



UFOP-SCHRIFTEN | AGRAR

# ABSCHLUSSBERICHT

Erbsen und Erbsenprodukte in der Hühnermast und Ferkelaufzucht unter besonderer Berücksichtigung der Darmgesundheit

## Autoren

Anna Isabella Kirn<sup>1</sup>, Peter Weindl<sup>1</sup>, Prof. Dr. Gerhard Bellof<sup>1</sup>, Dr. Wilfried Vahjen<sup>2</sup>, Prof. Dr. Jürgen Zentek<sup>2</sup>, Dr. M. Weber<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), <sup>2</sup>Freie Universität Berlin, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL),

<sup>3</sup>Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden

# - Abschlussbericht -

## **Erbsen und Erbsenprodukte in der Hühnermast unter besonderer Berücksichtigung der Darmgesundheit**



**Autoren:** Anna Isabella Kirn, Peter Weindl, Prof. Dr. Gerhard Bellof (alle HSWT), Dr. Wilfried Vahjen, Prof. Dr. Jürgen Zentek (beide FU Berlin)

**Projektpartner:** Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT)  
Fakultät Nachhaltige Agrar- und Energiesysteme  
Fachgebiet Tierernährung  
Am Staudengarten 1  
85354 Freising

Freie Universität Berlin (FU Berlin)  
Institut für Tierernährung  
Königin-Luise-Str. 49  
14195 Berlin

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Institut für Technik und Tierhaltung  
Bayerische Staatsgüter (BaySG)  
Staatsgut Kitzingen  
Mainbernheimer Str. 101  
97318 Kitzingen

**Projektgeber:** Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP)  
Claire-Waldoff-Strasse 7  
10117 Berlin

**Projekt-Nr.:** 524/211

**Datum:** Dezember 2022

Kontakt: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Nachhaltige Agrar- und Energiesysteme, Am Staudengarten 1, 85354 Freising (gerhard.bellof@hswt.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Stand des Wissens.....</b>	<b>8</b>
2.1 Erbsen und Erbsenprodukte als Futtermittel.....	8
2.2 Intestinale Effekte und gesundheitliche Aspekte von Inhaltsstoffen der Erbsen beim Geflügel	16
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>21</b>
3.1 Fütterungsversuch .....	21
3.2 Darmgesundheit.....	23
3.3 Statistische Analysen.....	25
<b>4. Ergebnisse.....</b>	<b>26</b>
4.1 Futtermittelanalysen.....	26
4.2 Versuchsdurchführung und Verlustgeschehen.....	27
4.3 Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die Mastleistung .....	28
4.4 Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Merkmale der Schlachtleistung .....	30
4.5 Fußballengesundheit.....	31
4.6 Darmgesundheit.....	31
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>36</b>
5.1 Rohnährstoffe und eingesetzte Alleinfuttermischungen.....	36
5.2 Biologische Leistungsparameter .....	37
5.3 Fußballengesundheit.....	41
5.4 Darmgesundheit.....	41
5.5 Fazit .....	43
<b>6. Zusammenfassende Schlussfolgerungen .....</b>	<b>44</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>46</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>51</b>
Material und Methode.....	51
Ergebnisse .....	53

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Effekte von Nahrungsfasern auf das Wohlbefinden und die Tiergesundheit monogastrischer Tiere.....	12
Abbildung 2: Relative Abundanz der potenziell gesundheitsschädlichen Bakterien in der Digesta des Ileums von männlichen Ross 308 Masthühnern an Lebenstag 36 .....	34
Abbildung 3: Relative Abundanz der potenziell gesundheitsschädlichen Bakterien in der Digesta des Zäkums von männlichen Ross 308 Masthühnern an Lebenstag 36.....	35

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhaltsstoffe (g/kg) von weißblühenden Erbsen, Erbsenproteinkonzentrat und Erbsenschale in 88 % Trockensubstanz .....	8
Tabelle 2: Kohlenhydrat- und Ligningehalte von weißblühenden Erbsen, Ackerbohnen und Sojaextraktionsschrot (SES) (g/kg TM) .....	11
Tabelle 3: Versuchsdesign und Mischungsanteile (in %) von Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK) und Erbsenschalen (ES) in den Alleinfuttermischungen .....	21
Tabelle A-4: Zusammensetzung (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) und Zielgehalte (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Starter-Phase P1 (Tag 1-14).....	51
Tabelle A-5: Zusammensetzung (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) und Zielgehalte (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Mast-Phase P2 (Tag 14-34).....	52
Tabelle A-6: Inhaltsstoff- und Energiegehalte der eingesetzten Rohstoffe Erbsen, Erbsenschalen (ES), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Sojaextraktionsschrot High Protein (SES-HP), Mais und Weizen (Angaben bezogen auf 88 % TS).....	53
Tabelle A-7: Analysierte Inhaltsstoffe und Energiegehalte der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Starter-Phase P1 (Tag 1-14).....	54
Tabelle A-8: Analysierte Inhaltsstoffe und Energiegehalte der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Mast-Phase P2 (Tag 14-34) .....	55
Tabelle A-9: Einfluss der Fütterungsvariante auf den Futterverbrauch in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (g/Tier) (LS Means und SE) .....	56
Tabelle A-11: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Wasserverbrauch in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (kg/Tier) (LS Means und SE) .....	58
Tabelle A-12: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Wasserverbrauch im Betrachtungszeitraum Tag 14-21, Tag 21-28 und Tag 28-34 (kg/Tier) (LS Means und SE) .....	59
Tabelle A-13: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die Lebendmasseentwicklung (g/Tier) (LS Means und SE).....	60
Tabelle A-14: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die durchschnittlichen Tageszunahmen (g/Tier) (LS Means und SE) .....	61

Tabelle A-15: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Futteraufwand in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (kg Futter/kg Zuwachs) (LS Means und SE).....	62
Tabelle A-16: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Futteraufwand im Betrachtungszeitraum Tag 14-28, und Tag 28-34 (kg Futter/kg Zuwachs) (LS Means und SE).....	63
Tabelle A-17: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf das Verhältnis Wasser zu Futter in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (kg Wasser/kg Futter) (LS Means und SE).....	64
Tabelle A-18: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf das Verhältnis Wasser zu Futter im Betrachtungszeitraum Tag 14-21, Tag 21-28 und Tag 28-34 (kg Wasser/kg Futter) (LS Means und SE).....	65
Tabelle A-19: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Lebendgewicht (LG) (g/Tier), Schlachtgewicht (SG) (g/Tier), Ausschachtung (%) und Carcasse (g/Tier, % vom Schlachtgewicht) (LS Means und SE).....	66
Tabelle A-20: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Lebergewicht (g/Tier, % vom Lebendgewicht), Muskelmagen (g/Tier, % vom Lebendgewicht) und Abdominalfett (g/Tier, % vom Schlachtgewicht) (LS Means und SE).....	67
Tabelle A-21: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die wertvolle Teilstücke Brust mit Haut, Schenkel mit Haut, Flügel mit Haut (g/Tier, % vom Schlachtgewicht) (LS Means und SE).....	68
Tabelle A-22: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den TM-Gehalt (g/kg Originalsubstanz) und die Viskosität (mpas) des Faeces (LS Means und SE).....	69
Tabelle A-23: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den TS-Gehalt der Einstreu (% der Originalsubstanz) und die Fußballengesundheit (Score 0-4, nach HOCKING et al. 2008).....	70
Tabelle A-24: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigt-kettigen Fettsäuren (BCFA) und Gesamtfettsäuren ( $\mu\text{mol/g}$ der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Ileums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4.....	71
Tabelle A-25: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigt-kettigen Fettsäuren (BCFA) und (% mol der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Ileums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4.....	72
Tabelle A-26: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigt-kettigen Fettsäuren (BCFA) und Gesamtfettsäuren ( $\mu\text{mol/g}$ der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Zäkums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4.....	73
Tabelle A-27: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigt-kettigen Fettsäuren (BCFA) und Gesamtfettsäuren (% mol der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Zäkums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4.....	74

Tabelle A-28: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die relative Abundanz (in %) der bakteriellen 16S-rDNA in dem Digesta des Ileums (Median) .....	75
Tabelle A-29: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die relative Abundanz (in %) der bakteriellen 16S-rDNA in dem Digesta des Zäkums (Median), Stichprobengröße = 12 .....	76
Tabelle A-30: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Richness, Shannon-Index und Evenness für das Mikrobiom im Ileum (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)) .....	78
Tabelle A-31: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Richness, Shannon-Index und Evenness für das Mikrobiom im Zäkum (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)) .....	79

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Die Körnererbse (*Pisum sativum*) ist in Anbetracht ihrer Anbaufläche in Deutschland die wichtigste Körnerleguminose. Die Erbse wird anhand ihrer botanischen Merkmale in weißblühende und buntblühende Sorten differenziert und wird zur Erzeugung von Lebensmitteln und als Futtermittel verwendet (BERK und EBERT 2016; DURST et al. 2021; SCHMIDT und LANGANKY 2022). Zu den vermarktungsfähigen Produkten der Erbse gehören das Erbseneiweiß, die Erbsenstärke und die Erbsenfaser, welche in der Herstellung von Lebensmitteln für die Humanernährung Verwendung finden. Darüber hinaus werden ebenfalls im Bereich der Tierernährung neben der ganzen Erbse auch das Erbsenprotein und die Erbsenfaser eingesetzt. Das mögliche Potenzial für den Einsatz der Körnererbse als Futtermittel hängt dabei vom Nutztiersystem ab. In der Geflügelhaltung ergeben sich futtermittelspezifische Restriktionen durch die vergleichsweise geringen Anteile an essenziellen, schwefelhaltigen Aminosäuren und die Gehalte an antinutritiv wirkenden sekundären Pflanzeninhaltsstoffen. Zu den wertbestimmenden Inhaltsstoffen der Körnererbse können neben dem Rohprotein auch die Inhaltsstoffe aus der Gruppe der Kohlenhydrate und der Nahrungsfaser (englisch: „dietary fibre“), auch Ballaststoffe genannt, als bedeutsam für die tierische Erzeugung angesehen werden (QU-ENDT et al. 2022). Der Verzehr von Erbsen hat nachgewiesene, potenzielle gesundheitliche Vorteile, welche sich hauptsächlich aus der Konzentration und den Eigenschaften ihrer Inhaltsstoffe ergeben. Dabei sollen vor allem die Ballaststoffe aus der Samenschale und den Zellwänden zur Magen-Darm-Funktion und Gesundheit beitragen (DAHL et al. 2012).

In diesem Zusammenhang war das Ziel der Untersuchung, den Einfluss von weißblühenden Erbsen und daraus hergestellten Erbsenproteinkonzentraten sowie Erbsenschalen auf ausgewählte, produktionstechnische Leistungskennzahlen und die Darmgesundheit von Masthühnchen zu untersuchen.

Der für den Fütterungsversuch gewählte Ansatz einer systematischen Prüfung sollte folgende Fragestellungen klären:

- Welche Auswirkungen zeigen unterschiedliche Mischungsanteile an Erbsen, Erbsenproteinkonzentrat oder Erbsenschalen in Alleinfuttermischungen für Broiler auf Futterraufnahme, Lebendmasseentwicklung und Futteraufwand pro kg Zuwachs? Wie ist der Schlachtkörperwert von Broilern zu beurteilen?
- Ergeben sich zwischen den Fütterungsvarianten Unterschiede für ausgewählte mikrobiologische Merkmale des Darmes („Darmgesundheit“)?

## 2. Stand des Wissens

### 2.1 Erbsen und Erbsenprodukte als Futtermittel

Die Erbse zählt als Körnerleguminose vorrangig zu den proteinliefernden Futtermitteln und ist insgesamt für die Fütterung von landwirtschaftlichen Nutztieren gut geeignet (BELLOF et al. 2020; DURST et al. 2021). Dabei kann der gezielte Einsatz der Körnerleguminose als Eiweißlieferant zu einer Reduktion des kritisch gesehenen Imports von Sojaprodukten aus Übersee beitragen (BELLOF und SPECHT 2022; QUENDT et al. 2022). Aus ernährungsphysiologischer Sicht eignen sich besonders die weißblühenden Sorten für die Geflügelfütterung (BELLOF et al. 2020).

#### 2.1.1 Inhaltsstoffe

Die Inhaltsstoffe der weißblühenden Erbse, des Erbsenproteinkonzentrats und der Erbsenschale sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1: Inhaltsstoffe (g/kg) von weißblühenden Erbsen, Erbsenproteinkonzentrat und Erbsenschale in 88 % Trockensubstanz**

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Einheit</i>	<b>Körnererbsen (weißblühend)<sup>1</sup></b>	<b>Erbsenschalen<sup>2</sup></b>	<b>Erbsenproteinkonzentrat<sup>3</sup></b>
<i>Trockenmasse</i>	g	880	880	880
<i>Rohasche</i>	g	33	26	47
<i>Rohprotein</i>	g	200	53	527
<i>Lysin</i>	g	15	1,7	29,4
<i>Methionin</i>	g	1,9	0,7	4,5
<i>Cystin</i>	g	2,5	0,8	5,9
<i>Threonin</i>	g	7,9	2,1	16,7
<i>Rohfaser</i>	g	57	470	15
<i>ADFom</i>	g	70	572	-
<i>aNDFom</i>	g	100	632	-
<i>NDF</i>	g	-	-	47
<i>Rohfett</i>	g	13	-	16
<i>Stärke</i>	g	430	71	-
<i>Zucker</i>	g	40	7	-
<i>Calcium</i>	g	1,1	5	1,1
<i>Phosphor</i>	g	3,7	0,7	7,9
<i>Kalium</i>	g	11,7 <sup>1</sup>	0	15,8

Quellen: In Anlehnung an DURST et al. (2021)<sup>1</sup>, WEBER et al. (2021)<sup>2</sup> und VALENCIA et al. (2008)<sup>3</sup>

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2014)<sup>4</sup>

Die Körnererbse zeichnet sich durch einen mittleren Rohproteingehalt von 20 % und einen hohen Stärkegehalt (40 % - 57 %) bei zurücktretenden Zellwandbestandteilen aus (BELLOF et

al. 2020; DURST et al. 2021). Durch Schälen der Erbsen und anschließendem Mahlen und Klarsieren mit Luft können die feinen Partikel (Eiweißfraktion) von den groben Partikeln (Stärkefraktion) der Erbsen getrennt werden. Die hauptsächlich aus Eiweiß bestehenden feinen Partikel finden in der Monogastrierfütterung als Erbsenproteinkonzentrat mit 40,0 % bis 60,5 % Rohprotein und einem Reststärkegehalt von 2,0 % bis 7,5 % als Alternative zu herkömmlichen Proteinquellen Verwendung (FRIKHA et al. 2013; VALENCIA et al. 2008). Aus dem Erbsenproteinkonzentrat kann durch eine Isolationstechnik ein wesentlich höherer Anteil des Nicht-Proteingehalts entfernt werden, um ein Erbsenproteinisolat mit geringen Konzentrationen an antinutritiven Faktoren und einem etwa vierfach höheren Rohproteingehalt als die ursprüngliche Ackererbse herzustellen (VELAYUDHAN et al. 2019). Die Erbsenschalen eignen sich mit einem Rohfasergehalt von 470 g bei 88 % TS sehr gut als faserdichtes Futtermittel und weisen einen hohen Anteil an unlöslichen Fasern auf (WEBER et al. 2021).

## **Stärke**

Die Stärke ist ein Polysaccharid mit dem Grundbaustein Glukose, bei der die Glukosemoleküle über eine 1-4 oder 1-6  $\alpha$ -glycosidische Bindung miteinander verbunden sind (DURST et al. 2021). Die reine Stärke setzt sich zu 99 % aus  $\alpha$ -Glucan in Form der Komponenten Amylose und Amylopektin zusammen (TESTER et al. 2004). Die annähernd kugelförmigen Stärkekörnchen werden von den Pflanzen als teilkristalline Matrizen synthetisiert und je nach Kristallinität in den A,- B,- oder C-Typ klassifiziert (RADELOFF und BECK 2016; TESTER et al. 2004).

Mit 20 % bis 30 % ist die Stärke mengenmäßig einer der bedeutendsten Inhaltsstoffe in den Futtermitteln und der Ration und aufgrund der hohen Verdaulichkeit für alle Tierarten ein bedeutender Energielieferant (DURST et al. 2021). Dabei wird sie auf Basis der Verdaulichkeit in die drei Kategorien schnell verdauliche, langsam verdauliche sowie resistente Stärke klassifiziert (HARDER et al. 2014; HERWIG et al. 2020). Die resistente Stärke zeichnet sich dadurch aus, dass sie durch die pankreatischen Amylasen im Dünndarm nicht hydrolysiert wird und somit in den Dickdarm zur Fermentation gelangt (DURST et al. 2021; HARDER et al. 2014).

Die funktionellen Eigenschaften von Stärke hängen weitgehend von ihrer Molekularstruktur ab und werden durch die botanischen Quellen bedingt, aus denen sie isoliert werden (RADELOFF und BECK 2016). Vor allem der Amylosegehalt hat einen erheblichen Einfluss auf die physiochemischen und funktionellen Eigenschaften der Stärke (TESTER et al. 2004). Der enzymatische Abbau der Stärke und der Gehalt an resistenter Stärke ist unter anderem von der Herkunft, der Zusammensetzung und dem Grad der Bearbeitung der Stärke abhängig. Der enzymatische Abbau der Stärke wird zudem unter anderem von der Dauer der Enzymeinwirkung, dem Kristallinitätstyp und dem Verhältnis von Amylose zu Amylopektin der Stärke bestimmt (DAHL et al. 2012; HERWIG et al. 2020; STUTE 1990; TESTER et al. 2004). Je höher der Anteil an Amylose, umso resistenter ist diese gegen enzymatische Abbauvorgänge (HARDER et al. 2014; VAGT 2014). Der Umfang des Stärkeabbaus eines Futtermittels hängt vor allem davon ab, inwieweit die amylolytischen Bakterien in der Lage sind, die Stärke zu fermentieren (HARDER et al. 2014).

Die Erbsenstärke unterscheidet sich aufgrund der langjährigen intensiven Züchtung sowohl in der Zusammensetzung als auch in den Eigenschaften zum Teil erheblich stärker als die übrigen Leguminosenstärken (STUTE 1990). Je nach Sorte und Wachstumsbedingungen können die Amylosegehalte in der Erbse eine Spannweite von 21 % bis 90 % aufweisen (DAHL et al. 2012; HÄDER 1989; STUTE 1990). Mit den angegebenen Gehalten liegt die Erbse mit ihrem Amylosegehalt über der Mais-, Kartoffel- oder Weizenstärke mit Amylosegehalten von 20 % bis 28 % (STUTE 1990). Auch für die Gehalte der resistenten Stärke der Erbse werden je nach Literatur und Verarbeitungsmethode Werte zwischen 8 % bis 15 % angegeben (DAHL et al. 2012; KUMARI und DEKA 2021; PERERA et al. 2010). Die Erbsenstärke hat zudem einen Anteil an schnell verdaulicher Stärke von etwa 27,0 % und langsam verdaulicher Stärke von 62,9 % (KUMARI und DEKA 2021).

Im Vergleich zu Getreide-, Wurzel- und Knollenstärke weist die native Erbsenstärke mit ihrem relativ hohen Amylosegehalt eine enzymresistentere und langsam verdaulichere Stärke auf (DAHL et al. 2012). Die Erbsenstärke hat gegenüber der Getreidestärke ein höheres Verhältnis von Amylose zu Amylopektin, wobei die Körner der Kristallinität des Typ-C überwiegen. Amylose ist für Nichtwiederkäuer weniger verdaulich als Amylopektin und die Stärkekörner des Typ C sind widerstandsfähiger gegen die Pankreasamylase als die für das Getreide typischen Körner mit dem A-Muster (CZERWIŃSKI et al. 2010; SHARMA et al. 2021). Ein beträchtlicher Teil der Erbsenstärke entgeht bei Hühnern der Verdauung (CZERWIŃSKI et al. 2010). Eine In-Vitro-Verdaulichkeitsprüfung zeigte, dass der Verdaulichkeitswert von halbgereinigter Erbsenstärke nach 15 bzw. 120 Minuten bei 21 % und 88 % lag, während die Weizenstärke eine Rate von 45 % bzw. 94 % vorwies (HERWIG et al. 2019). Weiter zeigten In-vivo-Untersuchungen an Geflügel, dass bei einer Verfütterung von 100 % Erbsen 3,2 % der Stärke im terminalen Ileum unverdaut waren, während Geflügel, welches mit 0 % Erbsen gefüttert wurden, im Vergleich 0,9 % unverdaute Stärke aufwiesen (CZERWIŃSKI et al. 2010).

### **Nahrungsfasern („dietary fibre“)**

Der Begriff Nahrungsfasern umfasst nach allgemeiner Auffassung die komplexe Mischung unverdaulicher Polysaccharide wie Cellulose, Hemicellulosen, Oligosaccharide, resistente Stärke, Pektine, Lignin und verwandte Pflanzenstoffe, die in Pflanzen hauptsächlich als Zellwandmaterial vorkommen. Diese Nahrungsfasern widerstehen der Verdauung und Absorption im Dünndarm und werden im Dickdarm von Mikroorganismen teilweise oder vollständig zu kurzkettigen Fettsäuren fermentiert (DURST et al. 2021; TOSH und YADA 2010). Neben den kurzkettigen Fettsäuren (SCFA = short chain fatty acids) gehören auch Gase zu den Fermentationsprodukten. Während die Gase aufgrund von Blähungen Verdauungsbeschwerden verursachen können, unterstützen die SCFA die Gesundheit der Darmschleimhaut (TOSH und YADA 2010).

Die mit der Nahrung aufgenommenen Kohlenhydrate bilden eine vielfältige Gruppe von Verbindungen, die sich hinsichtlich ihrer chemischen Struktur und physikochemischen Eigenschaften erheblich unterscheiden (BACH KNUDSEN et al. 2018). Die Nahrungsfasern werden nach ihrer Löslichkeit in lösliche und unlösliche Nahrungsfasern eingeteilt (DUSEL 2018). Lig-

nin, Cellulose und einige Hemicellulosen fallen in die Kategorie der unlöslichen Nahrungsfasern (KUMARI und DEKA 2021; TOSH und YADA 2010). Zu den löslichen Fasern gehören resistente Stärke, Galactomannane Oligosaccharide, Hemicellulose,  $\beta$ -Glucane, Pektine und Fructane (DURST et al. 2021; KUMARI und DEKA 2021; TOSH und YADA 2010). Diese beiden Fraktionen zeichnen sich durch unterschiedliche physiologische Funktionen und ernährungsphysiologische Vorteile aus (TOSH und YADA 2010). Die löslichen Fasern sind am leichtesten fermentierbar, während die unlöslichen Fasern langsamer oder überhaupt nicht fermentiert werden (BACH KNUDSEN et al. 2018).

Stärke und Nahrungsfasern sind die Hauptbestandteile von Erbsen. Die Ballaststoffe in Erbsen stammen sowohl aus der Samenschale (äußere Faser), als auch aus dem Keimblatt (innere Faser). Die Konzentration in der Trockenmasse an gesamten Ballaststoffen liegt in der Erbse bei 14 % bis 26 %, wovon die unlöslichen 10 % bis 15 % ausmachen und sich die löslichen auf 2 % bis 9 % belaufen (DAHL et al. 2012). Dabei tragen die Hülsen einen bedeutenden Teil zu dem Gehalt an unlöslichen Ballaststoffen in ganzen Hülsenfrüchten bei. Die Entfernung der Schale beim Walzenmahlen von Erbsen reduziert den unlöslichen Ballaststoffgehalt in der Trockenmasse von 11,3 % im Samen auf 5,3 % in dem entstehenden Mehl (TOSH und YADA 2010).

In Tabelle 2 sind ergänzende Kohlenhydrat- und Ligningehalte für die weißblühende Erbse und weitere ausgewählte Körnerleguminosen dargestellt.

**Tabelle 2: Kohlenhydrat- und Ligningehalte von weißblühenden Erbsen, Ackerbohnen und Sojaextraktionsschrot (SES) (g/kg TM)**

<b>Futtermittel</b>	<b>Zucker</b>	<b>Stärke</b>	<b>Oligosaccharide</b>	<b>Fructane</b>	<b>resistente Stärke</b>	<b>lösliche Fasern</b>	<b>unlösliche Fasern</b>	<b>Cellulose</b>	<b>Lignin</b>
<b>Erbsen (weiß)</b>	39	432	49	-	22	52	76	53	12
<b>Erbsenschalen</b>	15	84	-	5	4	121	148	452	9
<b>Ackerbohnen</b>	32	375	54	-	32	50	59	81	20
<b>SES</b>	77	21	60	-	-	63	92	62	16

Quelle: In Anlehnung an DURST et al. (2021)

Die Samenschale enthält größtenteils das wasserunlösliche Polysaccharid Cellulose, während die Keimblattfaser aus Polysacchariden mit unterschiedlichem Löslichkeitsgrad besteht, darunter neben Cellulose auch Hemicellulosen und Pektine (DAHL et al. 2012). Besonders hervorzuheben ist, dass sowohl die Erbse als auch die Erbsenschale geringe Gehalte an Lignin aufweist (DURST et al. 2021; TOSH und YADA 2010).

Nahrungsfaserdaten, die als "Rohfaser" in Form von sauren Detergenzfaser und neutralen Detergenzfaser ausgewiesen werden, sind nur von begrenztem Wert. Bei der Rohfaseranalyse wird nur ein Teil der unlöslichen Faserfraktion isoliert, so dass der Gesamtballaststoffgehalt stark unterschätzt wird. Ernährungsphysiologisch wichtige lösliche Faserkomponenten gehen bei der ADF- und NDF-Analyse ebenfalls verloren. Die Charakterisierung der Zellwandpolysaccharide in Hülsenfrüchten ist essenziell, um ihre Funktion als Nahrungsfaser besser verstehen zu können (TOSH und YADA 2010).

### Bedeutung von Nahrungsfasern für monogastrische Tiere

„Dietary fibre“ ist der wichtigste diätische Faktor, welcher die Verdauungs- und Absorptionsprozesse an sämtlichen Orten des Gastrointestinaltrakts und die Sekretion von Fluiden aus der Bauchspeicheldrüse sowie der Leber beeinflusst (BACH KNUDSEN et al. 2018). Sie dienen als funktionelle Inhaltsstoffe und haben verschiedene positive physiologische Wirkungen auf die Gesundheit von Monogastrier (TOSH und YADA 2010).

Die Wirkung von Nahrungsfasern auf monogastrische Tiere beginnt passiv bei der Futteraufnahme, umfasst die Darmmikrobiologie und ihre Metaboliten, setzt sich bei der Immunologie fort und endet mit der tierischen Leistung (SCHEDLE 2018).

Durch unterschiedliche Effekte auf die Tiergesundheit und auf das Wohlbefinden (Abbildung 1) erfüllen die „dietary fibre“ verschiedene Funktionen im Tierkörper (DURST et al. 2021).



**Abbildung 1: Effekte von Nahrungsfasern auf das Wohlbefinden und die Tiergesundheit monogastrischer Tiere**

Quelle: DURST et al. (2021)

Für das Geflügel gilt die erhöhte Passagerate allerdings nicht unbedingt, da der Muskelmagen selektiv verschiedene Futterpartikel zurückhält und die Passagerate im Muskelmagen durch unlösliche Fasern verringert wird (HETLAND et al. 2004). Lösliche Fasern können durch ihre ausgeprägte Wasserhaltekapazität und das Quellvermögen im Gesamten die Nährstoffresorption reduziert und die Verdauungsprozesse im Dünndarm stören (BACH KNUDSEN et al. 2018; FREITAG 2017). Bei Geflügel begünstigen wasserlösliche Nicht-Stärke-Polysaccharide die Vermehrung von *C. perfringens* und prädisponieren junge Küken für nekrotische Enteritis (PAN

und YU 2013). Nahrungsfasern können sich zudem negativ auf die Verdaulichkeit von Nährstoffen und die Energie auswirken (JHA und LETERME 2012). Die lignifizierten Nahrungsfasern werden nicht abgebaut, während unlösliche Fasern, vor allem solche mit hohen Ligninanteilen, eine Reduzierung der Futterverwertung zur Folge haben. Die Verdaulichkeit der Ration sinkt um ca. 1 % je Prozent NDF (DURST et al. 2021; FREITAG 2017).

Aufgrund der allgemeinen prebiotischen Wirkung von „dietary fibre“ auf die Darmmikrobiota haben die Nahrungsfasern positive Effekte auf die Gesundheit von Monogastrier. Die komplexen Kohlehydrate zeigen positive Auswirkungen auf die Darmgesundheit, da sie einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Darmmikrobiota, die Wachstumsstimulation, den Stoffwechsel und die Aktivitäten von Milchsäurebakterien, Bifidobakterien und anderen Mikrobenstämmen zeigen (CLEMENTE und OLIAS 2017). Es ist bekannt, dass eine nützliche mikrobielle Gemeinschaft das Immunsystem des Wirts moduliert und die Organentwicklung sowie den Stoffwechsel des Wirts beeinflusst (OAKLEY et al. 2014). Das Darmmikrobiom fördert die positive Entwicklung der Darmschleimschicht und beeinflusst die Darmmorphologie und die Aktivität der Verdauungsenzyme (OAKLEY et al. 2014; PAN und YU 2013).

Die im Dickdarm durch die Darmmikrobiota anaerob fermentierten Nahrungsfasern setzen eine Vielzahl von Metaboliten frei. Darunter fallen neben den kurzkettigen Fettsäuren, vor allem Acetat, Propionat und Butyrat, auch essenzielle Vitamine an, die die lokale und systemische Wirtsphysiologie beeinflussen (CLEMENTE und OLIAS 2017; PAN und YU 2013). Die von der Darmmikrobiota fermentierten kurzkettigen Fettsäuren wirken entzündungshemmend, fördern das Wachstum der „probiotischen“ Darmmikrobiota, stimulieren die Proliferation von Epithelzellen im Dickdarm, regen die intestinale Schleimbildung an, bilden eine Barriere für pathogene Keime und stabilisieren die gesamte Darmgesundheit (CHE et al. 2014; DURST et al. 2021; FREITAG 2017). Die infolge der mikrobiellen Fermentation entstehenden kurzkettigen Säuren haben nicht nur einen Einfluss auf die Darmgesundheit, sondern dienen dem Tier auch als Energiequelle und sind an einer Vielzahl von Stoffwechselfvorgängen beteiligt (DURST et al. 2021; PAN und YU 2013). Die bakterielle Fermentation nimmt mit steigendem Alter des Tieres zu. Außerdem zeigt sich eine deutliche sukzessive Veränderung in der taxonomischen Zusammensetzung des Mikrobioms während des Wachstums (OAKLEY et al. 2014; PAN und YU 2013).

Durch eine gezielte Rationsgestaltung mit „dietary fibre“ kann durch ihre Wirkungsweise die Entwicklung von Mikroorganismen im Magen-Darm-Trakt beeinflusst werden (DURST et al. 2021). Dabei bestimmt die Menge und die Art der Nahrungsfasern die bakterielle Flora im Dickdarm (EASTWOOD und PASSMORE 1983). In-vivo-Versuche zeigen, dass vor allem die Oligosaccharide das Wachstum von Bifidobakterien im Dickdarm signifikant beeinflussten. Die Oligosaccharide, die als lösliche Kohlenhydrate in nennenswerten Konzentrationen in Erbsen und anderen Leguminosen vorkommen, sind somit potenzielle Präbiotika (DAHL et al. 2012; TOSH und YADA 2010).

Mit den beschriebenen positiven Wirkungsweisen auf die Gesundheit verbessern die Nahrungsfasern die Schlüsselaspekte der Darmgesundheit (CLEMENTE und OLIAS 2017). Das Vermögen

der Nahrungsfasern, die Darmgesundheit positiv zu beeinflussen, ist besonders herauszuheben, da der Darm das größte Immunorgan im Lebewesen ist (DUSEL 2018). Folglich scheint „dietary fibre“ protektive Funktionen gegen die Hauptprobleme der intensiven Monogastrierproduktion zu haben (SCHEDLE 2018).

Derzeit gibt es keine konkreten Einsatzempfehlungen von Nahrungsfasern. Aktuelle Empfehlungen können nicht standardisiert betrachtet werden, da sie sich auf die gesamte Rohfaser nach der Weender Futtermittelanalyse beziehen. Gewisse Anteile an nicht enzymatisch verdaulichen, leicht löslichen Fasern können durch die bisherigen Analysemethoden nicht erfasst werden (DURST et al. 2021). Um auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Ballaststoffen eingehen zu können, müssen die Analysemethoden um die Werte für lösliche sowie unlösliche Fasern und die Fermentation sowie die Viskosität erweitert werden, damit bestimmte Fütterungsanforderungen erfüllt werden können (DUSEL 2018).

### **Sekundäre Inhaltsstoffe**

Als wichtigste antinutritive Substanz in der Erbse zählen die Tannine (BELLOF et al. 2020). Zudem enthalten sie weiter sekundäre Inhaltsstoffe wie Proteaseinhibitoren, Isoflavone, Saponine, Oligosaccharide, weitere Phenole und Phytinsäure (BELLOF et al. 2020; FRIKHA et al. 2013). Diese sekundären Substanzen können in hohen Konzentrationen antinutritive Eigenschaften vorweisen. Dabei können sie leistungshemmend für den tierischen Stoffwechsel sein und einen negativen Einfluss auf die Nährstoffverdaulichkeit, die Futteraufnahme sowie die Tiergesundheit haben. Tannine führen zu Futteraufnahmedepressionen, reduzierten Proteinverdaulichkeiten, Verstopfungen und Hemmungen von proteolytischen (BELLOF et al. 2020; DURST et al. 2021). In der Praxis wird der Anbau von weißblühenden Sorten wegen ihrer unkritischen Tannin- und Gesamtphenolgehalte empfohlen (DUNKEL et al. 2016).

### **2.1.2 Futterwert**

Der Futterwert für die Nutztiere wird durch den Rohproteingehalt, den Energiegehalt, die Proteinqualität und die Verdaulichkeit der Aminosäuren beeinflusst (BELLOF et al. 2020). Für eine exakte Bestimmung der Futterwerte sollten, vor allem bei der Verfütterung von großen Mengen, Inhaltsstoffuntersuchungen erfolgen (DURST et al. 2021).

Der energetische Futterwert der Erbse unterliegt erheblichen Schwankungen. Für Geflügel zeigen sich Abhängigkeiten zur Behandlung der Erbse (Pelletierung, Mahlgrad) sowie zur Nutzungsrichtung und dem Alter der Tiere. Die scheinbar umsetzbare N-korrigierte Energie (AME<sub>n</sub>) liegt bei 11,8 MJ/kg (88 % TS) (DURST et al. 2021).

Die Proteinqualität der Erbsen wird in der Geflügelernährung durch die Gehalte an den wichtigsten essenziellen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystein, Threonin und Tryptophan charakterisiert (BELLOF et al. 2020). Die Nutzungsrichtung und die Tierart haben einen Einfluss auf die Verdaulichkeit des Proteins (DURST et al. 2021). Zudem wird die Aminosäureverdaulichkeit von Erbsen für Nichtwiederkäuer durch antinutritive Faktoren wie Ballaststoffe, Trypsininhibitoren und Tannine begrenzt (DADALT et al. 2016). Die Erbsen sind mit durchschnittlich 15 g/kg Frischmasse (88 % TS, 200 g XP) reich an Lysin, sind dafür aber arm an den

schwefelhaltigen Aminosäuren. Methionin und Cystin haben mit durchschnittlich 1,9 bzw. 2,5 g/kg Frischmasse (88 % TS, 200 g XP) einen geringen Anteil. Für die Aminosäureversorgung von Geflügel ist die präcaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren substanziell. Die durchschnittliche präcaecale Verdaulichkeit aller Aminosäuren liegt für das Geflügel bei fast 81 %. Für das Lysin wird eine Aminosäureverdaulichkeit von 88 % erreicht (DURST et al. 2021). Dabei ist anzumerken, dass im Vergleich zum Sojaextraktionsschrot die Verdaulichkeit des Erbsenproteins, insbesondere für die Aminosäuren Methionin (80 %), Cystein (70 %), Threonin (78 %) und Tryptophan (75 %), geringer ist (BELLOF et al. 2020; DURST et al. 2021).

### 2.1.3 Einsatzempfehlung

---

Das Potential für die innerbetriebliche Verwertung als Futtermittel hängt aufgrund von fütterungstechnischen Beschränkungen davon ab, in welchem Bereich der Tierfütterung die Erbse eingesetzt werden soll (QUENDT et al. 2022). In der Geflügelhaltung ergeben sich futtermittelspezifische Restriktionen durch die vergleichsweise geringen Anteile an den essenziellen schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein und durch die Gehalte an antinutritiv wirkenden sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (QUENDT et al. 2022). Durch den Zusatz von kristallinen Aminosäuren in der konventionellen Fütterung kann die biologische Wertigkeit des Proteins an die Bedürfnisse der Monogastrier angepasst werden, während das Vorhandensein von antinutritiven Faktoren und die geringere Verdaulichkeit der Erbsenstärke die breitere Verwendung der Erbse in der Tierernährung einschränken kann (DADALT et al. 2016; ZDUŃCZYK et al. 2022). Aufgrund von Fortschritten in der Pflanzenzüchtung kam es zu einer Verringerung von antinutritiven Substanzen in den weißblühenden Erbsensorten. Dabei konnte primär der Gehalt von Tanninen reduziert werden. Auf der Basis neuerer Untersuchungen können somit die Einsatzmengen in der Nutztierfütterung angehoben werden (DURST et al. 2021). Dennoch muss durch den geringen Methioningehalt beim Einsatz von Erbsen als Futtermittel Methionin zugesetzt werden, damit eine bedarfsgerechte Ration erreicht werden kann.

In der Broilermast zeigen mehrere Untersuchungen mit überwiegend weißblühenden Sorten, dass Erbsenanteile von bis zu 30 % in Alleinfuttermischungen keine nachteiligen Effekte auf die Futteraufnahme und die Mast- sowie Schlachtleistungen haben (DURST et al. 2021). Dabei können sich niedrige Gehalte an langsam verdaulicher Stärke aus der Erbse sogar positiv auf die Leistung von Masthühnern auswirken, während mittlere und insbesondere hohe Gehalte an Erbsen in den Rationen möglicherweise aufgrund der verringerten Verdaulichkeit der Erbsenstärke im Dünndarm negative Effekte auf die Leistung haben können (HERWIG et al. 2019). DURST et al. (2021) empfehlen für Broiler in der Starter-Phase (bis 4. Lebenswoche) und der Mast-Phase (ab 4. Lebenswoche) in Alleinfuttermischungen einen Anteil von 25 % bzw. 30 % der weißblühenden Erbsen. JANOCHA et al. (2022) empfehlen 10 % bzw. 20 % Erbsenschrot als Ersatz für Sojaextraktionsschrot in Starter- bzw. Aufzuchtstadien, um die Wachstumsleistung von Masthühnern zu verbessern. Dabei kann in der Broilermast eine Kombination von 20 % Erbsen und 15 % Rapsschrot Sojaextraktionsschrot ohne Leistungseinbußen ersetzen (DURST et al. 2021). Für den Einsatz von Erbsenschalen und Erbsenproteinkonzentrat in der

Hühnermast können derzeit aus der Literatur keine konkreten Einsatzempfehlungen abgeleitet werden.

## 2.2 Intestinale Effekte und gesundheitliche Aspekte von Inhaltsstoffen der Erbsen beim Geflügel

---

### 2.2.1 Veränderungen der intestinalen Organe

---

Die Entwicklung verschiedener Abschnitte des Magen-Darm-Trakts bei Vögeln wird von der Größe der Futterpartikel beeinflusst. Größere Futterpartikel, wie Schalen, oder eine Fütterung mit einem hohen Anteil an Nahrungsfasern in der Nahrung haben nachweislich eine stimulierende Wirkung auf den Muskelmagen während feinere Partikelgrößen zu einer Unterentwicklung des Muskelmagens führen (SVIHUS 2011; SVIHUS et al. 2010; VELAYUDHAN et al. 2019). In einer Untersuchung von JANOCHA et al. (2022) konnte bei der Verfütterung von Erbsen an Hühnern ein signifikant höherer Anteil des Muskelmagens am Körpergewicht festgestellt werden. Dabei kann die Nährstoffverwertung bei Geflügel verbessert werden, wenn von einer strukturarmen Fütterung auf Futtermittel mit Strukturkomponenten wie grobes Fasermaterial umgestellt wird. Ursächlich trägt ein gut entwickelter Muskelmagen zu einer Verbesserung der Zerkleinerungskapazität bei. Die dadurch verringerte Menge an groben Partikeln im Dünndarm kann zu einer erhöhten Nährstoffverfügbarkeit führen (SVIHUS 2011). Die größere Partikelgröße im Futter kann auch eine längere Transitzeit bewirken, da gröbere Partikel im Vergleich zu feinen Partikeln länger im Magen-Darm-Trakt verweilen. Die langsamere Passagegeschwindigkeit kann die Vermischung des Futters mit den Verdauungsenzymen erleichtern, wodurch die Verdaulichkeit der Nährstoffe verbessert wird. Dagegen zeigt die Verfütterung von Erbsenproteinisolat mit einer Partikelgröße von 8,1 µm an Masthühner eine signifikante Verringerung des Vor- und Muskelmagens. Die feine Partikelgröße führt zu einer Unterentwicklung des Magens bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Verdauungspassagerate, wodurch es zu einer verschlechterten scheinbaren Nährstoffretention kommt (VELAYUDHAN et al. 2019).

### 2.2.2 Auswirkung auf die Verdauungsprozesse

---

#### **Erbse**

Die enzymresistentere und langsam verdauliche Stärke der Erbse entgeht der Verdauung im oberen Gastrointestinaltrakt und unterliegt der mikrobiellen Fermentation im Dickdarm (DAHL et al. 2012; ZDUŃCZYK et al. 2022). Eine Erhöhung des Erbsenanteils führt zu einer verringerten Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm, hat - nach Untersuchungen von HERWIG et al. (2020) - jedoch keine Auswirkungen auf den Dickdarm. Während ZDUŃCZYK et al. (2022) davon ausgehen, dass der Nährwert der Erbsenstärke bei der Verfütterung dadurch beeinträchtigt wird, kann nach HERWIG et al. (2019) und PRIGOZLIEV et al. (2010) die langsam verdauliche Stärke als auch der hohe Amylosegehalt die Futtereffizienz und Leistung von Masthühnern verbessern. Verglichen mit einer schnell verdaulichen Stärke wird eine Mischung aus

langsam und schnell verdaulicher Stärke im Futter mit einer verbesserten Aminosäureverdaulichkeit bei Masthühnern in Verbindung gebracht. Die langsam verdauliche Erbsenstärke wird im gesamten Dünndarm verdaut, wodurch es im distalen Ende des Dünndarms zu einem erhöhten Glukosefluss und -angebot kommt und die Enterozyten mit mehr Glukose versorgt werden. Die Glukose kann leicht als Energiequelle verstoffwechselt werden und erspart dem unteren Teil des Dünndarms die Verwendung von Aminosäuren zur Energiegewinnung, was wiederum zu einer besseren Energie- und Proteinverwertung führt. Eine mäßige und langanhaltende Glukosezufuhr aus langsam verdauten Stärkequellen bedingt zudem eine niedrigere und längere Insulinkurve, wodurch es zu einem effizienten Muskelproteinansatz kommt (SHARMA et al. 2021). Dennoch zeigen Untersuchungen von SHARMA et al. (2021), dass die Futterergänzung mit Erbsen keine Auswirkungen auf die die Effizienz der Energieverwertung bei Masthühnern hat. Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass Hühner möglicherweise nicht die gleiche Fähigkeit zur energetisch vorteilhaften fermentativen Umsetzung von Stärke im Dickdarm haben wie Schweine (KRAMER 2010; SHARMA et al. 2021).

Weiter führt die Verfütterung der Erbse an Masthühner zu einem linear steigenden Gewicht des Verdauungsinhalts im Jejunum, Ileum und Kropf, obwohl weder die Futterraufnahme noch das Fressverhalten durch die Versuchsfutter beeinflusst wurde (HERWIG et al. 2020). Nach VAGT (2014) zeigt einen höherer TS-Gehalt im Ileumchymus eine erhöhte Menge an unverdauten Nährstoffen.

### **Erbsenproteinkonzentrat**

FRIKHA et al. (2013) untersuchten den Einfluss von fein gemahlenem Erbsenproteinkonzentrat auf die ileale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren bei Broilern. Im Vergleich zu fermentiertem Sojabohnenmehl ist die scheinbare Verdaulichkeit von Rohprotein bei unerhitztem Erbsenproteinkonzentrat (82,2 %) ähnlich, während beide schlechter sind als autoklaviertes Erbsenproteinkonzentrat (87,6 %). Ursächlich werden Variationen in der physikalischen Struktur und der chemischen Zusammensetzung sowie Unterschiede im Gehalt von antinutritiven Faktoren der Erbsen angegeben. Die bessere Verdaulichkeit wird durch die Feinvermahlung des Erbsenproteinkonzentrats erklärt. Darüber hinaus verändert das Autoklavieren die physikalischen Eigenschaften der Proteinfraktion der Erbsen, wodurch die Zugänglichkeit der Verdauungsenzyme zum Substrat verbessert wird, was wiederum zu einer Verbesserung der Nährstoffverdaulichkeit führen könnte. Dagegen stellten VELAYUDHAN et al. (2019) fest, dass es bei steigenden Gehalten des Erbsenproteinisolats zu einer teilweisen Verringerung der Aminosäureverdaulichkeit kommt. Die geringere Partikelgröße des Isolats erhöht die Passage rate und eine erhöhte Konzentration von Trypsininhibitoren kann die verringerte Verdaulichkeit der Nährstoffe erklären.

## **Nahrungsfasern**

HETLAND et al. (2004) stellten eine Verbesserung des Nährwerts im Zusammenhang mit Strukturkomponenten von Nahrungsfasern bei Broilern fest. Durch Zugabe von 10 % feinem Cellulosepulver im Futter stieg die Stärkeverdaulichkeit von Weizenbestandteilen aus der Ration. Die Steigerung der Verdauung wird durch eine verbesserte Magenverdauung erklärt. Die Faserkomponenten können die Amylaseaktivität und die Gallensäurekonzentration im Magen erhöhen (SVIHUS 2011). Zudem steigt die Menge an Gallensäure im Muskelmagen proportional zum Muskelmageninhalt. Die bessere Verdaulichkeit könnte demnach auch durch eine verbesserte Emulgierung von Lipiden verursacht werden, da durch einen vergrößerten Muskelmagen mehr Gallensäure zur Verfügung steht. Zusätzlich hat die Gallensäure eine stabilisierende Wirkung auf die Verdauungsproteasen und hindert diese vor Autolyse. Hierdurch kommt es zu gesteigerten Enzym-Substrat-Interaktionen, wodurch eine erhöhte Nährstoffverdaulichkeit angenommen werden kann. Folglich kann die Futtermittelverwertung bei Geflügel durch Strukturkomponenten verbessert werden (HETLAND et al. 2004).

## **Darmmikrobiom**

Die Aktivität der Verdauungsenzyme im Darm kann durch das Darmmikrobiom beeinflusst werden (PAN und YU 2013). Nach KHIDR et al. (2018) kann ein gutes Gleichgewicht des mikrobiellen Ökosystems die Nährstoffverwertung von Verdauungsenzymen verbessern.

## **Verarbeitungsmethode**

Die Verarbeitung von Masthühnerfutter zu Pellets erhöht die Verdaulichkeit von Stärke, da die Zellwände der Erbsenkotyledonen aufgebrochen und die Zugänglichkeit der Nährstoffe für die Verdauungsenzyme verbessert wird (SHARMA et al. 2021). Durch das Pelletieren kann ein Anstieg der umsetzbaren Energie um 1,8 % bis 4,6 % und der Protein- und Stärkeverdaulichkeit um 3,5 % bzw. 5,4 % festgestellt werden. Die Extrusion von Erbsen führt zu einer verbesserten In-vitro-Alpha-Amylase-Verdaulichkeit sowie Verdaulichkeit durch Amyloglucosidase und kann die Verdaulichkeit von Eiweiß und Stärke positiver beeinflussen als das Schälen, Einweichen oder Keimen (DIAZ et al. 2006).

### **2.2.3 Veränderungen der kurzkettigen Fettsäuren und des pH-Wertes**

Der Einsatz von Erbsen im Alleinfutter von Masthühnern führt zu einer steigenden Gesamtkonzentration der SCFA-Gehalte im Kropf und im Zäkuminhalt. Bei einem Anteil von 80 % und 100 % Erbsenstärke der Stärkefraktion im Alleinfutter steigt der Gehalt an SCFA nicht nur quantitativ (13 % bzw. 30 %) sondern veränderte sich auch qualitativ. Die Veränderungen der Zusammensetzung der kurzkettigen Fettsäuren im Zäkum lässt auf eine Beeinflussung des Mikrobioms durch die Fütterung schließen. Ein Erbsenstärkeanteil von 100 % führt zu einer Reduktion der Säuren, welche mit der Eiweißfermentation in Verbindung gebracht werden (Isobuttersäure, Isovaleriansäure und Valeriansäure), und steigert die Gehalte an Essig- und Buttersäure, die mit der Stärkefermentation im Zusammenhang stehen. Das weist auf eine Verschiebung des Darmmikrobioms zu kohlenhydratfermentierenden Bakterien hin (HERWIG et al. 2020). Auch CZERWIŃSKI et al. (2010) stellen bei der Zulage von 150 g Erbsen/kg im

Futter eine signifikant erhöhte SCFA-Konzentration im Zäkuminhalt bei Masthühnern fest. Die SCFA-Konzentration in der Digesta des Ileums wurde nicht beeinflusst.

Trotz veränderten Gehalten an kurzkettigen Fettsäuren können keine veränderten pH-Werte festgestellt werden. HERWIG et al. (2019) zeigten, dass die Erbsenprodukte bei Masthühnern keinen Einfluss auf den pH-Wert haben. Der pH-Wert des Gastrointestinaltrakts ist jedoch das Ergebnis von mehreren Faktoren und wird von der Fermentation der Nährstoffe, der Passage-rate und der Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft im Verdauungstrakt beeinflusst (HERWIG et al. 2019).

## 2.2.4 Auswirkung auf die mikrobiologischen Merkmale des Darms

---

Die Zusammensetzung des gastrointestinalen Mikrobiom hat auf verschiedene Weisen einen erheblichen Einfluss auf die ernährungsphysiologischen und immunologischen Prozesse sowie auf die Gesundheit und Wachstumsleistung des Wirtes (CLAVIJO und FLÓREZ 2018; FEYE et al. 2020; WEI et al. 2013). Die mikrobielle Diversität der Mikrobiota von Hühnern ist aufgrund des kürzeren Magen-Darm-Trakts und schnelleren Verdauungstransits im Vergleich zur Darmmikrobiota von anderen Tierarten relativ gering (CLAVIJO und FLÓREZ 2018; PAN und YU 2013; WEI et al. 2013). Beim Geflügel gehören über 90 % der Bakterien im Darmmikrobiom zu den zwei Phyla Firmicutes und Bacteroidetes (WEI et al. 2013). Dabei hat das paarig angelegte Zäkum die höchste mikrobiellen Zelldichten, da die beiden Zäka eine langsame Passagegeschwindigkeit haben und ideale Lebensräume für ein komplexes und vielfältiges Mikrobiom sind (OAKLEY et al. 2014; PAN und YU 2013; WEI et al. 2013). Bei einer feineren taxonomischen Auflösung zeigt sich, dass die Mehrheit der Sequenztypen zu verschiedenen Mitgliedern der Clostridiales gehören. Clostridiales sind im Allgemeinen als wichtige Akteure des SCFA-Stoffwechsels bekannt, dennoch ist das genauere Verständnis der funktionellen Eigenschaften noch unbekannt (OAKLEY et al. 2014).

Die Ernährung hat den größten potenziellen Einfluss auf das Darmmikrobiom von Geflügel, da die Nahrungsbestandteile, die der Verdauung und Absorption entgehen, als Substrate für das Wachstum der Darmbakterien dienen (PAN und YU 2013). Veränderungen in der Fütterung führen zu Unterschieden in der Zusammensetzung des Mikrobioms, so dass die Bakterien die richtigen Stoffwechsellkapazitäten für die Verdauung der verschiedenen Substrate bereitstellen (ISAACSON und KIM 2012). Es ist bekannt, dass die enzymatische Aktivität der Darmmikrobiota durch einen höheren Gehalt an leicht fermentierbaren Oligo- und Polysacchariden in der Nahrung erhöht und durch einen höheren Gehalt an polyphenolischen Verbindungen und deren Komplexe mit Polysacchariden verringert wird. Die Aufnahme von Mannanoliogoligosacchariden und Xylooligosacchariden wirkt auch als Präbiotika im Hühnerfutter und erhöht die Häufigkeit von Lakotbazillen und Bifidobakterien (ZDUŃCZYK et al. 2022). GULEWICZ et al. (2002) bestätigen, dass die Oligosaccharide von Erbsen das Wachstum von Bifidobakterien im Dickdarm signifikant steigern und die Anzahl an coliformen Keimen senken. Untersuchungen von CZERWIŃSKI et al. (2010) zeigen, dass die Verwendung von Erbsen in Masthähnchenfutter das Wachstum und/oder die Aktivität die kommensale Mikrobiota im Zäkum bis zu einem ge-

wissen Grad stimuliert und somit die Ansiedlung von pathogenen und zoonotischen Enterobakterien im Darm verhindert werden kann. Unter praktischen Bedingungen können vermutlich Futtermittel mit einem moderaten Erbsengehalt einen größeren Schutz vor Krankheitserregern gewährleisten. Weiter stimuliert die Aufnahme von Erbsen die Aktivität der Zäkum-Mikrobiota in Form einer höheren Gesamtzahl von Bakterien (CZERWIŃSKI et al. 2010). Allerdings deutet in der Studie von CZERWIŃSKI et al. (2010) das Fehlen eines Zusammenhangs zwischen der SCFA-Konzentration im Zäkum und dem Verhältnis von Zuwachs zu Futter auf einen begrenzten Beitrag der bakteriellen Fermentationsprodukte zur verfügbaren Nahrungsenergie hin. Demnach sind Hühner nicht in der Lage, die aus der SCFA-Produktion im Zäkum stammende Energie effektiv zu nutzen (CZERWIŃSKI et al. 2010).

### 2.2.5 Weitere gesundheitliche Aspekte

---

Die Fütterung von Futtermitteln mit rohen und verarbeiteten Erbsen führt zu mukosalen Immunreaktionen im Jejunum von Broilern. Ursächlich hierfür könnten die Proteinhydrolysate oder die  $\beta$ -Glucane der Erbse sein (RÖHE et al. 2017). Nachweislich besitzen die enzymatischen Proteinhydrolysate aus gelben Erbsensamen auch eine hohe antioxidative und antibakterielle Aktivität (NDIAYE et al. 2011). Untersuchungen von NDIAYE et al. (2011) ergeben, dass das enzymatische Proteinhydrolysat aus gelben Ackererbsensamen eine stark hemmende Wirkung auf die Produktion von proinflammatorischen Mediatoren ausübt und bestimmte Antikörper als auch Zytokine in der Dünndarmschleimhaut signifikant ansteigen. Somit aktivieren hydrolysierte Erbsenproteine die mukosale Immunantwort. Zudem wird die enzymatische Hydrolyse der Proteine genutzt, um die bioaktiven Peptide freizusetzen, was zu einer Verbesserung der ernährungsphysiologischen und funktionellen Eigenschaften der Proteine führt (POWELL et al. 2010).

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Fütterungsversuch

##### Tiere und Versuchsplan

Der unter konventioneller Wirtschaftsweise durchgeführte Fütterungsversuch und die Prüfung des Schlachtkörperwerts erfolgten am Bayerischen Staatsgut Kitzingen (Versuchs- und Bildungszentrum für Geflügelhaltung) im Frühjahr 2022. Es wurden insgesamt 800 männliche Broiler des Genotyps Ross 308 (Zuchtunternehmen Aviagen, Brüterei Süd ZN, D-93128 Regenstauf) in 40 Abteile (Größe: 5 m<sup>2</sup>) eingestallt. Die Eintagsküken wurden auf 10 Versuchsgruppen mit 4 Wiederholungen à 20 Tiere verteilt (Tabelle 3). Die Anordnung der Versuchsgruppen erfolgte aufgrund der Erfassung des Wasserverbrauches paarweise. Der Versuch wurde in eine Starter-Phase P1 (Lebenstag 1-14) und Mast-Phase P2 (Lebenstag 14-34) untergliedert.

**Tabelle 3: Versuchsdesign und Mischungsanteile (in %) von Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK) und Erbsenschalen (ES) in den Alleinfuttermischungen**

<b>Fütterungsvariante</b>		<b>Starter-Phase (P1)</b>			<b>Mast-Phase (P2)</b>		
<b>Nummer</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>E</b>	<b>EPK</b>	<b>ES</b>	<b>E</b>	<b>EPK</b>	<b>ES</b>
<b>1</b>	<i>Kontrolle</i>	-	-	-	-	-	-
<b>2</b>	<i>E 20</i>	20	-	-	20	-	-
<b>3</b>	<i>E 30</i>	30	-	-	30	-	-
<b>4</b>	<i>EPK 6,5</i>	-	6,5	-	-	6,5	-
<b>5</b>	<i>EPK 10</i>	-	10	-	-	10	-
<b>6</b>	<i>ES 3/4,5</i>	-	-	3	-	-	4,5
<b>7</b>	<i>ES 4,5/6</i>	-	-	4,5	-	-	6
<b>8</b>	<i>E 20+ES 3/4,5</i>	20	-	3	20	-	4,5
<b>9</b>	<i>EPK 10+ES 3/4,5</i>	-	10	3	-	10	4,5
<b>10</b>	<i>EPK 10+ES 4,5/6</i>	-	10	4,5	-	-	6

Bei der Festlegung der Mischungsanteile für EPK wurde unterstellt, dass der Proteingehalt etwa um den Faktor 3 höher liegt als für die Erbsen. Somit ergaben sich die in Tabelle 3 dargestellten Mischungsanteile von 6,5 % bzw. 10 %. Bei der Festlegung der ES-Mischungsanteile wurde unterstellt, dass der NDF-Gehalt etwa um den Faktor 6,5 höher liegt als für Erbsen. Somit wurden die in Tabelle 3 dargestellten Mischungsanteile von 3 % bzw. 4,5 % ES festgelegt.

Die Bodenhaltung erfolgte in einem klimatisierten Feststall auf Stroh-Konzentrat-Pellets. Den Masthühnern wurde Frischwasser über eine Nippeltränke zur Verfügung gestellt. Die Fütterung erfolgte von Tag 1 bis 7 über Futterteller und von Tag 7 bis 34 mithilfe von Futterautomaten. Futter und Wasser wurden zur freien Aufnahme vorgelegt. Die Stalltemperatur betrug bei der Einstallung 33 °C. Über Gasstrahler wurden punktuelle Temperaturen von 36 °C in den

Abteilen erreicht. Die sukzessive Absenkung der Temperatur bis auf 21 °C an Tag 34 erfolgte automatisch. In den ersten drei Lebenstagen wurde als Lichtmanagement ein 23:1 (hell:dunkel) Rhythmus gefahren. Ab dem vierten Lebenstag wurde bis zum Versuchsende auf 18:6 reduziert. Die Küken wurden am 15ten Lebenstag mit einer Kombinationsimpfung gegen Newcastle Disease und Infektiöse Bronchitis behandelt. Die Impfung erfolgte über das Trinkwasser.

### **Eingesetzte Alleinfuttermischungen**

Die Inhaltsstoffzusammensetzung der eingesetzten konventionellen Alleinfuttermischungen orientierte sich an den Empfehlungen des Zuchtunternehmens für den Genotyp Ross 308 von AVIAGEN (2019). Die Gehalte an AME<sub>n</sub> der Futtermischungen wurden gegenüber diesen Empfehlungen um 5 % abgesenkt, damit die Anforderungen der Mischungen hinsichtlich der Aminosäurenkonzentration reduziert und der Einsatz von Futterfett gesenkt werden konnte. Die angestrebten Energiegehalte in den Futtermischungen bezogen auf 88 % TS betragen 12,3 MJ/kg (P1) bzw. 12,5 MJ/kg (P2) und für das Rohprotein 22,4 % (P1) und 19,5 % (P2). Die angestrebten Zielgehalte für Lysin betragen 1,40 %/kg (P1) bzw. 1,16 %/kg (P2) und für Methionin 0,55 %/kg (P1) bzw. 0,47 %/kg (P2) (Anhang-Tabelle 4 und 5). Zur Herstellung der Alleinfutter in der Starter-Phase (P1) und für die Mast-Phase (P2) wurden die im Anhang aufgeführten Futtermittel und Anteile verwendet (Anhang-Tabelle 4 und 5). Die Erbsen und Erbsenprodukte stammten von weißblühenden Sorten. Die Vormischung wurden von der Salvana Tiernahrung GmbH (D-25365 Kl. O.-Sparrishoop) und das EcoVit R von der Agrano GmbH & Co. KG (D-79359 Riegel am Kaiserstuhl) zugekauft. Die Säuremischung zur Stabilisierung des Futterfetts im Mastfutter wurde als Detacid Granulat von Schaumann (H. Wilhelm Schaumann GmbH, D-25421 Pinneberg) bezogen. Das Detacid Granulat enthält als wirksamen Substanzen Ameisen-, Milch-, Propion-, Sorbin- und Zitronensäure. Das Alleinfutter enthielt keine Kokzidiostatika. Alle Alleinfuttermittel wurden den Broilern in pelletierter Form (3 mm) vorgelegt. Aufgrund des erhöhten Fettgehaltes in den eingesetzten Alleinfuttermitteln der Variante 6 bis 8 neigten die eingesetzten Alleinfuttermittel durch Bruch zu einem erhöhten Anteil an Granulat. Das Futter wurde in der Mischanlage der Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub (D- 85586 Poing) hergestellt.

### **Datenerhebung und Datenanalyse**

Die Analyse der Inhaltsstoffe der eingesetzten Alleinfuttermischungen nach Weender und van Soest wurde im Labor der Landwirtschaftlichen Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH (D-09577 Niederwiesa, Lichtenwalde) durchgeführt. Die Aminosäureanalysen der Rohstoffe erfolgte durch AGROLAB LUFA (D-24107 Kiel). Der AME<sub>n</sub>-Gehalt der Erbsenschalen wurde nach der Formel von WPSA (1984) für Mischfuttermittel geschätzt.

Für die Datenerhebung der Mastleistung wurde vor der Einstallung eine Gewichtsstichprobe mit 100 Broilern durchgeführt, um ein gleiches durchschnittliches Körpergewicht der Eintagsküken in jedem Abteil zu erreichen. Die Erfassung der Tiergewichte erfolgte an Tag 7 als abteilungsbezogenes Gruppengewicht. An den Lebenstagen 14, 28 und 34 wurden Einzeltierwiegunen umgesetzt.

Der Futtermittelverbrauch wurde für jedes Abteil wöchentlich durch die Erhebung der Futterein- und Futterrückwaage quantifiziert. In Kombination der Lebendgewichte wurde der Futteraufwand und die durchschnittlichen Tageszunahmen erfasst. Die Datenerhebung für den Wasserverbrauch erfolgte aufgrund der bestehenden Bedingungen im Versuchsstall jeweils paarweise für die aneinander liegenden Abteile der identischen Varianten.

Die biologischen Leistungsdaten wurden mit der Leistungskurve für männliche Tiere nach AVI-AGEN (2021) verglichen. Die erhobenen Daten für die Futteraufnahme, den Wasserverbrauch und die Gruppengewichte wurden über die protokollierten Tierverluste über die gesamte Versuchsdauer korrigiert. Die Tierverluste wurden täglich dokumentiert. Broiler, die aufgrund von Spreitzbeinen, Bauchwassersucht und funktionsunfähigem Schnabel frühzeitig entnommen werden mussten, wurden nicht in die Verluste mit einberechnet, sondern lediglich als vorzeitiger Abgang für die Korrektur der Datenerhebung herangezogen. Zusätzlich erfolgte eine tägliche Tierbeobachtung und -kontrolle.

An Tag 34 wurde eine Fußballenbonitur nach HOCKING et al. (2008) durchgeführt, bei der stichprobenartig jeweils fünf Tiere jeder Fütterungsvariante aus zehn festgelegten Abteilen untersucht wurden. In den identischen Abteilen wurden für eine Trockenmassebestimmung an drei vorher genau definierten Punkten Einstreuproben gezogen. Die Trocknung der Proben erfolgte bei 106 °C über Nacht.

Die Datenerhebung des Schlachtkörperwerts erfolgte an jeweils drei Mittelwertstieren pro Abteil (12 Tiere pro Variante). Die Ermittlung und Kennzeichnung der Mittelwertstiere wurde im Zuge der Abschlusswiegung an Tag 34 durchgeführt. Die Mittelwertstiere wurden pro Variante in separaten Abteilen bis zum Tag der Schlachtung (Tag 36) verbracht und weiter mit den vorgesehenen eingesetzten Alleinfuttermitteln gefüttert. Die Lebendgewichte (LG), Schlachtgewichte (SG), Lebergewichte und Gewichte des Muskelmagens wurden unmittelbar am Tag der Schlachtung erhoben. Die Wiegung der wertvollen Teilstücke Schenkel, Brust und Flügel mit Haut und des Abdominalfetts erfolgte am darauffolgenden Tag in kaltem Zustand.

### 3.2 Darmgesundheit

---

Die Untersuchungen zur Darmgesundheit wurden am Institut für Tierernährung im Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 49 in 14195 Berlin-Dahlem durchgeführt.

#### **Bestimmung der Trockensubstanz und Viskosität der Faeces**

Zur Bestimmung der Trockensubstanz (TS) und der Viskosität wurden an Tag 34 aus jedem der 40 Abteile jeweils 10 g bis 20 g frisch abgesetzter Faeces gewonnen und bei -20 °C eingefroren.

Für die Bestimmung der Trockensubstanz wurden 0,5 g Faeces in einen nummerierten, konstant geglühten und im Exsikkator abgekühlten Tiegel (T1) (1h bei 600°C) eingewogen (Sartorius, D-37079 Göttingen, Typ: Genius Serie). Die Proben wurden vier Stunden bei 103°C in einem Trockenschrank (Heraeus, D-6450 Hanau, Typ: ST 5042) getrocknet und danach in einen

Exsikkator zum Abkühlen gestellt. Anschließend wurde das Gewicht der Proben inklusive Tiegel bestimmt ( $T_2$ ). Die Berechnung der Trockensubstanz erfolgte über die nachstehende Formel.

$$TS = \left( \frac{(T_2 - T_1)}{\text{Einwaage Proben in g}} \right) \cdot 1000 \quad (1)$$

Die Trockensubstanz wird in g je kg Originalsubstanz ausgewiesen.

Für die Viskositätsbestimmung wurden 1,2 g Faeces ( $V_1$ ) in Eppendorf-Reaktionsgefäße eingewogen (Sartorius, D-37079 Goettingen, Typ: Genius Serie). Zu den Proben wurden jeweils 400 Mikroliter ( $\mu\text{l}$ ) ( $V_2$ ) Wasser zugegeben, so dass ein Gemisch ( $V_1 + V_2$ ) entsteht. Danach wurden die Proben in einem Schüttler auf Stufe 3 eine Stunde geschüttelt (IKA, D-79219 Staufen, Typ: Vortex 3) und anschließend zehn Minuten lang bei 13.000 Umdrehungen pro Minute (rpm) zentrifugiert (Heraeus, D-6450 Hanau, Typ: Fresco 21). Der dadurch gewonnene klare Überstand konnte weiterverarbeitet werden. Proben mit trübem Überstand wurden erneut zentrifugiert.

Die Messung der Viskosität des Gemisches ( $v_3$ ) erfolgte mit 532  $\mu\text{l}$  des klaren Überstandes über ein digitales Rotationsviskosimeter (AMETEK GmbH/B.U. Brookfield, D-65589 Hadamar-Steinbach, Model DV-II+Viscometer verbunden mit Haake, Typ: DC1 und K15). Die Geschwindigkeit lag bei 100 rpm. Zwischen jeder Messung wurde die Probenkammer mit Wasser gespült und mit Kimberly-Clark Professional™ Kimwipes getrocknet. Als Eichwert des Gerätes wurde der Wasserwert von 0.67 Millipascalsekunden (mPas) ( $v_2$ ) (bis 0.7) bei 40 °C verwendet und entsprechend manuell eingestellt. Bis zur Viskositätsmessung lagen die Proben dauerhaft auf Eis. Die Mischungsgleichung zur Berechnung der Viskosität der Faecesproben ( $v_1$ ) ist nachfolgend dargestellt. Die in der Formel enthaltene TS stellt die zuvor exakt bestimmte Trockensubstanz der jeweiligen Proben dar (Formel (1)).

$$v_1 \cdot V_1 + v_2 \cdot V_2 = v_3 \cdot (V_1 \cdot TS + V_2) \quad (2)$$

Zur Berechnung der Viskosität der Faecesproben wurde die Formel nach  $v_1$  aufgelöst. Die Viskosität wird in mPas ausgewiesen.

### **Mikrobiologische Untersuchungen aus der Digesta vom Zäkum und Ileum**

Die Gewinnung der Digesta aus dem Zäkum und Ileum für die mikrobiologischen Untersuchungen (und die Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren) erfolgte im Rahmen des Schlachtprozesses. Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurden die identischen drei Mittelwertstiere pro Abteil herangezogen, die auch zur Erhebung der Schlachtparameter dienten (12 Tiere pro Variante). Die Zerlegung des Darms in die Teilstücke Ileum und Zäkum fand innerhalb

des Schlachtprozesses statt. Zur Gewinnung des Digesta wurde der Inhalt aus dem gesamten Ileum und aus einem Zäkum vorsichtig ausgestrichen. Die Probenbehälter mit dem Digesta wurden unmittelbar auf Trockeneis in Styroporboxen gelegt und anschließend bei -20 °C eingefroren. Zur qualitativen und quantitativen Bestimmung des Darmmikrobioms aus der Digesta (Ileum und Zäkum) erfolgte eine DNA-Extraktion mit dem QIAamp® Power- Fecal® Pro DNA-Kit von QIAGEN nach dem Protokoll für erfahrene Benutzer von QIAGEN (2020) (D-40724 Hilden). Die dabei erfolgreich extrahierte DNA wurde bis zur Gensequenzierung bei -20°C eingefroren. Die Charakterisierung des Darmmikrobioms erfolgte über eine 16S-rDNA-Sequenzierung durch ein kommerzielles Labor (LGC Genomics GmbH, Next Generation Sequencing Service, Ostendstraße 25, TGS Haus 8, D-12459 Berlin) und wurde von fachspezifischen Personal der Freien Universität Berlin ausgewertet. Die Ergebnisse werden als relative Abundanz (in %) der bakteriellen 16S-rDNA in dem Digesta angegeben. Aus dem charakterisierten Darmmikrobiom wurde zusätzlich die Richness, der Shannon-Index und die Evenness bestimmt.

### **Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren aus der Digesta von Zäkum und Ileum**

Die Bestimmung der Fettsäuren aus der Digesta des Zäkums und Ileum erfolgte von jeweils einem Mittelwertstier pro Abteil (4 Tiere pro Variante). Die Gehalte der kurzkettigen Fettsäuren in der Digesta wurde mittels Gaschromatographie (Agilent Technologies 6890N mit Autosampler G2614A und Injektionsturm G2613A) ermittelt. Es wurde Essigsäure, Propionsäure, iso-Buttersäure, n-Buttersäure, iso-Valeriansäure und n-Valeriansäure analysiert und in  $\mu\text{mol/g}$  Ursprungssubstanz und % mol je Ursprungssubstanz ausgewiesen. Es wurden ca. 300 mg der Digesta in Eppendorf Reaktionsgefäße eingewogen und mit 1 ml einer Verdünnungslösung versetzt, welche Carpronsäure als internen Standard enthielt. Die Stoffmengenkonzentration der Stammlösung lag bei 10 Millimol pro Liter (mmol/l).

Die Proben wurden eine Stunde geschüttelt (IKA, D-79219 Staufen, Typ: Vortex 3) und anschließend bei 21100xg 10 Minuten zentrifugiert (Heraeus, D-6450 Hanau, Typ: Fresco 21). Aus den Zäkum-Proben wurde 100  $\mu\text{l}$  des klaren Überstands mit 900  $\mu\text{l}$  1%-tiger Oxalsäure versetzt. Zu dem klaren Überstand der Ileum Proben (400  $\mu\text{l}$ ) wurden 400  $\mu\text{l}$  1%-tiger Oxalsäure zugegeben. Diese Verdünnungen dienten zur direkten Analyse mit dem Gaschromatograph. Die Fettsäuregehalte wurden durch Integration der Flächen der Chromatogramme bestimmt. Die Ergebnisse werden in  $\mu\text{mol}$  und % der ursprünglichen Substanz angegeben.

### **3.3 Statistische Analysen**

---

Die Analyse der erhobenen biologischen Leistungsdaten erfolgte mit dem Programm SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Es wurde eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Durchschnittswerten wurde der Tukey-Mehrfachvergleichstest verwendet. Die Ergebnisse werden als Kleinste-Quadrat-Mittelwerte (LS-Means)  $\pm$  Standardfehler (SE) angegeben. Statistische Signifikanzen wurden durch Wahrscheinlichkeitswerte von  $p \leq 0,05$  berücksichtigt. Unterschiedliche Hochbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

Die Analyse der kurzkettigen Fettsäuren und der 16S-rNA Sequenzierung erfolgte mit SPSS (IBM, Armonk, New York, USA). Die überwiegend nicht normalverteilten Daten wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test ausgewertet und bei Vorkommen des Signifikanzniveaus  $p \leq 0,05$  ein Signifikanztest nach Mann-Whitney ausgeführt, um vorliegende Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen festzustellen. Die Alphafehler-Kumulierung bei den multiplen Vergleichen wurde durch die Bonferroni-Korrektur neutralisiert. Die Ergebnisse werden als Median angegeben. Für die kurzkettigen Fettsäuren werden zudem die Minimum- und Maximum-Werte aufgeführt. Ein p-Wert von  $p \leq 0,05$  gilt als signifikant. Zusätzlich werden Wahrscheinlichkeitswerte von  $p > 0,05$  bis  $p < 0,10$  als Tendenzen ausgewiesen.

Zur Bestimmung von signifikanten Beziehungen zwischen den kurzkettigen Fettsäuren sowie des Darmmikrobioms und der Inhaltsstoffe als auch der eingesetzten Rohstoffe wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten erfolgte in SPSS (IBM, Armonk, New York, USA) mit dem nicht parametrischen Spearman-Rangkorrelationsstest. Ein signifikanter Zusammenhang besteht bei  $p \leq 0,05$ .

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Futtermittelanalysen

---

#### **Rohnährstoffe**

Die Analyseergebnisse der Inhaltsstoffe für die Rohstoffe Erbse, Erbsenschale, Erbsenproteinkonzentrat, Sojaextraktionsschrot High Protein (HP-SES aus geschälter Saat), Mais und Weizen sind im Anhang (Tabelle A-6) dargestellt. Das Erbsenproteinkonzentrat weist einen deutlich höheren Energie-, Rohprotein-, Lysin- und Methionin-Gehalt auf als das Sojaextraktionsschrot und die verbliebenen Rohstoffe. Die Erbsenschalen zeichnen sich durch einen geringen Energiegehalt und durch hohe Gehalte an Rohfaser und Zellwandbestandteilen aus, während diese Inhaltsstoffe insbesondere bei dem Erbsenproteinkonzentrat deutlich zurücktreten. Die analysierten ADL-Gehalte sind für die eingesetzten Rohstoffe vergleichbar, wobei die Erbsenschalen den geringsten analysierten ADL-Gehalt aufweist. Die Erbsen weisen mit 449 g/kg (88% TS) deutlich höhere Gehalte an Stärke auf als die Erbsenprodukte und das Sojaextraktionsschrot (HP), dagegen geringere Gehalte als Mais und Weizen.

#### **Starterfutter**

Die Inhaltsstoffanalysen der eingesetzten Alleinfuttermischungen des Starterfutters sind im Anhang in der Tabelle 7 dargestellt und zeigen auf Grundlage der Zusammensetzung der eingesetzten Alleinfuttermittel (vgl. Anhang Tabelle 4) im Allgemeinen zu erwartende Ergebnisse.

Der Zielwerte für den  $AME_n$  von 12,3 MJ wird mit Ausnahme der Variante 5 (EPK10) von den eingesetzten Alleinfuttermittel nicht realisiert. Der angestrebte Rohproteingehalt (22,4 %) wird von fast allen eingesetzten Alleinfuttermittel erreicht oder liegt über dem Zielgehalt. Dabei ist der Rohproteingehalt bei den eingesetzten Alleinfuttermitteln mit den kombinierten Erbsenprodukten EPK und ES (Variante 9 und 10) am höchsten und bei der Variante 5 mit Erbsenproteinkonzentrat 10 % am niedrigsten. Analog zu den Rohproteingehalten verhalten

sich auch die Gehalte an Lysin. Der angestrebte Lysin-Gehalts von 1,4 % wird dabei nur von den Varianten 4 (EPK6,5) und den kombinierten Varianten 8 bis 10 erzielt. Der Zielwert für das Methionin (0,55 %) wird von allen Varianten deutlich überschritten. Die Rohfasergehalte und die Zellwandbestandteile  $aNDF_{om}$  und  $ADF_{om}$  sind bei den Varianten mit den Erbsenschalen (Variante 6 und 7) und der kombinierten Variante Erbsenschale mit ganzer Erbse (Variante 8) am höchsten. Die Varianten mit den höchsten Rohfasergehalte haben gleichzeitig die geringsten Stärkegehalte. Die geringsten Gehalte an Rohfaser und Zellwandbestandteile weisen die Varianten mit ausschließlich Erbsenproteinkonzentrat auf (Variante 4 und 5), während diese zusätzlich den höchsten Stärkegehalt beinhalten. Für die Kaliumgehalte zeigt sich, dass die Variante 8 (E20+ES3/4,5) den höchsten Gehalt aufweist, während die Varianten mit Erbsenproteinkonzentrat geringe haben.

### **Mastfutter**

Die analysierten Inhaltsstoffe der eingesetzten Alleinfuttermittel des Mastfutters sind im Anhang in der Tabelle 8 dargestellt und zeigen auch hier auf Grundlage der Zusammensetzung der Alleinfuttermittel (vgl. Anhang Tabelle 5) im Allgemeinen die zu erwartenden Ergebnisse.

Der Zielwert für die Umsetzbare Energie mit 12,5 MJ/kg bei 88 % TS wird annähernd von allen eingesetzten Alleinfuttermitteln erreicht oder überschritten. Der angestrebte Rohproteingehalt (19,5 %) wird von den Varianten 1 bis 5 nicht realisiert. Der Zielgehalt für das Lysin (1,16 %) wurde ausschließlich von der Varianten 9 und 10 erreicht, während die analysierten Methionin-Gehalte aller Alleinfuttermittel den Zielwert von 0,47 % deutlich übersteigen.

Die Gehalte für die Rohfaser, die Zellwandbestandteile  $aNDF_{om}$  und  $ADF_{om}$ , die Stärke als auch die Kaliumgehalte zeigen für die Analyseergebnisse der Alleinfuttermittel aus dem Mastfutter die identische Rangordnung des Starterfutters.

## **4.2 Versuchsdurchführung und Verlustgeschehen**

---

Die Broiler des Fütterungsversuchs zeigten in der ersten Lebenswoche eine hohe Vitalität und gute Gesundheit. Ab Tag 7 bis zum Phasenwechsel (Tag 14) traten ausschließlich in dem Abteil 2 (Kontrollvariante) eine erhöhte Mortalitätsrate auf. Zusätzlich hatten die überlebenden Tiere aus dem Abteil 2 eine hohe Leistungsabweichung zu den verbleibenden Abteilen, worauf sie aus dem Versuch ausgeschieden sind. Die übrigen Broiler des Fütterungsversuchs zeigten zu diesem Zeitpunkt ein verstärktes Auftreten von Spreitzbeinen. Tiere mit diesem Befund wurden vorzeitig aus dem Versuch entnommen. Das Allgemeinbefinden der restlichen Broiler war ohne offensichtlichen besonderen Befund.

Aufgrund eines unerwartet hohen Futtermittelsverbrauches erfolgte an Tag 28 eine Abstockung der Tierzahl in allen Abteilen. Die Tierzahl wurde auf den Zielwert von annähernd 12 bis 14 Tieren pro Abteil reduziert. Es wurden jeweils die paarweise leichtesten und schwersten Broiler entnommen, um die durchschnittlichen Lebendmassen jedes Abteils konstant zu halten.

Das Abteil 2 (Kontrollvariante) wurde infolge einer überhöhten Standardabweichung in den Merkmalen der Lebendmasseentwicklung aller Individuen aus dem Versuch genommen.

Bis zum Tag 28 vor der Abstockung traten insgesamt Tierverluste in Höhe von 4 % und von Tag 28 (nach Abstockung) bis Tag 34 in Höhe von 1,2 % auf.

### **4.3 Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die Mastleistung**

---

Die Ergebnisse des Einflusses der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf relevante Merkmale der Mastleistung werden nachstehend phasenbezogen bzw. wochenweise oder für einzelne Stichtage abgebildet. Innerhalb der phasenbezogenen Betrachtung werden aufgrund der Abstockung die Ergebnisse der Phase 2 (Tag 14-34) und „gesamt“ (Tag 1-34) in den Zeitraum bis Tag 28 (vor Abstockung) und Tag 34 (bis Versuchsende) getrennt ausgewiesen. Die Phase 1 (Tag 1-14) wird ausschließlich phasenbezogen betrachtet. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang ab Tabelle A-9 dargestellt.

#### **4.3.1 Futtermittelverbrauch**

---

##### **Phasenbezogene Betrachtung**

In der Phase 1, Phase 2 (bis Tag 28) und gesamt (bis Tag 28) zeigen die eingesetzten Alleinfuttermischungen keinen Einfluss auf den Futtermittelverbrauch ( $p > 0,05$ ). Dabei weist die Variante 10 (EPK10+ES4,5/6) in der Phase 2 (bis Tag 28) und gesamt (bis Tag 28) den numerisch höchsten Futtermittelverbrauch auf, während die Variante 1 (Kontrolle) den geringsten Futtermittelverbrauch hat ( $p > 0,05$ ).

Wird der Betrachtungszeitraum bis zum Tag 34 (P2 und gesamt bis Tag 34) erweitert, zeigen sich hoch signifikante Spitzenwerte ( $p < 0,0001$ ). Die Varianten 6 und 7 mit ausschließlich Erbsenschale (ES3/4,5; ES4,5/6) weisen den höchsten Futtermittelverbrauch und die Varianten Kontrolle, EPK6,5 und EPK10 den geringsten Futtermittelverbrauch auf (Anhang, Tabelle A-9).

##### **Wochenbezogene Betrachtung**

Für den Tag 14 bis 21 können keine Unterschiede festgestellt werden ( $p > 0,05$ ). In dem Zeitraum von Tag 21 bis 28 zeigt die Varianten 10 (EPK10+ES4,5/6) den höchsten und die Variante 5 (EPK10) den geringsten Futtermittelverbrauch ( $p = 0,0154$ ). Von Tag 28 bis 34 ist der Futtermittelverbrauch in den Varianten 6, 7 und 8 (E20+ES3/4,5) signifikant höher als in den verbleibenden Varianten (ausschließlich der Variante 2) ( $p < 0,0001$ ) (Anhang, Tabelle A-10).

Die Broiler des Fütterungsversuchs zeigen im Vergleich zu der Leistungskurve nach AVIAGEN (2021) konstant einen deutlich höheren Futtermittelverbrauch.

#### **4.3.2 Wasserverbrauch**

---

Für die Ergebnisse des Einflusses der eingesetzten Alleinfuttermittel auf den Wasserverbrauch können für jeden betrachteten Abschnitt hoch signifikante Unterschiede erkannt werden ( $p < 0,0001$ ) (Anhang, Tabellen A-11 und A-12). Im Allgemeinen zeigt sich für den Wasserverbrauch, dass die Alleinfuttermittel mit der Zulage von Erbsenproteinkonzentrat (Variante 4, 5, 9 und 10) zu einem geringen Wasserverbrauch der Broiler führen, während die Tiere der Variante 8 (E20+ES3/4,5) den höchsten Wasserverbrauch haben. Insbesondere der Einsatz von

ausschließlich Erbsenproteinkonzentrat in Höhe von 10 % (Variante 5) bewirkt den geringsten Wasserverbrauch.

### 4.3.3 Lebendmasseentwicklung

---

Für die gesamte Versuchsdauer (ausschließlich Tag 0) zeigt sich die Tendenz, dass die Tiere der kombinierten Varianten mit Erbsenproteinkonzentrat und Erbsenschalen (Varianten 9 und 10) die höchste Lebendmasse aufweisen. An Tag 7 sind die Broiler in den Varianten 1 bis 3 ( $p = 0,0001$ ) und an Tag 14 die Variante 3 ( $p = 0,0006$ ) signifikant leichter als die Tiere in den Varianten 4, 9 und 10. Für den Lebenstag 28 (vor und nach Abstockung) zeigen die Tiere in den Varianten 1 bis 3, 5, 7 und 8 eine geringere Lebendmasseentwicklung als die Masthühner der Varianten 9 und 10 ( $p < 0,0001$ ). Die Abstockung der Tierzahl an Tag 28 hat keinen Einfluss auf die Rangordnung der Lebendmasseentwicklung und die Signifikanzen der Varianten. An Tag 34 weist die Kontrollvariante die numerisch geringste Lebendmasse auf und die Varianten 9 und 10 die höchsten Lebendmassen ( $p > 0,05$ ) (Anhang Tabelle A-13).

Die Broiler haben ab dem Tag 14 eine deutlich höhere Lebendmasse im Vergleich zu den Referenzdaten nach AVIAGEN (2021).

### 4.3.4 Durchschnittliche Tageszunahmen

---

#### **Phasenbezogene Betrachtung**

Die Ergebnisse des Einflusses der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die durchschnittlichen Tageszunahmen für die P1 (Tag 1-14) und P2 (Tag 14-34) sind analog zu den Ergebnissen aus der Lebendmasseentwicklung an Tag 14 und Tag 34 (Anhang, Tabelle A-14).

#### **Wochenbezogene Betrachtung**

Innerhalb des Betrachtungszeitraumes Tag 0 bis 7 zeigen die Tiere der Variante 9 höhere Tageszunahmen als die Broiler der Varianten 1, 3, 7 und 8 ( $p = 0,0001$ ). Von Tag 7 bis 14 hat die Variante 3 geringere durchschnittlichen Tageszunahmen als die Varianten 9 und 4 ( $p = 0,0035$ ). In den Tagen 14 bis 28 zeigen die Broiler der Varianten 1 und 7 signifikant geringere Tageszunahmen als die Tiere der Varianten 9 und 10 ( $p = 0,0009$ ). In dem Zeitraum Tag 28-34 weist die Kontrollvariante die numerisch geringste und die Varianten 9 die höchste Tageszunahme auf ( $p > 0,05$ ) (Anhang, Tabelle A-14).

Die Broiler zeigen ab dem Tag 14 gegenüber der Leistungskurve für die männlichen Masthühner (AVIAGEN 2021) höhere durchschnittliche Tageszunahmen.

### 4.3.5 Futteraufwand

---

#### **Phasenbezogene Betrachtung**

Insgesamt zeigt sich für den Futteraufwand der Masthühner, dass die Tiere der Variante 9 und 10 den geringsten Futteraufwand haben, während die Varianten 6, 7 und 8 einen höheren Futteraufwand aufweisen. Insbesondere in den Betrachtungszeiträumen bis Tag 34 stellen

sich deutliche Unterschiede heraus. Dabei sind die Unterschiede in der Phase 2 bis Tag 28 statistisch nicht gesichert (Anhang, Tabelle A-15).

### **Wochenbezogene Betrachtung**

Für den Futteraufwand in den Tagen 14 bis 28 lassen sich keine signifikanten Einflüsse der eingesetzten Alleinfuttermittel feststellen ( $p > 0,05$ ). Im Betrachtungszeitraum Tag 28 bis 34 ist der Futteraufwand der Varianten 7 und 8 deutlich höher als der Futteraufwand der Varianten 3 bis 5, 9 und 10 ( $p < 0,0001$ ) (Anhang, Tabelle A-16).

Im Vergleich zu den Referenzdaten (AVIAGEN 2021) weisen alle Broiler am Ende der Phase 1 einen höheren Futteraufwand auf. Dabei liegt die Variante 9 nur geringfügig oberhalb, während die Varianten 3 und 5 bis 7 deutlich darüber liegen. Für den Abschnitt „gesamt bis Tag 28“ liegen die Varianten 2 bis 4, 7 und 8 über dem Referenzwert. Die Variante 9 und 10 liegt deutlich darunter.

### **4.3.6 Verhältnis Wasser zu Futter**

---

Für die Ergebnisse des Einflusses der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf das Verhältnis von Wasser zu Futter können mit Ausnahme von Tag 28 bis 34 hoch signifikante Unterschiede festgestellt werden ( $p < 0,0001$ ) (Anhang, Tabellen A-17 und A-18). Im Allgemeinen zeigen die Ergebnisse, dass der Einsatz von Erbsenproteinkonzentrat in den Alleinfuttermischungen (Variante 4, 5, 9 und 10) über die gesamte Versuchsdauer zu einem geringeren Verhältnis von Wasser zu Futter führt.

## **4.4 Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Merkmale der Schlachtleistung**

---

### **Lebendgewicht, Schlachtgewicht, Ausschachtung und Carcasse**

Für die Ausschachtung und die relativen Gewichte der Carcasse zeigt sich kein Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen ( $p > 0,05$ ). Dabei haben die Varianten 9 und 10 die tendenziell höchste Ausschachtung ( $p > 0,05$ ) und die höchsten absoluten Gewichte der Carcasse ( $p < 0,0001$ ). Das Lebendgewicht und Schlachtgewicht der Varianten 9 und 10 ist signifikant höher als das der Varianten 1 (Kontrolle) und 7 (ES4,5/6) ( $p < 0,0001$ ) (Anhang, Tabelle A-19).

### **Lebergewicht, Muskelmagen und Abdominalfett**

Für die absoluten und relativen Gewichte der Leber, des Muskelmagens und des Abdominalfetts kann kein Fütterungseinfluss festgestellt werden ( $p > 0,05$ ) (Anhang, Tabelle A-20).

Die Ergebnisse für den Muskelmagen zeigen in den Varianten 2 (E 20), 4 und 5 (EPK 6,5 bzw. 10) erhöhte relative Gewichte, während vorrangig die Variante 6 (ES 3/4,5) eine tendenziell geringere abdominale Verfettung aufweist. Die Tiere der Varianten mit Erbsenproteinkonzentrat weisen höhere Lebergewichte auf als die verbleibenden Varianten. Für die absoluten Gewichte von Muskelmagen und Abdominalfett zeigt sich dieselbe Tendenz wie innerhalb der relativen Gewichte.

### **Wertvolle Teilstücke: Brust, Schenkel und Flügel**

Die eingesetzten Alleinfuttermischungen üben keinen Einfluss auf die relativen Werte der wertvollen Teilstücke gemessen am Schlachtgewicht ( $p > 0,05$ ) aus. Für das wertvolle Teilstück Brust können zudem keine Unterschiede der absoluten Gewichte (g/Tier) festgestellt werden, wobei die Broiler der Varianten 9 und 10 die numerisch höchsten Gewichte aufweisen. Innerhalb der relativen Werte zeigen die Varianten 4 und 10 den höchsten Brustanteil. Die Schenkel- und Flügelgewichte (g/Tier) sind bei der Variante 9 am höchsten. Dabei unterscheidet sich die Variante für die Schenkel zu den Varianten 1 und 3 bis 8 ( $p < 0,0001$ ) und für die Flügel zu den Varianten 1 und 2 ( $p = 0,0120$ ) (Anhang, Tabelle A-21).

## **4.5 Fußballengesundheit**

---

### **Trockensubstanz und Viskosität der Faeces**

Die Ergebnisse für die Bestimmung der Trockensubstanz und der Viskosität der Faeces sind der Tabelle A-22 im Anhang zu entnehmen. Die eingesetzten Alleinfuttermischungen zeigen keinen Einfluss auf die Trockensubstanz und die Viskosität der Faeces ( $p > 0,05$ ). Für den TS-Gehalt zeigt sich die Tendenz, dass die Varianten mit dem Erbsenproteinkonzentrat (Varianten 4, 5, 9 und 10) einen höheren TS-Gehalt (23 % - 26 %) haben als die Varianten 1, 2 und 8 (18 % - 19 %) ( $p > 0,05$ ). Die Viskosität der Faeces ist bei den Varianten 1 (Kontrolle) und 6 (ES3/4,5) am höchsten (3,28 mpas; 3,20 mpas) und bei der Variante 9 (EPK10+ES3/4,5) mit 1,65 mpas am geringsten ( $p > 0,05$ ).

### **Einstreufeuchte und Fußballenbonitur**

Für die Betrachtung des Fütterungseinflusses auf den TS-Gehalt der Einstreu und die Fußballengesundheit erfolgte aufgrund der geringen Quantität der Probennahme keine statistische Auswertung. Die Ergebnisse der Datenerhebung sind in Tabelle A-23 dargestellt. Die Varianten 1, 4, 5, 9 und 10 weisen mit über 81 % bis 84 % den höchsten TS-Gehalt der Einstreu auf. Die Variante 3 hat mit 64 % den geringsten TS-Gehalt.

Die Ergebnisse der Stichprobe der Fußballenbonitur zeigen einheitlich für alle Varianten den Score 0 (unveränderte Fußballen) an.

## **4.6 Darmgesundheit**

---

### **Kurzkettige Fettsäuren**

Die eingesetzten Alleinfuttermischungen haben keinen Einfluss auf die Gehalte der kurzkettigen Fettsäuren in der Digesta des Ileums und Zäkums (Anhang, Tabellen A-24 bis A-27).

Tendenziell zeigt sich ein numerischer Anstieg insbesondere für die Gehalte an Propionsäure in der Digesta des Zäkums ( $\mu\text{mol/g uS}$ ) und für das molare Verhältnis von Propionat (% der uS) bei der Fütterung von Erbsen und Erbsenprodukten, mit Ausnahme der Varianten 9 und 10. Für die n-Buttersäure zeigt sich dieselbe Tendenz. Die Kontrollvariante hat den höchsten Wert für das Mol Acetat im Vergleich zu den verbleibenden Varianten. Für die Gesamtfettsäuren ( $\mu\text{mol/g uS}$ ) weisen die Varianten 2 bis 6 die höchsten Gehalte auf.

## Mikrobiologische Merkmale des Darms

Die Ergebnisse der relativen Abundanz für das Mikrobiom im Ileum und Zäkum sind in den Tabellen A-28 und A-29 im Anhang dargestellt.

Für das Darmmikrobiom im Ileum können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Im Ileum dominiert für alle Varianten der Genus *Lactobacillus*.

Im Zäkum verändert sich die relative Abundanz. Die relative Abundanz von *unknown (Family.Lachnospiraceae)* und *Lactobacillus* ist am höchsten, gefolgt von *Faecalibacterium* und *Blautia*. Für einige Mikroben Genera können in Zäkum signifikante Unterschiede festgestellt werden. Unter anderem zeigt sich für die relative Abundanz für *Blautia*, dass die Varianten 6 und 9 höhere Werte haben als die Varianten mit Erbsen in Höhe von 20 % und 30 % (Variante 2 und 3) ( $p = 0,000$ ). Auch für die kohlenhydratfermentierenden Bakterien *Ruminococcaceae\_UCG-014*, *Christensenellaceae\_R-7\_group* und *Ruminiclostridium\_9* kann ein Fütterungseinfluss festgestellt werden. Die Variante 8 hat einen höheren Gehalt des Genus *Ruminococcaceae\_UCG-014* als die Variante 9 ( $p = 0,021$ ). Für die *Christensenellaceae\_R-7\_group* zeigen die Varianten 2,4 und 8 höhere Gehalte als die Varianten 9 und 10 ( $p = 0,000$ ), während die Varianten 2, 4 und 5 mehr *Ruminiclostridium\_9* aufweisen als die Variante 10 ( $p = 0,001$ ). Die verbleibenden signifikanten Unterschiede des Einflusses der eingesetzten Alleinfuttermittel auf das Darmmikrobiom kann der Tabelle A-29 entnommen werden.

In Abbildung 2 und 3 sind die gesundheitsschädlichen Bakterien im Ileum und Zäkum dargestellt. Im Ileum führt die Fütterung von Erbsen und Erbsenprodukten zu einer numerischen Verringerung der Genera *Erysipelatoclostridium*, *Escherichia/Shigella* und *Helicobacter* im Vergleich zu der Kontrollvariante. Die Varianten 2 bis 6 und 10 weisen zusätzlich den Genus *Campylobacter* vor, während in der Kontrollvariante kein *Campylobacter* detektiert werden konnte. Im Zäkum ist diese tendenzielle Verringerung von *Escherichia/Shigella* und *Helicobacter* nicht zu erkennen. Für den Genus *Erysipelatoclostridium* zeigt die Variante E20+ES3/4,5 eine signifikant verringerte Abundanz als die Kontrollvariante und die Variante ES3/4,5 ( $p = 0,030$ ).

## Diversitätskennzahlen Richness, Shannon-Index und Evenness

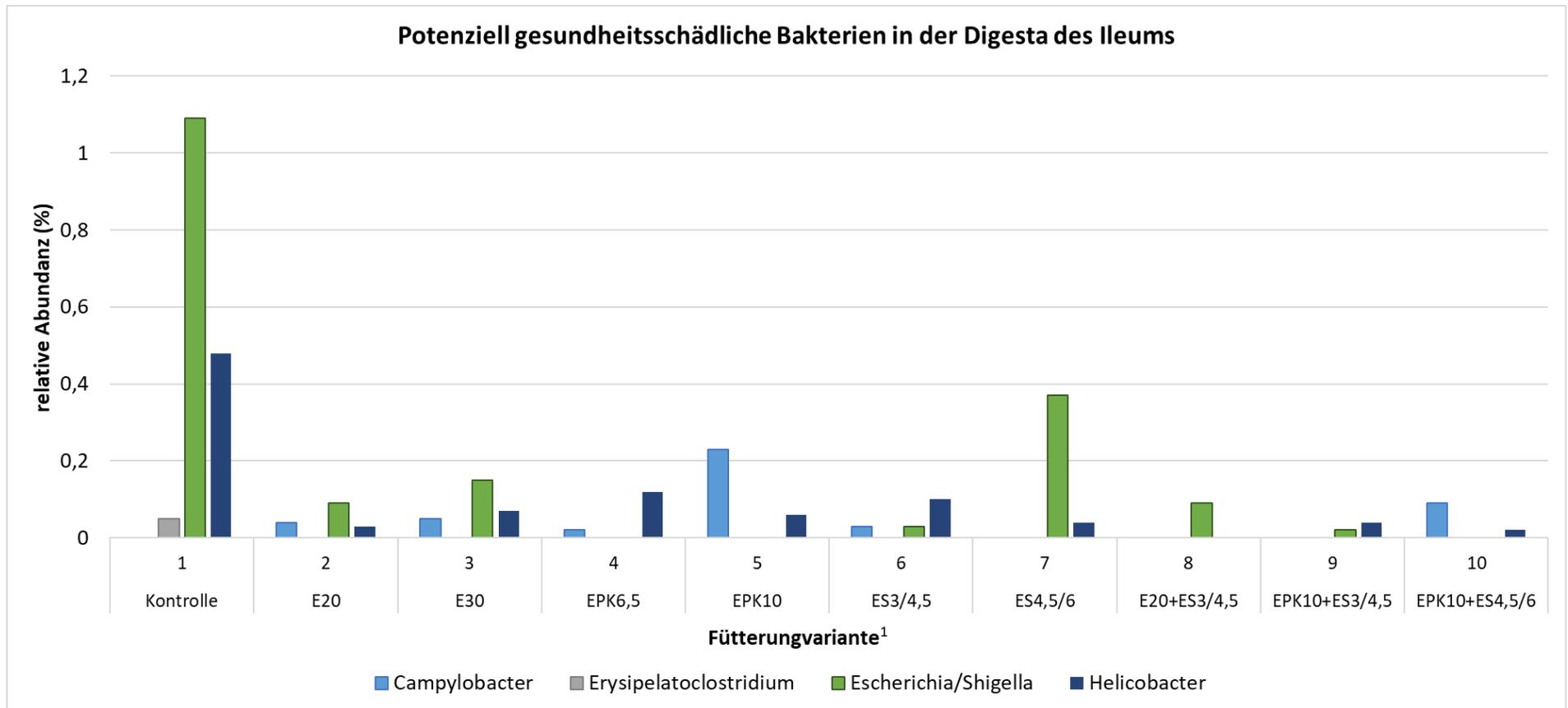
Erbsen und Erbsenprodukte haben keinen Einfluss auf die Richness, den Shannon-Index und die Evenness des Mikrobioms im Ileum. Im Zäkum führt der Einsatz von Erbsen in Höhe von 20 % in Kombination mit Erbsenschalen in Höhe von 4,5 % (Variante 8) zu einer signifikant höheren Richness ( $p = 0,010$ ) und höherem Shannon-Index ( $p = 0,003$ ) im Vergleich zur Kontrollvariante sowie der Varianten 3, 5, 9 und 10. Zusätzlich hat die Variante 8 eine höhere Evenness als die Kontrollvarianten und die Variante 5 und 9 ( $p = 0,047$ ).

## Korrelationsanalyse

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zeigen im Ileum zwischen dem Einsatz von Erbsen und dem Gehalt an i-Buttersäure sowie dem molaren Verhältnis von Butyrat mit  $r = 0,791$  einen sehr hohen Zusammenhang ( $p = 0,034$ ). Für das Vorkommen des Genus *Helicobacter* kann

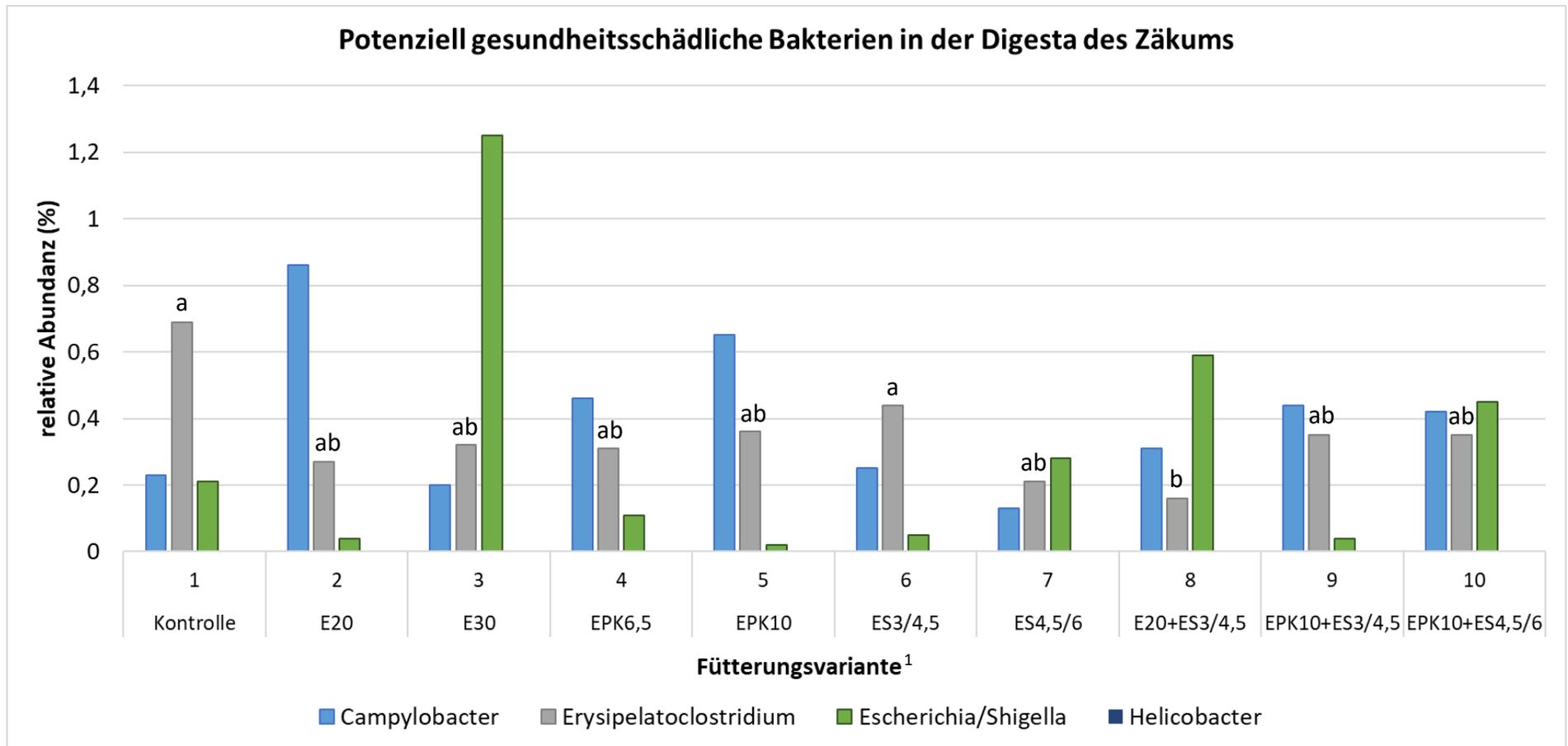
eine negative Korrelation zu Erbsenproteinkonzentrat (- 0,717;  $p = 0,013$ ) und zu den Gehalten an  $ADF_{om}$  (- 0,329;  $p = 0,013$ ) festgestellt werden.

Im Zäkum ergibt sich ein vergleichsweise loser Zusammenhang zwischen den Gehalten an unverdaulicher Stärke und *Erysipelatoclostridium* (- 0,223;  $p = 0,020$ ) sowie verdaulicher Stärke und *Campylobacter* (0,243;  $p = 0,011$ ). Für die kurzkettigen Fettsäuren zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen unverdaulicher Stärke und Mol Propionat (0,321;  $p = 0,044$ ), während Mol n-Butyrat negativ mit dem Einsatz von Sojaextraktionsschrot korreliert (- 0,335;  $p = 0,035$ ).



**Abbildung 2: Relative Abundanz der potenziell gesundheitsschädlichen Bakterien in der Digesta des Ileums von männlichen Ross 308 Masthühnern an Lebenstag 36**

<sup>1</sup>Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)



<sup>a, b</sup> unterschiedliche Indizes geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

**Abbildung 3: Relative Abundanz der potenziell gesundheitsschädlichen Bakterien in der Digesta des Zäkums von männlichen Ross 308 Masthühnern an Lebenstag 36**

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

## 5. Diskussion

### 5.1 Rohnährstoffe und eingesetzte Alleinfuttermischungen

---

#### **Rohstoffe**

Die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalysen des Rohstoffs Erbse decken sich mit den Vergleichswerten der Inhaltsstoffe nach DURST et al. (2021). Für das Erbsenproteinkonzentrat zeigen die analysierten Inhaltsstoffe wesentlich höhere Gehalte an Rohprotein und Aminosäuren mit einem unterdurchschnittlichen Reststärkegehalt im Vergleich zu VALENCIA et al. (2008). Damit kommt das eingesetzte qualitativ sehr hochwertige Erbsenproteinkonzentrat eher einem Erbsenproteinisolat nach VELAYUDHAN et al. (2019) nahe. Auch die Ergebnisse für die Erbsenschalen unterscheiden sich im Vergleich zur Studie von WEBER et al. (2021). Die Erbsenschalen des Fütterungsversuches haben weniger Rohprotein aber wesentlich mehr Lysin. Der höhere Gehalt an Lysin geht auf Kosten der Konzentrationen der übrigen Aminosäuren. Die Gehalte an Zellwandbestandteilen ( $ADF_{om}$ ,  $aNDF_{om}$ , ADL) sind annähernd identisch, während der analysierte Stärkegehalt den von WEBER et al. (2021) angegebenen Wert übersteigt.

#### **Eingesetzte Alleinfuttermischungen**

Die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalysen für die eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Starterphase (P1, Tag 1- 14) und der Mastphase (P2, Tag 14-34) zeigen auf Basis der verwendeten Futtermittel und Mischungsanteile im Allgemeinen die zu erwartenden Ergebnisse.

Die verwendeten Alleinfuttermischungen zeigen, dass die Erbsen und das Erbsenproteinkonzentrat als proteinliefernde Futtermittel für die Fütterung von Masthühnern gut geeignet sind und durch einen gezielten Einsatz von vor allem Erbsenproteinkonzentrat der Anteil an Sojaextraktionsschrot in der Ration wesentlich reduziert werden kann, ohne negative Effekte auf die Leistung und Gesundheit der Broiler zu haben. Damit werden die Aussagen von BELLOF et al. (2020) und DURST et al. (2021) bestätigt. Die nach QUENDT et al. (2022) beschriebenen futtermittelspezifischen Restriktionen durch die vergleichsweise geringen Gehalte an essenziellen, schwefelhaltigen Aminosäuren der Erbse konnten in dem vorliegenden Fütterungsversuch durch die Verwendung von kristallinen Aminosäuren ausgeglichen werden. Der durchgeführte Fütterungsversuch bestätigt somit die Aussage von DADALT et al. (2016), dass die biologische Wertigkeit des Proteins der Erbse durch den Zusatz von kristallinen Aminosäuren an die Bedürfnisse des Monogastriers angepasst werden kann.

Die Erbsen können durch ihren mittleren Rohproteingehalt nicht nur als Eiweißträger Anwendung finden, sondern senken durch ihren hohen Stärkegehalt auch die Mischungsanteile der energieliefernden Futtermittel Mais und Weizen. Die Erbse kann dadurch in zielgerichteter Kombination die Anteile des kritisch gesehenen Sojaextraktionsschrotes als auch den Einsatz von monokulturbetontem Getreide wie Mais und Weizen in den Rationen reduzieren und bringt somit nicht nur einen Nutzen für die nach QUENDT et al. (2022) beschriebene GVO-freie

Fütterung, sondern auch die Eingangs beschriebenen ackerbaulichen und betrieblichen Vorteile (BELLOF et al. 2020; QUENDT et al. 2022).

Der Einsatz von Erbsenschalen führt zu steigenden Gehalten an Rohfaser und Zellwandbestandteilen in den eingesetzten Alleinfuttermischungen. Damit kann der von WEBER et al. (2021) für Mastschweine getroffene Befund, dass sich die Erbsenschale sehr gut als faserdichtes Futtermittel eignet, für die Masthühnerfütterung bestätigt werden.

Für die sekundären Inhaltsstoffe und die Nahrungsfasern kann aufgrund fehlender Analyseergebnisse keine qualitative Bewertung vorgenommen werden. Die als Nahrungsfasern ausgewiesene "Rohfaser" in Form von ADF und NDF sind laut TOSH und YADA (2010) nur von begrenztem Wert, da der Gesamtballaststoffgehalt stark unterschätzt wird.

## 5.2 Biologische Leistungsparameter

---

Insgesamt zeigt sich in der vorliegenden Studie, dass der Einsatz von Erbsen und Erbsenprodukten keine negativen Effekte auf die Schlachtleistung und die Lebendmasse sowie die Tageszunahmen der Broiler hatte. Dabei konnte für die Lebendmasse und die durchschnittlichen Tageszunahmen im Vergleich zu AVIAGEN (2021) sogar eine überdurchschnittliche Leistung bei einem höheren Futtermittelverbrauch festgestellt werden. Der erhöhte Futtermittelverbrauch und Futteraufwand ist hauptsächlich bei den Gruppen festzustellen, welche mit Erbsenschalen gefüttert wurden (Varianten 6 und 7).

Die vorgenommene Abstockung hatte keinen Einfluss auf die Leistungsparameter, da es zu keiner Veränderung der Rangordnung und der Signifikanzen kam. Somit kann für die Beurteilung im Allgemeinen ein manipulativer Einfluss der Abstockung auf die biologischen Leistungsparameter ausgeschlossen werden. Zusätzlich kann ein Einfluss der Diskrepanzen für die leistungsbestimmenden Inhaltsstoffgehalte an essenziellen Aminosäuren Methionin und Lysin als auch für die Energiegehalte zwischen den eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die biologischen Leistungsparameter ausgeschlossen werden.

### 5.2.1 Einsatz von Erbsen

---

Der Einsatz von weißblühenden Erbsen von bis zu 30 % in den Alleinfuttermischungen hatte im Fütterungsversuch keinen negativen Einfluss auf den Futtermittelverbrauch, die Mast- und Schlachtleistung sowie den Futteraufwand der Broiler im Vergleich zu der Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen der Literatur (DIAZ et al. 2006; DOTAS et al. 2014; DURST et al. 2021; LAUDADIO und TUFARELLI 2011; MOSCHINI et al. 2005). Ein in mehreren Studien beschriebener positiver Effekt der Erbsenstärke auf die Leistung, insbesondere auf die Futtereffizienz (HERWIG et al. 2019; HERWIG et al. 2020; JANOCHA et al. 2022; PIRGOZLIEV et al. 2010) kann aber nicht bestätigt werden.

Tendenziell zeigen die Ergebnisse des Fütterungsversuches bei steigenden Erbsenanteilen in den Alleinfuttermischungen sogar eine Verschlechterung der biologischen Leistungen. Diese Beobachtung könnte durch die von HERWIG et al. (2019) und CZERWIŃSKI et al. (2010) beschriebene verringerte Verdaulichkeit der Erbsenstärke im Dünndarm erklärt werden, die sich

insbesondere bei hohen Gehalten an Erbsen negativ auf die Leistung auswirken könnte (HERWIG et al. 2019). Auch ZDUŃCZYK et al. (2022) und SHARMA et al. (2021) beschreiben, dass dadurch der energetische Futterwert der Erbsenstärke beeinträchtigt wird. Zusätzlich könnte die Leistungsabweichung durch mögliche ernährungsphysiologische Auswirkungen von Tanninen und Ballaststoffen der Erbsen, welche negative Effekte auf die Nährstoffverdaulichkeit haben können, erklärt werden (BELLOF et al. 2020; DAHL et al. 2012).

Dennoch zeigt der Versuch, dass die Erbsen als alternative Protein- und Energiequelle in Starter- und Mastfuttermischungen mit Anteilen von bis zu 30 % ohne signifikante Leistungseinbußen beim Broiler verwendet werden können, um Sojaextraktionsschrot und Mais zu reduzieren. Der Versuch trägt aufgrund des in allen eingesetzten Alleinfuttermischungen verwendeten Sojaextraktionsschrotes dennoch nicht zur Bestätigung der Aussagen von DOTAS et al. (2014), DURST et al. (2021) und JANOCHA et al. (2022) bei, dass Sojaextraktionsschrot ohne Leistungseinbußen bei Broilern gänzlich ersetzt werden kann.

## 5.2.2 Einsatz von Erbsenschalen

---

Der Einsatz von Erbsenschalen (Varianten 6 und 7) und der Kombination von ganzen Erbsen und Erbsenschalen (Variante 8) führt zu einem signifikant höheren Futterverbrauch im Vergleich zu der Kontrollvariante, während die Lebendmasse und die Tageszunahmen nicht negativ beeinflusst werden. Ab Tag 28 ergeben sich für den Futterverbrauch Spitzenwerte. Zusätzlich zeigen die Varianten 6 und 7 ab Tag 28 einen statistisch gesicherten gesteigerten Futterraufwand. Aus der Literatur ist bekannt, dass sich Nahrungsfasern negativ auf die Verdaulichkeit von Nährstoffen und Energie auswirken und eine Reduzierung der Futterverwertung zur Folge haben (DAHL et al. 2012; JHA und LETERME 2012). Laut DURST et al. (2021) und FREITAG (2017) sinkt die Verdaulichkeit der Ration um ca. 1 % je Prozent Nahrungsfaser. SLAMA et al. (2018) führen an, dass hohe Anteile an löslichen Fasern entscheidend für die Verdaulichkeit der  $aNDF_{om}$  sind. Doch nach DAHL et al. (2012) und NAYIK und GULL (2020) übersteigt der Gehalt an unlöslichen den der löslichen Ballaststoffen in den Erbsenschalen. Die Inhaltsstoffanalysen der eingesetzten Alleinfuttermittel zeigen, dass die Gehalte an Rohfaser und Zellwandbestandteilen ( $ADF_{om}$  und  $aNDF_{om}$ ) durch den Einsatz von Erbsenschalen und in der Kombination mit ganzen Erbsen (Variante 8) steigen. Aufgrund der Ergebnisse des verschlechterten Futterraufwands ab Tag 28 und der vergleichsweise geringen abdominalen Verfettung der Varianten 6 und 7 kann somit ein negativer Einfluss der hohen Rohfasergehalte und Zellwandbestandteile sowie dem hohen Anteil an unlöslichen Fasern auf die Nährstoffverdaulichkeit nicht ausgeschlossen werden. Möglicherweise führte die verringerte energetische Verwertung zu einer Kompensation der Broiler, die in einen erhöhten Futterverbrauch mündete.

Ergänzend hierzu kann ein von mehreren Studien beschriebener positiver Einfluss auf die Ausbildung des Muskelmagens mit einer daraus resultierenden erhöhten Nährstoffverfügbarkeit durch die Fütterung von Erbsen, als Futtermittel mit Strukturkomponenten und grobes Fasermaterial wie die Erbsenschalen aufweisen, nicht belegt werden (SVIHUS 2011; SVIHUS et al.

2010; VELAYUDHAN et al. 2019). Der Einsatz von Erbsen und Erbsenschalen zeigte in dem Fütterungsversuch keinen Einfluss auf die relativen Muskelmagengewichte.

Auch möglich negative Auswirkungen von den antinutritiven wirkenden Tanninen auf die Leistung der Broiler können überwiegenden ausgeschlossen werden. DUNKEL et al. (2016) empfehlen für die Geflügelfütterung weißblühende Sorten wegen ihrer unkritischen Tannin- und Gesamtphenolgehalte. Nach DURST et al. (2021) führen hohe Tanningehalte aufgrund ihres bitteren Geschmacks zu einer sinkenden Futteraufnahme beim Geflügel. Die Tannine befinden hauptsächlich in der Schale. Im vorliegenden Versuch zeigten die Broiler der Varianten 6 und 7 allerdings ab Tag 28 beim Einsatz von ausschließlich Erbsenschalen einen deutlich erhöhten Futterverbrauch. Auch in den Fütterungsvarianten mit Zulage von Erbsenschalen konnte keine Futteraufnahmedepression festgestellt werden.

### 5.2.3 Einsatz von Erbsenproteinkonzentrat

---

Die vorliegende Studie zeigt, dass der Einsatz von Erbsenproteinkonzentrat insgesamt zu einer Leistungssteigerung der Masthühner führt. Insbesondere in der Kombination mit Erbsenschalen zeigen die Broiler signifikant höhere Lebendmassen, Tageszunahmen und einen verringerten Futteraufwand im Vergleich zur Kontrollvariante. Dabei ist besonders herauszustellen, dass der Einsatz von ausschließlich Erbsenproteinkonzentrat insgesamt gute Leistungen erzielt, aber diese durch den Zusatz von Erbsenschalen mit einer Zulagestufe von 3 % bis 6 % im Alleinfutter (Varianten 9 und 10) übertroffen werden. Sowohl die Ausschlichtung als auch die relativen Gewichte der wertvollen Teilstücke werden durch den Einsatz von EPK nicht signifikant beeinflusst.

Die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalyse für das eingesetzte Erbsenproteinkonzentrat legen nach VELAYUDHAN et al. (2019) den Schluss nahe, dass dieses einem Erbsenproteinisolat gleicht. Die Autoren ermittelten bei der Verfütterung von Erbsenproteinisolat einen Rückgang der durchschnittlichen täglichen Futteraufnahme und der durchschnittlichen Tageszunahme bei einem Anstieg der Futterverwertung. Somit sind die Ergebnisse der zitierten Studie konträr zu denen aus dem vorliegenden Fütterungsversuch. VELAYUDHAN et al. (2019) begründen den beobachteten Leistungsabfall mit erhöhten Konzentrationen von Trypsininhibitoren und einer erhöhte Passagerate, die mit einer Verringerung der Aminosäureverdaulichkeit einhergeht.

Die Ergebnisse des durchgeführten Fütterungsversuchs deuten auf Basis der gesteigerten Mastleistung dennoch auf eine hohe Proteinqualität und hohe Aminosäureverdaulichkeit des eingesetzten Erbsenproteinkonzentrats hin, welche nach DURST et al. (2021) substanziell für die Proteinversorgung von Geflügel ist. Bei der Herstellung von Erbsenproteinkonzentrat wird laut TOSH und YADA (2010) durch das Schälen der unlösliche Ballaststoffgehalt bedeutend reduziert. Aufbauend auf den Analyseergebnissen des eingesetzten EPK, welche ein Stärkegehalt unter der Nachweisgrenze zeigten, konnte weiter ein wesentlich höherer Anteil des Nicht-Proteingehalts entfernt werden. Ergänzend dazu ermittelten FRIKHA et al. (2013) eine hohe scheinbare Verdaulichkeit von Rohprotein bei erhitzten Erbsenproteinkonzentrat. Auch die Feinvermahlung des Erbsenproteinkonzentrats trägt nach Absicht der Autoren zur erhöhten Verdaulichkeit bei. POWELL et al. (2010) beschreiben zusätzlich, dass die enzymatische

Hydrolyse der Erbsenproteine genutzt wird, um bioaktive Peptide freizusetzen, was zu einer Verbesserung der ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Proteine führt. Diese Aussagen führen zu der Schlussfolgerung, dass das verwendete Erbsenproteinkonzentrat eine hohe Nährstoffverdaulichkeit aufweist.

Die realisierte hohe Leistung kann - wie bereits angedeutet - möglicherweise auch durch die Kombination von Erbsenproteinkonzentrat und Erbsenschalen erklärt werden. HETLAND et al. (2004) führen an, dass die Futterverwertung bei Geflügel durch Strukturkomponenten verbessert werden kann. HETLAND et al. (2004) erhöhten die Stärkeverdaulichkeit von Weizenbestandteilen durch Zugabe von 10 % feinem Cellulosepulver im Futter. Sowohl DAHL et al. (2012) als auch TOSH und YADA (2010) identifizieren den Anteil der Cellulose in den Erbsenschalen als herausragenden Bestandteil. Zusätzlich soll nach HETLAND et al. (2004) die erhöhte Verdaulichkeit auf eine verbesserte Magenverdauung zurückzuführen sein. Nach SVIHUS (2011) erhöhen die Faserkomponenten die Amylaseaktivität und die Gallensäurekonzentration im Magen, wobei die Gallensäure eine verbesserte Emulgierung von Lipiden verursacht sowie eine stabilisierende Wirkung auf die Verdauungsproteasen hat und es dadurch zu verbesserten Enzym-Substrat-Interaktionen kommt. Möglicherweise führt die größere Partikelgröße durch den höheren Anteil an Nahrungsfasern und dem höheren Rohfasergehalt in den besagten eingesetzten Alleinfuttermitteln auch zu einer längeren Verweildauer im Magen-Darm-Trakt und zu einer verringerten Passagegeschwindigkeit. Nach HETLAND et al. (2004) verringern die unlöslichen Fasern, welche laut NAYIK und GULL (2020) in der Erbsenschale überwiegen, die Passagerate im Muskelmagen, da dieser selektiv Futterpartikel zurückhält. Durch die verlängerte Aufenthaltsdauer des Chymus im Magendarmtrakt kommt es nach VAGT (2014) zu einer längeren Einwirkzeit von körpereigenen und mikrobiellen Verdauungsenzymen, wodurch die Verdaulichkeit der Nährstoffe verbessert wird (VELAYUDHAN et al. 2019). Zudem kann auch eine Unterentwicklung des Muskelmagens mit negativen Effekten auf die Verdauungspassagerate der scheinbaren Nährstoffretention, die laut mehreren Studien infolge einer Fütterung mit einer feinen Partikelgröße entsteht, ausgeschlossen werden (SVIHUS 2011; SVIHUS et al. 2010; VELAYUDHAN et al. 2019).

Zusammenfassend kann die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass in dem vorliegenden Versuch mit Erbsen und Erbsenprodukten von den Masthühnern eine hohe Verdaulichkeit der Nährstoffe realisiert wurde. Hierbei ist insbesondere auf eine hohe Aminosäureverdaulichkeit und eine verbesserte Stärkeverdaulichkeit im Zusammenspiel mit Strukturkomponenten aus den Nahrungsfasern zu verweisen.

#### 5.3.4 Weitere Einflussfaktoren beim Einsatz von Erbsen und Erbsenprodukten

---

Beim Einsatz von Erbsen und Erbsenprodukten ist anzumerken, dass nach SHARMA et al. (2021) Sortenunterschiede, Analysemethoden und die Verarbeitungsbedingungen, wie Pelletierung und Mikronisierung die Ergebnisse beeinflussen können. Nach DAHL et al. (2012) kann die geringe Verdaulichkeit von Stärke in Hülsenfrüchten auch darauf zurückgeführt werden, dass die in den intakten Zellwandstrukturen eingeschlossenen Stärkekörner für Amylasen nicht verfügbar sind. Laut DIAZ et al. (2006) sowie SHARMA et al. (2021) führt die Verarbeitung

von Masthühnerfutter zu Pellets zu einer Erhöhung der verstoffwechselbaren Energie und der Protein- und Stärkeverdaulichkeit, da die Zellwände der Erbsenkotyledonen durch die Pelletierung aufgebrochen werden und die Zugänglichkeit der Nährstoffe für die Verdauungsenzyme verbessert wird. Die im Fütterungsversuch festgestellte überdurchschnittliche Leistung der Broiler kann somit auch auf die verbesserten Nährstoffverdaulichkeiten infolge der Verarbeitung der Alleinfutter zu 3 mm-Pellets zurückgeführt werden.

### 5.3 Fußballengesundheit

---

Die Quantität des Wasserverbrauchs und die damit verbundene Beeinflussung des Feuchtegehalts der Ausscheidung ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die Fußballengesundheit (DURST et al. 2021). Die Broiler der Fütterungsvariante 8 (E20+ES3/4,5) haben über den gesamten Versuch fast ausschließlich den höchsten Wasserverbrauch und das höchste Verhältnis von Wasser zu Futter, während die Masthühner der Varianten mit Erbsenproteinkonzentrat die geringsten Werte hierfür aufweisen. Dieses Ergebnis kann auf den Kaliumgehalt der eingesetzten Alleinfuttermischungen zurückgeführt werden. Für die analysierten Inhaltstoffe zeigen sich sowohl für das Starterfutter als auch für das Mastfutter der Variante 8 die höchsten Kaliumgehalte und für die Varianten mit Erbsenproteinkonzentrat die geringsten Gehalte an Kalium. Nach DURST et al. (2021) ist die Kaliumausstattung der Ration für das Mastgeflügel von wesentlicher Bedeutung. Ein hoher Anteil an Kalium im Alleinfutter führt zu einer gesteigerten Wasseraufnahme, was einen erhöhten Wassergehalt der Exkremente bedingt und es folglich zu einer feuchteren Einstreu und einer schlechten Fußballengesundheit kommt. Der Fütterungsversuch bestätigt, dass erhöhte Kaliumgehalte in der Ration zu einer gesteigerten Wasseraufnahme führen.

Die in dem Fütterungsversuch festgestellte auffallend gute Fußballengesundheit mit dem Score 0 über alle Varianten hinweg ist vorrangig auf die geringe Besatzdichte zurückzuführen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass der Einsatz von EPK in der Ration zu verringerten Kaliumgehalten und dadurch zu einem verminderten Wasserverbrauch führt, was unter praxisnahen Verhältnissen eine geringere Einstreufeuchte und damit eine verbesserte Fußballengesundheit bedingen kann.

### 5.4 Darmgesundheit

---

Die Ergebnisse für die Gehalte an kurzkettigen Fettsäuren in der Digesta des Ileums und Zäkums zeigen keinen statistisch gesicherten Einfluss von Erbsen und Erbsenprodukten. Auch CZERWIŃSKI et al. (2010) stellte bei der Zulage von 150 g Erbsen je Kilogramm Futter keine Veränderung der SCFA-Konzentrationen in der Digesta des Ileum fest. Dagegen konnte für die Gehalte im Zäkum sowohl von CZERWIŃSKI et al. (2010) als auch von HERWIG et al. (2020) ein Einfluss der Erbsen gefunden werden. HERWIG et al. (2020) zeigten eine quantitative und qualitative Veränderung der Zusammensetzung der kurzkettigen Fettsäuren bei hohen Anteilen an Erbsenstärke. Diese Veränderung lässt einen Rückschluss auf eine Beeinflussung des Mikrobioms durch die Fütterung zu. Ein hoher Anteil an Erbsenstärke führte in der Studie zu einer Reduktion der SCFA, welche mit der Eiweißfermentation in Verbindung stehen und steigerte

die Gehalte an Essig- und Buttersäure, die mit der Stärkefermentation im Zusammenhang stehen. Diese Erkenntnisse weisen auf eine Verschiebung des Darmmikrobioms zu kohlenhydratfermentierenden Bakterien hin. Auch der durchgeführte Fütterungsversuch zeigte einen tendenziellen Anstieg an n-Buttersäure sowie an Propionsäure bei der Zulage von Erbsen als auch von Erbsenprodukten. Zudem konnten insbesondere in den Varianten 2 bis 6 eine deutliche Steigerung der Gesamtfettsäuregehalte festgestellt werden. Dabei verringerte sich bei den Varianten mit Erbsen und Erbsenprodukten numerisch der Anteil an verzweigt-kettigen Fettsäuren (BCFA) aus der Eiweißfermentation und von Acetat zugunsten von Propionat sowie n-Butyrat. Möglicherweise kann der Anstieg des molaren Verhältnisses von Propionat auf die unverdauliche Stärke der Erbse zurückgeführt werden. Als Indiz hierfür zeigte sich die im Versuch nachgewiesene positive Korrelation zwischen Mol Propionat und der unverdaulichen Stärke im Zäkum. Zusätzlich weist die Korrelationsanalyse einen sehr hohen Zusammenhang zwischen Erbsen und i-Buttersäure als auch für Mol Butyrat im Ileum auf. Die Ergebnisse des Fütterungsversuchs deuten damit in Übereinstimmung mit HERWIG et al. (2020) an, dass die die Fütterung von Erbsen als auch von Erbsenprodukten zu einer Veränderung in der quantitativen und qualitativen Zusammensetzung der kurzkettigen Fettsäuren im Digesta führt und somit der Stoffwechsel der Bakterien durch diese Komponenten beeinflusst wird.

Nach PAN und YU (2013) und ISAACSON und KIM (2012) hat die Ernährung den größten potenziellen Einfluss auf das Darmmikrobiom von Geflügel. Dabei wird die enzymatische Aktivität der Darmmikrobiota durch einen höheren Gehalt an leicht fermentierbaren Oligo- und Polysacchariden in der Nahrung erhöht (ZDUŃCZYK et al. 2022). Diese „Präbiotika“ im Hühnerfutter begünstigen laut ZDUŃCZYK et al. (2022) die Laktobazillen und steigern nach GULEWICZ et al. (2002) signifikant die Bifidobakterien. In dem vorliegenden Fütterungsversuch zeigte sich keinen Einfluss von Erbsen und Erbsenprodukten auf die relative Abundanz der *Lactobacillus* im Ileum und Zäkum. Für die relative Abundanz der weiteren Genera im Zäkum können partiell signifikante Unterschiede festgestellt werden. Aufgrund der diffusen Veränderungen kann keine aussagekräftige Schlussfolgerung für Erbsen und Erbsenprodukte erfolgen. Dennoch weisen die Ergebnisse für die Richness, Evenness und den Shannon-Index insbesondere bei der Zugabe von Erbsen und Erbsenschalen (Variante 8) eine gesteigerte Diversität des Darmmikrobioms auf, welche aufgrund des kurzen Verdauungstransits beim Geflügel üblicherweise vergleichsweise relativ gering ist (CLAVIJO und FLÓREZ 2018; PAN und YU 2013; WEI et al. 2013). Vermutlich führen auf Grundlage der Fütterungsvariante sowohl die NSP aus der Erbsenschale als auch die NSP aus der ganzen Erbse zu einer gesteigerten Diversität des Darmmikrobioms.

Für die gesundheitsschädlichen Bakterien ermitteln GULEWICZ et al. (2002) beim Einsatz von Erbsen in Masthühnerfutter eine sinkende Anzahl an coliformen Keimen. Auch CZERWIŃSKI et al. (2010) stellten bei der Verwendung von Erbsen fest, dass das Wachstum und/oder die Aktivität die kommensale Mikrobiota im Zäkum bis zu einem gewissen Grad durch Erbsen stimuliert und somit die Ansiedlung von pathogenen und zoonotischen Enterobakterien im Darm verhindert werden kann. Die Ergebnisse des Fütterungsversuchs zeigen dieselbe Tendenz für

die Genera *Erysipelatoclostridium*, *Escherichia/Shigella* und *Helicobacter* im Ileum. Dabei deutete sich als Indiz eine negative Korrelation zwischen dem Genus *Helicobacter* und Erbsenproteinkonzentrat als auch zu den Gehalten an  $ADF_{om}$  an. Dabei konnte der  $ADF_{om}$ -Gehalt in den eingesetzten Alleinfuttermischungen insbesondere durch den Einsatz der faserdichten Erbsenschale gesteigert werden. Im Zäkum kann diese tendenzielle Verringerung der Genera *Escherichia/Shigella* und *Helicobacter* nicht fortgeführt werden, während sich für den Genus *Erysipelatoclostridium* eine numerische und partiell signifikante Verringerung der relativen Abundanz durch Erbsen und Erbsenprodukte ergab. Zusätzlich konnte ein geringer negativer Zusammenhang zwischen *Erysipelatoclostridium* und den Gehalten an unverdaulicher Stärke, welche wesentlich in der Erbse vorkommt, festgestellt werden. Diese möglichen, positiven Wirkungen von Erbsen und Erbsenprodukten und ihrer Inhaltsstoffe lassen auf eine Förderung der kommensalen Mikrobiota von Masthühnern, insbesondere im Ileum, schließen. Damit kann der Befund von CZERWIŃSKI et al. (2010) bestätigt werden, dass unter praktischen Bedingungen Futtermittel mit einem moderaten Erbsengehalt einen verbesserten Schutz vor Krankheitserregern gewährleisten können.

## 5.5 Fazit

---

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Erbsen und Erbsenproteinkonzentrat mit Mischungsanteilen von bis zu 30 % bzw. 10 % als Futtermittel in der Broilermast ohne leistungshemmende Wirkungen eingesetzt werden können. Dabei kann der Einsatz von Erbsenproteinkonzentrat, vor allem in der Kombination mit Erbsenschalen (bis zu 4,5 %), sogar zu verbesserten Leistungen führen. Dagegen führt der nicht zielgerichtete Einsatz von Erbsenschalen zu negativen Wirkungen auf die wirtschaftlich relevanten Merkmale Futterverbrauch und Futteraufwand.

Erbsen, Erbsenproteinkonzentrate und Erbsenschalen eignen sich bei einem systematischen Einsatz als wertvolle Futtermittel für die Geflügelernährung und können durch ihre Inhaltsstoffe die Darmgesundheit des Geflügels verbessern.

## 6. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen des Fütterungsversuches können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

1. Ein zielgerichteter Einsatz von Erbsen und Erbsenproteinkonzentrat führt zu einer wesentlichen Reduktion des Anteils an Sojaextraktionsschrot in den Futtermischungen, ohne Leistungseinbußen zu verursachen. Dadurch kann mithilfe des Einsatzes von Erbsen der kritisch zu sehende Import von Sojaprodukten aus Übersee reduziert werden. Zusätzlich senken die Erbsen durch ihre hohen Stärkegehalte die Mischungsanteile für energieliefernde Futtermittel.
2. Die Verwendung von Erbsenschalen verursachen steigende Rohfasergehalte und Zellwandbestandteile in Alleinfuttermischungen. Folglich eignen sich Erbsenschalen als faserdichtes Futtermittel für einen zielgerichteten Ausgleich, um nachteilige Effekte auf das Mikrobiom zu vermeiden.
3. Der Gebrauch von Erbsen mit Mischungsanteilen von bis zu 30 % hat keine negativen Effekte auf die Mast- und Schlachtleistung von Broilern. Tendenziell zeigt sich bei einem Einsatz von 30 % Erbsen in der Ration dennoch eine Verringerung der biologischen Leistung der Masthühner. Womöglich ist die schlechtere Verdaulichkeit der Erbsenstärke hierfür verantwortlich.
4. Gegen Ende der Mast führt die alleinige Zulage von Erbsenschalen sowie die Kombination von Erbsen (20 %) und Erbsenschalen in einer Höhe von bis zu 6 % zu einem höheren Futterverbrauch, während der Einsatz von ausschließlich Erbsenschalen zusätzlich einen schlechteren Futteraufwand zur Folge hat. Möglicherweise haben die hohen Konzentrationen an Rohfasern und Zellwandbestandteilen in den Alleinfuttermitteln negative Effekte auf die Nährstoffverdaulichkeit. Potenziell können die Broiler die verschlechterte Nährstoffverdaulichkeit durch einen erhöhten Futterverbrauch kompensieren.
5. Der Einsatz von Erbsenproteinkonzentrat führt insgesamt zu einer Leistungssteigerung der Broiler. Vorwiegend in der Kombination von Erbsenproteinkonzentrat (10 %) mit Erbsenschalen (bis zu 6 % Mischungsanteil) können die Masthühner tendenziell höhere Lebendmassen sowie Tageszunahmen und einen verbesserten Futteraufwand erreichen. Die Ergebnisse deuten auf eine hohe Aminosäureverdaulichkeit des Erbsenproteinkonzentrats hin. Zusätzlich können möglicherweise die Strukturkomponenten zu einer Verbesserung der Stärkeverdaulichkeit führen. Der Effekt der verbesserten Nährstoffverdaulichkeit scheint sich durch moderate Anteile an Erbsenschalen zu verstärken.

6. Die Masthühner der Variante mit Erbsen (20 %) und Erbsenschalen (bis zu 4,5 %) zeigen insgesamt den höchsten Wasserverbrauch. Ursächlich hierfür ist der vergleichsweise hohe Kaliumgehalt in den Alleinfuttermischungen. Der Einsatz von Erbsenproteinkonzentrat führt dagegen zu geringen Kaliumgehalten in den Rationen und reduziert den Wasserverbrauch wesentlich.
7. Erbsen und Erbsenprodukte haben keinen negativen Einfluss auf die relevanten Merkmale der Schlachtleistung und die Gewichte von Leber, Muskelmagen sowie die abdominale Verfettung.
8. Erbsen und Erbsenprodukte haben keinen Einfluss auf die Gehalte der kurzkettigen Fettsäuren in der Digesta des Ileums und Zäkums. Tendenziell führt der Einsatz von Erbsen und Erbsenprodukten zu erhöhten Gehalten an Propionsäure, n-Buttersäure und der Gesamtfettsäuren in der Digesta des Zäkums. Potenziell zeigen Erbsen und Erbsenprodukte einen positiven Einfluss auf den Stoffwechsel der Bakterien.
9. Erbsen und Erbsenprodukte üben keinen Einfluss auf die relative Abundanz der bakteriellen 16S-rDNA in der Digesta des Ileums und auf die Richness, Evenness und den Shannon-Index des Darmmikrobioms im Ileum aus.
10. Für die relative Abundanz der bakteriellen 16S-rDNA im Digesta des Zäkums zeigen sich für bestimmte Genera statistisch gesicherte Unterschiede. Zusätzlich führt der Einsatz von Erbsen in Kombination von Erbsenschalen (E20+ES4,5) zu einer hohen Richness, Evenness und einem hohen Shannon-Index des Mikrobioms im Zäkum. Möglicherweise führen die Nicht-Stärke-Polysaccharide aus der Erbse und der Erbsenschale zu einer gesteigerten Diversität des Darmmikrobioms.
11. Im Ileum führt der Einsatz von Erbsen und Erbsenprodukten tendenziell zu einer Verringerung der relativen Abundanz der potenziell gesundheitsschädlichen Bakterien *Erysipelatoclostridium*, *Escherichia/Shigella* und *Helicobacter*. Im Zäkum kann die verringerte relative Abundanz von *Erysipelatoclostridium* fortgesetzt werden. Vermutlich führt der Einsatz von Erbsen und Erbsenprodukten insbesondere im Ileum zu einer Stimulation der kommensalen Darmmikrobiota. Damit könnten Erbsen und Erbsenprodukte potenziell die Darmgesundheit von Masthühnern verbessern.

## Literaturverzeichnis

- AVIAGEN (2019): Ross Broiler: Nutrition Specifications.
- AVIAGEN (2021): ROSS 308 AP Broiler, Performance Objectives.
- BACH KNUDSEN, K. E., HEDEMANN, M. S., LÆRKE, H. N. (2018): Using animal models to understand the mode of actions of carbohydrates and phytochemicals during digestion and absorption. in: Kohlenhydrate in der Tierernährung, Tagungsband 17. BOKU-Symposium Tierernährung, Universität für Bodenkultur Wien, ISBN 978-3-900932-52-7.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2014): LfL-Information: Futterberechnung für Schweine, 26. unveränderte Auflage.
- BELLOF, G., HALLE, I., RODEHUTSCORD, M. (2020): UFOP-Praxisinformation: Ackerbohnen, Körnerfüttererbsen, Süßlupinen und Sojabohnen in der Geflügelfütterung. Hrsg.: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Berlin, 2. aktualisierte Auflage.
- BELLOF, G., SPECHT, M. (2022): Szenarien für den Anbau und die Verwertung von Leguminosen und Körnerraps in Deutschland im Jahr 2030, Berichte über Landwirtschaft, Band 100, Ausgabe 2, DOI: <https://doi.org/10.12767/buel.v100i2.417>.
- BERK, A., EBERT, U. (2016): Der Einsatz von Wintererbsen in der Schweinemast. Fachartikel in: [www.proteinmarkt.de](http://www.proteinmarkt.de), Februar 2016, Stand: 08.08.2022.
- CHE, L., CHEN, H., YU, B., HE, J., ZHENG, P., MAO, X., YU, J., HUANG, Z., CHEN, D. (2014): Long-Term Intake of Pea Fiber Affects Colonic Barrier Function, Bacterial and Transcriptional Profile in Pig Model. *Nutrition and Cancer* 2014, 66(3), 388-99, DOI: 10.1080/01635581.2014.884229.
- CLAVIJO, V., FLÓREZ, M. J. V. (2018): The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: *Poultry Science* 2018, 97(3), 1006- 1021. DOI: 10.3382/ps/pex359
- CLEMENTE, A., OLIAS, R. (2017): Beneficial effects of legumes in gut health. *Current Opinion in Food Science* 2017, 14, 32- 36, DOI: 10.1016/j.cofs.2017.01.005
- CZERWIŃSKI, J., HØJBERG, O., SMULIKOWSKA, S., ENGBERG, R. M., MIECZKOWSKA, A. (2010): Influence of dietary peas and organic acids and probiotic supplementation on performance and caecal microbial ecology of broiler chickens. *British Poultry Science* 2010, 51(2), 258-69, DOI:10.1080/00071661003777003.
- DADALT, J. C., E. VELAYUDHAN, D., NETO, M. A. T., SLOMINSKI, B. A., NYACHOTI, C. M. (2016): Ileal amino acid digestibility in high protein sunflower meal and pea protein isolate fed to growing pigs with or without multicarbohydase supplementation. *Animal Feed Science and Technology* 2016, 221, 62-69.
- DAHL, W., FOSTER, L., TYLER, R. (2012): Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition* 2012 Aug, 108, 3-10. DOI: 10.1017/S0007114512000852.
- DIAZ, D., MORLACCHINI, M., MASOERO, F., MOSCHINI, M., FUSCONI, G., PIVA, G. (2006): Pea seeds (*Pisum sativum*), faba beans (*Vicia faba* var. *minor*) and lupin seeds (*Lupinus albus* var. *multitalia*) as protein sources in broiler diets: effect of extrusion on growth performance. *Italian Journal of Animal Science* 2010, 5(1), DOI:10.4081/ijas.2006.43
- DOTAS, V., BAMPIDIS, V., SINAPIS, E., HATZIPANAGIOTOU, A., PAPANIKOLAOU, K. (2014): Effect of dietary field pea (*Pisum sativum* L.) supplementation on growth performance, and carcass and meat quality of broiler chickens. *Livestock Science*, 164, 135–143, DOI:10.1016/j.liv- sci.2014.03.024.

- DURST, L., FREITAG, M., BELLOF, G. (2021): Futtermittel für landwirtschaftliche Nutztiere. DLG- Verlag, ISBN 978-3-7690-0852-4, Frankfurt am Main, 1. Auflage.
- DUSEL, G. (2018): Die Nutzung der Faser in der Ernährung der Sau. in: Kohlenhydrate in der Tierernährung, Tagungsband 17. BOKU-Symposium Tierernährung, Universität für Bodenkultur Wien, ISBN 978-3-900932-52-7.
- EASTWOOD, M. A., PASSMORE, R. (1983): Dietary fibre. *The Lancet* 1983, 2(8343), 202-206, DOI:10.1016/s0140-6736(83)90183-6.
- FEYE, K. M., BAXTER, M. F. A., TELLEZ-ISAIAS, G., KOGUT, M. H., RICKE, S. C. (2020): Influential factors on the composition of the conventionally raised broiler gastrointestinal microbiomes. *Poultry Science*, 99(2), 653–659, DOI:10.1016/j.psj.2019.12.013.
- FREITAG, M. (2017): Rohfaser, Ballaststoffe und co. Jahresbericht 2017, Hrsg.: Erzeugerring Westfalen eG, Senden-Bösensell, URL: [https://www.fh-swf.de/media/neu\\_np/fb\\_aw\\_2/dozentinnen/professorinnen\\_2/freitag/publikationen\\_pdf/neu\\_1/2018\\_Ballaststoffe\\_und\\_Co\\_ERW\\_2017.pdf](https://www.fh-swf.de/media/neu_np/fb_aw_2/dozentinnen/professorinnen_2/freitag/publikationen_pdf/neu_1/2018_Ballaststoffe_und_Co_ERW_2017.pdf) Stand: 22:04.2022.
- FRIKHA, M., VALENCIA, D. G., DE COCA-SINOVA, A., LÁZARO, R., MATEOS, G. G. (2013): Ileal digestibility of amino acids of unheated and autoclaved pea protein concentrate in broilers Funds from Project AGL2011-03506. Ministerio de Ciencia e Innovación, C.P. 28040 Madrid, Spain. *Poultry Science*, 92(7), 1848–1857, DOI: 10.3382/ps.2013-03007.
- GULEWICZ, P., SZYMANIEC, S., BUBAK, B., FRIAS, J., VIDAL-VALVERDE, C., TROJANOWSKA, K., GULEWICZ, K. (2002): Biological Activity of  $\alpha$ -Galactoside Preparations from *Lupinus angustifolius* L. and *Pisum sativum* L. Seed, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002, 50, 384–389, DOI:10.1021/jf010973y.
- HÄDER, H. E. (1989): Stärke- und Amylosegehalte in blattreichen und blattarmen Sorten von Mark- und Futtererbsen, *Journal of Agronomy and Crop Science* 163(4), 217 - 224, DOI:10.1111/j.1439-037X.1989.tb00761.x.
- HARDER, H., KHOL-PARISINI, A., WERNER, J., SCHMIDT, L., WEINMANN, P., ZEBELI, Q. (2014): Der Gehalt an resistenter Stärke verschiedener Gerstensorten und seine Beeinflussung durch organische Säuren und Pullulanase, in: Wertvolle Pflanzenstoffe für die Tierernährung: Perspektiven und Entwicklungen, 13. BOKU-Symposium Tierernährung, ISBN 978-3-900932-16-9
- HERWIG, E., ABBOTT, D., SCHWEAN-LARDNER, K. V., CLASSEN, H. L. (2019): Effect of rate and extent of starch digestion on broiler chicken performance. *Poultry Science* 2019, 98(9), 3676– 3684, DOI:10.3382/ps/pey580.
- HERWIG, E., SCHWEAN-LARDNER, K. V., KESSEL, A. G. van, SAVARY, R. K., CLASSEN, H. L. (2020): Assessing the effect of starch digestion characteristics on ileal brake activation in broiler chickens. *PLoS ONE*, 15(2), DOI: 10.1371/journal.pone.0228647.
- HETLAND, H., CHOCT, M., SVIHUS, B. (2004): Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal* 2004, 60(4), 415-422, DOI: 10.1079/WPS200325.
- HOCKING, P., MAYNE, R. K., ELSE, R. W., FRENCH, N. A., GATCLIFFE, J. (2008): Standard European footpad dermatitis scoring system for use in turkey processing plants. *World's Poultry Science Journal*, 64 (3), 323–328, DOI: 10.1017/S0043933908000068.
- ISAACSON, R., KIM, H. B. (2012): The intestinal microbiome of the pig. *Anim Health Research Reviews* 2012, 13(1), 100-109, DOI: 10.1017/S1466252312000084.

JANOCHA, A., MILCZAREK, A. E., GLUCHOWSKA, J. (2022): Efficiency of peas in broiler chicken feeding. *Animal Science and Genetics* 2022, 18(1), 11–23, DOI:10.5604/01.3001.0015.7767.

JHA, R., LETERME, P. (2012): Feed ingredients differing in fermentable fibre and indigestible protein content affect fermentation metabolites and faecal nitrogen excretion in growing pigs. *Animal* 6 (4), 603–611, DOI: 10.1017/S1751731111001844.

KHIDR, R. E., BADRI, F. B. A., THABET, H. A., AL BAZ, A. M. (2018): Feed utilization and some plasma constituents as affected by probiotic and/or synthetic enzymes in broiler diets. in: *Kohlenhydrate in der Tierernährung, Tagungsband 17. BOKU-Symposium Tierernährung, Universität für Bodenkultur Wien, ISBN 978-3-900932-52-7, 12. April 2018, Wien.*

KRAMER, N. (2010): Untersuchungen zur praecaecalen Verdaulichkeit von Stärke und Fett unterschiedlicher Herkunft bei pankreasganglierten, ileocaecal fistulierten Miniaturschweinen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover 2010, URL: <https://dnb.info/1004171900/34>.

KUMARI, T., DEKA, S. (2021): Potential health benefits of garden pea seeds and pods, *British Journal of Nutrition* 2012, 108 (1), 3-10, DOI:10.1017/S0007114512000852.

LAUDADIO, V., TUFARELLI, V. (2011): Pea (*Pisum sativum* L.) Seeds as an Alternative Dietary Protein Source for Broilers: Influence on Fatty Acid Composition, Lipid and Protein Oxidation of Dark and White Meats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(7), 967–973, DOI:10.1007/S11746-010-1742-3.

MOSCHINI, M., MASOERO, F., PRANDINI, A., FUSCONI, G., MORLACCHINI, M., PIVA, G. (2005): Raw Pea (*Pisum sativum*), raw Faba bean (*Vicia faba* var. *minor*) and raw Lupin (*Lupinus albus* var. *multitalia*) as alternative protein sources in broiler diets. *Italian Journal of Animal Science* 2005, 4 (1), 59–69, DOI: 10.4081/ijas.2005.59.

NAYIK, G., GULL, A. (2020): *Antioxidants in Vegetables and Nuts - Properties and Health Benefits*, ISBN 9789811574696, Springer Nature Singapore, 1. Auflage.

NDIAYE, F., VOUNG, T., DUARTE, J., ALUKO, R. E., MATAR, C. (2011): Antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulating properties of an enzymatic protein hydrolysate from yellow field pea seeds. *European Journal of Nutrition* 2012, 51 (1), 29–37.

OAKLEY, B., LILLEHOJ, H., KOGUT, M., KIM, W. K., MAURER, J., PEDROSO, A., LEE, M., COLLETT, S., JOHNSON, T., COX, N. (2014): The chicken gastrointestinal microbiome. *FEMS Microbiology Letters*, 360(2), 100-112, DOI: 10.1111/1574-6968.12608.

PAN, D., YU, Z. (2013): Intestinal microbiome of poultry and its interaction with host and diet. *Gut Microbes* 2014, 5(1), 108-19, DOI:10.4161/gmic.26945

PERERA, A., MEDA, V., TYLER, R. T. (2010): Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*, 43 (8), 1959–1974, DOI:10.1016/j.foodres.2010.06.003.

PIRGOZLIEV, V. R., ROSE, S. P., BEDFORD, M. R. (2010): The effect of amylose:amylopectin ratio in dietary starch on growth performance and gut morphology in broiler chickens. *Arch.Geflügelk.*, 74 (1), Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, ISSN 0003-9098, 21–29.

POWELL, T. L., UDENIGWE, C. C., ALUKO, R. E. (2010): Amino Acid Composition and Antioxidant Properties of Pea Seed (*Pisum sativum* L.) Enzymatic Protein Hydrolysate Fractions. *J. Agric. Food Chem* 2010, 58(8), 4712–4718, DOI:10.1021/jf904456r.

QIAGEN (2020): QIAamp® PowerFecal® Pro DNA Kit Handbook For the isolation of microbial genomic DNA from stool and gut samples, in: QIAamp PowerFecal Pro DNA Kits, URL: <https://www.qiagen.com/us/products/discovery-and-translational-research/dna-rna-purification/dna-purification/genomic-dna/qiaamp-powerfecal-pro-dna-kit/> Stand: 04.06.2022.

QUENDT, U., SPORY, K., HANSEN, H., BICHLER-SCHERWITZ, C., KÖTTER-JÜRSS, M., ZERHUSEN-BLECHER, P., ROHN, S. (2022): Modellhaftes Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Leguminosen mit Schwerpunkt Erbsen und Ackerbohnen in Deutschland. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (Abschlussbericht), URL: <https://orgprints.org/id/eprint/43839/>.

RADELOFF, M., BECK, R. (2016): „Clean label“ - Starches and their functional diversity. *Zuckerindustrie Sugar industry*, 141 (4), 209–215, DOI:10.36961/si17334.

RÖHE, I., GÖBEL, T. W., GOODARZI BOROOJENI, F., ZENTEK, J. (2017): Effect of feeding soybean meal and differently processed peas on intestinal morphology and functional glucose transport in the small intestine of broilers. *Poultry science*, 96(11), 4075–4084, DOI:10.3382/ps/pex199.

SCHEDLE, K. (2018): Dietary fiber: more than a poor nutrient in swine nutrition. in: *Kohlenhydrate in der Tierernährung*, Tagungsband 17. BOKU-Symposium Tierernährung, Universität für Bodenkultur Wien, ISBN 978-3-900932-52-7.

SCHMIDT, H., LANGANKY, L. (2022): Erweiterung und ackerbauliche Auswertung der Praxiserhebungen und -untersuchungen im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Soja, Lupine, Erbse und Bohne der Eiweißpflanzenstrategie (Praxismerkblatt Erbse). Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL), URL: <https://orgprints.org/id/eprint/44030/>.

SHARMA, N. K., BAN, Z., CLASSEN, H. L., YANG, H., YAN, X., CHOCT, M., WU, S.-B. (2021): Net energy, energy utilization, and nitrogen and energy balance affected by dietary pea supplementation in broilers. *Animal Nutrition*, 7(2), 506–511, DOI: 10.1016/j.aninu.2020.06.012.

SLAMA, J., PEKAR, D., SCHEDLE, K., WETSCHEREK, W., GIERUS, M. (2018): Einfluss löslicher und unlöslicher Faser auf die Gesamtraktverdaulichkeit, sowie die Konzentration an mikrobiellen Metaboliten im Ileum und Colon von Absetzferkel Kohlenhydrate in der Tierernährung. in: *Kohlenhydrate in der Tierernährung*, Tagungsband 17. BOKU-Symposium Tierernährung, Universität für Bodenkultur Wien, ISBN 978-3-900932-52-7.

STUTE, R. (1990): Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Erbsenstärken. Teil 1: Ei-genschaften. *Starch/Stärke*, 42(5), 178-184, DOI: 10.1002/star.19900420505.

SVIHUS, B. (2011): The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal*, 67(2), 207-224, DOI:10.1017/S0043933911000249.

SVIHUS, B., SACRANIE, A., DENSTADLI, V., CHOCT, M. (2010): Nutrient utilization and function-ality of the anterior digestive tract caused by intermittent feeding and inclusion of whole wheat in diets for broiler chickens. *Poultry Science*, 89(12), 2617–2625, DOI:10.3382/ps.2010-00743

TESTER, R. F., KARKALAS, J., QI, X. (2004): Starch structure and digestibility Enzyme-Substrate relationship. *World's Poultry Science Journal*, 60(2), 186-195, DOI:10.1079/WPS200312.

TOSH, S. M., YADA, S. (2010): Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43 (2), 450–460, DOI:10.1016/j.foodres.2009.09.005.

- VAGT, S. (2014): In-vivo - und in-vitro - Untersuchungen zur praecaecalen Stärkeverdaulichkeit in Abhängigkeit von der Stärkeart und -behandlung bei Miniaturschweinen mit induzierter exokriner Pankreasinsuffizienz. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, URL: <https://d-nb.info/1054407436/34>.
- VALENCIA, D. G., SERRANO, M. P., CENTENO, C., LÁZARO, R., MATEOS, G. G. (2008): Pea protein as a substitute of soya bean protein in diets for young pigs: Effects on productivity and digestive traits. *Livestock Science* 118 (1), 1–10, DOI: 10.1016/j.livsci.2008.01.018
- VELAYUDHAN, D. E., MEJICANOS, G. A., NYACHOTI, C. M. (2019): Evaluation of pea protein isolates as a protein source for broilers. *Poultry Science*, 98(2), 803–810, DOI:10.3382/ps/pey387.
- WEBER, M., MÄURER, H., VON KLOPOTECK, E., BÖNISCH, K. (2021): Abschlussbericht: Einsatz von Erbsenschalen in der Schweinemast. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt, URL: [https://www.ufop.de/files/7716/3956/8605/UFOP\\_1762\\_Cover\\_Abschlussbericht\\_151221.pdf](https://www.ufop.de/files/7716/3956/8605/UFOP_1762_Cover_Abschlussbericht_151221.pdf).
- WEI, S., MORRISON, M., YU, Z. (2013): Bacterial census of poultry intestinal microbiome. *Poultry science*, 92(3), 671–83, DOI:10.3382/ps.2012-02822.
- WPSA (1984): The Prediction of Apparent Metabolizable Energy Values for Poultry in Compound Feeds. *World's Poultry Science Journal*, 40, 181-182.
- ZDUŃCZYK, Z., MIKULSKI, D., JANKOWSKI, J., SŁOMINSKI, B. A., JUŚKIEWICZ, J. (2022): The effect of the dietary inclusion of pea seeds of colored-flowered and white-flowered varieties on gastrointestinal function in turkeys. *Animal Nutrition Journal*, 10, 167-177, DOI: 10.1016/j.aninu.2022.03.007.

## Anhang

### Material und Methode

**Tabelle A-4: Zusammensetzung (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) und Zielgehalte (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Starter-Phase P1 (Tag 1-14)**

<b>Futtermittel</b>		<b>Versuchsvariante</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Sojaextraktions- schrot (HP)</b>	%	36,0	29,5	26,5	24,0	17,5	36,5	37,5	30,5	18,5	19,0
<b>Erbsen</b>	%		20,0	30,0					20,0		
<b>Erbsenprotein- konzentrat</b>	%				6,5	10,0				10,0	10,0
<b>Erbsenschalen</b>	%						3,0	4,5	3,0	3,0	4,5
<b>Mais</b>	%	31,3	17,3	10,0	38,8	42,8	25,9	22,4	11,3	36,9	34,1
<b>Weizen</b>	%	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
<b>Rapsöl</b>	%	3,2	3,8	4,1	1,1	0,0	5,1	6,2	5,8	1,9	2,8
<b>Vormischung</b>	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Futterkalk</b>	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Monocalciumphosphat</b>	%	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5
<b>Natriumchlorid</b>	%	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Lysin HCl</b>	%	0,27	0,17	0,10	0,22	0,19	0,27	0,24	0,14	0,17	0,16
<b>DL-Methionin</b>	%	0,36	0,40	0,42	0,40	0,42	0,38	0,38	0,41	0,43	0,43
<b>L-Threonin</b>	%	0,14	0,17	0,15	0,15	0,16	0,14	0,13	0,15	0,16	0,16
<b>L-Valin</b>	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>EcoVit R</b>	%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Zielgehalte:</b>											
<b>AME<sub>n</sub></b>	MJ	12,3									
<b>Rohprotein</b>	%	22,4									
<b>Lysin</b>	%	1,40									
<b>Methionin</b>	%	0,55									

EcoVit R: riboflavinreiches Einzelfuttermittel auf Basis von *Ashbya gossypii*

**Tabelle A-5: Zusammensetzung (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) und Zielgehalte (in %, bezogen auf die Originalsubstanz) der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Mast-Phase P2 (Tag 14-34)**

<b>Futtermittel</b>		<b>Versuchsvariante</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Sojaextraktionsschrot (HP)</b>	%	27,0	21,5	18,5	14,5	7,0	29,0	30,5	24,0	9,0	10,0
<b>Erbsen</b>	%		20,0	30,0					20,0		
<b>Erbsenprotein-konzentrat</b>	%				6,5	10,0				10,0	10,0
<b>Erbsenschalen</b>	%						4,5	6,0	4,5	4,5	6,0
<b>Mais</b>	%	36,1	26,3	24,2	39,1	33,5	31,8	38,1	26,5	29,7	31,5
<b>Weizen</b>	%	30,0	25,0	20,0	35,0	45,0	25,0	15,0	15,0	40,0	35,0
<b>Rapsöl</b>	%	3,0	3,4	3,5	0,9	0,4	5,8	6,5	6,2	2,9	3,6
<b>Vormischung</b>	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Futterkalk</b>	%	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
<b>Monocalciumphosphat</b>	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
<b>Natriumchlorid</b>	%	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Lysin HCl</b>	%	0,24	0,11	0,06	0,19	0,18	0,20	0,17	0,06	0,14	0,12
<b>DL-Methionin</b>	%	0,29	0,32	0,35	0,32	0,34	0,30	0,30	0,33	0,35	0,36
<b>L-Threonin</b>	%	0,11	0,11	0,11	0,12	0,14	0,10	0,08	0,09	0,13	0,13
<b>EcoVit R</b>	%	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
<b>Säuremischung</b>	%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Zielgehalte:</b>											
<b>AME<sub>n</sub></b>	MJ						12,5				
<b>Rohprotein</b>	%						19,5				
<b>Lysin</b>	%						1,16				
<b>Methionin</b>	%						0,47				

EcoVit R: riboflavinreiches Einzelfuttermittel auf Basis von *Ashbya gossypii*

Säuremischung (Detacid Granulat): Ameisen-, Milch-, Propion-, Sorbin- und Zitronensäure

## Ergebnisse

**Tabelle A-6: Inhaltsstoff- und Energiegehalte der eingesetzten Rohstoffe Erbsen, Erbsenschalen (ES), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Sojaextraktionsschrot High Protein (SES-HP), Mais und Weizen (Angaben bezogen auf 88 % TS)**

<b>Inhaltsstoff</b>		<b>Erbsen</b>	<b>ES</b>	<b>EPK</b>	<b>SES-HP</b>	<b>Mais</b>	<b>Weizen</b>
<b>Trockenmasse</b>	g	880	880	880	880	880	880
<b>Rohasche</b>	g	26	25	44	59	14	20
<b>Rohprotein</b>	g	207	46	724	458	86	123
<b>Lysin</b>	%	1,54	0,28	5,35	2,79	0,30	0,38
<b>Methionin</b>	%	0,18	0,05	0,70	0,64	0,19	0,27
<b>Cystein</b>	%	0,31	0,08	0,74	0,66	0,18	0,27
<b>Threonin</b>	%	0,74	0,16	2,68	1,78	0,30	0,33
<b>Tryptophan</b>	%	0,17	0,04	0,73	0,61	0,07	0,16
<b>Valin</b>	%	0,99	0,20	3,51	2,20	0,43	0,51
<b>Isoleucin</b>	%	0,87	0,17	3,53	2,09	0,30	0,39
<b>Leucin</b>	%	1,43	0,27	5,91	3,43	1,07	0,75
<b>Arginin</b>	%	1,58	0,21	5,93	3,30	0,40	0,57
<b>Rohfaser</b>	g	58	451	14	43	24	32
<b>aNDF<sub>om</sub></b>	g	95	635	19	137	97	111
<b>ADF<sub>om</sub></b>	g	78	558	17	62	24	37
<b>ADL</b>	g	11	9	11	12	n.a.	14
<b>NFC</b>	g	532	171	13	199	645	604
<b>Rohfett</b>	g	20	4	13	27	39	24
<b>Stärke</b>	g	449	85	*	59	641	581
<b>Zucker</b>	g	48	*	13	102	18	29
<b>AME<sub>n</sub></b>	MJ	12,0	2,3	14,1	10,3	14,0	12,7

\* unterhalb der Nachweisgrenze

n.a. nicht analysiert

**Tabelle A-7: Analyalisierte Inhaltsstoffe und Energiegehalte der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Starter-Phase P1 (Tag 1-14)**

<i>Inhaltsstoff</i>		Fütterungsvariante <sup>1</sup>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Kon- trolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6
<i>TS</i>	g/kg	880	880	880	880	880	880	880	880	880	880
<i>Rohasche</i>	g/kg	60	59	59	58	55	59	60	60	57	57
<i>Rohprotein</i>	g/kg	232	223	221	228	218	226	228	228	234	236
<i>Rohfaser</i>	g/kg	30	31	37	21	25	51	57	54	39	52
<i>aNDF<sub>om</sub></i>	g/kg	101	83	94	94	84	119	131	123	104	116
<i>ADF<sub>om</sub></i>	g/kg	36	35	53	32	28	71	79	57	55	54
<i>Rohfett</i>	g/kg	58	60	56	47	45	72	78	73	52	58
<i>Stärke</i>	g/kg	353	360	360	385	419	325	304	307	369	353
<i>Zucker</i>	g/kg	48	47	46	42	36	47	47	47	36	36
<i>AME<sub>n</sub></i>	MJ	12,1	12,2	12,0	12,1	12,4	12,0	11,9	11,8	12,0	11,9
<i>Lysin</i>	%	1,38	1,37	1,34	1,43	1,28	1,35	1,37	1,41	1,52	1,42
<i>Methionin</i>	%	0,64	0,65	0,61	0,62	0,66	0,66	0,69	0,65	0,63	0,68
<i>Cystein</i>	%	0,36	0,34	0,32	0,34	0,30	0,35	0,34	0,35	0,33	0,33
<i>Met+Cys</i>	%	1,00	0,99	0,94	0,96	0,97	1,01	1,03	1,00	0,96	1,01
<i>Threonin</i>	%	0,93	0,91	0,92	0,92	0,87	0,94	0,94	0,97	0,99	0,94
<i>Calcium</i>	g/kg	10,1	10,1	10,0	9,7	10,6	9,8	10,0	10,2	10,2	10,4
<i>Phosphor</i>	g/kg	8,0	7,6	8,0	7,9	8,3	7,8	7,5	7,9	8,6	8,6
<i>Kalium</i>	g/kg	10,0	10,1	10,0	8,5	7,0	10,1	9,9	10,5	7,5	7,9

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-8: Analyalisierte Inhaltsstoffe und Energiegehalte der eingesetzten Alleinfuttermischungen in der Mast-Phase P2 (Tag 14-34)**

<i>Inhaltsstoff</i>		<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
		Kontrolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6
<i>TS</i>	g/kg	880	880	880	880	880	880	880	880	880	880
<i>Rohasche</i>	g/kg	56	55	54	50	50	55	56	54	53	53
<i>Rohprotein</i>	g/kg	185	185	186	184	184	198	198	191	194	195
<i>Rohfaser</i>	g/kg	24	27	29	23	18	53	57	57	47	50
<i>aNDF<sub>om</sub></i>	g/kg	93	85	82	80	82	126	124	119	108	119
<i>ADF<sub>om</sub></i>	g/kg	40	44	46	33	31	60	76	79	53	65
<i>Rohfett</i>	g/kg	58	65	64	45	42	80	93	82	64	66
<i>Stärke</i>	g/kg	417	416	422	463	480	360	342	356	429	406
<i>Zucker</i>	g/kg	48	47	47	40	34	48	47	46	29	29
<i>AME<sub>n</sub></i>	MJ	12,4	12,6	12,8	12,6	12,7	12,4	12,6	12,3	12,7	12,4
<i>Lysin</i>	%	1,10	1,08	1,08	1,11	1,14	1,13	1,14	1,14	1,17	1,21
<i>Methionin</i>	%	0,51	0,54	0,57	0,54	0,61	0,53	0,53	0,56	0,55	0,61
<i>Cystein</i>	%	0,30	0,29	0,28	0,27	0,28	0,29	0,29	0,28	0,27	0,29
<i>Met+Cys</i>	%	0,82	0,84	0,86	0,81	0,89	0,83	0,82	0,85	0,83	0,90
<i>Threonin</i>	%	0,76	0,76	0,75	0,75	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,81
<i>Calcium</i>	g/kg	9,2	8,8	7,9	9,1	9,0	8,6	8,2	8,4	8,9	9,6
<i>Phosphor</i>	g/kg	6,8	6,7	6,0	6,8	6,8	7,1	6,5	6,7	6,6	6,6
<i>Kalium</i>	g/kg	8,6	8,5	8,2	6,5	5,2	8,7	8,6	8,9	5,4	5,6

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-9: Einfluss der Fütterungsvariante auf den Futterverbrauch in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (g/Tier) (LS Means und SE)

Merkmal Futterver- brauch	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										F-Wert	p-Wert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Kontrolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6		
<b>Phase 1</b>	578	582	582	597	579	589	574	591	584	595	1,57	0,1704
<b>SE</b>	± 6,9	± 6,0	± 6,0	± 6,0	± 6,0	± 6,0	± 6,0	± 6,0	± 6,0	± 6,0		
<b>Phase 2 bis Tag 28</b>	1.817	1.908	1.864	1.901	1.820	1.859	1.831	1.860	1.905	1.928	2,53	0,0282
<b>SE</b>	± 28,1	± 24,3	± 24,3	± 24,3	± 24,3	± 24,3	± 24,3	± 24,3	± 24,3	± 24,3		
<b>Phase 2 bis Tag 34</b>	2.928 <sup>d</sup>	3.222 <sup>abcd</sup>	3.111 <sup>cd</sup>	3.056 <sup>d</sup>	2.977 <sup>d</sup>	3.492 <sup>a</sup>	3.445 <sup>ab</sup>	3.418 <sup>abc</sup>	3.149 <sup>bcd</sup>	3.181 <sup>abcd</sup>	8,01	<,0001
<b>SE</b>	± 78,1	± 67,6	± 67,6	± 67,6	± 67,6	± 67,6	± 67,6	± 67,6	± 67,6	± 67,6		
<b>Gesamt bis Tag 28</b>	2.395	2.490	2.446	2.498	2.399	2.449	2.405	2.451	2.490	2.523	2,76	0,0183
<b>SE</b>	± 30,6	± 26,5	± 26,5	± 26,5	± 26,5	± 26,5	± 26,5	± 26,5	± 26,5	± 26,5		
<b>Gesamt bis Tag 34</b>	3.506 <sup>d</sup>	3.804 <sup>abcd</sup>	3.693 <sup>cd</sup>	3.653 <sup>d</sup>	3.556 <sup>d</sup>	4.081 <sup>a</sup>	4.019 <sup>ab</sup>	4.009 <sup>abc</sup>	3.733 <sup>bcd</sup>	3.776 <sup>abcd</sup>	8,28	<,0001
<b>SE</b>	± 77,1	± 66,8	± 66,8	± 66,8	± 66,8	± 66,8	± 66,8	± 66,8	± 66,8	± 66,8		

a, b, c, d unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an (p ≤ 0,05)

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-10: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Futterverbrauch im Betrachtungszeitraum Tag 14-21, Tag 21-28 und Tag 28-34 (g/Tier) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
<b>Futterverbrauch</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>	<b>EPK6,5</b>	<b>EPK10</b>	<b>ES3/4,5</b>	<b>ES4,5/6</b>	<b>E20+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES4,5/6</b>		
<b>Tag 14-21</b>	735	782	756	790	752	760	760	773	765	780	1,85	0,1017
<b>SE</b>	$\pm 13,1$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$	$\pm 11,3$		
<b>Tag 21-28</b>	1.082 <sup>ab</sup>	1.125 <sup>ab</sup>	1.107 <sup>ab</sup>	1.111 <sup>ab</sup>	1.067 <sup>b</sup>	1.098 <sup>ab</sup>	1.071 <sup>ab</sup>	1.087 <sup>ab</sup>	1.140 <sup>ab</sup>	1.149 <sup>a</sup>	2,85	0,0154
<b>SE</b>	$\pm 19,1$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$		
<b>Tag 28-34</b>	1.111 <sup>c</sup>	1.314 <sup>bc</sup>	1.248 <sup>c</sup>	1.155 <sup>c</sup>	1.157 <sup>c</sup>	1.633 <sup>a</sup>	1.614 <sup>ab</sup>	1.559 <sup>ab</sup>	1.244 <sup>c</sup>	1.253 <sup>c</sup>	9,76	<,0001
<b>SE</b>	$\pm 72,0$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$	$\pm 62,3$		

<sup>a, b, c</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-10: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Wasserverbrauch in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (kg/Tier) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kontrolle</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>	<b>EPK6,5</b>	<b>EPK10</b>	<b>ES3/4,5</b>	<b>ES4,5/6</b>	<b>E20+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES4,5/6</b>		
<b>Phase 1</b>	0,78 <sup>ab</sup>	0,78 <sup>a</sup>	0,79 <sup>a</sup>	0,71 <sup>bc</sup>	0,66 <sup>c</sup>	0,76 <sup>ab</sup>	0,70 <sup>ab</sup>	0,76 <sup>ab</sup>	0,67 <sup>c</sup>	0,69 <sup>c</sup>	17,42	<,0001
<b>SE</b>	± 0,02	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01		
<b>Phase 2 bis Tag 28</b>	2,04 <sup>abc</sup>	2,10 <sup>ab</sup>	2,06 <sup>ab</sup>	1,75 <sup>d</sup>	1,67 <sup>d</sup>	1,99 <sup>bc</sup>	2,08 <sup>ab</sup>	2,26 <sup>a</sup>	1,75 <sup>d</sup>	1,81 <sup>cd</sup>	21,66	<,0001
<b>SE</b>	± 0,06	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04		
<b>Phase 2 bis Tag 34</b>	2,85 <sup>bcde</sup>	3,16 <sup>bc</sup>	3,19 <sup>abc</sup>	2,67 <sup>de</sup>	2,51 <sup>e</sup>	3,05 <sup>bcd</sup>	3,21 <sup>ab</sup>	3,64 <sup>a</sup>	2,61 <sup>de</sup>	2,75 <sup>cde</sup>	13,61	<,0001
<b>SE</b>	± 0,13	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09		
<b>Gesamt bis Tag 28</b>	2,82 <sup>ab</sup>	2,87 <sup>ab</sup>	2,85 <sup>ab</sup>	2,46 <sup>c</sup>	2,33 <sup>c</sup>	2,75 <sup>b</sup>	2,85 <sup>ab</sup>	3,02 <sup>a</sup>	2,42 <sup>c</sup>	2,50 <sup>c</sup>	33,90	<,0001
<b>SE</b>	± 0,06	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04		
<b>Gesamt Bis Tag 34</b>	3,63 <sup>bcd</sup>	3,94 <sup>b</sup>	3,98 <sup>ab</sup>	3,38 <sup>cd</sup>	3,17 <sup>d</sup>	3,81 <sup>bc</sup>	3,98 <sup>ab</sup>	4,40 <sup>a</sup>	3,28 <sup>d</sup>	3,44 <sup>cd</sup>	17,69	<,0001
<b>SE</b>	± 0,13	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09	± 0,09		

a, b, c, d unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-11: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Wasserverbrauch im Betrachtungszeitraum Tag 14-21, Tag 21-28 und Tag 28-34 (kg/Tier) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kontrolle</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>	<b>EPK6,5</b>	<b>EPK10</b>	<b>ES3/4,5</b>	<b>ES4,5/6</b>	<b>E20+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES4,5/6</b>		
<b>Tag 14-21</b>	0,82 <sup>a</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,82 <sup>a</sup>	0,72 <sup>b</sup>	0,68 <sup>b</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,81 <sup>a</sup>	0,70 <sup>b</sup>	0,72 <sup>b</sup>	23,20	<,0001
<b>SE</b>	± 0,02	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01		
<b>Tag 21-28</b>	1,21 <sup>bcd</sup>	1,24 <sup>bc</sup>	1,24 <sup>bc</sup>	1,02 <sup>d</sup>	1,00 <sup>d</sup>	1,18 <sup>bcd</sup>	1,28 <sup>ab</sup>	1,45 <sup>a</sup>	1,05 <sup>d</sup>	1,09 <sup>cd</sup>	13,09	<,0001
<b>SE</b>	± 0,06	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04	± 0,04		
<b>Tag 28-34</b>	0,81 <sup>b</sup>	1,07 <sup>b</sup>	1,13 <sup>ab</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,85 <sup>b</sup>	1,06 <sup>b</sup>	1,13 <sup>ab</sup>	1,40 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	0,95 <sup>b</sup>	8,90	<,0001
<b>SE</b>	± 0,08	± 0,06	± 0,06	± 0,06	± 0,06	± 0,06	± 0,06	± 0,06	± 0,06	± 0,06		

<sup>a, b, c</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-12: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die Lebendmasseentwicklung (g/Tier) (LS Means und SE)

Merkmal	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										F-Wert	p-Wert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Lebendgewicht	Kontrolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6		
<b>Tag 0</b>	42,8	42,8	42,8	42,9	42,9	42,8	42,9	42,8	42,9	42,9	0,62	0,7734
<i>SE</i>	$\pm 0,05$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$		
<b>Tag 7</b>	188 <sup>c</sup>	194 <sup>abc</sup>	187 <sup>c</sup>	203 <sup>ab</sup>	197 <sup>abc</sup>	194 <sup>abc</sup>	191 <sup>bc</sup>	192 <sup>bc</sup>	207 <sup>a</sup>	204 <sup>ab</sup>	5,83	0,0001
<i>SE</i>	$\pm 3,2$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$	$\pm 2,8$		
<b>Tag 14</b>	575 <sup>abc</sup>	575 <sup>abc</sup>	555 <sup>c</sup>	598 <sup>ab</sup>	571 <sup>abc</sup>	578 <sup>abc</sup>	564 <sup>bc</sup>	571 <sup>abc</sup>	603 <sup>a</sup>	596 <sup>ab</sup>	4,75	0,0006
<i>SE</i>	$\pm 8,2$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$	$\pm 7,1$		
<b>Tag 28 vor Abstockung</b>	1.901 <sup>b</sup>	1.957 <sup>ab</sup>	1.900 <sup>b</sup>	1.962 <sup>ab</sup>	1.932 <sup>b</sup>	1.956 <sup>ab</sup>	1.889 <sup>b</sup>	1.914 <sup>b</sup>	2.057 <sup>a</sup>	2.069 <sup>a</sup>	6,42	<,0001
<i>SE</i>	$\pm 28,5$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$	$\pm 24,7$		
<b>Tag 28 nach Abstockung</b>	1.898 <sup>b</sup>	1.970 <sup>ab</sup>	1.906 <sup>b</sup>	1.962 <sup>ab</sup>	1.947 <sup>b</sup>	1.963 <sup>ab</sup>	1.891 <sup>b</sup>	1.937 <sup>b</sup>	2.071 <sup>a</sup>	2.073 <sup>a</sup>	6,10	<,0001
<i>SE</i>	$\pm 29,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$	$\pm 25,7$		
<b>Tag 34</b>	2.503	2.702	2.622	2.655	2.648	2.651	2.558	2.659	2.814	2.784	1,83	0,1054
<i>SE</i>	$\pm 76,1$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$	$\pm 65,9$		

a, b, c unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an (p ≤ 0,05)

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-13: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die durchschnittlichen Tageszunahmen (g/Tier) (LS Means und SE)

Merkmal	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										F-Wert	p-Wert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Tageszunahmen	Kon- trolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6		
<b>Tag 0-7</b>	20,7 <sup>c</sup>	21,6 <sup>abc</sup>	20,6 <sup>c</sup>	22,8 <sup>ab</sup>	22,0 <sup>abc</sup>	21,6 <sup>abc</sup>	21,2 <sup>bc</sup>	21,3 <sup>bc</sup>	23,4 <sup>a</sup>	23,1 <sup>ab</sup>	5,81	0,0001
<b>SE</b>	± 0,46	± 0,40	± 0,40	± 0,40	± 0,40	± 0,40	± 0,40	± 0,40	± 0,40	± 0,40		
<b>Tag 7-14</b>	55,3 <sup>ab</sup>	54,4 <sup>ab</sup>	52,7 <sup>b</sup>	56,5 <sup>a</sup>	53,5 <sup>ab</sup>	54,8 <sup>ab</sup>	53,2 <sup>ab</sup>	54,1 <sup>ab</sup>	56,5 <sup>a</sup>	56,0 <sup>ab</sup>	3,70	0,0035
<b>SE</b>	± 0,81	± 0,71	± 0,71	± 0,71	± 0,71	± 0,71	± 0,71	± 0,71	± 0,71	± 0,71		
<b>Tag 14-28</b>	94,8 <sup>c</sup>	98,7 <sup>abc</sup>	96,0 <sup>bc</sup>	97,4 <sup>abc</sup>	97,2 <sup>abc</sup>	98,4 <sup>abc</sup>	94,6 <sup>c</sup>	95,9 <sup>bc</sup>	104 <sup>ab</sup>	105 <sup>a</sup>	4,52	0,0009
<b>SE</b>	± 1,9	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7		
<b>Tag 28-34</b>	100	124	120	116	119	116	112	124	126	119	0,60	0,7854
<b>SE</b>	± 10,4	± 9,0	± 9,0	± 9,0	± 9,0	± 9,0	± 9,0	± 9,0	± 9,0	± 9,0		
<b>Phase 1 (Tag 1-14)</b>	38,0 <sup>abc</sup>	38,0 <sup>abc</sup>	36,6 <sup>c</sup>	39,6 <sup>ab</sup>	37,8 <sup>abc</sup>	38,2 <sup>abc</sup>	37,2 <sup>bc</sup>	37,7 <sup>abc</sup>	40,0 <sup>a</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	4,75	0,0006
<b>SE</b>	± 10,4	± 9,0	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51		
<b>Phase 2 (Tag 14-34)</b>	96,4	106	103	103	104	104	100	104	111	109	1,40	0,2338
<b>SE</b>	± 3,9	± 3,3	± 3,3	± 3,3	± 3,3	± 3,3	± 3,3	± 3,3	± 3,3	± 3,3		

a, b, c unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an (p ≤ 0,05)

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-14: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Futteraufwand in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (kg Futter/kg Zuwachs) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal Futterauf- wand</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kontrolle</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>	<b>EPK6,5</b>	<b>EPK10</b>	<b>ES3/4,5</b>	<b>ES4,5/6</b>	<b>E20+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES4,5/6</b>		
<b>Phase 1</b>	1,09 <sup>abc</sup>	1,09 <sup>abc</sup>	1,14 <sup>a</sup>	1,08 <sup>bc</sup>	1,10 <sup>abc</sup>	1,10 <sup>ab</sup>	1,10 <sup>ab</sup>	1,12 <sup>ab</sup>	1,04 <sup>c</sup>	1,08 <sup>bc</sup>	5,44	0,0002
<b>SE</b>	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01		
<b>Phase 2 bis Tag 28</b>	1,37	1,38	1,39	1,40	1,34	1,35	1,38	1,38	1,31	1,31	2,59	0,0251
<b>SE</b>	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02		
<b>Phase 2 bis Tag 34</b>	1,53 <sup>bc</sup>	1,51 <sup>bc</sup>	1,50 <sup>bc</sup>	1,49 <sup>c</sup>	1,44 <sup>c</sup>	1,68 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	1,64 <sup>ab</sup>	1,42 <sup>c</sup>	1,45 <sup>c</sup>	13,42	<,0001
<b>SE</b>	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03		
<b>Gesamt bis Tag 28</b>	1,29 <sup>abc</sup>	1,30 <sup>abc</sup>	1,31 <sup>a</sup>	1,30 <sup>ab</sup>	1,27 <sup>abc</sup>	1,28 <sup>abc</sup>	1,30 <sup>ab</sup>	1,31 <sup>a</sup>	1,24 <sup>c</sup>	1,25 <sup>bc</sup>	4,22	0,0014
<b>SE</b>	± 0,02	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01	± 0,01		
<b>Gesamt bis Tag 34</b>	1,43 <sup>bc</sup>	1,43 <sup>bc</sup>	1,43 <sup>bc</sup>	1,40 <sup>c</sup>	1,37 <sup>c</sup>	1,56 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,53 <sup>ab</sup>	1,35 <sup>c</sup>	1,38 <sup>c</sup>	17,87	<,0001
<b>SE</b>	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02		

a, b, c unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an (p ≤ 0,05)

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-15: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den Futteraufwand im Betrachtungszeitraum Tag 14-28, und Tag 28-34 (kg Futter/kg Zuwachs) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal</b> <b>Futterauf-</b> <b>wand</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kontrolle</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>	<b>EPK6,5</b>	<b>EPK10</b>	<b>ES3/4,5</b>	<b>ES4,5/6</b>	<b>E20+</b> <b>ES3/4,5</b>	<b>EPK10+</b> <b>ES3/4,5</b>	<b>EPK10+</b> <b>ES4,5/6</b>		
<b>Tag 14-28</b>	1,37	1,38	1,38	1,39	1,34	1,35	1,38	1,38	1,31	1,31	2,61	0,0244
<b>SE</b>	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$		
<b>Tag 28-34</b>	2,06 <sup>ab</sup>	1,76 <sup>b</sup>	1,73 <sup>b</sup>	1,70 <sup>b</sup>	1,63 <sup>b</sup>	2,36 <sup>a</sup>	2,44 <sup>a</sup>	2,10 <sup>ab</sup>	1,64 <sup>b</sup>	1,75 <sup>b</sup>	6,11	<,0001
<b>SE</b>	$\pm 0,14$	$\pm 0,12$	$\pm 0,12$	$\pm 0,12$								

<sup>a, b</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-16: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf das Verhältnis Wasser zu Futter in der Phase 1 (Tag 1-14), Phase 2 und gesamt (kg Wasser/kg Futter) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal Verhältnis Wasser zu Futter</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kontrolle</b>	<b>E 20</b>	<b>E 30</b>	<b>EPK 6,5</b>	<b>EPK 10</b>	<b>ES 3/4,5</b>	<b>ES 4,5/6</b>	<b>E 20 + ES 3/4,5</b>	<b>EPK 10 + ES 3/6</b>	<b>EPK 10 + ES 4,5/9</b>		
<b>Phase 1</b>	1,35 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>	1,36 <sup>a</sup>	1,19 <sup>bc</sup>	1,13 <sup>c</sup>	1,28 <sup>ab</sup>	1,34 <sup>a</sup>	1,29 <sup>ab</sup>	1,15 <sup>c</sup>	1,17 <sup>c</sup>	18,07	<,0001
<b>SE</b>	± 0,03	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02		
<b>Phase 2 bis Tag 28</b>	1,09 <sup>ab</sup>	1,11 <sup>a</sup>	1,09 <sup>ab</sup>	0,94 <sup>bc</sup>	0,90 <sup>c</sup>	1,09 <sup>ab</sup>	1,12 <sup>a</sup>	1,20 <sup>a</sup>	0,93 <sup>bc</sup>	0,95 <sup>bc</sup>	12,19	<,0001
<b>SE</b>	± 0,04	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03		
<b>Phase 2 bis Tag 34</b>	1,00 <sup>abc</sup>	0,98 <sup>abc</sup>	1,03 <sup>ab</sup>	0,88 <sup>bc</sup>	0,85 <sup>c</sup>	0,87 <sup>bc</sup>	0,93 <sup>abc</sup>	1,06 <sup>a</sup>	0,83 <sup>c</sup>	0,86 <sup>bc</sup>	5,97	<,0001
<b>SE</b>	± 0,05	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03		
<b>Gesamt bis Tag 28</b>	1,16 <sup>a</sup>	1,16 <sup>a</sup>	1,16 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b</sup>	0,95 <sup>b</sup>	1,14	1,17 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>	0,98 <sup>b</sup>	1,00 <sup>b</sup>	17,33	<,0001
<b>SE</b>	± 0,03	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02		
<b>Gesamt bis Tag 34</b>	1,06 <sup>ab</sup>	1,04 <sup>ab</sup>	1,08 <sup>a</sup>	0,93 <sup>bc</sup>	0,89 <sup>bc</sup>	0,93 <sup>bc</sup>	0,99 <sup>abc</sup>	1,10 <sup>a</sup>	0,88 <sup>c</sup>	0,91 <sup>bc</sup>	7,58	<,0001
<b>SE</b>	± 0,04	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03	± 0,03		

a, b, c unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an (p ≤ 0,05)

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-17: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf das Verhältnis Wasser zu Futter im Betrachtungszeitraum Tag 14-21, Tag 21-28 und Tag 28-34 (kg Wasser/kg Futter) (LS Means und SE)**

<b>Merkmal</b> <b>Verhältnis</b> <b>Wasser zu</b> <b>Futter</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kontrolle</b>	<b>E 20</b>	<b>E 30</b>	<b>EPK 6,5</b>	<b>EPK 10</b>	<b>ES 3/4,5</b>	<b>ES 4,5/6</b>	<b>E 20 + ES 3/4,5</b>	<b>EPK 10 + ES 3/6</b>	<b>EPK 10 + ES 4,5/9</b>		
<b>Tag 14-21</b>	1,14 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,90 <sup>b</sup>	1,06 <sup>a</sup>	1,05 <sup>a</sup>	1,04 <sup>a</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,92 <sup>b</sup>	25,96	<,0001
<b>SE</b>	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$		
<b>Tag 21-28</b>	1,12 <sup>abcd</sup>	1,10 <sup>bcd</sup>	1,12 <sup>abc</sup>	0,92 <sup>d</sup>	0,93 <sup>d</sup>	1,08 <sup>bcd</sup>	1,20 <sup>ab</sup>	1,34 <sup>a</sup>	0,92 <sup>d</sup>	0,95 <sup>cd</sup>	12,42	<,0001
<b>SE</b>	$\pm 0,06$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$		
<b>Tag 28-34</b>	0,80	0,83	0,91	0,82	0,73	0,66	0,70	0,89	0,69	0,75	2,27	0,0467
<b>SE</b>	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$		

<sup>a, b, c, d</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-18: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Lebendgewicht (LG) (g/Tier), Schlachtgewicht (SG) (g/Tier), Ausschachtung (%) und Carcasse (g/Tier, % vom Schlachtgewicht) (LS Means und SE)**

Merkmal	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										F-Wert	p-Wert
	1 Kon- trolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6		
<b>LG (g)</b>	2.811 <sup>cd</sup>	2.958 <sup>bcd</sup>	2.878 <sup>cd</sup>	2.918 <sup>bcd</sup>	2.962 <sup>bcd</sup>	2.978 <sup>abc</sup>	2.808 <sup>d</sup>	2.905 <sup>bcd</sup>	3.125 <sup>a</sup>	3.045 <sup>ab</sup>	7,63	<,0001
<b>SE</b>	± 40,1	± 34,7	± 34,7	± 34,7	± 34,7	± 34,7	± 34,7	± 34,7	± 34,7	± 34,7		
<b>SG (g)</b>	2.039 <sup>c</sup>	2.120 <sup>bc</sup>	2.082 <sup>c</sup>	2.156 <sup>abc</sup>	2.154 <sup>bc</sup>	2.156 <sup>abc</sup>	2.038 <sup>c</sup>	2.108 <sup>bc</sup>	2.289 <sup>a</sup>	2.244 <sup>ab</sup>	6,59	<,0001
<b>SE</b>	± 35,7	± 30,9	± 30,9	± 30,9	± 30,9	± 30,9	± 30,9	± 30,9	± 30,9	± 30,9		
<b>Ausschlachtung (%)</b>	72,5	71,7	72,3	73,9	72,7	72,4	72,6	72,5	73,3	73,7	1,71	0,0956
<b>SE</b>	± 0,58	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51	± 0,51		
<b>Carcasse (g)</b>	539 <sup>c</sup>	564 <sup>abc</sup>	544 <sup>bc</sup>	560 <sup>bc</sup>	569 <sup>abc</sup>	576 <sup>abc</sup>	542 <sup>c</sup>	557 <sup>bc</sup>	607 <sup>a</sup>	589 <sup>ab</sup>	4,65	<,0001
<b>SE</b>	± 11,3	± 9,8	± 9,8	± 9,8	± 9,8	± 9,8	± 9,8	± 9,8	± 9,8	± 9,8		
<b>Carcasse (%)</b>	26,4	26,6	26,1	26,0	26,4	26,7	26,6	26,5	26,5	26,2	0,56	0,8264
<b>SE</b>	± 0,34	± 0,30	± 0,30	± 0,30	± 0,30	± 0,30	± 0,30	± 0,30	± 0,30	± 0,30		

a, b, c, d unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-19: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Lebergewicht (g/Tier, % vom Lebendgewicht), Muskelmagen (g/Tier, % vom Lebendgewicht) und Abdominalfett (g/Tier, % vom Schlachtgewicht) (LS Means und SE)**

Merkmal	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										F-Wert	p-Wert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Kon- trolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6		
<b>Leber (g)</b>	65,8	63,3	64,1	69,8	67,4	66,4	60,5	62,0	67,4	70,2	1,67	0,1043
<i>SE</i>	± 2,9	± 2,5	± 2,5	± 2,5	± 2,5	± 2,5	± 2,5	± 2,5	± 2,5	± 2,5		
<b>Leber (%)</b>	2,3	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,2	2,3	1,35	0,2218
<i>SE</i>	± 0,09	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08		
<b>Muskel- magen (g)</b>	21,4	26,3	21,6	24,0	25,3	22,6	21,7	22,2	24,1	23,5	1,30	0,2465
<i>SE</i>	± 1,7	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,4		
<b>Muskel- magen (%)</b>	0,75	0,89	0,75	0,82	0,85	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,93	0,5034
<i>SE</i>	± 0,06	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0,05	± 0,05		
<b>Abdomi- nalfett (g)</b>	20,2	22,5	21,5	23,4	23,5	17,5	17,6	19,6	22,4	22,6	1,71	0,0951
<i>SE</i>	± 2,0	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7	± 1,7		
<b>Abdomi- nalfett (%)</b>	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,41	0,1907
<i>SE</i>	± 0,09	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08	± 0,08		

<sup>a, b, c</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ ); <sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-20: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die wertvolle Teilstücke Brust mit Haut, Schenkel mit Haut, Flügel mit Haut (g/Tier, % vom Schlachtgewicht) (LS Means und SE)**

Merkmal	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										F-Wert	p-Wert
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Kon- trolle	E20	E30	EPK6,5	EPK10	ES3/4,5	ES4,5/6	E20+ ES3/4,5	EPK10+ ES3/4,5	EPK10+ ES4,5/6		
<b>Brust (g)</b>	708	725	717	766	748	746	712	733	787	789	3,06	0,0026
<i>SE</i>	$\pm 19,1$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$	$\pm 16,5$		
<b>Brust (%)</b>	34,6	34,2	34,4	35,5	34,7	34,6	34,9	34,8	34,4	35,2	0,65	0,7541
<i>SE</i>	$\pm 0,6$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$		
<b>Schenkel (g)</b>	570 <sup>cd</sup>	599 <sup>abc</sup>	585 <sup>bcd</sup>	590 <sup>bcd</sup>	596 <sup>bcd</sup>	598 <sup>bc</sup>	554 <sup>d</sup>	585 <sup>bcd</sup>	642 <sup>a</sup>	621 <sup>ab</sup>	6,49	<,0001
<i>SE</i>	$\pm 10,9$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$	$\pm 9,5$		
<b>Schenkel (%)</b>	28,0	28,3	28,1	27,4	27,7	27,7	27,2	27,7	28,0	27,6	1,26	0,2671
<i>SE</i>	$\pm 0,34$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$	$\pm 0,29$		
<b>Flügel (g)</b>	201 <sup>b</sup>	208 <sup>b</sup>	214 <sup>ab</sup>	216 <sup>ab</sup>	218 <sup>ab</sup>	219 <sup>ab</sup>	213 <sup>ab</sup>	212 <sup>ab</sup>	231 <sup>a</sup>	223 <sup>ab</sup>	2,51	0,0120
<i>SE</i>	$\pm 5,6$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$	$\pm 4,8$		
<b>Flügel (%)</b>	9,9	9,8	10,3	10,0	10,1	10,2	10,5	10,1	10,1	10,0	0,83	0,5891
<i>SE</i>	$\pm 0,23$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$		

a, b, c, d unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-21: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den TM-Gehalt (g/kg Originalsubstanz) und die Viskosität (mpas) des Faeces (LS Means und SE)**

<b>Merkmal</b>	<b>Fütterungsvariante<sup>1</sup></b>										<b>F-Wert</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>Kon- trolle</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>	<b>EPK6,5</b>	<b>EPK10</b>	<b>ES3/4,5</b>	<b>ES4,5/6</b>	<b>E20+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES3/4,5</b>	<b>EPK10+ ES4,5/6</b>		
<b>TS-Gehalt</b>	0,18	0,18	0,21	0,26	0,23	0,21	0,21	0,19	0,23	0,23	1,92	0,0934
<b>SE</b>	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$		
<b>Viskosität</b>	3,28	2,43	1,98	2,03	2,67	3,20	2,44	2,12	1,65	2,38	0,99	0,4751
<b>SE</b>	$\pm 0,57$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$	$\pm 0,49$		

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-22: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf den TS-Gehalt der Einstreu (% der Originalsubstanz) und die Fußballengesundheit (Score 0-4, nach HOCKING et al. 2008)**

<b>Box</b>	<b>Variante</b>		<b>TS-Gehalt Einstreu (% der Originalsubstanz)</b>	<b>Ø Fußballenscore der Tiere</b>
	<b>Nummer</b>	<b>Bezeichnung<sup>1</sup></b>		
<b>30</b>	<b>1</b>	<b>Kontrolle</b>	84	0
<b>28</b>	<b>2</b>	<b>E20</b>	77	0
<b>6</b>	<b>3</b>	<b>E30</b>	64	0
<b>8</b>	<b>4</b>	<b>EPK6,5</b>	84	0
<b>10</b>	<b>5</b>	<b>EPK10</b>	84	0
<b>12</b>	<b>6</b>	<b>ES3/4,5</b>	76	0
<b>14</b>	<b>7</b>	<b>ES4,5/6</b>	79	0
<b>36</b>	<b>8</b>	<b>E20+ES3/4,5</b>	71	0
<b>34</b>	<b>9</b>	<b>EPK10+ES3/4,5</b>	83	0
<b>32</b>	<b>10</b>	<b>EPK10+ES4,5/6</b>	81	0

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-23: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigtkettigen Fettsäuren (BCFA) und Gesamtfettsäuren ( $\mu\text{mol/g}$  der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Ileums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4**

<i>Merkmal</i>		Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
		1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Essigsäure</i>	<b>Median</b>	<b>1,26</b>	<b>1,48</b>	<b>0,98</b>	<b>1,62</b>	<b>2,17</b>	<b>1,96</b>	<b>1,96</b>	<b>1,71</b>	<b>1,60</b>	<b>1,51</b>	<b>0,694</b>
	Min.	0,60	1,40	0,56	0,86	1,12	1,02	0,96	1,33	1,39	0,70	
	Max.	1,70	2,16	3,72	5,20	2,48	2,85	3,19	3,25	1,79	4,64	
<i>Propion-säure</i>	<b>Median</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,760</b>
	Min.	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	
	Max.	0,04	0,08	0,12	0,07	0,09	0,04	0,04	0,04	0,06	0,03	
<i>i-Butter-säure</i>	<b>Median</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,998</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,05	0,03	
<i>n-Butter-säure</i>	<b>Median</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,282</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,03	0,07	0,01	0,08	0,05	0,02	0,12	0,02	0,05	0,05	
<i>i-Valerian-säure</i>	<b>Median</b>	<b>0,13</b>	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,03</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,485</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,19	0,12	0,11	0,14	0,16	0,14	0,37	0,14	0,12	0,11	
<i>n-Valerian-säure</i>	<b>Median</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,915</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,02	0,04	0,11	0,12	0,09	0,06	0,03	0,06	0,02	0,00	
<i>BCFA</i>	<b>Median</b>	<b>0,14</b>	<b>0,01</b>	<b>0,06</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,702</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,22	0,13	0,14	0,14	0,16	0,14	0,37	0,14	0,16	0,11	
<i>Gesamtfett-säuren</i>	<b>Median</b>	<b>1,42</b>	<b>1,61</b>	<b>1,07</b>	<b>1,83</b>	<b>2,38</b>	<b>2,09</b>	<b>2,19</b>	<b>1,84</b>	<b>1,75</b>	<b>1,57</b>	<b>0,747</b>
	Min.	0,77	1,49	0,73	0,92	1,47	1,06	1,12	1,39	1,46	0,84	
	Max.	1,92	2,33	3,93	5,50	2,54	3,03	3,43	3,42	1,85	4,73	

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-24: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigtkettigen Fettsäuren (BCFA) und (% mol der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Ileums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4**

<i>Merkmal</i>		Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
		1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Acetat</i>	<b>Median</b>	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,758</b>
	Min.	0,77	0,89	0,77	0,86	0,76	0,93	0,81	0,91	0,87	0,83	
	Max.	0,97	0,96	0,98	0,95	0,97	0,97	0,99	0,99	0,96	0,97	
<i>Propionat</i>	<b>Median</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,541</b>
	Min.	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	
	Max.	0,04	0,05	0,03	0,04	0,06	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	
<i>i-Butyrat</i>	<b>Median</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,998</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,01	0,01	0,04	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	
<i>n-Butyrat</i>	<b>Median</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,199</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,03	0,04	0,00	0,01	0,02	0,01	0,10	0,01	0,03	0,03	
<i>i-Valeriat</i>	<b>Median</b>	<b>0,09</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,664</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,16	0,05	0,15	0,08	0,09	0,05	0,16	0,08	0,06	0,13	
<i>n-Valeriat</i>	<b>Median</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,908</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,01	0,02	0,10	0,06	0,06	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	
<i>BCFA</i>	<b>Median</b>	<b>0,10</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,747</b>
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Max.	0,16	0,06	0,19	0,08	0,11	0,05	0,16	0,08	0,09	0,13	

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-25: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigt-kettigen Fettsäuren (BCFA) und Gesamtfettsäuren ( $\mu\text{mol/g}$  der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Zäkums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichproben-größe = 4

Merkmal		Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
		1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Essigsäure</i>	<b>Median</b>	<b>56,1</b>	<b>78,4</b>	<b>70,3</b>	<b>69,9</b>	<b>73,4</b>	<b>78,5</b>	<b>57,4</b>	<b>59,6</b>	<b>61,6</b>	<b>54,8</b>	<b>0,618</b>
	Min.	40,3	46,6	57,5	66,3	44,2	66,8	52,8	54,4	56,0	43,4	
	Max.	78,4	102,1	86,1	98,6	77,4	86,1	94,7	105,2	80,1	81,1	
<i>Propion-säure</i>	<b>Median</b>	<b>4,28</b>	<b>14,6</b>	<b>11,6</b>	<b>11,0</b>	<b>9,67</b>	<b>9,53</b>	<b>7,69</b>	<b>12,0</b>	<b>5,42</b>	<b>5,17</b>	<b>0,131</b>
	Min.	3,20	7,47	8,17	9,20	3,65	6,51	4,30	5,83	5,07	3,12	
	Max.	16,8	19,7	14,5	12,6	14,4	14,8	15,8	26,1	6,78	10,3	
<i>i-Butter-säure</i>	<b>Median</b>	<b>1,44</b>	<b>1,24</b>	<b>1,60</b>	<b>1,10</b>	<b>1,21</b>	<b>1,11</b>	<b>1,10</b>	<b>1,20</b>	<b>0,70</b>	<b>1,08</b>	<b>0,271</b>
	Min.	1,22	1,14	1,01	0,42	0,93	0,94	0,78	1,03	0,44	0,84	
	Max.	1,63	1,55	1,86	2,60	2,09	1,80	1,54	2,08	0,99	2,40	
<i>n-Butter-säure</i>	<b>Median</b>	<b>13,2</b>	<b>18,4</b>	<b>23,3</b>	<b>21,2</b>	<b>26,2</b>	<b>22,9</b>	<b>22,2</b>	<b>14,4</b>	<b>21,5</b>	<b>20,0</b>	<b>0,583</b>
	Min.	7,04	12,6	15,9	15,2	8,04	12,3	7,31	10,0	19,3	12,1	
	Max.	20,5	33,9	31,1	29,6	34,2	38,8	28,5	23,9	29,1	26,4	
<i>i-Valerian-säure</i>	<b>Median</b>	<b>1,61</b>	<b>1,43</b>	<b>1,65</b>	<b>1,10</b>	<b>1,15</b>	<b>1,37</b>	<b>1,32</b>	<b>1,52</b>	<b>0,84</b>	<b>1,41</b>	<b>0,342</b>
	Min.	1,50	1,14	1,13	0,46	1,10	1,13	0,99	1,35	0,61	1,01	
	Max.	1,75	1,76	1,84	1,76	1,32	1,80	1,72	1,68	1,63	2,89	
<i>n-Valerian-säure</i>	<b>Median</b>	<b>1,54</b>	<b>2,00</b>	<b>1,88</b>	<b>1,62</b>	<b>1,86</b>	<b>1,82</b>	<b>1,49</b>	<b>1,38</b>	<b>1,44</b>	<b>1,55</b>	<b>0,332</b>
	Min.	1,04	1,43	1,58	1,09	0,85	1,59	0,88	1,10	1,35	1,50	
	Max.	1,96	2,48	1,96	1,99	2,13	2,22	2,69	1,48	1,87	2,04	
<i>BCFA</i>	<b>Median</b>	<b>3,03</b>	<b>2,67</b>	<b>3,26</b>	<b>2,21</b>	<b>2,36</b>	<b>2,48</b>	<b>2,51</b>	<b>2,72</b>	<b>1,54</b>	<b>2,39</b>	<b>0,361</b>
	Min.	2,75	2,28	2,13	0,88	2,03	2,08	1,77	2,41	1,05	2,04	
	Max.	3,38	3,31	3,69	4,36	3,41	3,59	3,08	3,76	2,62	5,29	
<i>Gesamtfett-säuren</i>	<b>Median</b>	<b>84,6</b>	<b>120,6</b>	<b>114,0</b>	<b>106,8</b>	<b>115,4</b>	<b>114,9</b>	<b>86,5</b>	<b>90,1</b>	<b>91,4</b>	<b>85,4</b>	<b>0,586</b>
	Min.	54,7	73,5	87,0	95,4	65,9	101,3	76,7	73,7	83,7	62,8	
	Max.	107,8	149,5	128,3	142,8	120,7	134,2	144,7	160,2	119,8	121,4	

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-26: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die kurzkettigen Fettsäuren, verzweigtkettigen Fettsäuren (BCFA) und Gesamtfettsäuren (% mol der ursprünglichen Substanz) im Digesta des Zäkums (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.)), Stichprobengröße = 4

Merkmal		Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
		1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<b>Acetat</b>	<b>Median</b>	<b>0,72</b>	<b>0,65</b>	<b>0,65</b>	<b>0,67</b>	<b>0,65</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	<b>0,805</b>
	Min.	0,63	0,63	0,60	0,65	0,59	0,62	0,59	0,65	0,65	0,63	
	Max.	0,74	0,68	0,67	0,70	0,69	0,69	0,76	0,74	0,69	0,69	
<b>Propionat</b>	<b>Median</b>	<b>0,06</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,159</b>
	Min.	0,04	0,08	0,09	0,07	0,03	0,05	0,06	0,08	0,06	0,05	
	Max.	0,17	0,18	0,11	0,12	0,16	0,14	0,11	0,16	0,06	0,08	
<b>i-Butyrat</b>	<b>Median</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,315</b>
	Min.	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	
	Max.	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	
<b>n-Butyrat</b>	<b>Median</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,24</b>	<b>0,21</b>	<b>0,179</b>
	Min.	0,13	0,12	0,18	0,16	0,12	0,12	0,09	0,14	0,23	0,19	
	Max.	0,19	0,25	0,25	0,21	0,29	0,29	0,29	0,16	0,24	0,27	
<b>i-Valeriat</b>	<b>Median</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,274</b>
	Min.	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	Max.	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	
<b>n-Valeriat</b>	<b>Median</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,433</b>
	Min.	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
	Max.	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
<b>BCFA</b>	<b>Median</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,317</b>
	Min.	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	
	Max.	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-27: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die relative Abundanz (in %) der bakteriellen 16S-rDNA in dem Digesta des Ileums (Median)

Genera	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
	1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Lactobacillus</i>	99,6	99,9	99,2	99,7	99,8	99,9	99,9	99,98	99,5	99,7	0,777
<i>Romboutsia</i>	10,1	0,05	1,16	1,42	2,11	3,32	0,21	2,67	1,80	7,72	0,350
<i>unknown(Family.Lachnospiraceae)</i>	0,29	0,23	0,10	0,09	0,65	0,11	0,02	n.d.	0,02	0,10	0,448
<i>Blautia</i>	0,33	0,32	0,05	0,05	0,05	0,12	n.d.	0,05	0,05	0,03	0,454
<i>Faecalibacterium</i>	0,59	0,08	0,10	0,07	0,79	0,14	n.d.	0,07	0,10	0,04	0,884
<i>Subdoligranulum</i>	0,13	0,05	0,03	0,03	n.d.	0,05	0,03	n.d.	n.d.	0,01	0,330
<i>Sellimonas</i>	0,07	0,08	0,15	0,02	0,04	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,581
<i>Ruminococcaceae_UCG-005</i>	0,09	0,58	0,03	0,06	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,416
<i>Lachnoclostridium</i>	0,09	0,38	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,284
<i>Eisenbergiella</i>	n.d.	0,07	0,06	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,392
<i>Flavonifractor</i>	0,16	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,368
<i>Ruminococcaceae_UCG-014</i>	n.d.	0,13	n.d.	n.d.	0,29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,368
<i>Butyricoccus</i>	0,16	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,392
<i>Campylobacter</i>	n.d.	0,04	0,05	0,02	0,23	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	0,258
<i>Erysipelatoclostridium</i>	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,221
<i>Escherichia/Shigella</i>	1,09	0,09	0,15	n.d.	n.d.	0,03	0,37	0,09	0,02	n.d.	0,248
<i>Helicobacter</i>	0,48	0,03	0,07	0,12	0,06	0,10	0,04	n.d.	0,04	0,02	0,289
<b>n</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	

n.d. nicht detektiert; n = Stichprobengröße

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Tabelle A-28: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf die relative Abundanz (in %) der bakteriellen 16S-rDNA in dem Digesta des Zäkums (Median), Stichprobengröße = 12

Genera	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
	1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Lactobacillus</i>	8,44	10,6	10,4	9,98	11,5	9,23	8,76	15,2	12,9	8,98	0,692
<i>Romboutsia</i>	0,43	0,16	0,31	0,20	0,15	0,16	0,28	0,47	0,59	0,38	0,022
<i>unknown(Family.Lachnospiraceae)</i>	19,5	15,4	17,1	20,8	20,3	20,1	16,7	17,2	19,0	20,4	0,261
<i>Blautia</i>	6,05 <sup>ab</sup>	4,90 <sup>b</sup>	4,59 <sup>b</sup>	5,31 <sup>ab</sup>	6,28 <sup>ab</sup>	8,36 <sup>a</sup>	7,62 <sup>ab</sup>	4,91 <sup>ab</sup>	8,28 <sup>a</sup>	8,15 <sup>ab</sup>	0,000
<i>Faecalibacterium</i>	16,2	12,8	14,4	10,1	13,3	11,8	10,5	11,2	19,5	16,5	0,083
<i>Subdoligranulum</i>	2,68 <sup>b</sup>	2,37 <sup>ab</sup>	2,42 <sup>ab</sup>	6,39 <sup>ab</sup>	5,85 <sup>ab</sup>	4,73 <sup>ab</sup>	4,28 <sup>ab</sup>	5,52 <sup>ab</sup>	6,61 <sup>a</sup>	3,64 <sup>ab</sup>	0,011
<i>Sellimonas</i>	1,80	1,54	1,74	1,80	1,47	2,29	2,27	1,51	2,37	2,48	0,017
<i>Ruminococcaceae_UCG-005</i>	1,94	4,00	3,88	4,39	2,42	3,76	5,53	6,74	1,82	1,96	0,001
<i>Lachnoclostridium</i>	1,49 <sup>abc</sup>	1,22 <sup>bc</sup>	1,71 <sup>abc</sup>	2,26 <sup>a</sup>	1,41 <sup>abc</sup>	1,53 <sup>abc</sup>	1,86 <sup>ab</sup>	1,43 <sup>abc</sup>	1,15 <sup>c</sup>	1,32 <sup>abc</sup>	0,005
<i>unknown(Family.Ruminococcaceae)</i>	2,21	2,05	2,14	2,19	2,24	1,72	1,78	1,88	1,47	1,56	0,035
<i>Ruminiclostridium</i>	0,62 <sup>ab</sup>	1,01 <sup>ab</sup>	0,84 <sup>ab</sup>	0,75 <sup>ab</sup>	0,80 <sup>ab</sup>	0,71 <sup>ab</sup>	0,97 <sup>a</sup>	1,02 <sup>ab</sup>	0,50 <sup>b</sup>	0,63 <sup>ab</sup>	0,027
<i>Ruminococcaceae_UCG-014</i>	4,10 <sup>ab</sup>	4,71 <sup>ab</sup>	6,52 <sup>ab</sup>	5,34 <sup>ab</sup>	4,37 <sup>ab</sup>	5,65 <sup>ab</sup>	5,64 <sup>ab</sup>	7,03 <sup>a</sup>	3,97 <sup>b</sup>	4,64 <sup>ab</sup>	0,021
<i>Christensenellaceae_R-7_group</i>	0,65 <sup>ab</sup>	1,35 <sup>a</sup>	1,13 <sup>ab</sup>	1,62 <sup>a</sup>	1,21 <sup>ab</sup>	0,67 <sup>ab</sup>	1,14 <sup>ab</sup>	1,33 <sup>a</sup>	0,40 <sup>b</sup>	0,42 <sup>b</sup>	0,000
<i>Ruminiclostridium_9</i>	1,09 <sup>ab</sup>	1,36 <sup>a</sup>	1,04 <sup>ab</sup>	1,28 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>	0,89 <sup>ab</sup>	1,01 <sup>ab</sup>	1,04 <sup>ab</sup>	0,83 <sup>ab</sup>	0,68 <sup>b</sup>	0,001
<i>unknown(Family.Clostridiales_vadinBB60_group)</i>	0,97	0,98	1,46	0,86	0,85	1,25	1,02	1,12	0,72	0,41	0,017
<i>Campylobacter</i>	0,23	0,86	0,20	0,46	0,65	0,25	0,13	0,31	0,44	0,42	0,116

<sup>a, b, c</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

Fortsetzung Tabelle A-29:

Genera	Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal-Wallis p-Wert
	1 Kontrolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Ruminococcaceae_UCG-010</i>	0,17 <sup>b</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,26 <sup>ab</sup>	0,23 <sup>ab</sup>	0,21 <sup>ab</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,20 <sup>ab</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,001
<i>Fusicatenibacter</i>	2,65 <sup>ab</sup>	2,20 <sup>ab</sup>	2,04 <sup>ab</sup>	2,56 <sup>a</sup>	3,55 <sup>a</sup>	2,36 <sup>ab</sup>	2,43 <sup>ab</sup>	0,91 <sup>b</sup>	2,71 <sup>a</sup>	3,13 <sup>a</sup>	0,009
<i>Ruminococcaceae_UCG-004</i>	0,18 <sup>ab</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,17 <sup>ab</sup>	0,21 <sup>ab</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,21 <sup>ab</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,22 <sup>ab</sup>	0,14 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,000
<i>Shuttleworthia</i>	0,52 <sup>ab</sup>	0,34 <sup>ab</sup>	0,35 <sup>ab</sup>	0,35 <sup>ab</sup>	0,25 <sup>b</sup>	0,45 <sup>ab</sup>	0,67 <sup>a</sup>	0,38 <sup>ab</sup>	0,38 <sup>ab</sup>	0,27 <sup>ab</sup>	0,045
<i>Erysipelatoclostridium</i>	0,69 <sup>a</sup>	0,27 <sup>ab</sup>	0,32 <sup>ab</sup>	0,31 <sup>ab</sup>	0,36 <sup>ab</sup>	0,44 <sup>a</sup>	0,21 <sup>ab</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,35 <sup>ab</sup>	0,35 <sup>ab</sup>	0,030
<i>Defluviitaleaceae_UCG-011</i>	0,12	0,16	0,13	0,13	0,14	0,20	0,26	0,32	0,15	0,20	0,001
<i>Pygmaibacter</i>	0,18	0,23	0,22	0,38	0,22	0,33	0,27	0,61	0,27	0,16	0,022
<i>Lachnospiraceae_UCG-010</i>	0,09 <sup>ab</sup>	0,15 <sup>ab</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,08 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>b</sup>	0,11 <sup>ab</sup>	0,13 <sup>ab</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,07 <sup>ab</sup>	0,07 <sup>b</sup>	0,038
<i>Tyzzrella_3</i>	0,04 <sup>ab</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,03 <sup>ab</sup>	0,07 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,08 <sup>b</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,003
<i>Merdibacter</i>	0,12 <sup>AB</sup>	0,08 <sup>AB</sup>	0,14 <sup>AB</sup>	0,06 <sup>B</sup>	0,10 <sup>AB</sup>	0,26 <sup>A</sup>	0,11 <sup>AB</sup>	0,11 <sup>AB</sup>	0,14 <sup>AB</sup>	0,14 <sup>AB</sup>	0,075
<i>unknown(Family.Peptococcaceae)</i>	0,14 <sup>AB</sup>	0,19 <sup>A</sup>	0,14 <sup>AB</sup>	0,15 <sup>AB</sup>	0,15 <sup>AB</sup>	0,05 <sup>B</sup>	0,13 <sup>AB</sup>	0,14 <sup>AB</sup>	0,11 <sup>AB</sup>	0,09 <sup>AB</sup>	0,072
<i>Escherichia/Shigella</i>	0,21	0,04	1,25	0,11	0,02	0,05	0,28	0,59	0,04	0,45	0,253
<i>Helicobacter</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	k.A.

<sup>a, b, c</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

<sup>A, B</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben Trends an ( $p > 0,05$  bis  $p \leq 0,10$ )

n.d. nicht detektiert

k.A. keine Auswertung möglich

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-29: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Richness, Shannon-Index und Evenness für das Mikrobiom im Ileum (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.))**

<i>Merkmal</i>		Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal -Wallis p-Wert
		1 Kon- trolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Richness</i>	<b>Median</b>	<b>18,50<sup>AB</sup></b>	<b>19,50<sup>AB</sup></b>	<b>21,50<sup>A</sup></b>	<b>21,00<sup>AB</sup></b>	<b>18,00<sup>B</sup></b>	<b>19,00<sup>AB</sup></b>	<b>18,00<sup>B</sup></b>	<b>19,00<sup>AB</sup></b>	<b>20,50<sup>AB</sup></b>	<b>20,50<sup>AB</sup></b>	<b>0,843</b>
	Min.	6,00	13,00	13,00	12,00	14,00	11,00	13,00	13,00	10,00	13,00	
	Max.	51,00	50,00	34,00	45,00	44,00	34,00	35,00	31,00	30,00	29,00	
<i>Shannon- Index</i>	<b>Median</b>	<b>1,73<sup>AB</sup></b>	<b>1,70<sup>AB</sup></b>	<b>1,69<sup>AB</sup></b>	<b>1,83<sup>AB</sup></b>	<b>1,70<sup>AB</sup></b>	<b>1,77<sup>B</sup></b>	<b>2,06<sup>A</sup></b>	<b>1,94<sup>A</sup></b>	<b>1,98<sup>AB</sup></b>	<b>1,71<sup>AB</sup></b>	<b>0,652</b>
	Min.	0,51	1,35	0,93	1,50	1,01	0,88	0,78	0,80	0,77	0,79	
	Max.	2,42	2,23	2,45	2,08	2,31	2,01	2,26	2,33	2,26	2,34	
<i>Evenness</i>	<b>Median</b>	<b>0,54<sup>C</sup></b>	<b>0,62<sup>ABC</sup></b>	<b>0,54<sup>BC</sup></b>	<b>0,59<sup>ABC</sup></b>	<b>0,58<sup>ABC</sup></b>	<b>0,57<sup>BC</sup></b>	<b>0,66<sup>A</sup></b>	<b>0,66<sup>AB</sup></b>	<b>0,62<sup>ABC</sup></b>	<b>0,60<sup>ABC</sup></b>	<b>0,46</b>
	Min.	0,28	0,40	0,36	0,49	0,35	0,25	0,30	0,31	0,33	0,29	
	Max.	0,74	0,74	0,76	0,67	0,80	0,72	0,76	0,72	0,77	0,74	
<b><i>n</i></b>		<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	

<sup>A, B, C</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben Trends an ( $p > 0,05$  bis  $p \leq 0,10$ )

n = Stichprobengröße

<sup>1</sup>Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

**Tabelle A-30: Einfluss der eingesetzten Alleinfuttermischungen auf Richness, Shannon-Index und Evenness für das Mikrobiom im Zäkum (Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.))**

<i>Merkmal</i>		Fütterungsvariante <sup>1</sup>										Kruskal -Wallis p-Wert
		1 Kon- trolle	2 E20	3 E30	4 EPK6,5	5 EPK10	6 ES3/4,5	7 ES4,5/6	8 E20+ ES3/4,5	9 EPK10+ ES3/4,5	10 EPK10+ ES4,5/6	
<i>Richness</i>	<b>Median</b>	<b>177<sup>cde</sup></b>	<b>198<sup>ab</sup></b>	<b>178<sup>bcd</sup></b>	<b>200<sup>ab</sup></b>	<b>183<sup>bcd</sup></b>	<b>187<sup>abc</sup></b>	<b>190<sup>abcd</sup></b>	<b>198<sup>a</sup></b>	<b>164<sup>de</sup></b>	<b>163<sup>e</sup></b>	<b>0,010</b>
	Min.	154	165	150	151	152	158	36	180	134	124	
	Max.	230	225	221	250	217	224	223	233	224	204	
<i>Shannon- Index</i>	<b>Median</b>	<b>4,19<sup>c</sup></b>	<b>4,39<sup>ab</sup></b>	<b>4,33<sup>bc</sup></b>	<b>4,42<sup>ab</sup></b>	<b>4,24<sup>bc</sup></b>	<b>4,38<sup>ab</sup></b>	<b>4,48<sup>ab</sup></b>	<b>4,51<sup>a</sup></b>	<b>4,12<sup>c</sup></b>	<b>4,21<sup>c</sup></b>	<b>0,003</b>
	Min.	3,75	4,06	3,43	4,25	3,91	4,01	2,03	4,22	3,81	3,85	
	Max.	4,60	4,63	4,78	4,76	4,56	4,70	4,59	4,76	4,53	4,47	
<i>Evenness</i>	<b>Median</b>	<b>0,80<sup>c</sup></b>	<b>0,84<sup>ab</sup></b>	<b>0,84<sup>abc</sup></b>	<b>0,85<sup>ab</sup></b>	<b>0,82<sup>bc</sup></b>	<b>0,84<sup>ab</sup></b>	<b>0,85<sup>ab</sup></b>	<b>0,85<sup>a</sup></b>	<b>0,82<sup>c</sup></b>	<b>0,83<sup>abc</sup></b>	<b>0,047</b>
	Min.	0,74	0,75	0,69	0,80	0,78	0,79	0,57	0,79	0,75	0,76	
	Max.	0,86	0,87	0,89	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,85	0,87	
<i>n</i>		<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	

<sup>a, b, c</sup> unterschiedliche Indizes innerhalb einer Reihe geben signifikante Unterschiede an ( $p \leq 0,05$ )

n = Stichprobengröße

<sup>1</sup> Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK), Erbsenschalen (ES)

# ABSCHLUSSBERICHT

## zum Teilprojekt

### Einfluss verschiedener Erbsenprodukte in der Ferkelfütterung

#### IMPRESSUM

- Herausgeber: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau  
Sachsen-Anhalt  
Strenzfelder Allee 22  
06406 Bernburg  
[www.llg.sachsen-anhalt.de](http://www.llg.sachsen-anhalt.de)
- Autor: Dr. M. Weber  
Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden  
Lindenstraße 18  
D-39606 Iden  
E-Mail: [Manfred.Weber@llg.mule.sachsen-anhalt.de](mailto:Manfred.Weber@llg.mule.sachsen-anhalt.de)
- Arbeitsgruppe: Dr. M. Weber, Antje Grimmer, Ulf Gieschler  
Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden  
Lindenstraße 18  
D-39606 Iden
- Versuchsanstalt: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau  
Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden  
Lindenstraße 18  
D-39606 Iden
- Versuchspartner: FU Berlin, Prof. Jürgen Zentek und Dr. Wilfried Vahjen Hochschule  
Weihenstephan-Triesdorf, Prof. Gerhard Bellof  
unter Förderung der UFOP
- Seitenanzahl: 13
- Datum: 22.2.2023
- Titelbild: Weber, LLG

#### Rechtshinweis:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Eine Veröffentlichung und Vervielfältigung (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

## **1 Ziel der Untersuchung**

Die Faserversorgung unserer Schweine rückt in der letzten Zeit immer mehr in den Blickpunkt der Tierernährer. Besonders spielen dort die Darmgesundheit und die Auswirkungen auf das Schwanzbeißen eine Rolle. Daher wird immer geraten die Faserversorgung durch sogenannte „Fasermixe“, also Mischungen aus unterschiedlichen faserhaltigen Futtermitteln zu gewährleisten. Damit wird den Stärken und Schwächen der einzelnen Futtermittel Rechnung getragen. Häufig wird aber aus Kostengründen auf den günstigen Faserträger wie Weizenkleie zurückgegriffen. Dieser hat zwar einen recht hohen Anteil an Rohfaser, aber dafür auch einen sehr hohen Gehalt an Phosphor. Der Einsatz in stark P-reduzierten Rationen ist deshalb begrenzt. Auch die immer wieder auftauchenden Belastungen mit Mykotoxinen bergen Gefahren in sich.

Eine in der deutschen Schweinefütterung bisher wenig beachtete Rohstoffgruppe, die dort als Ersatz eingesetzt werden könnte, sind Nebenprodukte der Erbsenverarbeitung. Sie fallen bei der Produktion von Erbsenstärke und –eiweiß an. Im Zuge der UFOP-Strategie 10+10 (10% der deutschen Ackerfläche sollten jeweils mit Körnerleguminosen und Raps bestellt werden) könnten möglicherweise von diesen Erbsenprodukten in Zukunft mehr anfallen, da auch in der Humanernährung Erbsenstärke und –eiweiß stärker gefragt werden.

Erste Ergebnisse aus Versuchen beim Schwein mit höheren Gehalten an Erbsen im Mastschweinefutter zeigten einen besseren Futteraufwand in den Erbsengruppen. Da aber nicht klar ist, welchem Teil der Erbse dieses zuzuordnen ist, soll im folgenden Versuch mit unterschiedlichen Teilen der Erbse, diesem Effekt in der Ferkelaufzucht einmal nachgegangen werden.

## **2 Prüfeinrichtung**

Die Untersuchung wurde in der Lehrwerkstatt Schwein der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) in Iden durchgeführt. Die LLG ist eine dem Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt direkt nachgeordnete Behörde.

## **3 Versuchsziel**

Einfluss verschiedener Erbsenbestandteile auf Leistung und Gesundheitsstatus bei Ferkeln unter Praxisbedingungen eruieren.

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Versuchsstall**

Der Versuch wurde durchgeführt in der Lehrwerkstatt der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt in Iden. Die Ferkelabteile bieten Platz für jeweils 60 Tiere in 6 Buchten zu je 10 Tieren. 0,38 m<sup>2</sup> Buchtenfläche wurde jedem Tier angeboten. Der Stall wird im Unterdrucklüftungsverfahren betrieben. Die Futterzuteilung geschieht grundsätzlich per Trockenfutterautomat mit maximal 2 Ferkeln pro Fressplatz ad libitum.

## 4.2 Tiermaterial

In den Versuch einbezogen wurden 348 Ferkel (Pi x Topigs). Die Tiere stammen von Sauen aus der Lehrwerkstatt der LLG. 8 Ferkel haben das Versuchsende nicht erreicht. Die Ferkel waren bei Versuchsbeginn durchschnittlich 27 Tage alt.

## 4.3 Fütterung

Die Futtermittel wurden isoenergetisch konzipiert. Eine gleiche Ausstattung an essentiellen AS ist selbstverständlich. Futtermittelanalysen wurden durchgeführt.

Die Futtermischungen wurden von der LfL geliefert und das FAF 2 beim Raiffeisenkraftfutterwerk in Osterburg endgemischt.

Futterrezepturen wurden durch die HSWT erstellt.

Die Versuchsgruppen wurden folgendermaßen konzipiert:

**Tabelle 1: Versuchsdesign, Mischungsanteile (%) an Erbsen (E), Erbsenproteinkonzentrat (EPK) und Erbsenschalen (ES) im Alleinfutter von abgesetzten Ferkeln**

Fütterungsvariante		Ferkelaufzuchtfutter 1			Ferkelaufzuchtfutter 2		
Nr.	Bezeichnung	E	EPK	ES	E	EPK	ES
1	K	-	-	-	-	-	-
2	E 20	10	-	-	20	-	-
3	EPK 3/6	-	3	-	-	6	-
4	ES 3/6	-	-	3	-	-	6
5	E 10/20+ES 3/6	10	-	3	20	-	6
6	EPK 3/6 + ES 3/6	-	3	3	-	6	6

Folgender zeitlicher Ablauf der Futtermittel kam zum Einsatz:

Prestarter: bis Tag 2 nach Absetzen

Ferkelstarter: bis Tag 21 nach Absetzen

Ferkelaufzuchtfutter: ab Tag 21 nach Absetzen

Mischungsphasen von jeweils 2 Tagen sind einzuhalten (Tag 2-4 und 21-23)

**Tabelle 2: Komponentenzusammensetzung des Ferkelaufzuchtfutter 1 (laut Deklaration in %)**

Futterbezeichnung		A	B	C	D	E	F
		Kontrolle	E 10/20	EPK 3/6	ES 3/6	E 10/20 + ES 3/6	EPK 3/6 + ES 3/6
Komponenten	Einheit						
Gerste	%	43,35	38,50	45,30	40,00	35,60	41,95
Weizen	%	30,00	26,50	31,00	28,00	24,00	29,00
HP-SES	%	20,50	18,50	15,00	22,00	20,00	16,50
Sojaöl	%	1,40	1,80	1,00	2,30	2,70	1,80
Mineralfutter	%	4,75	4,70	4,70	4,70	4,70	4,75
Futtersäure	%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erbsen	%		10,00			10,00	
Erbsenschalen	%				3,00	3,00	3,00
Erbsenproteinkonzentrat	%			3,00			3,00

**Tabelle 3: Komponentenzusammensetzung des Ferkelaufzuchtfutter 2 (laut Deklaration in %)**

Futterbezeichnung		A	B	C	D	E	F
		Kontrolle	E 10/20	EPK 3/6	ES 3/6	E 10/20 + ES 3/6	EPK 3/6 + ES 3/6
Komponenten	Einheit						
Gerste	%	47,07	38,47	52,19	40,19	30,55	44,75
Weizen	%	33,00	27,00	33,00	30,00	24,00	30,00
HP-SES	%	15,00	10,00	4,00	17,00	13,00	6,50
Mineralfutter	%	3,13	3,03	3,11	3,11	2,95	3,05
Rapsöl	%	0,80	0,50	0,70	2,70	2,50	2,70
Futtersäure	%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erbsen	%		20,00			20,00	
Erbsenschalen	%				6,00	6,00	6,00
Erbsenproteinkonzentrat	%			6,00			6,00

**Tabelle 4: Futterinhaltsstoffe je kg Futter Ferkelaufzuchtfutter 1 (deklariert)**

Futterbezeichnung		A	B	C	D	E	F
		Kontrolle	E 10/20	EPK 3/6	ES 3/6	E 10/20 + ES 3/6	EPK 3/6 + ES 3/6
Komponenten	Einheit						
Energie (ME)	MJ	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Rohprotein	%	18,6	18,5	18,5	18,7	18,7	18,7
Rohfaser	%	4,30	4,47	4,26	5,56	5,74	5,52
Lysin	%	1,25	1,23	1,23	1,23	1,26	1,25
Met+Cys	%	0,68	0,72	0,67	0,68	0,71	0,72
Threonin	%	0,79	0,80	0,78	0,80	0,81	0,79
Thryptophan	%	0,23	0,23	0,22	0,24	0,23	0,23
Ca	%	0,74	0,74	0,72	0,76	0,75	0,74
P	%	0,53	0,48	0,48	0,46	0,46	0,46

**Tabelle 5: Futterinhaltsstoffe je kg Futter Ferkelaufzuchtfutter 2 (deklariert)**

Futterbezeichnung		A	B	C	D	E	F
		Kontrolle	E 10/20	EPK 3/6	ES 3/6	E 10/20 + ES 3/6	EPK 3/6 + ES 3/6
Komponenten	Einheit						
Energie (ME)	MJ	13,0	<b>13,0</b>	<b>13,0</b>	<b>13,0</b>	<b>13,0</b>	<b>13,0</b>
Rohprotein	%	17,4	17,3	17,4	17,2	17,4	17,3
Rohfaser	%	3,65	4,05	3,50	6,12	6,51	5,97
Lysin	%	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Met+Cys	%	0,65	0,64	0,63	0,64	0,63	0,62
Threonin	%	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Thryptophan	%	0,22	0,20	0,21	0,22	0,21	0,21
Ca	%	0,75	0,67	0,65	0,71	0,71	0,68
P	%	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54

Die Futtermittelanalysen zeigten innerhalb der Analysenspielräume eine gute Übereinstimmung mit den deklarierten Werten. Daher sind die deklarierten Werte im Versuch anzusetzen.

## 4.4 Untersuchungsparameter

Ermittelt wurden folgende Kennwerte:

- Gewicht:
  - Körpergewicht: Einstallgewicht, 21 Tagegewicht, Ausstallgewicht (41. Tag)
  - Tägliche Gewichtszunahme (pro Einzeltier und buchtenweise)
- Futteraufnahme (Aufnahme je Bucht)
- Futteraufwand (berechnet aus Futteraufnahme und Gewichtsentwicklung je Bucht)

Die Gewichtsmessungen wurden jeweils am Einzeltier vorgenommen. Die Futteraufnahme wurde gruppenweise ermittelt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Tabelle 8 sind die Versuchsergebnisse zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse** (Auswertung nach Einzeltierdaten)

Gruppe	Einheit	A	B	C	D	E	F	p<
Anzahl Ferkel bei Versuchsstart	n	58	58	58	58	58	58	-
Anzahl Buchten	n	6	6	6	6	6	6	-
Anfangsgewicht	kg	9,3	9,3	9,2	9,4	9,3	9,3	0,99
Ferkelverluste	n	0	1	2	2	1	2	-
Phase 1 (bis Tag 21)								
Gewicht am Tag 21	kg	16,6	16,6	16,7	16,9	16,7	17,3	0,79
Tägl. Zunahmen bis Tag 21	g	350	347	355	360	350	377	0,51
Futtermittelverbrauch je Ferkel	g/Tag	451	449	476	459	462	491	0,68
Futteraufwand je Ferkel	kg/kg	1,30	1,31	1,33	1,30	1,34	1,31	0,81
Phase 2 (Tag 22-41)								
Gewicht am Tag 41	kg	30,6	30,5	30,7	31,3	31,1	31,2	0,91
Tägl. Zunahmen bis Tag 22-41	g	665	660	666	685	688	662	0,73
Futtermittelverbrauch je Ferkel	g/Tag	1192	1159	1217	1187	1207	1220	0,95
Futteraufwand je Ferkel	kg/kg	1,79	1,77	1,82	1,74	1,77	1,85	0,77
Gesamte Versuchsphase								
Gewicht am Tag 41	kg	30,6	30,5	30,7	31,3	31,1	31,2	0,91
Tägl. Zunahmen	g	507	504	511	522	520	520	0,87
Futtermittelverbrauch je Ferkel	g/Tag	828	804	832	823	835	856	0,92
Futteraufwand je Ferkel	kg/kg	1,62	1,61	1,65	1,59	1,62	1,65	0,82

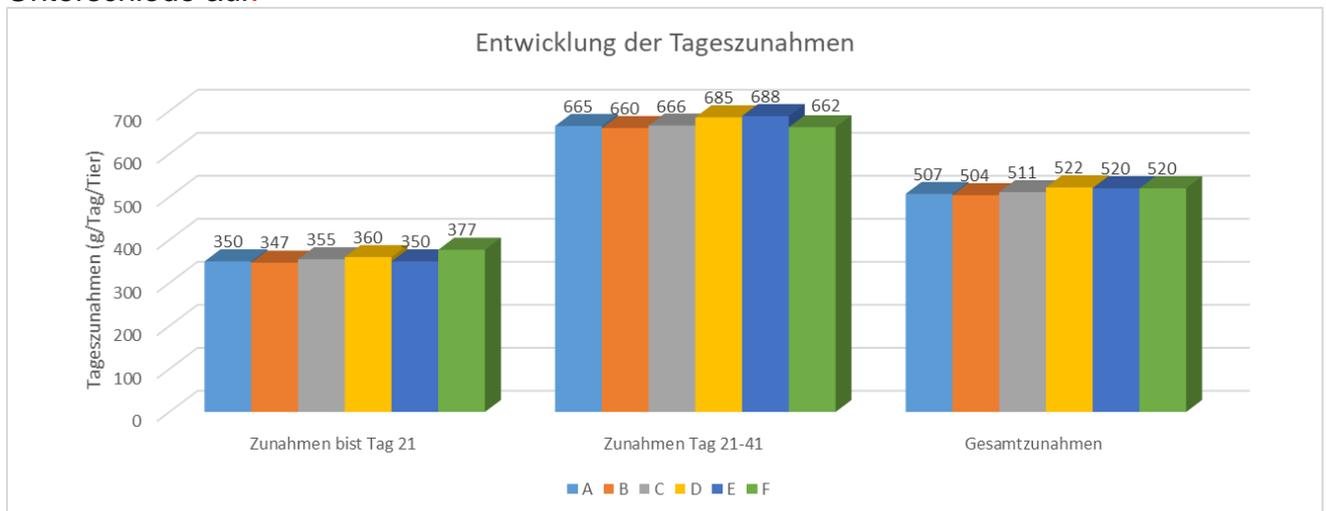
p: Irrtumswahrscheinlichkeit

## 5.2 Zunahmeleistungen über den gesamten Versuchszeitraum

**Tabelle 9: Mittleres Körpergewicht und tägliche Zunahmeleistungen über den gesamten Versuchszeitraum (nach Einzeltierdaten)**

Gruppe	Einheit	A		B		C		D		E		F	
		$\bar{x}$	s										
<b>Gewichte</b>													
Anfangsgewicht	kg	9,3	1,4	9,3	1,4	9,2	1,4	9,4	1,4	9,3	1,4	9,3	1,4
Gewicht am Tag 21	kg	16,6	2,8	16,6	2,7	16,7	2,7	16,9	2,5	16,7	3,0	17,3	2,9
Ausstallgewicht	kg	30,6	4,8	30,5	4,9	30,7	4,7	31,3	4,7	31,1	5,0	31,2	4,7
<b>Tägliche Zunahmen</b>													
Zunahmen bis Tag 21	g	350	86	347	90	355	88	360	84	350	97	377	96
Zunahmen Tag 22-41	g	665	111	660	126	666	132	685	130	688	120	662	106
Gesamtzunahmen	g	507	92	504	95	511	94	522	95	520	97	520	92

Im Bereich der Zunahmeentwicklung traten zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede auf.



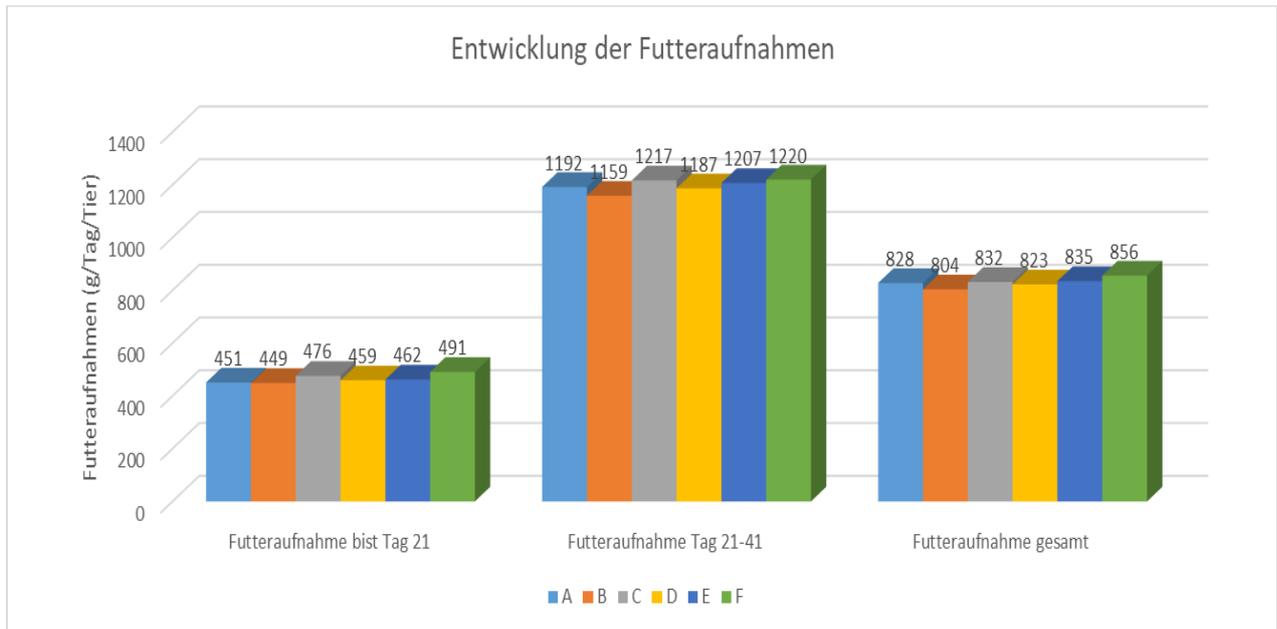
**Abbildung 1: Zunahmen im Versuch**

## 5.3 Futterverbrauch

**Tabelle 10: Futterverbrauch der Versuchstiere (g/Tier/Tag)**

Variante	Futterverbrauch bis Tag 21		Futterverbrauch Tag 21 bis Tag 41		Futterverbrauch gesamt	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
A	451	38	1192	91	828	60
B	449	45	1159	116	804	73
C	476	41	1217	108	832	62
D	459	47	1187	130	823	80
E	462	56	1207	142	835	70
F	491	66	1220	124	856	78

Im Parameter Futterverbrauch sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden.



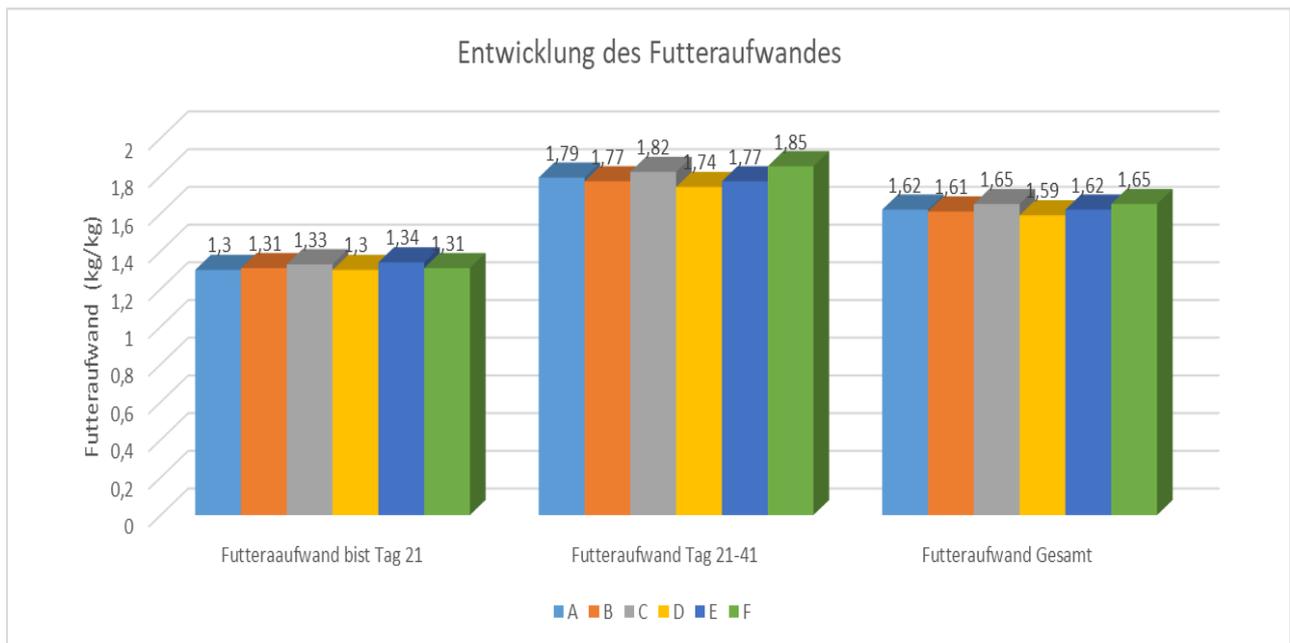
**Abbildung 2: Entwicklung des Futterverbrauchs in den unterschiedlichen Fütterungsabschnitten**

## 5.4 Futteraufwand

**Tabelle 11: Futteraufwand der Versuchstiere (kg/kg)**

Variante	Futteraufwand bis Tag 21		Futteraufwand Tag 21 bis Tag 41		Futteraufwand gesamt	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
A	1,30	0,05	1,79	0,14	1,62	0,09
B	1,31	0,05	1,77	0,11	1,61	0,08
C	1,33	0,05	1,82	0,14	1,65	0,10
D	1,30	0,06	1,74	0,12	1,59	0,09
E	1,34	0,07	1,77	0,13	1,62	0,08
F	1,31	0,08	1,85	0,14	1,65	0,09

Ebenso traten im Parameter Futteraufwand trotz nominell leichter Unterschiede keine signifikanten Unterschiede zwischen den Futtergruppen auf. Dies ist wohl in erster Linie darauf zurück zu führen, dass zur Auswertung jeweils nur auf Gruppenmittelwerte (n=6) zurückgegriffen werden konnte.



**Abbildung 3: Futteraufwand im Versuchsverlauf**

## 5.5 Gesundheitsstatus

Die in Tabelle 12 aufgeführten Behandlungen der Tiere wurden durchgeführt

**Tabelle 12: Anzahl der behandelten Ferkel mit Symptomen**

Gruppe	DG 1		DG 2		DG 3		DG 4		DG 5		DG 6	
A	0		2	DF	1	DF	1	DF	1	DF	0	
B	2	DF	2	DF	1	DF	1	DF	1	DF	1	DF
C	1	AW	2	DF	1	FU	0	DF	1	FU	4	DF
D	0		1	DF	1	DF	2	DF	0		2	DF
E	0		0	DF	2	DF	2	DF	0		3	DF
F	0		1	DF	3	DF	2	DF	1	DF	2	DF

DG: Durchgang; DF: Durchfall; FU: Fundament; AW: Atemwegsprobleme

## 6 Ergebnisse und Diskussion der fäkalen Mikrobiota

### Ergebnisse

Auf der taxonomischen Ebene der Phyla zeigte sich die für junge Schweine typische Verteilung der Bakteriengruppen mit Dominanz der Firmicutes, gefolgt von den Bacteroidetes (Tabelle 13). Für Actinobacteria wurde in den Versuchsgruppen mit Erbsenproteinkonzentrat bzw. Erbsenschalen eine geringere Abundanz gefunden. Eine additive Wirkung auf Actinobacteria durch die Kombination beider Erbsenprodukte lag allerdings nicht vor. Auffällig waren die numerischen Unterschiede für Proteobakterien und Spirochaeten in der Versuchsgruppe mit Erbsenfütterung.

Die Abnahme der Actinobacteria beruhte auf Veränderungen von vier Genera (Collinsella, Olsenella, Bifidobacterium und Slackia), die alle nicht zur dominanten Mikrobiota gehörten.

**Tabelle 13: Einfluss von Erbsen und Erbsenprodukten auf die Abundanz bakterieller Phyla im Kot von Ferkeln [%]**

Phyla	K (A)	E 20 (B)	EPK 6,5 (C)	ES 6 (D)	E 20 + ES 6 (E)	EPK 6,5 + ES 6 (F)	P-Wert <sup>1</sup>
Firmicutes	71,1	71,7	75,4	73,2	74,4	69,6	0,798
Bacteroidetes	24,2	23,7	24,1	26,2	24,2	29,4	0,746
Actinobacteria	1,37 <sup>c</sup>	0,96 <sup>b,c</sup>	0,25 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a,b</sup>	0,50 <sup>a,b</sup>	1,16 <sup>c</sup>	<b>0,052</b>
Proteobacteria	0,26	1,43	0,23	0,20	0,12	0,12	0,285
Spirochaetes	0,49	1,15	0,29	0,09	0,06	0,21	0,346
Epsilonbacteraeota	0,15	0,04	0,04	0,12	0,05	0,05	0,285
Patescibacteria	n.d.	0,02	0,06	0,07	0,02	0,01	0,136
Tenericutes	0,03	0,02	0,01		0,04	0,04	0,413

<sup>1</sup> = Kruskal-Wallis Test, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb der Versuchsgruppen (Mann-Whitney Test)

In Tabelle 14 sind die führenden Genera (>1%) der fäkalen Mikrobiota aufgelistet. Die ökologischen Indizes zeigen, dass die Gesamtheit der Mikrobiota nicht signifikant verändert war. Jedoch gab es Veränderungen der Abundanz, die auch einige der dominanten Genera betraf.

So führte der Einsatz von Erbsenschalen zu einem signifikanten Anstieg des Genus *Faecalibacterium*, während *Streptococcus* signifikant verringerte Abundanzen in denselben Versuchsgruppen sowie bei Einsatz von Erbsenkonzentrat zeigte. Andererseits gab es mit *Lachnospira* ein subdominantes Genus, der in den gemischten Diäten zum dominanten Genus aufstieg. Im Vergleich zu anderen Fütterungsgruppen waren numerische Unterschiede insbesondere in der Versuchsgruppe mit Erbsen auffällig. Hier war bei Verringerung von *Lactobacillus* ein Anstieg von *Streptococcus* und *Prevotella\_7* zu beobachten.

Um die Auswirkungen der verschiedenen fermentierbaren Faserarten auf die fäkale Mikrobiota zu untersuchen, wurde eine Hauptkomponentenanalyse für die Versuchsgruppen ohne gemischte Diäten durchgeführt (Abb. 4). Die dargestellten Ellipsen stellen den Wahrscheinlichkeitsbereich (95%) dar, dass weitere Proben in diese Bereiche fallen. Eine deutliche Trennung der Versuchsgruppen wurde nicht gefunden, aber Erbsenkonzentrat und Erbsenschale wiesen deutlich engere Cluster auf als Kontroll- und Erbsengruppe.

Abschließend wurde eine Spearman-Korrelationsanalyse durchgeführt als Versuch, die Beziehungen der Mikrobiota zu fermentierbaren Futterkomponenten zur Mikrobiota herzustellen (Tabelle 15). Es fällt auf, dass der Getreideanteil mehr signifikante Korrelationen aufwies als die Erbsenprodukte. Hier zeigte sich, dass insbesondere Erbsenschalen positive Beziehungen mit Bakterien aufwiesen, die typischerweise Kohlenhydrate im Dickdarm fermentieren (*Prevotella*, *Lachnospiraceae*, Ruminokokken), während *Streptococcus* zu signifikant negativen Korrelationen bei Erbsenschalen und bei Erbsenkonzentrat führte.

**Tabelle 14: Einfluss von Erbsen und Erbsenprodukten auf die Abundanz dominanter Genera (> 1%) der fäkalen Mikrobiota in Ferkeln**

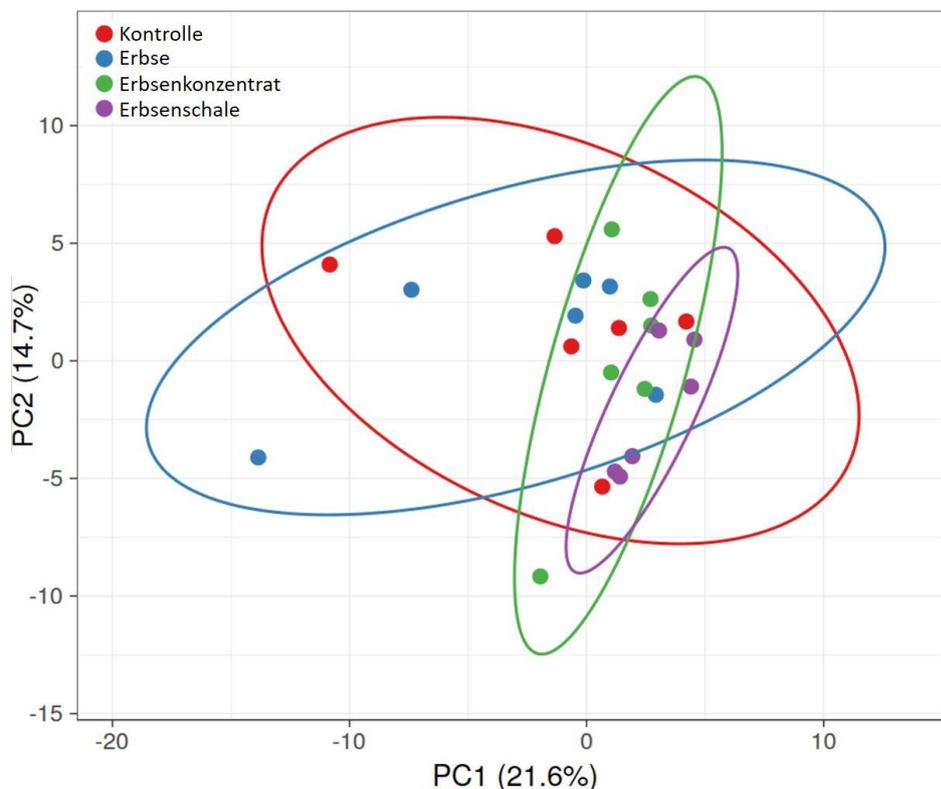
Genus	K (A)	E 20 (B)	EPK 6,5 (C)	ES 6 (D)	E 20 + ES 6 (E)	EPK 6,5 + ES 6 (F)	P- Wert <sup>1</sup>
Ökologische indices							
Richness	216	221	193	202	219	231	0,573
Shannon	4,440	4,355	4,240	4,420	4,545	4,500	0,465
Evenness	0,830	0,810	0,800	0,845	0,845	0,840	0,425
Genera							
Lactobacillus	11,294	8,836	12,744	13,269	3,881	7,773	0,675
Prevotella_9	10,363	9,628	9,984	12,094	13,073	14,770	0,338
Agathobacter	7,272	6,792	9,790	6,405	8,167	7,769	0,159
Clostridium_sensu_stricto_1	5,428	4,379	7,723	5,432	10,658	3,963	0,428
Prevotella_7	5,397	10,559	0,925	6,515	5,885	2,124	0,523
Blautia	4,868	4,450	5,068	5,537	6,521	5,418	0,521
Shuttleworthia	4,548	1,112	0,176	0,399	0,516	0,351	0,475
Streptococcus	4,382 <sup>b</sup>	6,858 <sup>b</sup>	1,178 <sup>a,b</sup>	0,642 <sup>a</sup>	1,793 <sup>a,b</sup>	0,387 <sup>a</sup>	<b>0,022</b>
<i>unknown Family Lachnospiraceae</i>	3,147	3,205	2,750	3,598	4,920	4,258	<b>0,068</b>
Megasphaera	2,836	2,069	1,395	1,090	0,776	1,204	0,507
Faecalibacterium	2,231 <sup>a,b</sup>	2,110 <sup>a</sup>	2,054 <sup>a</sup>	3,362 <sup>b</sup>	3,594 <sup>b</sup>	2,767 <sup>a,b</sup>	<b>0,042</b>
Subdoligranulum	2,178	1,644	2,392	1,817	2,671	3,005	0,453
<i>unknown Family Prevotellaceae</i>	1,863	1,406	1,646	2,831	2,553	3,253	0,125
Roseburia	1,760	1,316	0,840	1,897	1,614	2,191	0,87
Dialister	1,429	1,287	1,106	0,662	0,845	1,359	0,724
Terrisporobacter	1,415	1,923	1,082	1,522	2,590	1,597	0,352
Dorea	1,081	1,131	1,261	1,497	1,413	1,229	0,406
Weitere Genera							
Ruminococcaceae_UCG-008	0,432 <sup>b</sup>	0,450 <sup>b</sup>	0,265 <sup>a</sup>	0,503 <sup>b</sup>	0,615 <sup>b</sup>	0,235 <sup>a</sup>	<b>0,001</b>
<i>Coprococcus_2</i>	0,186	0,352	0,229	0,354	0,280	0,361	<b>0,08</b>
Lachnospira	0,148 <sup>a</sup>	0,439 <sup>b,c</sup>	0,111 <sup>a</sup>	0,777 <sup>a</sup>	1,156 <sup>c</sup>	1,164 <sup>c</sup>	<b>&lt;0,0001</b>
<i>Ruminococcaceae_UCG-010</i>	0,131	0,404	n.d.	0,064	0,045	0,025	<b>0,056</b>
Peptococcus	0,022 <sup>a</sup>	0,040 <sup>a,b</sup>	0,054 <sup>b</sup>	0,059 <sup>b</sup>	0,031 <sup>a</sup>	0,049 <sup>a,b</sup>	<b>0,047</b>

<sup>1</sup> = Kruskal-Wallis Test; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb der Versuchsgruppen (Mann-Whitney Test)

**Tabelle 15 : Signifikante Spearman Korrelationskoeffizienten der fäkalen Mikrobiota von Ferkeln zu Komponenten der Diät**

Item	Dominanz <sup>1</sup>	Gerste	Weizen	Erbsen	EPK	ES
Prevotella_9	10,36					0,364
Streptococcus	4,38				-0,470	-0,409
unknown Family Lachnospiraceae	3,15	-0,373	-0,347			0,439
Faecalibacterium	2,23	-0,382	-0,482			0,540
unknown Family Prevotellaceae	1,86					0,374
Terrisporobacter	1,41	-0,332				
Ruminococcus_1	0,69	-0,352				0,342
Marvinbryantia	0,53	-0,333				
Ruminococcaceae_UCG-014	0,50	-0,362				
Treponema_2	0,49		0,456			
Ruminococcaceae_UCG-008	0,43	-0,562	-0,523	0,482	-0,669	
unknown Family Veillonellaceae	0,29		0,383		0,374	
Selenomonas	0,28		0,433			
Lachnospiraceae_AC2044_group	0,26					
Coprococcus_2	0,19	-0,392	-0,405			
Intestinibacter	0,19	-0,363	-0,355	0,378		
Acidaminococcus	0,17	0,494	0,452	-0,393		0,366
Lachnospiraceae_NK4A136_group	0,17		-0,379			0,487
Lachnospira	0,15	-0,629	-0,660			0,765
Asteroleplasma	0,13				0,421	
Lachnospiraceae_FCS020_group	0,09		-0,368			

1 = Anteil der Abundanz in der Kontrolle



**Abbildung 4: Hauptkomponentenanalyse der fäkalen Mikrobiota von Ferkeln bei Fütterung von Erbsen und Erbsenprodukten (Ellipsen stellen den Wahrscheinlichkeitsbereich dar, mit der neue Proben in diesen Bereich fallen)**

## Diskussion

Die vorliegende Untersuchung analysierte den Einfluss verschiedener Erbsenprodukte auf die bakterielle Zusammensetzung im Kot von Ferkeln.

Insgesamt wurde die fäkale Mikrobiota durch die Erbsenprodukte nur geringfügig in ihrer Struktur verändert. Allerdings waren bakterielle Metabolite insbesondere in der Erbsengruppe als auch in den Mischdiäten signifikant erhöht, weshalb in diesen Fütterungsgruppen von einer erhöhten bakteriellen Aktivität ausgegangen werden kann. Auch für einige dominante Genera in der Erbsengruppe (*Lactobacillus*, *Prevotella\_9*, *Streptococcus*) konnten numerische bzw. signifikante Unterschiede zu den anderen Versuchsgruppen beobachtet werden. Die fermentierbaren Kohlenhydrate aus Erbsen in Verbindung mit anderen fermentierbaren Substraten aus Gerste und Weizen wirken also anders als Substrate aus Erbsenkonzentrat oder Erbsenschale. Diese Vermutung zeigt sich auch beim numerischen Vergleich zweier dominanter *Prevotella*: während *Prevotella\_9* steigende Abundanzen in Erbsenkonzentrat und Mischdiäten aufwies, wurde *Prevotella\_7* nur durch Erbsen stark gefördert. Insgesamt aber führte der Konsum von Erbsenprodukten zu einem Anstieg kohlenhydratfermentierender Bakterien, was sich bei Erbsen und den Mischdiäten am deutlichsten bei den Konzentrationen der flüchtigen Fettsäuren zeigte.

Erbsenkonzentrat und Erbsenschalen führten zu einer drastischen Verringerung des Genus *Streptococcus*. *Streptococcus* ist im Kot unerwünscht, da dieses Genus einige pathogene Arten enthält, die im Kot zur deren Verbreitung beitragen können. Offensichtlich führte nur die Aufnahme von Erbsenschalen bzw. Erbsenkonzentrat zu einer bakteriellen Zusammensetzung und Aktivität, welches letztendlich zur Inhibition von *Streptococcus* führte. Dies zeigte sich auch an den negativen Korrelationen dieses Genus zu Erbsenschalen und Erbsenkonzentrat.

Aufgrund der individuellen Variation der bakteriellen Zusammensetzung in den Tieren wurden in dieser Studie nur wenige gesicherte Erkenntnisse erhalten, die aber zusammen mit numerischen Unterschieden alle in dieselbe Richtung zielen: der Einsatz von Erbsenprodukten erhöht die Aktivität und Abundanz kohlenhydratfermentierender Bakterien. Dies kann sich insofern positiv auf die Tier- und Stallgesundheit auswirken, als dass unerwünschte Bakterien, wie z.B. *Streptococcus*, unterdrückt werden.

## 7 Ergebnisse und Diskussion der bakteriellen Metaboliten (fäkale kurzkettige Fettsäuren)

### Ergebnisse

Die Trockensubstanzgehalte der Kotproben unterschieden sich zwischen den verschiedenen Fütterungsperioden nicht signifikant. Auch der pH-Wert wies mit einem Bereich von 5,8-6,1 sehr konstante Messwerte auf ( $p = 0,629$ ). Die Konzentrationen von Essigsäure waren bei Verwendung von Erbsen und Erbsenschalen sowie bei Beimengungen von Erbsen am höchsten, zeigten allerdings auch innerhalb und zwischen den Diätgruppen relativ hohe Schwankungen ( $p=0,050$ ). Bei der Propionsäure waren genauso wie bei der i-Buttersäure und der i-Valeriansäure keine Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen festzustellen. Signifikante Unterschiede waren bei der n-Buttersäure festzustellen, welche die

höchsten fäkalen Konzentrationen bei Einsatz der Kombination von Erbsenproteinkonzentrat und Erbsenschalen, zeigte. Auch bei Verwendung von Erbsen und Erbsenschalen zeigten sich höhere Konzentrationen von n-Buttersäure, allerdings waren diese im Vergleich zu den anderen Fütterungsgruppen nicht abzusichern. Die n-Valeriansäure war mit 8,2 mmol/l in der Erbsengruppe am höchsten und in der Erbsenschalengruppe am niedrigsten ( $p=0,03$ ) signifikant. Auch die Gesamtkonzentrationen kurzkettiger Fettsäuren lagen in einem vergleichbaren Rahmen, Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen waren nur tendenziell ausgeprägt.

	Var					
	K (A)	E 20 (B)	EPK 6,5 (C)	ES 6 (D)	E 20 + ES 6 (E)	EPK 6,5 + ES 6 (F)
	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
TS	307	298	313	299	294	311
pH	6,03	5,83	5,97	6,13	6,00	5,84
Essigsäure	76,70	95,68	71,90	79,79	100,85	85,12
Propionsäure	37,71	47,98	34,91	33,49	40,10	41,79
i-Buttersäure	3,49	3,99	2,67	2,18	3,04	2,38
n-Buttersäure	22,90	24,69	23,06	21,72	27,54	31,66
i-Valeriansäure	4,48	5,01	3,21	2,65	3,55	2,87
n-Valeriansäure	7,25	8,22	6,11	4,57	5,81	7,06
gesamt SCFA	152,52	185,56	141,87	144,39	180,89	170,87

## Diskussion

Insgesamt gesehen zeigen die Ergebnisse sehr moderate Verschiebungen der fäkalen kurzkettigen Fettsäuren. Interessant erscheint die Zunahme der n-Buttersäure bei der Kombination von Erbsenproteinkonzentrat. N-Buttersäure wird vielfach mit positiven Effekten im Darm in Verbindung gebracht. Die Kombination von Erbsenproteinkonzentrat und Erbsenschalen sollte unter diesem Aspekt weiter untersucht werden.

## 6 Fazit

Der Einsatz von verschiedenen Teilen der Erbsen hatte in diesem Versuch in den eingesetzten Mengen keinen Einfluss auf die biologischen Leistungen der Ferkel. D.h. auch die Verdopplung des Rohfaseranteils im Aufzuchtfutter 2 wirkte sich nicht leistungsmindernd aus. Der Grund dafür könnte die höhere Fermentation durch eine höher Aktivität und Abundanz von kohlenhydratfermentierender Bakterien in diesen Gruppen sein.



Herausgeber:

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

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de