



UFOP-SCHRIFTEN | AGRAR

# ABSCHLUSSBERICHT

Aminosäurenverdaulichkeit von Lupinen und Erbsen bei  
Legehennen

**Autoren**

Tobias Zuber und Markus Rodehutsord

Institut für Nutztierwissenschaften, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 10, 70599 Stuttgart

# **Aminosäurenverdaulichkeit von Lupinen und Erbsen bei Legehennen**

Tobias Zuber und Markus Rodehutschord

Institut für Nutztierwissenschaften, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 10,  
70599 Stuttgart

## **Zusammenfassung**

Ziel dieser Untersuchung war es, die Variation der Verdaulichkeit der Aminosäuren (AS) von 12 Lupinen- und Erbsenvarianten bei Legehennen zu erfassen und Beziehungen zu chemischen Inhaltsstoffen zu untersuchen. Die chemische Zusammensetzung der Lupinen- und Erbsenvarianten lag in einem für diese Futtermittel typischen Bereich.

Das Versuchsdesign umfasste vier Lateinische Quadrate ( $7 \times 7$ ), die gleichmäßig auf zwei Versuchsdurchgänge aufgeteilt waren. Die 12 Lupinenvarianten wurden im ersten Durchgang (Lateinische Quadrate 1 und 2) untersucht, wohingegen die 12 Erbsenvarianten im zweiten Durchgang (Lateinische Quadrate 3 und 4) geprüft wurden. Die Lupinen- und Erbsenvarianten wurden einer Basalration im Austausch gegen Maisstärke (300 g/kg) zugelegt. Im Hinblick auf die Versorgung mit Energie und Nährstoffen war die Basalration so kalkuliert, dass sie den Versorgungsempfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie für Legehennen entsprach. Jedes Lateinische Quadrat beinhaltete die Basalration und sechs Zulagemischungen. In jeder der sieben Perioden wurden die Versuchsfuttermischungen für acht Tage an sieben caeectomierte Legehennen (LSL-classic) gefüttert, welche einzeln in Stoffwechselläufigen gehalten wurden. Während der letzten vier Tage wurden die Exkrementa zweimal täglich quantitativ gesammelt und die Futteraufnahme wurde quantifiziert. Die Berechnung der AS-Verdaulichkeit aus den zugelegten Lupinen- und Erbsenvarianten erfolgte durch einen regressionsanalytischen Ansatz. Mittels Korrelationsanalysen und multiplen Regressionsanalysen wurden die Beziehungen zwischen der AS-Verdaulichkeit und einzelnen oder mehreren Inhaltsstoffen der Leguminosen untersucht.

Die AS-Verdaulichkeit der Lupinen- und Erbsenvarianten war auf einem grundsätzlich hohen Niveau. Darüber hinaus waren signifikante Unterschiede in der AS-Verdaulichkeit innerhalb der Lupinen und Erbsen statistisch nachweisbar.

Numerisch schwankte die AS-Verdaulichkeit bei den Lupinen jedoch in einem verhältnismäßig geringen Bereich. Die Verdaulichkeit des Lysins und Methionins lag bei den Lupinen im Bereich von 87–91% (Mittelwert: 89%) sowie 80–88% (Mittelwert: 84%). Signifikante Korrelationen zwischen den chemischen Eigenschaften der Lupinen und der AS-Verdaulichkeit traten nur vereinzelt auf und zeigten kein einheitliches Bild. Die Alkaloidkonzentration war nicht signifikant mit der AS-Verdaulichkeit korreliert. Aufgrund der verhältnismäßig geringen Streuung der AS-Verdaulichkeit der Lupinen kann für die Rationsformulierung empfohlen werden, mit den jeweiligen Mittelwerten zu rechnen. Die Variation der AS-Verdaulichkeit bei den Erbsenvarianten war größer als bei den Lupinen. Die Verdaulichkeit des Lysins und Methionins in den Erbsenvarianten variierte im Bereich von 87–93% (Mittelwert: 89%) sowie 72–90% (Mittelwert: 81%). Ein negativer Einfluss des Tanningehaltes auf die AS-Verdaulichkeit konnte nur bei Berücksichtigung der buntblühenden Erbsenvariante nachgewiesen werden. Die Trypsininhibitor-Aktivität war signifikant negativ mit der Verdaulichkeit zahlreicher AS korreliert, jedoch weder alleine noch in Kombination mit anderen chemischen Eigenschaften dazu geeignet, die AS-Verdaulichkeit für die praktische Anwendung hinreichend genau vorherzusagen.

## **Summary**

### **Amino acid digestibility of lupin and pea grain in laying hens**

It was the objective of this study to examine the variability of amino acid (AA) digestibility of 12 lupin samples and 12 pea samples in laying hens and to study potential relationships between AA digestibility and chemical constituents of the grains. The chemical composition of the lupin and pea samples was within the range commonly known for these feedstuffs.

The experimental design comprised 4 Latin squares (7x7) equally distributed among 2 runs. The 12 lupin variants were examined in the first run (Latin Square 1 and 2), whereas the pea variants were studied in the second run (Latin Square 3 and 4). Lupins and peas were added to a basal diet at the expense of maize starch (300 g/kg). Each Latin square contained the basal diet and 6 legume-containing diets. In each of the seven periods the experimental diets were fed for 8 days to 7 caeectomised laying hens (LSL-classic) that were individually housed in metabolism cages. During the last 4 days, excreta were collected quantitatively and feed intake was recorded. Amino acid digestibility of the lupin and pea samples was calculated using a

regression approach. Correlation analysis and multiple regression analysis was performed to study potential relationships between AA digestibility and single or several constituents of the grains.

Amino acid digestibility of lupins and peas was generally on a high level. Significant differences in AA digestibility within the lupins and peas were detected. However, in lupins AA digestibility numerically varied to a relatively small extent. The digestibility of lysine and methionine was in the range of 87–91% (mean: 89%) and 80–88% (mean: 84%). Significant correlations between chemical characteristics of the lupins and AA digestibility were detected only in few cases without a consistent pattern. The concentration of alkaloids was not significantly correlated with AA digestibility. Because of the relatively small variation of AA digestibility within the lupins it is suggested to use mean values of AA digestibility for feed formulation. The variation in AA digestibility was higher in peas when compared to lupins. The digestibility of lysine and methionine in the peas was in the range of 87–93% (mean: 89%) and 72–90% (mean: 81%). A negative effect tannin concentration on AA digestibility was detected, but only when the one coloured flower pea variety was considered. The trypsininhibitor activity was significantly negatively correlated with the digestibility of several AA. However, this characteristic was, neither alone nor in combination with other characteristics, suitable to predict AA digestibility sufficiently precise for practical application.

## **1. Einleitung**

Körnerlupinen und -erbsen sind Einzelfuttermittel mit grundsätzlich hohem Futterwert für das Wirtschaftsgeflügel, aber auch für andere Tierarten. Eine nennenswerte quantitative Bedeutung hatten Lupinen und Erbsen in den letzten Jahren in der Fütterung dennoch nicht. Das zunehmende Bestreben um eine (Re)etablierung der Körnerleguminosen in der Fruchtfolge sowie der Wunsch nach vermindertem Einsatz von Sojaextraktionsschrot in der Fütterung dürfte einen Anstieg im Ernteaufkommen von Lupinen und Erbsen nach sich ziehen, der dann auch eine differenzierte und aktualisierte Kenntnis des Futterwertes geboten erscheinen lässt.

Ein wichtiges Kriterium des Futterwertes ist die Verdaulichkeit der Aminosäuren (AS). Beim Schwein und beim wachsenden Geflügel wird sie üblicherweise als praecaecale Verdaulichkeit am Ende des Dünndarms der Tiere ermittelt. Bei Legehennen ist alternativ die Bestimmung der Verdaulichkeit in Bilanzversuchen mit caeectomierten Hennen etabliert. Für verschiedene bedeutende Einzelfuttermittel gibt es bereits eine gute Datenbasis zur Verdaulichkeit der Aminosäuren, die mit

caecectomierten Legehennen bestimmt worden sind (Rapsextraktionsschrot, Mais, Weizen, Triticale, Roggen).

Das Ziel dieses Projektes war es, die AS-Verdaulichkeit von jeweils 12 Partien von Lupinen und Erbsen mit caecectomierten Legehennen zu bestimmen. Zudem wurde angestrebt, möglicherweise auftretende Variationen in der AS-Verdaulichkeit mit Analysendaten zu erklären.

## 2. Material und Methoden

### *Lupinen- und Erbsenvarianten*

Aus einer ebenfalls UFOP-geförderten Untersuchung zur AS-Verdaulichkeit von Körnerleguminosen beim Schwein standen jeweils 6 Lupinen- und Erbsenvarianten zur Verfügung (JEZIERNY et al. 2011). Diese wurden nach Rücksprache mit Pflanzenzüchtern (Saatzucht Steinach GmbH & Co. KG und Norddeutsche Pflanzenzucht) um 6 Lupinen- und 7 Erbsenvarianten aus aktuelleren Erntejahren ergänzt. Da aufgrund des Versuchsdesigns lediglich von 12 Varianten der jeweiligen Leguminose die AS-Verdaulichkeit bestimmt werden konnte, musste eine Erbsenvariante vom Vorhaben ausgeschlossen werden (Nr. 5 aus dem früheren Projekt). Um die Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen für diese Erbsenvarianten zu gewährleisten, wurde die ursprüngliche Nummerierung der Proben beibehalten. In den Tabellen 1 und 2 sind die Lupinen- bzw. Erbsenvarianten hinsichtlich ausgewählter botanischer Merkmale sowie der jeweiligen Erntejahre beschrieben.

Tab. 1: Übersicht zu botanischen Merkmalen und Erntejahren der Lupinenvarianten

| Nr. | Variante | Art                          |           | Ernte |
|-----|----------|------------------------------|-----------|-------|
| 1   | Probor   | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2005  |
| 2   | Boregine | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2005  |
| 3   | Boruta   | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2005  |
| 4   | Idefix   | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2005  |
| 5   | Bornal   | <i>Lupinus luteus</i>        | Süßlupine | 2005  |
| 6   | Amiga    | <i>Lupinus albus</i>         | Süßlupine | 2005  |
| 7   | Boregine | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2012  |
| 8   | Probor   | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2012  |
| 9   | Probor   | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2014  |
| 10  | Borlu    | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2014  |
| 11  | Mirabor  | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2013  |
| 12  | Boruta   | <i>Lupinus angustifolius</i> | Süßlupine | 2013  |

Die im Versuch eingesetzten Lupinenvarianten waren züchterisch auf einen niedrigen Alkaloidgehalt selektiert worden (Süßlupinen). Mit Ausnahme der Lupinenvarianten Nr. 5 (*Lupinus luteus*) und Nr. 6 (*Lupinus albus*) handelte es sich um Vertreter der Art *Lupinus angustifolius*. Aufgrund der begrenzten Anzahl an verfügbaren Lupinensorten waren einzelne Sorten mehrfach vertreten und die Varianten unterschieden sich dann jeweils in den Erntejahren (dreimal Probor aus den Erntejahren 2005, 2012 und 2014; zweimal Boregine aus den Erntejahren 2005 und 2012; zweimal Boruta aus den Erntejahren 2005 und 2013).

Tab. 2: Übersicht zu botanischen Merkmalen und Erntejahren der Erbsenvarianten

| Nr. | Variante             | Anbautyp    | Blütenfarbe | Ernte |
|-----|----------------------|-------------|-------------|-------|
| 1   | Santana              | Sommererbse | weißblühend | 2004  |
| 2   | Jutta                | Sommererbse | weißblühend | 2004  |
| 3   | Harnas               | Sommererbse | weißblühend | 2004  |
| 4   | Hardy                | Sommererbse | weißblühend | 2004  |
| 6   | Rocket               | Sommererbse | weißblühend | 2005  |
| 7   | Astronaut            | Sommererbse | weißblühend | 2014  |
| 8   | Salamanca            | Sommererbse | weißblühend | 2014  |
| 9   | James                | Wintererbse | weißblühend | 2014  |
| 10  | Campus               | Sommererbse | weißblühend | 2014  |
| 11  | Dolores <sup>#</sup> | Sommererbse | buntblühend | 2014  |
| 12  | Navarro              | Sommererbse | weißblühend | 2014  |
| 13  | Dexter (RLH 09048)   | Wintererbse | weißblühend | 2014  |

<sup>#</sup> für Grünnutzung gezüchtet

Mit Ausnahme der Erbsenvarianten Nr. 9 und 13 handelte es sich bei den hier eingesetzten Proben um Sommererbsen. Die Erbsenvariante Dolores stellt einen buntblühenden Vertreter dar, welcher für die Grünnutzung gezüchtet wurde. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die chemische Zusammensetzung der Lupinen- und Erbsenvarianten. Die Einzeldaten zu den Inhaltsstoffen der Erbsen- und Lupinenvarianten sind in den Anhangstabellen A1–A4 dargestellt. Die Gehalte an Rohprotein in den Lupinen- und Erbsenvariante lagen im Mittel bei 353 g/kg TM bzw. 238 g/kg TM. In allen untersuchten Lupinenvarianten waren die Gehalte an Rohfett und aNDFom höher als in den Erbsenvarianten. Im Gegensatz dazu wiesen die Erbsenvarianten einen höheren (polarimetrisch bestimmten) Stärkegehalt auf als die Lupinenvarianten.

Tab. 3: Analysierte Inhaltsstoffe (g/kg TM, falls nicht anders angegeben)

|                                   | Lupinen<br>n=12 |           | Erbsen<br>n=12 |           |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|----------------|-----------|
|                                   | MW              | Min - Max | MW             | Min - Max |
| Rohprotein                        | 353             | 302–440   | 238            | 219–253   |
| Lysin                             | 16,6            | 14,7–21,5 | 17,5           | 16,2–18,5 |
| Methionin                         | 2,3             | 2,0–2,9   | 2,3            | 2,1–2,4   |
| Rohfett                           | 69              | 54–114    | 21             | 19–24     |
| Stärke                            | 95              | 56–114    | 506            | 482–526   |
| aNDFom                            | 238             | 190–261   | 129            | 110–160   |
| Trypsininhibitor-Aktivität (mg/g) | n.a.            |           | 6,5            | 3,3–9,4   |
| Tanninphenole (% i. TM)           | n.a.            |           | 0,02           | n.n.–0,19 |
| Kondensierte Tannine (% i. TM)    | n.a.            |           | 0,05           | 0,01–0,36 |
| Alkaloide (g/kg TM)               | 0,14            | 0,03–0,40 | n.a.           |           |

aNDFom: Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasevorbehandlung und Veraschung;  
 MW: Mittelwert; n.a.: nicht analysiert; n.n.: nicht nachweisbar

#### *Futtermischungen*

Für die Verdaulichkeitsversuche wurden insgesamt 25 Futtermischungen hergestellt. Zum einen eine Basalration, die im Hinblick auf ihre Nährstoffkonzentration und den Energiegehalt mindestens bedarfsdeckend kalkuliert war (GFE 1999) und zu 30% aus Maisstärke bestand. Darüber hinaus wurden 24 Zulagerationen hergestellt, bei denen jeweils eine Lupinen- oder Erbsenvariante (geschrotet auf 2 mm Siebdurchgang) im Austausch gegen Maisstärke eingemischt wurde (Tabelle 4). Durch dieses Vorgehen war sichergestellt, dass eine Variation in der AS-Aufnahme der Hennen nur durch die jeweils zugelegte Lupinen- bzw. Erbsenvariante bedingt war. Alle Futtermischungen wurden pelletiert (3 mm-Matrize) und enthielten keine Enzymzusätze.

Tab. 4: Zusammensetzung der Versuchsfuttermischungen (g/kg)

|                                | Basalration | Zulagerationen |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| Maisstärke                     | 300         |                |
| Lupinen- bzw. Erbsenvariante   |             | 300            |
| Mais                           |             | 188            |
| Weizen                         |             | 129            |
| Weizenkleber                   |             | 97             |
| Sojaextraktionsschrot          |             | 95             |
| Luzernegrünmehl                |             | 80             |
| Futterkalk                     |             | 75             |
| Vitamin- und Mineralstoffvorm. |             | 20             |
| Sojaöl                         |             | 12             |
| L-Lysin·HCl                    |             | 3              |

---

### *Versuchstiere und deren Haltung*

Im Versuch wurden 14 caeectomierte Legehennen der Herkunft LSL-classic eingesetzt. Die operative Entfernung der Blinddärme erfolgte in der 23. und 24. Lebenswoche der Hennen an der Tierklinik der Universität Hohenheim wie bei ZUBER et al. (2016) beschrieben. Wenige Tage nach dem operativen Eingriff erreichten die Tiere wieder das ursprüngliche Niveau der Legeleistung und Futteraufnahme. Der Teil des Versuchs, in dem die Lupinen geprüft wurden, dauerte von der 27. bis zur 37. Lebenswoche. Im Anschluss folgte während der 39. bis 49. Lebenswoche der Teil des Versuchs, der die Erbsen beinhaltete.

Die Hennen wurden einzeln in Stoffwechsellkäfigen gehalten, so dass eine tierindividuelle und quantitative Sammlung der Exkremate möglich war. Die tägliche Futtermenge betrug 120 g und war gleichmäßig auf zwei Mahlzeiten aufgeteilt. Futterreste wurden tierindividuell quantifiziert. Wasser stand den Tieren stets unbegrenzt über Bechertränken zur Verfügung. Der Tierversuch und die Vorgehensweisen waren vom Regierungspräsidium Stuttgart unter der Nummer V321/14TE genehmigt worden.

### *Versuchsbeschreibung und Probennahme*

Der Versuch umfasste 4 Lateinische Quadrate (7×7), die gleichmäßig auf zwei Durchgänge aufgeteilt waren. In Durchgang 1 (Lateinische Quadrate 1 und 2) wurden die Zulagerationen eingesetzt, welche die Lupinenvarianten enthielten. In Durchgang 2 (Lateinische Quadrate 3 und 4) wurden die Zulagerationen mit den Erbsenvarianten geprüft. In jedem Lateinischen Quadrat erhielten die Hennen entweder die Basalration oder eine von 6 Zulagerationen. Jede der insgesamt 14 Perioden dauerte 8 Tage und beinhaltete eine 4-tägige Anfütterungs- sowie eine 4-tägige Sammelphase. Während der jeweiligen Sammelphasen wurden die Exkremate zweimal täglich quantitativ gesammelt (beginnend um 7.00 und 15.00 Uhr), je Tier zu einer Sammelprobe zusammengefasst und tiefgefroren gelagert. Darüber hinaus wurden die Futterreste quantifiziert und die Legeleistung der gesamten Versuchstiergruppe wurde für jede Periode bestimmt. Im Anschluss an die Sammelphase jeder Periode erfolgte eine 2-tägige Bodenhaltung der Tiere auf Einstreu. Während dieser Zeit wurde eine mehlartige Alleinfuttermischung für Legehennen zur *ad libitum* Aufnahme angeboten.

### *Analytik*

Die Gehalte an TM, XP, Rohfett, Rohasche, Rohfaser, Neutral-Detergenzien-Faser (NDF), Säure-Detergenzien-Faser (ADF) und Säure-Detergenzien-Lignin (ADL) sowie die Stärke in Erbsen wurden nach den Methodenvorschriften des VDLUFA

untersucht (VDLUFA 2007). Der Gehalt an Bruttoenergie wurde mittels Bombenkalorimetrie bestimmt. Der Anteil an NDF-unlöslichem Stickstoff (bzw. XP, NDF-XP) wurde nach LICITRA et al. (1996) analysiert. Die Bestimmung der AS-Konzentration in den Lupinen- und Erbsenvarianten, den Versuchsrationen sowie den Exkrementen erfolgte nach HCl-Aufschluss und Oxidation entsprechend der Beschreibung von RODEHUTSCORD et al. (2004). Tryptophan wurde nicht bestimmt. Die Bestimmung der Tannin-Fraktionen in den Erbsen erfolgte wie bei WISCHER et al. (2013) beschrieben. Die Bestimmung der Trypsininhibitor-Aktivität sowie der Alkaloide erfolgte im Institut für Pharmazie und Molekulare Biotechnologie der Universität Heidelberg (Prof. Wink). Die Trypsininhibitor-Aktivität war hierbei definiert als der Rückgang der Aktivität von bovinem Trypsin bei Kontakt mit der Erbsenprobe unter standardisierten Bedingungen (SMITH et al. 1980). Der Gehalt an Alkaloiden wurde mittels Gaschromatographie bestimmt (WINK 1993).

### *Berechnungen und statistische Auswertung*

Die Verdaulichkeit der Aminosäuren der Basalration und der Zulagerationen wurde für jede Henne individuell anhand folgender Gleichung berechnet:

$$\text{AS-Verdaulichkeit (\%)} = [(\text{AS-Aufnahme} - \text{AS-Ausscheidung})/\text{AS-Aufnahme}] \times 100,$$

wobei die AS-Aufnahme (mg/Tag) durch Multiplikation der TM-Aufnahme (g/Tag) mit der analysierten AS-Konzentration (mg/g TM) in der entsprechenden Ration berechnet wurde. Die ausgeschiedene Menge der AS wurde durch die Multiplikation der ausgeschiedenen TM (g/Tag) mit der entsprechenden AS-Konzentration (mg/g TM) in den Exkrementen berechnet.

Die Ermittlung der AS-Verdaulichkeit der zugelegten Lupinen- und Erbsenvarianten erfolgte mittels eines linearen Regressionsansatzes. Dieser setzt den in früheren Arbeiten nachgewiesenen linearen Zusammenhang zwischen der AS-Aufnahme und der verdauten AS-Menge voraus (RODEHUTSCORD et al. 2004; REZVANI et al. 2008; KLUTH et al. 2009). Das folgende statistische Modell wurde angewandt (ZUBER et al. 2016):

$$y_{ijk} = \mu + c \times \beta_i + p_j + h_k + e_{ijk},$$

wobei  $y_{ijk}$  das Verhältnis der verdauten Aminosäuren und der AS-Aufnahme aus der Basalration während der 4-tägigen Sammelphase darstellt;  $\mu$  ist das Intercept (spiegelt die AS-Verdaulichkeit der Basalration wider);  $c$  ist das Verhältnis der AS-Aufnahme aus der jeweiligen Lupinen- oder Erbsenvariante und der AS-Aufnahme aus der Basalration während der 4-tägigen Sammelphase;  $\beta_i$  ist die Verdaulichkeit der

AS aus der Lupinen- oder Erbsenvariante  $i$ ;  $p_j$  ist der Effekt der Periode  $j$ ;  $h_k$  ist der Effekt der Henne  $k$  und  $e_{ijk}$  bezeichnet den Restfehler. Effekte der Henne und Periode gingen als zufällige Effekte in das Modell ein. Die Steigung der Regressionsgeraden zwischen  $c$  und  $y_{ijk}$ , multipliziert mit 100, wird hierbei als AS-Verdaulichkeit der zugelegten Leguminosenvariante interpretiert. Die Regressionskoeffizienten wurden simultan für die jeweils 12 Varianten, jedoch für Erbsen und Lupinen getrennt, mit der Prozedur PROC MIXED der Statistiksoftware SAS für Windows (Version 9.3, SAS Institute, Cary, NC, USA) berechnet. Die Steigungen der Regressionsgeraden wurden durch multiple t-Tests unter Verwendung von ESTIMATE Anweisungen auf signifikante Unterschiede geprüft.

Korrelationen zwischen der AS-Verdaulichkeit und einzelnen analysierten Fraktionen der Lupinen- oder Erbsenvarianten wurden durch die Berechnung der Pearson-Produkt-Moment Korrelationskoeffizienten (Prozedur PROC CORR) untersucht. Multiple Regressionsanalysen (Prozedur PROC REG) wurden berechnet, um die Variation in der AS-Verdaulichkeit anhand mehrerer Variablen erklärbar zu machen. Als Selektionsmethode wurde das Stepwise-Verfahren verwendet. Variablen wurden bei  $P \geq 0,10$  als signifikante Prediktoren in das Modell aufgenommen.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

Die chemische Zusammensetzung der Lupinenvarianten deckte sich sehr gut mit den von JEROCH et al. (2016) gemachten Angaben. Die im vorliegenden Versuch eingesetzte Lupine der Art *L. luteus* (Variante 5) zeigte im Vergleich zu den Arten *L. albus* und *L. angustifolius* einen höheren Rohproteingehalt. JEROCH et al. (2016) zeigten zudem, dass der Rohfettgehalt von *L. albus* höher ist im Vergleich zu den Varianten der Art *L. angustifolius* und *L. luteus*. Dies konnte in den hier untersuchten Lupinenvarianten ebenfalls bestätigt werden, wenngleich der Rohfettgehalt der Lupinenvariante der Art *L. albus* mit 114 g/kg TM noch über dem Bereich liegt, der von JEROCH et al. (2016) angegeben wurde (88–91 g/kg TM). Die Alkaloidgehalte der im vorliegenden Versuch eingesetzten Lupinenvarianten waren insgesamt sehr gering (0,03–0,40 g/kg TM) und stimmen mit den von JEROCH et al. (2016) gemachten Angaben für Süßlupinen überein.

Die chemische Zusammensetzung der Erbsenvarianten ordnet sich ebenfalls gut in die in der Literatur angegebenen Werte ein. JEROCH et al. (1999) wiesen bei der Untersuchung von 40 Körnererbsenvarianten eine XP-Konzentration von 212–281 g/kg TM nach. Eine erheblich größere Variation der XP-Konzentration wurde in einer früheren Untersuchung von SAVAGE und DEO (1989) mit Werten von 156–325

g/kg TM berichtet. Die XP-Konzentration der im vorliegenden Versuch untersuchten Erbsenvarianten lag im Bereich von 219-253 g/kg TM und schwankte daher in einem verhältnismäßig geringen Bereich. Die charakteristisch hohen Stärkegehalte der Körnererbsen konnten in den Varianten des vorliegenden Versuches ebenfalls bestätigt werden (482–526 g/kg TM). Die Trypsininhibitor-Aktivität in den Erbsenvarianten, welche gemäß der Analysemethode definiert ist als die Menge (in mg) inhibierten Trypsins je g Erbsenprobe, reichte von 3,3–9,4. Aufgrund methodischer Unterschiede bei der Analyse der Trypsininhibitor-Aktivität erweist sich ein direkter Vergleich der Aktivität mit den Angaben aus früheren Untersuchungen als schwierig. Die Konzentration an kondensierten Tanninen in den Erbsenvarianten lag im Bereich von 0,01–0,36 % in der TM. Für die Gesamt-Phenole wurde eine Konzentration von 0,06–0,36 % in der TM bestimmt. Die höchsten Gehalte sowohl an kondensierten Tanninen als auch an Gesamt-Phenolen wurden für die buntblühende Erbsenvariante Nr. 11 ermittelt. Dies ist erwartungsgemäß, da buntblühende Erbsensorten üblicherweise erheblich höhere Tanningehalte aufweisen als weißblühende Erbsensorten (GRIFFITHS 1981). Im Hinblick auf die Trypsininhibitor-Aktivität wies die buntblühende Erbsenvariante Nr. 11 eine mittlere Aktivität (6,4 mg/g) auf.

Die Legeleistung der Tiere war auf einem hohen Niveau und schwankte im Bereich von 90–97% im ersten Durchgang (Lupinen) und 88–96% im zweiten Durchgang (Erbsen). Der geringe Rückgang der Legeleistung im zweiten Durchgang dürfte auf das fortschreitende Alter der Tiere zurückzuführen sein.

In den Tabellen 5 und 6 ist die AS-Verdaulichkeit der Lupinenvarianten dargestellt. Analog hierzu ist die AS-Verdaulichkeit der Erbsenvarianten in den Tabellen 7 und 8 zusammengefasst. Generell konnte für beide Leguminosen ein hohes Niveau der AS-Verdaulichkeit ermittelt werden. Dennoch unterschied sich die Verdaulichkeit aller AS sowohl bei den Lupinen als auch bei den Erbsen statistisch signifikant ( $P < 0,05$ ) zwischen den Varianten. Bei den 12 Lupinenvarianten schwankte die Verdaulichkeit des Lysins und des Methionins im Bereich von 87–91% sowie von 80–88%. In den 12 Erbsenvarianten wurde für Lysin ein ähnliches Niveau sowie eine ähnliche Variation mit Werten zwischen 87–93% ermittelt. Eine erheblich größere Variation zeigte sich bei der Verdaulichkeit des Methionins aus den Erbsenvarianten mit einer maximalen Differenz von 18 Prozentpunkten (72–90%). In der vorliegenden Arbeit deuteten sich keine Unterschiede zwischen Winter- und Sommererbsenvarianten im Hinblick auf die AS-Verdaulichkeit an.

Untersuchungen zur AS-Verdaulichkeit von Lupinen und Erbsen wurden bisher nicht mit Legehennen durchgeführt. In Untersuchungen zur AS-Verdaulichkeit von Lupinen kamen hauptsächlich Broiler (RAVINDRAN et al. 2002, 2005; BRYDEN et al.

2009; NALLE et al. 2011a, 2012; KACZMAREK et al. 2014; KOIVUNEN et al. 2016) sowie Puten (PALANDER et al. 2006) zum Einsatz. Daten zur AS-Verdaulichkeit von Erbsen wurden mit Hähnen (IGBASAN et al. 1997), Broilern (RAVINDRAN et al. 2005; KLUTH et al. 2005; BRYDEN et al. 2009; NALLE et al. 2011b; MASEY O'NEILL et al. 2012; KOIVUNEN et al. 2016) und Puten (PALANDER et al. 2006) ermittelt. Bei studienübergreifenden Vergleichen der AS-Verdaulichkeit sind stets die methodischen Unterschiede bei deren Bestimmung zu beachten. Experimentelle Details wie die verwendete Tierart, die Fütterung, sowie der Umgang mit endogenen Ausscheidungen können das Ergebnis der Verdaulichkeitsbestimmung erheblich beeinflussen (VASAN et al. 2008, KIM et al. 2012, ADEDOKUN et al. 2015) und mögliche Sortenunterschiede überlagern. Da bisher keine Studien mit Legehennen durchgeführt wurden, wäre der Vergleich einzelner Verdaulichkeitswerte mit Ergebnissen früherer Untersuchungen daher wenig aussagekräftig. Das hohe Niveau der AS-Verdaulichkeit, das sowohl bei den Lupinen als auch bei den Erbsen beobachtet wurde, bestätigt jedoch grundsätzlich die Ergebnisse früherer Untersuchungen mit anderen Geflügelspezies. In der hier vorliegenden Untersuchung unterschied sich die Verdaulichkeit des Lysins zwischen den Lupinenvarianten um 4 Prozentpunkte (87–91%). Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die anderen AS. Lediglich Alanin zeigte mit 11 Prozentpunkten Differenz zwischen den extremen Erbsenvarianten eine im Vergleich zu den anderen AS größere Variation der Verdaulichkeit.

Die durchgeführten Korrelationsanalysen ergaben aufgrund der geringen Streuung der AS-Verdaulichkeitswerte der Lupinen kein einheitliches Bild (Tabelle 9). Die Konzentration an Alkaloiden in den Lupinenvarianten war nicht signifikant mit der AS-Verdaulichkeit korreliert. Dies zeigt, dass das züchterisch erreichte Niveau der Alkaloidkonzentration ausreichend gering ist, um negativen Auswirkungen auf die AS-Verdaulichkeit bei Legehennen vorzubeugen. Hingegen konnten signifikant negative Korrelationen zwischen der Konzentration der C-Fraktion des Rohproteins (unlöslich in saurer Detergenzlösung) der Lupinenvarianten und der Verdaulichkeit von Ile ( $r=-0,58$ ;  $P<0,05$ ), Lys ( $r=-0,75$ ;  $P<0,01$ ), Phe ( $r=-0,59$ ;  $P<0,05$ ) und Thr ( $r=-0,59$ ;  $P<0,05$ ) nachgewiesen werden. Diese Beobachtung könnte auf einen Zusammenhang zwischen der Löslichkeit des Proteins und der Verdaulichkeit der AS hindeuten. Allerdings veranlasst uns die insgesamt recht geringe Variation der AS-Verdaulichkeit zwischen den Lupinenvarianten zu der Empfehlung, in der Rationsoptimierung mit den Mittelwerten für die Verdaulichkeit der jeweiligen Aminosäure zu rechnen.

Die im Vergleich zu den Lupinen größere Variation der AS-Verdaulichkeit, die in der vorliegenden Arbeit bei den Erbsenvarianten beobachtet wurde, bestätigt grund-

sätzlich die Beobachtung von BRYDEN et al. (2009). Diese Autoren beschrieben eine Variation der Verdaulichkeit des Lysins bei drei Erbsenvarianten von 20 Prozentpunkten (66–86%) sowie eine Variation der Verdaulichkeit des Methionins von 15 Prozentpunkten (63–78%). Eine ähnliche Variation in der Lysinverdaulichkeit fanden IGBASAN et al. (1997) für 12 Erbsenvarianten mit Unterschieden von 16 Prozentpunkten (70–86%). Mit maximalen Unterschieden von 6 Prozentpunkten zwischen den Erbsenvarianten fielen die Unterschiede in der Lysin-Verdaulichkeit in der vorliegenden Untersuchung mit Legehennen geringer aus. Die Verdaulichkeit des Methionins schwankte jedoch mit 18 Prozentpunkten in einem ähnlich großen Bereich wie von BRYDEN et al. (2009) berichtet. Die größte Variation wurde in der vorliegenden Arbeit mit 32 Prozentpunkten für Prolin beobachtet. Ähnlich große Unterschiede wurden von NALLE et al. (2011b) berichtet. Bei der Untersuchung von 4 Erbsenvarianten mit Broilern fanden diese Autoren Unterschiede von 25 Prozentpunkten in der Prolinverdaulichkeit. In der vorliegenden Studie gab es die Besonderheit, dass die hohe Variation der Verdaulichkeit, wie sie insbesondere für Prolin und Cystein festgestellt wurde, zu erheblichen Anteilen durch die buntblühende Sorte Dolores (Nr. 11) hervorgerufen wurde. Darüber hinaus zeigte die Sorte Astronoute (Nr. 7), welche die höchste Trypsininhibitor-Aktivität aufwies (9,4 mg/g), für zahlreiche AS die niedrigste Verdaulichkeit. Zumindest die Samen der Sorte Dolores dürften üblicherweise nicht für die Fütterung relevant sein. Die Korrelationsanalysen haben wir für die Erbsen daher differenziert vorgenommen. Die Tabelle 10 zeigt zunächst die signifikanten Korrelationskoeffizienten bei Berücksichtigung aller 12 Erbsenvarianten. Mit Ausnahme von Phenylalanin war die Verdaulichkeit der essentiellen AS signifikant negativ mit der Trypsininhibitor-Aktivität korreliert. Die Verdaulichkeit des Phenylalanins war hingegen signifikant negativ mit dem Gehalt an Gesamtphenolen sowie kondensierten Tanninen korreliert. Werden hingegen die Daten der Erbse Nr. 11 bei den Berechnungen nicht berücksichtigt, ergeben sich andere Befunde: eine Korrelation der AS-Verdaulichkeiten mit dem Tanningehalt war nicht mehr nachweisbar. Die Korrelationen mit der Trypsininhibitor-Aktivität bestanden weiterhin; trotz statistischer Signifikanz lagen sie aber mit r-Werten zwischen -0,63 und -0,84 in einem Bereich, der zur Schätzung der AS-Verdaulichkeit allein nicht als ausreichend hoch anzusehen ist. Bei Berücksichtigung aller 12 Erbsenvarianten war die C-Fraktion im Rohprotein der Erbsenvarianten lediglich mit einer essentiellen AS (Isoleucin) signifikant negativ korreliert ( $r=-0,63$ ;  $p<0,05$ ).

Die Kombination mehrerer Einflussgrößen zur Berechnung von multiplen Regressionsgleichungen führte zu Unterschieden in der Schätzgüte zwischen den AS

(Tabelle 11). Generell war die Schätzgüte auf einem mittleren Niveau. Demnach war es nicht möglich, Schätzgleichungen abzuleiten, die für die praktische Anwendung hinreichend genau wären.

Grundsätzlich bestätigen die vorliegenden Ergebnisse, dass in der Fütterung weitgehend tanninfreie (weißblühende) Erbsensorten eingesetzt werden sollten. Die Variation in der AS-Verdaulichkeit zwischen den Erbsenvarianten dieser Gruppe ist relativ gering. Eine weitere Reduktion der Variabilität zeigte sich, wenn die Erbsensorte mit der höchsten Trypsininhibitor-Aktivität (Astronaute, Nr. 7) ausgeschlossen wurde. Werden diese Sorte (Nr. 7) sowie die Sorte Nr. 11 bei der Auswertung nicht berücksichtigt, so variierte die Verdaulichkeit der meisten essentiellen AS der verbleibenden 10 Erbsenvarianten zwischen 3 und 10 Prozentpunkten. Lediglich die Verdaulichkeit des Methionins schwankte dann immer noch um 13 Prozentpunkte.

Wenngleich die Lupinen- und Erbsenvarianten umfangreich analytisch charakterisiert worden sind, war es nicht möglich die Variation in der AS-Verdaulichkeit durch die analysierten Inhaltsstoffe zu erklären. Möglicherweise sind die Nichtstärke-Polysaccharide, die zu nicht unerheblichen Anteilen in Lupinen und Erbsen vorkommen, in diesem Zusammenhang von Bedeutung (PEREZ-MALDONADO 1999, VAN BARNEVELD 1999). Ebenso deuten die Ergebnisse der Korrelationsanalysen an, dass möglicherweise die Anteile verschiedener Rohproteinfraktionen und damit einhergehende Unterschiede in der Löslichkeit des Proteins die AS-Verdaulichkeit der Lupinen- und Erbsenvarianten beeinflusst haben könnten.

Tab. 5: Geschätzte Verdaulichkeit (%) und Standardfehler der Schätzwerte der essentiellen Aminosäuren aus den Lupinenvarianten.

|              |            | Lupinenvariante |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P-Wert <sup>#</sup> |
|--------------|------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|
|              |            | 1               | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |                     |
| Arginin      | Schätzwert | 97              | 96  | 95  | 96  | 96  | 97  | 96  | 96  | 97  | 97  | 96  | 96  | < 0,001             |
|              | SE         | 0.4             | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 |                     |
| Histidin     | Schätzwert | 90              | 90  | 89  | 90  | 90  | 88  | 89  | 88  | 91  | 90  | 88  | 87  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.2             | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 1.3 |                     |
| Isoleucin    | Schätzwert | 92              | 90  | 89  | 92  | 91  | 92  | 90  | 89  | 91  | 91  | 90  | 89  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.1             | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.2 |                     |
| Leucin       | Schätzwert | 92              | 91  | 91  | 92  | 93  | 93  | 91  | 90  | 93  | 92  | 90  | 90  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.0             | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 |                     |
| Lysin        | Schätzwert | 91              | 90  | 89  | 89  | 90  | 89  | 89  | 87  | 89  | 88  | 87  | 87  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.2             | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.3 |                     |
| Methionin    | Schätzwert | 86              | 83  | 86  | 82  | 88  | 88  | 83  | 81  | 84  | 81  | 80  | 82  | < 0,001             |
|              | SE         | 3.5             | 3.4 | 3.6 | 3.1 | 2.6 | 2.8 | 3.3 | 3.6 | 3.4 | 3.6 | 3.5 | 2.8 |                     |
| Phenylalanin | Schätzwert | 93              | 92  | 91  | 93  | 93  | 92  | 91  | 90  | 93  | 93  | 90  | 90  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.1             | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 |                     |
| Threonin     | Schätzwert | 88              | 88  | 87  | 86  | 89  | 87  | 88  | 86  | 89  | 89  | 85  | 85  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.8             | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 1.9 | 1.9 | 2.2 | 1.9 |                     |
| Valin        | Schätzwert | 89              | 88  | 86  | 89  | 89  | 89  | 88  | 87  | 89  | 89  | 86  | 86  | < 0,001             |
|              | SE         | 1.6             | 1.8 | 1.8 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.9 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.9 | 1.7 |                     |

<sup>#</sup>: Hochbuchstaben zur Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede zwischen den Lupinenvarianten sind nicht dargestellt, da es nicht das Ziel dieser Arbeit war zwischen einzelnen Varianten zu unterscheiden.

Tab. 6: Geschätzte Verdaulichkeit (%) und Standardfehler der Schätzwerte der nicht-essentiellen Aminosäuren aus den Lupinenvarianten.

|                |            | Lupinenvariante |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P-Wert <sup>#</sup> |
|----------------|------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|
|                |            | 1               | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |                     |
| Alanin         | Schätzwert | 83              | 82  | 83  | 82  | 85  | 83  | 80  | 78  | 81  | 80  | 74  | 76  | < 0,001             |
|                | SE         | 2.1             | 2.2 | 2.1 | 2.1 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.4 | 2.2 | 2.2 | 2.5 | 2.2 |                     |
| Asparaginsäure | Schätzwert | 90              | 89  | 89  | 90  | 91  | 90  | 89  | 88  | 90  | 90  | 88  | 88  | < 0,001             |
|                | SE         | 1.1             | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 1.3 |                     |
| Cystein        | Schätzwert | 88              | 91  | 88  | 83  | 92  | 90  | 90  | 84  | 92  | 92  | 87  | 87  | < 0,001             |
|                | SE         | 2.7             | 2.5 | 2.8 | 3.1 | 1.6 | 2.2 | 3.5 | 3.3 | 2.5 | 2.9 | 3.3 | 2.7 |                     |
| Glutaminsäure  | Schätzwert | 94              | 93  | 92  | 93  | 95  | 94  | 93  | 93  | 95  | 94  | 93  | 93  | < 0,001             |
|                | SE         | 0.7             | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.7 |                     |
| Prolin         | Schätzwert | 93              | 93  | 91  | 93  | 93  | 91  | 95  | 94  | 95  | 97  | 91  | 94  | < 0,001             |
|                | SE         | 1.4             | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.8 | 1.3 |                     |
| Serin          | Schätzwert | 90              | 90  | 90  | 89  | 90  | 89  | 90  | 89  | 92  | 92  | 88  | 88  | < 0,001             |
|                | SE         | 1.2             | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.5 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.4 |                     |
| Tyrosin        | Schätzwert | 93              | 91  | 90  | 93  | 92  | 94  | 92  | 91  | 92  | 93  | 90  | 90  | < 0,001             |
|                | SE         | 1.1             | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.3 | 1.2 |                     |

#:

Hochbuchstaben zur Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede zwischen den Lupinenvarianten sind nicht dargestellt, da es nicht das Ziel dieser Arbeit war zwischen einzelnen Varianten zu unterscheiden.

Tab. 7: Geschätzte Verdaulichkeit (%) und Standardfehler der Schätzwerte der essentiellen Aminosäuren aus den Erbsenvarianten.

|              |            | Erbsenvariante |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P-Wert <sup>#</sup> |         |
|--------------|------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|---------|
|              |            | 1              | 2   | 3   | 4   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |                     | 13      |
| Arginin      | Schätzwert | 92             | 93  | 95  | 92  | 94  | 90  | 93  | 94  | 94  | 91  | 95  | 95                  | < 0,001 |
|              | SE         | 0.6            | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.7                 |         |
| Histidin     | Schätzwert | 83             | 83  | 86  | 84  | 84  | 79  | 87  | 87  | 88  | 76  | 90  | 90                  | < 0,001 |
|              | SE         | 2.1            | 2.3 | 2.2 | 2.5 | 2.3 | 2.5 | 2.3 | 2.2 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2.4                 |         |
| Isoleucin    | Schätzwert | 80             | 84  | 86  | 83  | 84  | 80  | 80  | 86  | 88  | 83  | 89  | 90                  | < 0,001 |
|              | SE         | 1.8            | 1.8 | 1.8 | 2.2 | 1.9 | 2.1 | 2.2 | 1.7 | 1.8 | 2.0 | 1.6 | 1.6                 |         |
| Leucin       | Schätzwert | 84             | 85  | 88  | 85  | 87  | 81  | 85  | 88  | 89  | 82  | 91  | 90                  | < 0,001 |
|              | SE         | 1.4            | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 1.4 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.5                 |         |
| Lysin        | Schätzwert | 87             | 89  | 89  | 89  | 89  | 87  | 89  | 90  | 91  | 89  | 91  | 93                  | < 0,001 |
|              | SE         | 1.2            | 1.3 | 1.2 | 1.4 | 1.2 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.2                 |         |
| Methionin    | Schätzwert | 77             | 80  | 81  | 80  | 80  | 72  | 78  | 84  | 86  | 77  | 87  | 90                  | < 0,001 |
|              | SE         | 3.0            | 3.0 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.1 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 2.7 | 3.1                 |         |
| Phenylalanin | Schätzwert | 86             | 87  | 89  | 87  | 90  | 83  | 86  | 90  | 91  | 78  | 92  | 92                  | < 0,001 |
|              | SE         | 1.3            | 1.4 | 1.4 | 1.6 | 1.3 | 1.6 | 1.6 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.4 | 1.4                 |         |
| Threonin     | Schätzwert | 77             | 81  | 83  | 80  | 82  | 74  | 81  | 83  | 84  | 79  | 87  | 87                  | < 0,001 |
|              | SE         | 2.2            | 2.3 | 2.2 | 2.4 | 2.3 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.3                 |         |
| Valin        | Schätzwert | 79             | 84  | 85  | 82  | 83  | 77  | 80  | 85  | 87  | 79  | 88  | 89                  | < 0,001 |
|              | SE         | 2.3            | 2.1 | 2.2 | 2.6 | 2.4 | 2.6 | 2.5 | 2.1 | 2.3 | 2.3 | 1.9 | 2.0                 |         |

<sup>#</sup>: Hochbuchstaben zur Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede zwischen den Erbsenvarianten sind nicht dargestellt, da es nicht das Ziel dieser Arbeit war zwischen einzelnen Varianten zu unterscheiden.

Tab. 8: Geschätzte Verdaulichkeit (%) und Standardfehler der Schätzwerte der nicht-essentiellen Aminosäuren aus den Erbsenvarianten.

|                |            | Erbsenvariante |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P-Wert <sup>#</sup> |         |
|----------------|------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|---------|
|                |            | 1              | 2   | 3   | 4   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |                     | 13      |
| Alanin         | Schätzwert | 74             | 77  | 79  | 78  | 79  | 72  | 77  | 80  | 82  | 77  | 84  | 84                  | < 0,001 |
|                | SE         | 2.6            | 2.7 | 2.7 | 2.9 | 2.7 | 2.9 | 2.8 | 2.6 | 2.9 | 2.8 | 2.6 | 2.7                 |         |
| Asparaginsäure | Schätzwert | 82             | 84  | 86  | 84  | 85  | 81  | 83  | 87  | 87  | 84  | 89  | 89                  | < 0,001 |
|                | SE         | 1.4            | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.6                 |         |
| Cystein        | Schätzwert | 67             | 69  | 78  | 69  | 70  | 63  | 68  | 71  | 79  | 60  | 82  | 77                  | < 0,001 |
|                | SE         | 4.4            | 4.4 | 5.1 | 4.4 | 5.1 | 3.8 | 4.0 | 4.6 | 4.0 | 4.6 | 4.6 | 5.3                 |         |
| Glutaminsäure  | Schätzwert | 89             | 90  | 91  | 90  | 91  | 87  | 90  | 93  | 93  | 81  | 93  | 94                  | < 0,001 |
|                | SE         | 1.1            | 1.2 | 1.1 | 1.3 | 1.2 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.1                 |         |
| Prolin         | Schätzwert | 87             | 86  | 92  | 88  | 91  | 80  | 90  | 93  | 93  | 63  | 95  | 95                  | < 0,001 |
|                | SE         | 1.6            | 2.0 | 1.7 | 2.0 | 1.9 | 2.3 | 1.8 | 1.7 | 1.9 | 1.7 | 1.4 | 1.6                 |         |
| Serin          | Schätzwert | 81             | 82  | 86  | 83  | 85  | 77  | 84  | 85  | 85  | 80  | 89  | 88                  | < 0,001 |
|                | SE         | 1.7            | 1.9 | 1.8 | 2.0 | 1.8 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 2.1 | 1.9 | 1.8 | 1.9                 |         |
| Tyrosin        | Schätzwert | 84             | 86  | 88  | 85  | 86  | 80  | 85  | 88  | 90  | 82  | 91  | 90                  | < 0,001 |
|                | SE         | 1.6            | 1.7 | 1.7 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 1.7                 |         |

<sup>#</sup>: Hochbuchstaben zur Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede zwischen den Erbsenvarianten sind nicht dargestellt, da es nicht das Ziel dieser Arbeit war zwischen einzelnen Varianten zu unterscheiden.

Tab. 9: Signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen der Aminosäurenverdaulichkeit (%) und chemischen Eigenschaften der Lupinen (in g/kg TM, falls nicht anderweitig angegeben)

|                                   | Arg | Cys     | His    | Ile    | Leu     | Lys     | Met     | Phe    | Thr    | Val   |
|-----------------------------------|-----|---------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|
| Rohprotein                        |     |         | 0,60*  | 0,62*  | 0,84*** | 0,70*   | 0,80**  | 0,71** |        | 0,59* |
| Stärke                            |     |         |        |        | -0,72** |         |         | -0,62* |        |       |
| ADL                               |     |         |        |        |         | 0,58*   | 0,72**  |        |        |       |
| Ala                               |     |         |        |        | 0,74**  |         | 0,71*   | 0,63*  |        |       |
| Arg                               |     |         | 0,66*  | 0,61*  | 0,80**  | 0,62*   | 0,65*   | 0,75** |        | 0,61* |
| Asp                               |     |         |        | 0,68*  | 0,83*** | 0,62*   | 0,72**  | 0,74** |        | 0,66* |
| Glu                               |     |         | 0,66*  |        | 0,76**  | 0,58*   | 0,63*   | 0,71** |        |       |
| Gly                               |     |         | 0,66*  |        | 0,74**  | 0,65*   | 0,63*   | 0,74** |        |       |
| His                               |     |         | 0,74** |        | 0,72**  | 0,60*   |         | 0,71** |        |       |
| Ile                               |     |         |        | 0,59*  | 0,73**  | 0,59*   | 0,69*   | 0,68*  |        |       |
| Leu                               |     |         |        | 0,58*  | 0,80**  | 0,60*   | 0,79**  | 0,65*  |        |       |
| Lys                               |     |         |        |        | 0,73**  |         | 0,69*   | 0,58*  |        |       |
| Phe                               |     |         |        | 0,60*  | 0,78**  | 0,61*   | 0,67*   | 0,71** |        | 0,60* |
| Pro                               |     |         | 0,62*  | 0,73** | 0,80**  | 0,74**  | 0,68*   | 0,78** |        | 0,68* |
| Ser                               |     |         |        | 0,74** | 0,85*** | 0,60*   | 0,69*   | 0,76** |        | 0,70* |
| Thr                               |     |         |        | 0,60*  | 0,78**  | 0,61*   | 0,81**  | 0,64*  |        | 0,59* |
| Tyr                               |     |         |        | 0,74** | 0,67*   |         | 0,60*   | 0,61*  |        | 0,68* |
| Val                               |     |         |        |        | 0,62*   | 0,58*   | 0,73**  |        |        |       |
| Ala (g/16 g N)                    |     |         |        | -0,64* | -0,67*  | -0,63*  | -0,63*  |        |        |       |
| Phe (g/16 g N)                    |     | -0,72** |        |        | -0,59*  | -0,61*  | -0,78** |        | -0,62* |       |
| Pro (g/16 g N)                    |     | -0,66*  |        |        |         |         | -0,78** |        | -0,61* |       |
| Fraktion A <sup>†</sup> (% in CP) |     |         |        |        |         |         | 0,71**  |        |        |       |
| Fraktion C <sup>‡</sup> (% in CP) |     |         |        | -0,58* |         | -0,75** |         | -0,59* | -0,59* |       |

<sup>†</sup>Fraktion A: Nicht-Protein-Stickstoff, <sup>‡</sup>Fraktion C: ADF-gebundener Stickstoff; \*  $P \leq 0,05$ , \*\*  $P \leq 0,01$ , \*\*\*  $P \leq 0,001$ .

Tab. 10: Signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen der Aminosäurenverdaulichkeit (%) und chemischen Eigenschaften der Erbsen (in g/kg TM, falls nicht anderweitig angegeben)

|                                    | Arg     | Cys     | His    | Ile    | Leu    | Lys     | Met     | Phe     | Thr     | Val     |
|------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| aNDFom                             |         |         |        |        |        | 0,61*   |         |         |         |         |
| Cys                                |         |         |        | -0,59* |        |         |         |         |         |         |
| Asp                                | 0,59*   | 0,60*   |        |        |        |         |         | 0,60*   |         |         |
| Thr                                | 0,58*   | 0,59*   |        |        |        |         |         |         |         |         |
| Phe                                |         |         |        |        |        |         |         | 0,58*   |         |         |
| Asp (g/16 g N)                     | 0,63*   |         | 0,62*  |        |        |         | 0,59*   |         |         |         |
| Leu (g/16 g N)                     |         |         |        |        |        | 0,59*   |         |         |         |         |
| TIA <sup>§</sup>                   | -0,74** | -0,74** | -0,61* | -0,70* | -0,68* | -0,71** | -0,72** |         | -0,76** | -0,71** |
| Gesamt-Phenole                     |         |         | -0,66* |        |        |         |         | -0,79** |         |         |
| Kond. Tannine <sup>#</sup>         |         |         |        |        |        |         |         | -0,61*  |         |         |
| Fraktion B1 <sup>†</sup> (% in CP) |         |         | 0,59*  |        |        |         |         | 0,64*   |         | 0,59*   |
| Fraktion B3 <sup>†</sup> (% in CP) |         |         |        |        |        |         |         | -0,66*  |         |         |
| Fraktion C <sup>‡</sup> (% in CP)  |         |         |        |        |        |         |         | -0,63*  |         |         |

<sup>§</sup> Trypsininhibitor-Aktivität; <sup>#</sup> kondensierte Tannine; <sup>†</sup> Fraktion B<sub>1,3</sub>: Pufferlöslicher Stickstoff (absteigende Löslichkeit), <sup>‡</sup> Fraktion C: ADF-gebundener Stickstoff; \*  $P \leq 0,05$ , \*\*  $P \leq 0,01$ , \*\*\*  $P \leq 0,001$ .

Tab. 11: Schätzgüte von Regressionsgleichungen (adjustiertes R<sup>2</sup>) zur Vorhersage der Aminosäurenverdaulichkeit (%) der Erbsenvarianten anhand verschiedener Variablenpools.

| Pool | Variablen            | Arg  | Cys  | His  | Ile  | Leu  | Lys  | Met  | Phe  | Thr  | Val  |
|------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | Linear               | 0,45 | 0,73 | 0,72 | 0,44 | 0,67 | 0,77 | 0,47 | 0,80 | 0,53 | 0,45 |
|      | Linear + quadratisch | 0,45 | 0,74 | 0,72 | 0,44 | 0,67 | 0,78 | 0,47 | 0,80 | 0,53 | 0,45 |
| 2    | Linear               | 0    | 0    | 0,64 | 0,51 | 0,70 | 0,50 | 0,63 | 0,56 | 0,25 | 0,57 |
|      | Linear + quadratisch | 0    | 0    | 0,65 | 0,51 | 0,71 | 0,51 | 0,63 | 0,56 | 0,25 | 0,57 |
| 3    | Linear               | 0,52 | 0,47 | 0,83 | 0,83 | 0,52 | 0,29 | 0,54 | 0,83 | 0,95 | 0,51 |
|      | Linear + quadratisch | 0,52 | 0,60 | 0,84 | 0,84 | 0,52 | 0,29 | 0,54 | 0,82 | 0,43 | 0,52 |
| 4    | Linear               | 0,18 | 0,19 | 0    | 0    | 0    | 0,21 | 0    | 0    | 0    | 0    |
|      | Linear + quadratisch | 0,18 | 0,19 | 0    | 0    | 0    | 0,23 | 0    | 0    | 0    | 0    |

Beschreibung der Pools:

<sup>1</sup>Rohnährstoffe + Faserfraktionen + Stärke + Bruttoenergie + Trypsininhibitor-Aktivität + Tannine (g/kg TM, falls nicht anderweitig angegeben): Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Rohfett, Neutral-Detergenzien-Faser, Säure-Detergenzien-Faser, Lignin, Stärke, Bruttoenergie (MJ/kg TM), Trypsininhibitor-Aktivität (mg/g), Gesamt-Phenole (%).

<sup>2</sup>Aminosäuren (g/kg TM): Ala, Arg, Asp, Cys, Glu, Gly, His, Ile, Leu, Lys Met, Phe, Pro, Ser, Thr, Tyr, Val.

<sup>3</sup>Aminosäuren (g/16g N): Ala, Arg, Asp, Cys, Glu, Gly, His, Ile, Leu, Lys Met, Phe, Pro, Ser, Thr, Tyr, Val.

<sup>4</sup>Mineralstoffe (g/kg TM): Calcium, Kupfer, Eisen, Kalium, Magnesium, Mangan, Natrium, Phosphor, Zink.

## **5. Schlussfolgerungen**

Das Niveau der Aminosäurenverdaulichkeit von Lupinen und Erbsen bei Legehennen ist hoch. Sowohl bei den Lupinen als auch bei den Erbsen wurden signifikante Unterschiede in der Verdaulichkeit der Aminosäuren zwischen verschiedenen Varianten nachgewiesen. Für die praktische Anwendung sind diese Unterschiede bei den Lupinen vernachlässigbar gering. Bei den Erbsen variierte die Aminosäurenverdaulichkeit stärker als bei Lupinen. Ein Einfluss der Tanninkonzentration zeigte sich allerdings nur, wenn eine buntblühende Erbsensorte in der Auswertung berücksichtigt wurde. Die Trypsininhibitor-Aktivität war signifikant negativ mit der Verdaulichkeit der meisten AS korreliert. Die Ableitung von hinreichend genauen Schätzgleichungen zur Vorhersage der AS-Verdaulichkeit auf der Basis chemischer Inhaltsstoffe war für die hier untersuchten Erbsenvarianten jedoch nicht möglich. Wir empfehlen daher, sowohl bei Lupinen als auch bei Erbsen –sofern es sich um weißblühende Sorten handelt– in der Rationsoptimierung mit den Mittelwerten für die Verdaulichkeit der Aminosäuren zu rechnen.

## 6. Literatur

- ADEDOKUN, S.A., P. JAYNES, R.L. PAYNE, T.J. APPLGATE, 2015: Standardized ileal amino acid digestibility of corn, corn distillers' dried grains with solubles, wheat middlings, and bakery by-products in broilers and laying hens. *Poult. Sci.* 94, 2480–2487.
- BRYDEN, W.L., X. LI, G. RAVINDRAN, L.I. HEW, V. RAVINDRAN, 2009: Ileal digestible amino acid values in feedstuffs for poultry. Rural Industries Research and Development Corporation, Barton, ACT, Australia.
- GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GfE), 1999: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). DLG Verlag, Frankfurt am Main.
- GRIFFITHS, D.W., 1981: The polyphenolic content and enzyme inhibitory activity of testas from bean (*Vicia faba*) and pea (*Pisum spp.*) varieties. *J. Sci. Food Agric.* 32, 797–804.
- IGBASAN, F.A., W. GUENTER, B.A. SLOMINSKI, 1997: Field peas: Chemical composition and energy and amino acid availabilities for poultry. *Can. J. Anim. Sci.* 77, 293–300.
- JEROCH, H., H. KLUGE, O. SIMON, J. VON LENGERKEN, 1999: Inhaltsstoffe und Futterwertdaten von Getreide und Körnererbsen. Institut für Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- JEROCH, H., K. KOZLOWSKI, F. SCHÖNE, Z. ZDUNCZYK, 2016: Lupines (*Lupinus spp.*) as a protein feedstuff for poultry. 1) Varieties, composition and nutritional values for poultry. *Europ. Poult. Sci.* 80. DOI: 10.1399/eps.2016.125.
- JEZIERNY, D., R. MOSENTHIN, N. SAUER, S. ROTH, H.-P. PIEPHO, M. RADEMACHER, M. EKLUND, 2011: Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livest. Sci.* 138, 229-243.
- KACZMAREK, S.A., M. KASPROWICZ-POTOCKA, M. HEJDYSZ, R. MIKULA, A. RUTKOWSKI, 2014: The nutritional value of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *J. Anim. Feed Sci.* 23, 160–166.
- KIM, E.J., P.L. UTTERBACK, C.M. PARSONS, 2012: Comparison of amino acid digestibility coefficients for corn, corn gluten meal, and corn distillers dried grains with solubles among 3 different bioassays. *Poult. Sci.* 91, 3141–3147.

- KLUTH, H., M. FRICKE, M. RODEHUTSCORD, 2009: Precaecal amino acid digestibility of different wheat cultivars in broilers. *Arch. Geflügelk.* 73, 80–86.
- KLUTH, H., M. MANTEI, C. ELWERT, M. RODEHUTSCORD, 2005: 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.
- KOIVUNEN, E., K. PARTANEN, S. PERTTILÄ, S. PALANDER, P. TUUNAINEN, J. VALAJA, 2016: Digestibility and energy value of pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.) and blue lupin (narrow-leaf) (*Lupinus angustifolius*) seeds in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 218, 120–127.
- LICITRA, G., T.M. HERNANDEZ, P.J. VAN SOEST, 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347–358.
- MASEY-O’NEILL, H.V., M. RADEMACHER, I. MUELLER-HARVEY, E. STRINGANO, S. KIGHTLEY, J. WISEMAN, 2012: Standardised ileal digestibility of crude protein and amino acids of UK-grown peas and faba beans by broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175, 158–167.
- NALLE, C.L., V. RAVINDRAN, G. RAVINDRAN, 2011a: Nutritional value of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *Br. Poult. Sci.* 52, 775–781.
- NALLE, C.L., V. RAVINDRAN, G. RAVINDRAN, 2011b: Nutritional value of peas (*Pisum sativum* L.) for broilers: apparent metabolisable energy, apparent ileal amino acid digestibility and production performance. *Anim. Prod. Sci.* 51, 150–155.
- NALLE, C.L., V. RAVINDRAN, G. RAVINDRAN, 2012: Nutritional value of white lupins (*Lupinus albus*) for broilers: apparent metabolisable energy, apparent ileal amino acid digestibility and production performance. *Anim.* 6, 579–585.
- PALANDER, S., P. LAURINEN, S. PERTTILÄ, J. VALAJA, K. PARTANEN, 2006: Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127, 89–100.
- PEREZ-MALDONADO, R.A., P.F. MANNION, D.J. FARRELL, 1999: Optimum inclusion of field peas, faba beans, chick peas and sweet lupins in poultry diets. I. Chemical composition and layer experiments. *Br. Poult. Sci.* 40, 667–673.
- RAVINDRAN, V., L.I. HEW, G. RAVINDRAN, W.L. BRYDEN, 2005: Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *Anim. Sci.* 81, 85–97.

- RAVINDRAN, V., L.M. TABE, L. MOLVIG, T.J.V. HIGGINS, W.L. BRYDEN, 2002: Nutritional evaluation of transgenic high-methionine lupins (*Lupinus angustifolius* L) with broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 82, 280–285.
- REZVANI, M., H. KLUTH, M. RODEHUTSCORD, 2008: Comparison of amino acid digestibility determined prececally or based on total excretion of cecectomized laying hens. *Poult. Sci.* 87, 2311–2319.
- RODEHUTSCORD, M., M. KAPOCIUS, R. TIMMLER, A. DIECKMANN, 2004: Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 45, 85–92.
- SAVAGE, G.P., S. DEO, 1989: The nutritional value of peas (*Pisum sativum*). A literature review. *Nutr. Abstr. Rev. Series A* 59, 65–88.
- SMITH, C., W. VAN MEGEN, L. TWAALFHOVEN, C. HITCHCOCK, 1980: The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. *J. Sci. Food Agric.* 31, 341–350.
- VAN BARNEVELD, R.J., 1999: Understanding the nutritional chemistry of lupin (*Lupinus* spp.) seed to improve livestock production efficiency. *Nutr. Res. Rev.* 12, 203–230.
- VASAN, P., A.B. MANDAL, N. DUTTA, S.K. MAITI, K. SHARMA, 2008: Digestibility of amino acids of maize, low tannin sorghum, pearl millet and finger millet in caeectomized roosters. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21, 701–706.
- VDLUFA (VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN), 2007: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA Methodenbuch), Bd. III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WINK, M., 1993: Quinolizidine alkaloids. In: *Methods in Plant Biochemistry*, P. Waterman (ed.), Academic press, London, United Kingdom. Vol. 8: 197–239.
- WISCHER, G., J. BOGUHN, H. STEINGAB, M. SCHOLLENBERGER, M. RODEHUTSCORD, 2013: Effects of different tannin-rich extracts and rapeseed tannin monomers on methane formation and microbial protein synthesis *in vitro*. *Animal* 7, 1796–1805.
- ZUBER, T., H.P. MAURER, J. MÖHRING, N. NAUTSCHER, W. SIEGERT, P. ROSENFELDER, M. RODEHUTSCORD, 2016: Variability in amino acid digestibility of triticale grain from diverse genotypes as studied in cecectomized laying hens. *Poult. Sci.*, online early available, <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew174>.

## Anhang:

Tab. A1: Gehalte an Rohnährstoffen, Faserfraktionen, Stärke, Bruttoenergie und Aminosäuren in den Lupinenvarianten (g/kg TM, falls nicht anders angegeben)

|                         | Lupinenvariante |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Mw   | SD   |
|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 1               | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |      |      |
| T-Gehalt, g/kg          | 902             | 897  | 908  | 912  | 907  | 909  | 891  | 890  | 898  | 901  | 894  | 895  | 900  | 7,4  |
| Rohasche                | 37              | 35   | 41   | 42   | 47   | 45   | 39   | 40   | 42   | 36   | 37   | 38   | 40   | 3,6  |
| Rohprotein              | 380             | 337  | 357  | 357  | 440  | 380  | 311  | 302  | 383  | 342  | 313  | 331  | 353  | 39,1 |
| Rohfett                 | 65              | 59   | 54   | 71   | 57   | 114  | 79   | 75   | 57   | 60   | 76   | 65   | 69   | 16,4 |
| Rohfaser                | 141             | 151  | 168  | 149  | 151  | 109  | 151  | 131  | 158  | 143  | 142  | 163  | 146  | 15,5 |
| aNDForg                 | 231             | 239  | 254  | 241  | 261  | 190  | 249  | 223  | 250  | 228  | 250  | 243  | 238  | 18,8 |
| ADForg                  | 207             | 214  | 232  | 211  | 210  | 214  | 209  | 201  | 145  | 213  | 198  | 222  | 206  | 21,2 |
| ADL                     | 10              | 10   | 14   | 11   | 12   | 14   | 7    | 8    | 5    | 4    | 6    | 5    | 9    | 3,6  |
| Stärke                  | 95              | 99   | 100  | 75   | 56   | 88   | 107  | 114  | 93   | 103  | 107  | 99   | 95   | 15,6 |
| Bruttoenergie, MJ/kg TM | 20,1            | 20,0 | 19,9 | 20,4 | 20,5 | 21,6 | 20,8 | 20,0 | 19,7 | 20,1 | 20,6 | 20,3 | 20,3 | 0,5  |
| Alanin                  | 12,0            | 11,4 | 12,1 | 12,3 | 14,2 | 12,1 | 11,0 | 10,5 | 12,0 | 11,7 | 10,4 | 11,8 | 11,8 | 0,98 |
| Arginin                 | 41,5            | 35,8 | 37,5 | 40,5 | 49,8 | 39,1 | 30,3 | 31,1 | 42,4 | 38,2 | 31,6 | 36,5 | 37,9 | 5,51 |
| Asparaginsäure          | 37,2            | 33,7 | 35,1 | 37,9 | 42,9 | 39,2 | 30,5 | 30,9 | 37,6 | 35,3 | 31,5 | 34,2 | 35,5 | 3,68 |
| Cystein                 | 5,0             | 5,1  | 5,1  | 4,6  | 7,8  | 6,1  | 4,0  | 4,6  | 5,3  | 4,5  | 4,2  | 5,2  | 5,1  | 1,01 |
| Glutaminsäure           | 80,8            | 72,7 | 76,2 | 78,7 | 95,8 | 76,4 | 61,3 | 65,5 | 83,3 | 76,9 | 66,4 | 73,1 | 75,6 | 9,10 |
| Glycin                  | 15,5            | 14,5 | 15,0 | 15,6 | 16,9 | 14,6 | 13,4 | 12,9 | 15,4 | 14,6 | 12,9 | 14,7 | 14,7 | 1,17 |
| Histidin                | 10,7            | 10,0 | 10,2 | 10,6 | 12,2 | 9,5  | 9,2  | 9,0  | 10,9 | 10,3 | 9,2  | 9,9  | 10,1 | 0,89 |
| Isoleucin               | 14,1            | 13,1 | 13,5 | 14,5 | 15,9 | 14,4 | 11,8 | 12,0 | 13,6 | 13,2 | 11,5 | 13,7 | 13,4 | 1,24 |
| Leucin                  | 25,4            | 23,8 | 24,3 | 25,2 | 31,0 | 27,7 | 21,4 | 21,7 | 25,5 | 23,9 | 21,6 | 24,0 | 24,6 | 2,73 |
| Lysin                   | 16,7            | 16,2 | 16,4 | 17,2 | 21,5 | 17,4 | 15,0 | 14,7 | 17,0 | 16,0 | 14,7 | 16,6 | 16,6 | 1,79 |
| Methionin               | 2,2             | 2,3  | 2,3  | 2,3  | 2,9  | 2,7  | 2,3  | 2,1  | 2,2  | 2,1  | 2,0  | 2,4  | 2,3  | 0,26 |
| Phenylalanin            | 14,2            | 13,1 | 13,5 | 14,5 | 16,4 | 14,1 | 12,1 | 12,1 | 14,1 | 13,4 | 12,2 | 13,3 | 13,6 | 1,23 |
| Prolin                  | 15,4            | 13,8 | 14,0 | 14,9 | 16,1 | 14,7 | 12,5 | 12,3 | 14,5 | 13,9 | 12,8 | 13,6 | 14,0 | 1,14 |
| Serin                   | 19,3            | 17,1 | 17,5 | 19,2 | 21,5 | 20,5 | 15,6 | 16,0 | 19,5 | 18,3 | 16,8 | 17,2 | 18,2 | 1,82 |
| Threonin                | 12,4            | 12,0 | 12,3 | 12,8 | 14,3 | 13,9 | 11,5 | 10,8 | 12,4 | 11,8 | 10,8 | 12,1 | 12,3 | 1,05 |
| Tyrosin                 | 12,6            | 11,0 | 11,5 | 12,9 | 12,0 | 15,3 | 10,6 | 10,6 | 12,2 | 12,0 | 10,4 | 11,1 | 11,8 | 1,35 |
| Valin                   | 12,9            | 12,8 | 12,9 | 13,3 | 14,6 | 13,3 | 12,0 | 11,4 | 12,4 | 12,0 | 10,8 | 13,1 | 12,6 | 1,00 |

Tab. A2: Gehalte an Mineralstoffen (mg/kg TM), Alkaloiden (g/kg TM) und Stickstofffraktionen<sup>†</sup> (% im Rohprotein) in den Lupinenvarianten

|                         | Lupinenvariante |      |      |       |       |        |       |       |       |      |       |       | Mw    | SD     |
|-------------------------|-----------------|------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
|                         | 1               | 2    | 3    | 4     | 5     | 6      | 7     | 8     | 9     | 10   | 11    | 12    |       |        |
| Calcium                 | 2577            | 2563 | 2847 | 2911  | 2168  | 2168   | 2536  | 2123  | 2350  | 2574 | 1774  | 2591  | 2432  | 326,2  |
| Kupfer                  | 4,8             | 5,2  | 5,5  | 6,3   | 8,7   | 8,0    | 3,8   | 4,5   | 5,1   | 3,9  | 3,1   | 6,0   | 5,4   | 1,65   |
| Eisen                   | 43,3            | 40,2 | 65,5 | 34,8  | 64,5  | 30,7   | 55,4  | 87,2  | 34,8  | 36,5 | 40,0  | 34,4  | 47,3  | 17,25  |
| Kalium                  | 9266            | 8514 | 9879 | 10282 | 11117 | 12035  | 9104  | 9768  | 10146 | 8569 | 9186  | 9640  | 9792  | 1019,3 |
| Magnesium               | 1602            | 1637 | 1811 | 1810  | 2841  | 1467   | 1760  | 2013  | 1823  | 1727 | 1561  | 1632  | 1807  | 356,6  |
| Mangan                  | 24,3            | 46,9 | 27,5 | 73,5  | 116,8 | 1198,2 | 228,2 | 135,3 | 35,3  | 67,0 | 127,1 | 163,7 | 187,0 | 324,4  |
| Natrium                 | 45,0            | 78,3 | 57,4 | 36,1  | 38,7  | 54,8   | 40,2  | 45,3  | 52,4  | 38,7 | 43,5  | 37,8  | 47,3  | 11,99  |
| Phosphor                | 3742            | 3361 | 4771 | 4980  | 6721  | 5509   | 4870  | 4435  | 5054  | 4533 | 4940  | 4765  | 4807  | 837,2  |
| Zink                    | 34,5            | 30,0 | 36,6 | 38,3  | 66,9  | 53,4   | 33,1  | 31,3  | 29,6  | 29,7 | 32,5  | 34,3  | 37,5  | 11,26  |
| Alkaloide               | 0,09            | 0,03 | 0,04 | 0,30  | 0,40  | 0,05   | 0,39  | 0,10  | 0,08  | 0,07 | 0,07  | 0,09  | 0,14  | 0,137  |
| Fraktion A              | 3,4             | 1,8  | 6,1  | 1,3   | 4,3   | 5,5    | 2,8   | 2,6   | 8,2   | 1,2  | 0,9   | 1,2   | 3,3   | 2,32   |
| Fraktion B <sub>1</sub> | 80,5            | 78,2 | 72,1 | 77,3  | 74,6  | 75,7   | 74,9  | 78,0  | 72,7  | 76,4 | 75,0  | 78,5  | 76,2  | 2,47   |
| Fraktion B <sub>2</sub> | 15,0            | 18,5 | 20,2 | 19,9  | 19,1  | 17,1   | 20,9  | 17,7  | 17,8  | 21,0 | 22,5  | 18,8  | 19,0  | 2,03   |
| Fraktion B <sub>3</sub> | 0,2             | 0,5  | 0,3  | 0,3   | 0,8   | 0,6    | 0,2   | 0,4   | 0,4   | 0,2  | 0,2   | 0,2   | 0,4   | 0,20   |
| Fraktion C              | 0,9             | 1,0  | 1,2  | 1,3   | 1,2   | 1,1    | 1,2   | 1,3   | 0,9   | 1,3  | 1,4   | 1,3   | 1,2   | 0,17   |

<sup>†</sup>Fraktion A: Nicht-Protein-Stickstoff, Fraktion B<sub>1-3</sub>: Pufferlöslicher Stickstoff (absteigende Löslichkeit), Fraktion C: ADF-gebundener Stickstoff

Tab. A3: Gehalte an Rohnährstoffen, Faserfraktionen, Stärke, Bruttoenergie und Aminosäuren in den Erbsenvarianten (g/kg TM, falls nicht anders angegeben)

|                         | Erbsenvariante |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Mw   | SD   |
|-------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 1              | 2    | 3    | 4    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |      |      |
| T-Gehalt, g/kg          | 882            | 884  | 884  | 885  | 883  | 885  | 883  | 881  | 866  | 891  | 884  | 882  | 883  | 5,7  |
| Rohasche                | 32             | 32   | 31   | 32   | 35   | 30   | 28   | 29   | 28   | 28   | 30   | 27   | 30   | 2,4  |
| Rohprotein              | 250            | 253  | 251  | 219  | 249  | 228  | 229  | 249  | 230  | 222  | 248  | 226  | 238  | 13,1 |
| Rohfett                 | 22             | 24   | 23   | 19   | 20   | 19   | 20   | 19   | 23   | 21   | 20   | 22   | 21   | 1,7  |
| Rohfaser                | 66             | 62   | 69   | 60   | 65   | 55   | 51   | 56   | 48   | 56   | 53   | 63   | 59   | 6,6  |
| aNDForg                 | 119            | 120  | 113  | 115  | 130  | 118  | 110  | 129  | 138  | 160  | 142  | 154  | 129  | 16,4 |
| ADForg                  | 90             | 87   | 89   | 83   | 85   | 75   | 73   | 84   | 74   | 86   | 81   | 98   | 84   | 7,3  |
| ADL                     | 0,1            | 3,1  | 2,6  | 1,9  | 3,0  | 2,5  | 1,9  | 3,8  | 1,6  | 8,0  | 0,8  | 8,0  | 3,1  | 2,50 |
| Stärke                  | 493            | 498  | 488  | 524  | 482  | 526  | 519  | 504  | 520  | 511  | 501  | 508  | 506  | 14,4 |
| Bruttoenergie, MJ/kg TM | 19,0           | 19,1 | 19,0 | 18,6 | 18,7 | 18,8 | 18,6 | 18,9 | 18,9 | 18,8 | 19,0 | 19,1 | 18,9 | 1,78 |
| Alanin                  | 10,8           | 10,6 | 10,8 | 9,7  | 10,1 | 10,0 | 10,1 | 10,4 | 10,1 | 9,6  | 10,9 | 9,9  | 10,2 | 0,43 |
| Arginin                 | 22,7           | 24,0 | 23,0 | 18,6 | 22,5 | 19,0 | 18,6 | 20,8 | 19,0 | 20,7 | 21,5 | 19,2 | 20,8 | 1,91 |
| Asparaginsäure          | 29,7           | 29,0 | 29,6 | 25,7 | 28,0 | 27,2 | 26,9 | 29,4 | 27,6 | 25,3 | 31,1 | 28,0 | 28,1 | 1,72 |
| Cystein                 | 3,3            | 3,2  | 3,0  | 3,2  | 2,9  | 3,7  | 3,7  | 3,0  | 3,5  | 3,1  | 3,2  | 2,5  | 3,2  | 0,33 |
| Glutaminsäure           | 42,8           | 42,2 | 43,2 | 37,1 | 41,1 | 38,9 | 38,0 | 41,8 | 38,9 | 38,9 | 42,6 | 39,4 | 40,4 | 2,11 |
| Glycin                  | 10,8           | 10,8 | 10,8 | 9,9  | 10,2 | 10,2 | 10,4 | 10,6 | 10,4 | 9,9  | 11,1 | 9,9  | 10,4 | 0,41 |
| Histidin                | 6,7            | 6,7  | 6,9  | 6,1  | 6,2  | 6,4  | 6,4  | 6,9  | 6,5  | 6,2  | 6,9  | 6,2  | 6,5  | 0,30 |
| Isoleucin               | 9,9            | 9,4  | 9,4  | 8,6  | 9,6  | 9,0  | 9,1  | 9,4  | 8,9  | 8,8  | 10,1 | 9,3  | 9,3  | 0,45 |
| Leucin                  | 18,1           | 17,6 | 18,0 | 15,7 | 17,9 | 16,6 | 16,2 | 18,1 | 16,6 | 16,3 | 18,5 | 17,1 | 17,2 | 0,92 |
| Lysin                   | 18,2           | 17,8 | 18,1 | 16,2 | 18,1 | 17,1 | 16,9 | 18,4 | 17,0 | 16,4 | 18,5 | 17,5 | 17,5 | 0,79 |
| Methionin               | 2,4            | 2,4  | 2,3  | 2,2  | 2,2  | 2,3  | 2,4  | 2,2  | 2,3  | 2,2  | 2,4  | 2,1  | 2,3  | 0,10 |
| Phenylalanin            | 12,1           | 11,5 | 11,5 | 10,5 | 11,9 | 11,3 | 11,1 | 11,8 | 11,3 | 10,2 | 12,2 | 11,0 | 11,4 | 0,61 |
| Prolin                  | 10,1           | 10,0 | 10,4 | 9,1  | 10,3 | 10,1 | 9,9  | 9,9  | 9,9  | 9,2  | 10,3 | 9,0  | 9,8  | 0,49 |
| Serin                   | 12,6           | 12,3 | 12,6 | 11,2 | 12,4 | 11,9 | 11,4 | 12,8 | 12,0 | 11,2 | 12,8 | 11,7 | 12,1 | 0,60 |
| Threonin                | 9,6            | 9,6  | 9,7  | 8,7  | 9,0  | 8,9  | 8,9  | 9,5  | 9,1  | 8,5  | 9,8  | 9,1  | 9,2  | 0,44 |
| Tyrosin                 | 8,0            | 7,7  | 7,7  | 7,0  | 7,5  | 7,5  | 7,5  | 7,7  | 7,5  | 6,8  | 8,0  | 7,3  | 7,5  | 0,36 |
| Valin                   | 11,2           | 10,8 | 10,7 | 9,7  | 10,6 | 9,9  | 10,2 | 10,6 | 10,1 | 10,1 | 11,3 | 10,3 | 10,5 | 0,49 |

Tab. A4: Gehalte an Mineralstoffen (mg/kg TM), Trypsininhibitor-Aktivität (mg/g), Tanninen (% i. TM) und Stickstofffraktionen<sup>†</sup> (% im Rohprotein) in den Erbsenvarianten

|                            | Erbsenvariante |      |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      | Mw   | SD    |
|----------------------------|----------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                            | 1              | 2    | 3     | 4     | 6     | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |      |       |
| Calcium                    | 956            | 637  | 793   | 525   | 773   | 963  | 1008 | 641  | 735  | 399  | 989  | 778  | 766  | 193,1 |
| Kupfer                     | 5,6            | 6,0  | 6,3   | 7,1   | 6,2   | 6,6  | 5,9  | 3,9  | 6,1  | 3,3  | 5,6  | 5,6  | 5,7  | 1,08  |
| Eisen                      | 43,6           | 57,7 | 608,7 | 57,8  | 48,4  | 53,3 | 43,9 | 47,4 | 45,3 | 46,1 | 46,5 | 30,0 | 94,1 | 162,2 |
| Kalium                     | 9744           | 9906 | 9131  | 10374 | 10845 | 9346 | 8831 | 9284 | 8992 | 9617 | 9537 | 8357 | 9497 | 676,1 |
| Magnesium                  | 1156           | 1091 | 1198  | 1070  | 1176  | 1164 | 1149 | 1178 | 998  | 984  | 1212 | 1033 | 1118 | 79,4  |
| Mangan                     | 12,2           | 10,2 | 22,7  | 9,7   | 10,4  | 8,3  | 10,9 | 15,2 | 9,1  | 8,4  | 15,4 | 9,3  | 11,8 | 4,17  |
| Natrium                    | 17,8           | 11,8 | 18,5  | 15,1  | 13,2  | 10,2 | 9,6  | 8,9  | 10,8 | 14,0 | 13,9 | 11,7 | 12,9 | 3,07  |
| Phosphor                   | 3886           | 4202 | 3908  | 3771  | 4418  | 3535 | 3050 | 3264 | 3026 | 3502 | 3042 | 3271 | 3573 | 467,6 |
| Zink                       | 31,0           | 38,1 | 32,2  | 33,9  | 33,4  | 44,2 | 30,9 | 25,0 | 26,8 | 19,5 | 35,1 | 21,9 | 31,0 | 6,93  |
| Trypsininhibitoren         | 8,6            | 5,4  | 4,6   | 9,0   | 8,9   | 9,4  | 5,9  | 8,0  | 4,6  | 6,8  | 3,3  | 4,0  | 6,5  | 2,20  |
| Tanninphenole <sup>#</sup> | n.n.           | n.n. | n.n.  | n.n.  | n.n.  | n.n. | n.n. | n.n. | n.n. | 0,19 | n.n. | n.n. | 0,02 | -     |
| Kondensierte Tannine       | 0,01           | 0,01 | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,36 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,101 |
| Fraktion A                 | 6,1            | 7,3  | 6,5   | 5,9   | 6,8   | 5,6  | 7,2  | 6,3  | 6,3  | 5,4  | 5,8  | 5,2  | 6,2  | 0,66  |
| Fraktion B <sub>1</sub>    | 64,0           | 67,4 | 64,6  | 61,8  | 63,1  | 63,9 | 63,8 | 61,3 | 65,5 | 59,1 | 67,3 | 67,7 | 64,1 | 2,63  |
| Fraktion B <sub>2</sub>    | 28,1           | 24,4 | 27,6  | 30,4  | 28,9  | 29,2 | 27,6 | 30,3 | 25,5 | 29,9 | 25,6 | 26,0 | 27,8 | 2,04  |
| Fraktion B <sub>3</sub>    | 1,2            | 0,4  | 0,7   | 1,2   | 0,6   | 0,7  | 0,9  | 1,3  | 2,0  | 4,1  | 0,7  | 0,6  | 1,2  | 1,02  |
| Fraktion C                 | 0,6            | 0,5  | 0,6   | 0,7   | 0,5   | 0,6  | 0,5  | 0,8  | 0,7  | 1,5  | 0,6  | 0,6  | 0,7  | 0,28  |

<sup>†</sup>Fraktion A: Nicht-Protein-Stickstoff, Fraktion B<sub>1-3</sub>: Pufferlöslicher Stickstoff (absteigende Löslichkeit), Fraktion C: ADF-gebundener Stickstoff;

<sup>#</sup>berechnet als Differenz aus Gesamt-Phenolen und nicht-Tannin-Phenolen; n.n.: nicht nachweisbar



Herausgeber:

UNION ZUR FÖRDERUNG VON  
OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (UFOP)

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de