	17,7 / 2,5
Phenylalanin / Threonin	10,9 / 8,7	11,4 / 10,2	13,2 / 11,2	11,3 / 8,9	16,1 / 14,5	11,3 / 8,9	15,0 / 13,6
Tryptophan / Valin	2,0 / 10,2	2,9 / 11,2	2,7 / 13,9	2,0 / 10,8	3,4 / 15,4	2,0 / 10,6	3,2 / 14,5
Trypsininhibitoraktivität ¹	2,1	-	-	2,0	-	2,0	-
freie Tannine	0,22	-	-	0,11	-	0,22	-
Lupanin / 13-Hydroxylupanin ²	-	0,89	-	-	1,25	-	1,14
Vicin	-	-	10,8	-	-	-	-

¹ in g inhibiertes Trypsin/kg Trockenmasse; ² in mg/kg TM (ohne Lupinin und Spartein, da Konzentrationen < 10 mg/kg)

Tabelle 4: Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren in den geprüften Körnerleguminosen in den Versuchen D bis F
(in g/kg Trockenmasse)

Versuch	D		E1	E2	F1 und 2
Körnerleguminose	Erbsen	Lupinen	Erbsen	Lupinen	Erbsen
Behandlung	unbehandelt + ganzer Weizen		geschält		unbehandelt
Trockenmasse (in g/kg)	882	923	890	923	890
Rohasche	29	37	27	40	22
Rohprotein	201	329	210	414	234
Rohfett	17	63	18	84	13
Rohfaser	75	161	17	28	61
Arginin / Cystin	18,2 / 2,9	30,9 / 3,8	17,6 / 2,8	42,0 / 4,6	22,7 / 3,1
Isoleucin / Leucin	9,0 / 15,3	12,0 / 20,9	8,8 / 15,1	15,7 / 26,8	10,2 / 17,6
Lysin / Methionin	16,0 / 2,2	15,2 / 2,3	15,6 / 2,1	18,6 / 2,6	18,0 / 2,3
Phenylalanin / Threonin	10,3 / 8,3	11,8 / 11,1	10,1 / 8,2	15,2 / 13,9	11,8 / 9,3
Tryptophan / Valin	2,0 / 10,0	2,6 / 11,8	1,8 / 9,6	3,3 / 14,6	2,3 / 11,1

Tabelle 5: Anteile der Partikelfraktionen in Abhängigkeit von der Größe in den Versuchen A bis D (in %)

VS ¹	A								B								C								D											
K ²	Ackerbohnen				Erbsen				Lupinen				Erbsen				Lupinen				Erbsen				Lupinen											
B ³	unbehandelt								geschält								getoastet und geschält								unbehandelt + ganzer Weizen											
VM ⁴	grob		fein		grob		fein		grob		fein		grob		fein		grob		fein		grob		fein		grob		fein		grob		fein					
Z ⁵	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
>1,0 ⁶	18	20	14	19	19	20	16	19	21	25	16	21	12	18	12	14	15	19	15	19	13	17	13	18	15	19	14	18	22	25	21	23	25	28	22	28
0,8-0,2	50	56	50	53	47	49	51	48	45	48	47	48	36	45	40	44	35	38	36	41	48	53	48	51	46	47	40	47	38	35	42	42	46	40	44	35
<0,2	32	24	35	28	31	31	33	33	34	27	37	31	51	37	48	42	50	43	50	40	39	30	39	31	40	35	45	35	40	40	37	35	29	31	33	37

¹Versuch, ²Körnerleguminose, ³Behandlung, ⁴Vermahlung, ⁵Zulage, ⁶Angaben in mm

Tabelle 6: Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen in den Versuchen A bis C (arithmetisches Mittel, \pm SE)

Versuch	A		B	C
Körnerleguminose	Ackerbohnen	Erbsen und Lupinen	Erbsen und Lupinen	Erbsen und Lupinen
Behandlung	unbehandelt		geschält	getoastet und geschält
Vermahlung	grob und fein		grob und fein	
Lebendmasse [g]				
Beginn Versuch	831 (\pm 14,7) - 854 (\pm 19,8)	851 (\pm 8,2) - 892 (\pm 17,6)	653 (\pm 15,5) - 683 (\pm 11,5)	828 (\pm 8,4) - 849 (\pm 7,5)
Ende Versuch	1154 (\pm 20,5) - 1179 (\pm 27,4)	1217 (\pm 33,4) - 1313 (\pm 25,3)	919 (\pm 19,6) - 1004 (\pm 21,4)	1152 (\pm 14,4) - 1203 (\pm 18,5)
Futteraufnahme [g/d]				
Mittel	94 (\pm 3,8) - 100 (\pm 2,9)	99 (\pm 3,4) - 114 (\pm 1,0)	72 (\pm 2,8) - 83 (\pm 1,3)	88 (\pm 1,3) - 91 (\pm 1,9)
Letzter Tag	108 (\pm 4,4) - 112 (\pm 3,2)	101 (\pm 5,2) - 119 (\pm 4,1)	87 (\pm 3,7) - 94 (\pm 3,2)	86 (\pm 3,2) - 92 (\pm 4,8)

Tabelle 7: Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen in den Versuchen D bis E (arithmetisches Mittel, \pm SE)

Versuch	D		E1		E2	
Körnerleguminose	Erbsen und Lupinen		Erbsen		Lupinen	
Behandlung	unbehandelt + ganzer Weizen			geschält		
Vermahlung	grob und fein		3 mm-Sieb		3 mm-Sieb	
Geschlecht	unsortiert		Hähne	Hennen	Hähne	Hennen
Alter	5. Woche			5. Woche		
Lebendmasse [g]						
Beginn Versuch	722 (\pm 10,0) - 772 (\pm 12,1)	562 (\pm 11,2) - 577 (\pm 8,0)	529 (\pm 8,4) - 559 (\pm 10,9)	635 (\pm 5,6) - 662 (\pm 12,2)	612 (\pm 14,8) - 616 (\pm 10,6)	
Ende Versuch	1065 (\pm 19,6) - 1120 (\pm 28,7)	813 (\pm 19,1) - 883 (\pm 12,5)	758 (\pm 10,6) - 823 (\pm 15,3)	944 (\pm 16,7) - 988 (\pm 10,0)	893 (\pm 14,0) - 923 (\pm 10,9)	
Futteraufnahme [g/d]						
Mittel	92 (\pm 0,9) - 97 (\pm 1,3)	66 (\pm 2,4) - 74 (\pm 1,5)	62 (\pm 1,9) - 65 (\pm 2,6)	83 (\pm 1,6) - 87 (\pm 1,3)	78 (\pm 1,4) - 82 (\pm 1,6)	
Letzter Tag	98 (\pm 1,8) - 108 (\pm 3,2)	80 (\pm 3,2) - 89 (\pm 2,6)	74 (\pm 2,3) - 81 (\pm 2,4)	93 (\pm 4,0) - 105 (\pm 3,4)	92 (\pm 1,8) - 93 (\pm 3,5)	

Tabelle 8: Mittlere Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme der Hähne in Abhängigkeit vom Alter (Versuch F)
(arithmetisches Mittel, \pm SE)

Anteil [%]	Erbsen									p					
	0 ¹	10 ¹	20	0	10	20	0	10	20	innerhalb Woche			zwischen Wochen		
Alter	5. Woche			8. Woche			11. Woche			5.	8.	11.	5. vs 8.	8. vs 11.	5. vs 11.
Lebendmasse [g]															
Beginn Versuch	780 ^a	766 ^a	771 ^a	2117 ^b	2115 ^b	2135 ^b	3703 ^c	3614 ^c	3629 ^c	0,693	0,831	0,240	<0,001	<0,001	<0,001
	$\pm 11,1$	$\pm 13,5$	$\pm 10,0$	$\pm 25,3$	$\pm 26,8$	$\pm 24,2$	$\pm 35,7$	$\pm 42,2$	$\pm 38,3$						
Ende Versuch	1055 ^a	1056 ^a	1081 ^a	2533 ^b	2547 ^b	2600 ^b	4081 ^c	4023 ^c	4036 ^c	0,392	0,276	0,627	<0,001	<0,001	<0,001
	$\pm 15,7$	$\pm 17,5$	$\pm 14,1$	$\pm 28,7$	$\pm 35,7$	$\pm 25,8$	$\pm 42,9$	$\pm 47,1$	$\pm 41,0$						
Futteraufnahme [g/d]															
Mittel	96 ^a	94 ^a	98 ^a	166 ^b	164 ^b	168 ^b	199 ^c	197 ^c	199 ^c	0,619	0,764	0,903	<0,001	<0,001	<0,001
	$\pm 2,5$	$\pm 2,6$	$\pm 2,5$	$\pm 2,8$	$\pm 3,6$	$\pm 3,5$	$\pm 4,2$	$\pm 5,0$	$\pm 3,5$						
Letzter Tag	94 ^a	93 ^a	101 ^a	182 ^b	177 ^b	183 ^b	221 ^c	216 ^c	226 ^c	0,120	0,704	0,628	<0,001	<0,001	<0,001
	$\pm 4,2$	$\pm 2,3$	$\pm 2,3$	$\pm 4,5$	$\pm 5,0$	$\pm 6,3$	$\pm 8,2$	$\pm 7,3$	$\pm 6,4$						

¹ n=9

^{abc} unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$; innerhalb 5. bzw. 8. und 11. Woche HSD für ungleiche N bzw. Tukey Test; zwischen 5., 8. und 11. Woche HSD für ungleiche N sowie zwischen 8. und 11. Woche Tukey-Test)

Tabelle 9: Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen der Hähne im Versuch F (arithmetisches Mittel, \pm SE)

Versuch	F1		
Körnerleguminose	Erbsen		
Behandlung	unbehandelt		
Vermahlung	3 mm-Sieb		
Geschlecht	Hähne		
Alter	5. Woche	8. Woche	11. Woche
Lebendmasse [g]			
Beginn Versuch	766 (\pm 13,5) - 780 (\pm 11,1)	2115 (\pm 26,8) - 2135 (\pm 24,2)	3614 (\pm 42,2) - 3703 (\pm 35,7)
Ende Versuch	1055 (\pm 15,7) - 1081 (\pm 14,1)	2533 (\pm 28,7) - 2600 (\pm 25,8)	4023 (\pm 47,1) - 4081 (\pm 42,9)
Futteraufnahme [g/d]			
Mittel	94 (\pm 2,6) - 98 (\pm 2,5)	164 (\pm 3,6) - 168 (\pm 3,5)	197 (\pm 5,0) - 199 (\pm 4,2)
Letzter Tag	93 (\pm 2,3) - 101 (\pm 2,3)	177 (\pm 5,0) - 183 (\pm 6,3)	216 (\pm 7,3) - 226 (\pm 6,4)

Tabelle 10: Mittlere Lebendmasseentwicklung und Futteraufnahme der Hennen in Abhängigkeit vom Alter (Versuch F)
(arithmetisches Mittel, ± SE)

Anteil [%]	Erbsen									p					
	0 ¹	10 ¹	20	0 ¹	10	20	0	10	20	innerhalb Woche			zwischen Wochen		
Alter	5. Woche			8. Woche			11. Woche			5.	8.	11.	5. vs 8.	8. vs 11.	5. vs 11.
Lebendmasse [g]															
Beginn Versuch	649 ^a	675 ^a	667 ^a	1726 ^b	1726 ^b	1673 ^b	2885 ^c	2851 ^c	2796 ^c	0,290	0,248	0,276	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	±13,3	±11,6	±9,6	±35,8	±18,9	±19,3	±29,0	±49,8	±34,3						
Ende Versuch	792 ^a	827 ^{ab}	854 ^b	1970 ^c	2004 ^c	1948 ^c	3089 ^d	3087 ^d	3024 ^d	0,030	0,382	0,483	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	±20,6	±12,3	±13,2	±44,4	±19,8	±19,2	±32,3	±52,6	±41,2						
Futteraufnahme [g/d]															
Mittel	62 ^a	64 ^a	68 ^a	135 ^b	143 ^b	134 ^b	166 ^c	169 ^c	159 ^c	0,299	0,062	0,092	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	±2,3	±2,4	±3,6	±3,8	±2,0	±2,5	±2,7	±3,3	±3,9						
Letzter Tag	68 ^a	65 ^a	76 ^a	136 ^{Ab}	144 ^{ABb}	138 ^{Ab}	160 ^{BCc}	164 ^{Cc}	155 ^{ACc}	0,070	0,294	0,430	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	±4,2	±2,1	±3,9	±4,7	±3,0	±4,4	±4,8	±4,7	±5,0						

¹ n=9

^{abcd} unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05; innerhalb 5. und 8. bzw. 11. Woche, HSD für ungleiche N bzw. Tukey-Test, zwischen 5., 8. und 11. Woche HSD für ungleiche N)

^{ABC} unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05 zwischen 8. und 11. Woche, HSD für ungleiche N)

Tabelle 11: Bereiche der mittleren Lebendmassen und Futteraufnahmen der Hennen im Versuch F (arithmetisches Mittel, \pm SE)

Versuch	F2		
Körnerleguminose	Erbsen		
Behandlung	unbehandelt		
Vermahlung	3 mm-Sieb		
Geschlecht	Hennen		
Alter	5. Woche	8. Woche	11. Woche
Lebendmasse [g]			
Beginn Versuch	649 (\pm 13,3) - 675 (\pm 11,6)	1673 (\pm 19,3) - 1726 (\pm 35,8)	2796 (\pm 34,3) - 2885 (\pm 29,0)
Ende Versuch	792 (\pm 20,6) - 854 (\pm 13,2)	1948 (\pm 19,2) - 2004 (\pm 19,8)	3024 (\pm 41,2) - 3089 (\pm 32,3)
Futteraufnahme [g/d]			
Mittel	62 (\pm 2,3) - 68 (\pm 3,6)	134 (\pm 2,5) - 143 (\pm 2,0)	159 (\pm 3,9) - 169 (\pm 3,3)
Letzter Tag	65 (\pm 2,1) - 76 (\pm 3,9)	136 (\pm 4,7) - 144 (\pm 3,0)	155 (\pm 5,0) - 164 (\pm 4,7)

Tabelle 12: Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen unter Berücksichtigung der Behandlung sowie bei grober und feiner Vermahlung aus den Versuchen A bis C (in %)

Versuch	A						B				C			
Körnerleguminose	Ackerbohnen		Erbsen		Lupinen		Erbsen		Lupinen		Erbsen		Lupinen	
Behandlung	unbehandelt						geschält				getoastet und geschält			
Vermahlung	grob	fein	grob	fein	grob	fein	grob	fein	grob	fein	grob	fein	grob	fein
Rohprotein	85	87	80	78	81	82	90	93	89	87	87	87	88	89
Arginin	94	94	88	87	93	90	94	97	94	93	89	90	92	93
Cystin	76	82	76	78	78	75	90	90 ^a	84	76 ^b	76	82	69	74
Isoleucin	90	90	80	81	84	83	94	95	91	90	87	88	88	91
Leucin	86	87	80	81	85	84	95	95	92	90	87	89	90	92
Lysin	93	94	84	84	87	86	95	97	92	91	87	88	87	91
Methionin	93	94	89	88	90	88	96	98	95	95	95	91	96	96
Phenylalanin	88	87	81	82	87	85	95	95	92	91	88	90	89	92
Threonin	88	87	78	76	82	80	93	94	90	87	82	82	82	87
Tryptophan	82	84	68	68	74	69	91	91 ^a	79	75 ^b	73	76	72	77
Valin	89	89	82	83	83	83	93	95	90	88	88	88	87	90
Mittel essentieller AS ¹	89	90	81	81	85	83	94	95	91	89	86	87	87	90

¹ essentielle AS: Arg, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Trp und Val, AS = Aminosäuren; ^{ab} kennzeichnen signifikante Unterschiede (p < 0,05)

Tabelle 13: Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Erbsen und Lupinen bei grober und feiner Vermahlung sowie unter Berücksichtigung des Einsatzes von ganzem Weizen (Versuch D) sowie unter Berücksichtigung von Schälung und Geschlecht (Versuch E; in %)

Versuch	D				E1		E2	
Körnerleguminose	Erbsen		Lupinen		Erbsen		Lupinen	
Behandlung	unbehandelt + ganzer Weizen				geschält			
Vermahlung	grob	fein	grob	fein	3 mm-Sieb		3 mm-Sieb	
Geschlecht	unsortiert				Hähne	Hennen	Hähne	Hennen
Alter	5. Woche				5. Woche			
Rohprotein	89	82	89	82	90	93	87	91
Arginin	93	89	95	93	93	95	94	96
Cystin	81	69	76	72	83	86	80	82
Isoleucin	90	84	87	87	90	94	89	92
Leucin	89	85	89	87	92	94	88	92
Lysin	94	90	93	92	93	95	90	93
Methionin	95	89	94	99	95	99	93	94
Phenylalanin	91	87	91	91	92	95	91	94
Threonin	89	81	84	81	90	94	85	88
Tryptophan	84	75	77	72	85	89	75	80
Valin	91	84	86	88	91	96	89	92
Mittel essentieller AS¹	91	85	88	88	91	95	88	91

¹ essentielle AS: Arg, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Trp und Val, AS = Aminosäuren

Tabelle 14: Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Erbsen bei Hähnen in Abhängigkeit vom Alter
(Versuch F; in %, \pm Standardfehler der Schätzung, r^2)

Versuch	F1											
Körnerleguminose	Erbsen											
Behandlung	unbehandelt											
Vermahlung	3 mm-Sieb											
Geschlecht	Hähne											
Alter	5. Woche			8. Woche			11. Woche			p		
										5. vs 8.	8. vs 11.	5. vs 11.
Rohprotein	91	\pm 1,7	0,99	88	\pm 3,7	0,95	87	\pm 2,2	0,98	0,646	0,900	0,457
Arginin	95	\pm 0,8	1,00	93	\pm 2,0	0,99	92	\pm 1,4	0,99	0,390	0,851	0,207
Cystin	86 ^a	\pm 2,2	0,98	72 ^b	\pm 4,1	0,92	78	\pm 3,8	0,94	0,013	0,268	0,174
Isoleucin	93	\pm 1,2	1,00	90	\pm 3,3	0,97	92	\pm 2,8	0,97	0,554	0,687	0,838
Leucin	93	\pm 1,2	1,00	90	\pm 3,5	0,96	91	\pm 2,6	0,98	0,428	0,805	0,530
Lysin	95	\pm 1,0	1,00	92	\pm 2,8	0,98	91	\pm 1,8	0,99	0,364	0,810	0,137
Methionin	97	\pm 2,7	0,98	97	\pm 3,2	0,97	99	\pm 2,0	0,99	0,964	0,488	0,560
Phenylalanin	94 ^a	\pm 1,0	1,00	91	\pm 2,8	0,97	88 ^b	\pm 2,0	0,99	0,435	0,324	0,038
Threonin	93	\pm 1,6	0,99	89	\pm 4,5	0,93	89	\pm 3,5	0,96	0,492	0,935	0,483
Tryptophan	90	\pm 1,7	0,99	87	\pm 5,2	0,91	83	\pm 2,9	0,97	0,648	0,524	0,121
Valin	93	\pm 1,2	1,00	91	\pm 3,5	0,96	91	\pm 2,6	0,98	0,614	0,939	0,605
Mittel essentieller AS ¹	94			91			91					

¹essentielle AS: Arg, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Trp und Val, AS = Aminosäuren; ^{ab} kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Tabelle 15: Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren aus Erbsen bei Hennen in Abhängigkeit vom Alter
(Versuch F; in %, ± Standardfehler der Schätzung, r²)

Versuch	F2											
Körnerleguminose	Erbsen											
Behandlung	unbehandelt											
Vermahlung	3 mm-Sieb											
Geschlecht	Hennen											
Alter	5. Woche			8. Woche			11. Woche			p		
										5. vs 8.	8. vs 11.	5. vs 11.
Rohprotein	86	± 2,5	0,98	87	± 2,8	0,97	91	± 2,8	0,98	0,654	0,312	0,151
Arginin	92	± 1,3	0,99	93	± 1,5	0,99	96	± 2,0	0,99	0,631	0,298	0,178
Cystin	75	± 3,3	0,95	74	± 6,0	0,85	75	± 5,6	0,87	0,935	0,982	0,953
Isoleucin	90	± 1,7	0,99	91	± 2,4	0,98	96	± 2,9	0,98	0,744	0,172	0,087
Leucin	90	± 1,7	0,99	92	± 2,2	0,98	96	± 3,0	0,97	0,570	0,277	0,119
Lysin	91	± 2,1	0,99	92	± 2,0	0,99	95	± 2,9	0,98	0,760	0,301	0,245
Methionin	94 ^a	± 1,7	0,99	98	± 2,3	0,99	100 ^b	± 2,2	0,99	0,264	0,262	0,026
Phenylalanin	91	± 2,1	0,99	92	± 2,5	0,98	96	± 3,2	0,97	0,693	0,329	0,189
Threonin	86	± 2,6	0,98	90	± 3,1	0,97	94	± 3,8	0,96	0,263	0,468	0,097
Tryptophan	83	± 2,8	0,97	86	± 3,6	0,95	93	± 4,6	0,94	0,605	0,218	0,091
Valin	89	± 2,0	0,99	91	± 2,5	0,98	96	± 2,9	0,97	0,605	0,182	0,077
Mittel essentieller AS ¹	90			92			96					

¹ essentielle AS: Arg, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Trp und Val, AS = Aminosäuren; ^a^b kennzeichnen signifikante Unterschiede (p < 0,05)