

**Universität  
Rostock**



Traditio et Innovatio

Aus der Professur für Ernährungsphysiologie und Tierernährung  
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**OPTIMIERUNG VON STICKSTOFFREDUZIERTEN  
FÜTTERUNGSSTRATEGIEN  
IN DER BROILERMAST**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae (Dr. agr.))

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

vorgelegt von M. Sc. Kilian Fenske,  
aus Bissendorf

Rostock, April 2023

[https://doi.org/10.18453/rosdok\\_id00004472](https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004472)

**Gutachter:**

Prof. Dr. Helen Louton, Universität Rostock, AUF, Ernährungsphysiologie und Tierernährung

Prof. Dr. Heiner Westendarp, Hochschule Osnabrück, Tierernährung

Prof. Dr. Jürgen Zentek, Freie Universität Berlin, FB Veterinärmedizin, Institut für Tierernährung

**Jahr der Einreichung:** 2023

**Jahr der Verteidigung:** 2023

**Meiner jungen Familie.**

## Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis .....	III
II.	Tabellenverzeichnis.....	IV
III.	Abkürzungsverzeichnis .....	VII
<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Stand des Wissens .....</b>	<b>4</b>
2.1	Ernährungsphysiologische Grundlagen: Aminosäuren und Proteine... 4	
2.1.1	Struktur und Eigenschaften der Aminosäuren und Proteine .....	4
2.1.2	N-Ausscheidung und Harnsäurezyklus .....	7
2.1.3	NPN-Verbindungen.....	8
2.2	Protein- / AS-Bedarf des Broilers .....	9
2.3	Proteinabsenkung in Broilerrationen.....	11
2.4	Gesetzliche Rahmenbedingungen zur Notwendigkeit der Protein-/ N-Absenkung in Broilerrationen.....	13
2.5	Bisherige Untersuchungen zur Proteinabsenkung bei Ausgleich des Idealproteins im Broilerfutter .....	13
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>17</b>
3.1	Tiere und Haltung.....	17
3.2	Rationsoptimierung und Futtermittelanalytik .....	19
3.3	Datenerfassung .....	33
3.4	Ganzkörperanalyse .....	38
3.5	Statistische Analyse.....	40
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>41</b>
4.1	Futtermittelanalytik .....	41
4.2	Leistungsparameter .....	41
4.3	Trockensubstanz der Einstreu .....	47
4.4	Fußballengesundheit.....	49
4.5	Umwelt-/N-Bilanz.....	52
4.6	Einstreumenge und -qualität.....	53
4.7	Ganzkörperanalyse .....	55
4.8	Schlachtkörperbewertung.....	57
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>58</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>85</b>

7.	<b>Summary .....</b>	<b>88</b>
8.	<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>91</b>
9.	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>92</b>

## I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Varianteneinteilung der 10 Ställe auf dem landwirtschaftlichen Praxisbetrieb in Studie 1, 2 und 3 (K= Kontrolle/Standardfütterung; V= Versuch/ N-reduzierte Fütterung) .....	17
Abbildung 2: Probenahmeschema für die Auswahl der Einzeltiere und TS-Proben an den Wiegetagen sowie der Einstreuproben an Versuchstag 38 in den Studien 1-3 (verändert nach TASISTRO et al. 2004 a,b und TOPPEL et al. 2018).....	37

## II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gruppierung der Aminosäuren nach ihrer Essenzialität für Geflügel (verändert nach SIMON und ZENTEK 2019) .....	5
Tabelle 2: Auswahl und Ergebnisse bisheriger Untersuchungen zur Stickstoff-reduzierten Broilerfütterung .....	14
Tabelle 3: Legewoche der Elterntierherden und durchschnittliches Einstallgewicht (n=50 Küken pro Stall) in Studie 1.....	18
Tabelle 4: Übersicht zur Anzahl der Tiere, Wiederholungen, Art der Fütterung und Höhe der XP-Absenkung in den vier vorliegenden Studien .....	21
Tabelle 5: Experimentelles Design der kalkulierten Proteingehalte der 4 Futterphasen und der gewichtete Mittelwert der Varianten in Studie 1 .....	22
Tabelle 6: Verschneidung von Finisher 1 und Finisher 2 in der N- reduzierten Variante in Studie 3 .....	23
Tabelle 7: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analysierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 1 (N=10 Ställe à 42.000 Broiler) .....	25
Tabelle 8: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analysierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 2 (N=9 Ställe à 42.000 Broiler) .....	27
Tabelle 9: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analysierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 3 (N=10 Ställe à 41.000 Broiler) .....	29
Tabelle 10: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analysierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 4 (N=10 Boxen à 250 Broiler) .....	31
Tabelle 11: Terminraster für die Datenerfassung in den Studien 1-3 (abweichendes Schema in Studie 2).....	34
Tabelle 12: Beurteilungsschema des Fußballens verändert nach HOCKING et al. (2008) und am Schlachthof in Studie 1-3 mittels Kameraklassifizierung.....	35

Tabelle 13: Leistungsparameter von 420.000 Broilern (as hatched) mit praxisüblichem Standardfutter (210.000 Tiere, n=5) und N-reduzierter Fütterung (210.000 Tiere, n=5) über die gesamte Mast in Studie 1 .....	42
Tabelle 14: Entwicklung der Lebendgewichte (g) der Broiler bei Angebot eines Standard- bzw. proteinreduzierten Alleinfutters in Studie 1 .....	43
Tabelle 15: Leistungsparameter von 378.000 Broilern (as hatched) mit praxisüblichem Standardfutter (168.000 Tiere, n=4) und N-reduzierter Fütterung (210.000 Tiere, n=5) über die gesamte Mast in Studie 2 .....	43
Tabelle 16: Leistungsparameter von 420.000 Broilern (as hatched) mit praxisüblichem Standardfutter (205.000 Tiere, n=5) und N-reduzierter Fütterung (205.000 Tiere, n=5) über die gesamte Mast in Studie 3 .....	44
Tabelle 17: Leistungsparameter der Broiler (50 % ♂/ 50 % ♀) mit Standardfütterung (n=1250; 5 Boxen à 250 Tiere) und N-reduzierter Fütterung (n=1250; 5 Boxen à 250 Tiere) über die gesamte Mast (Studie 4) .....	45
Tabelle 18: Ergebnisse der mittleren TS-Gehalte der Einstreu der Kontroll- und Versuchsvariante an den Versuchstagen 0, 10, 22, 28, 38 in Studie 1 .....	47
Tabelle 19: Ergebnisse der mittleren TS-Gehalten der Einstreu der Kontroll- und Versuchsvariante an den Versuchstagen 0, 10, 38 in Studie 2 .....	48
Tabelle 20: Ergebnisse der mittleren TS-Gehalten der Einstreu der Kontroll- und Versuchsvariante an den Versuchstagen 10, 22, 28, 38 in Studie 3 .....	48
Tabelle 21: Prozentuale Verteilung der Boniturnoten der manuellen Fußballenbonitur im Stall an den Tagen der Datenerfassung pro Variante im Praxisversuch (Studie 1) .....	49



Tabelle 22: Prozentuale Verteilung der Boniturnoten der manuellen Fußballenbonitur im Stall an den Tagen der Datenerfassung pro Variante im Praxisversuch (Studie 2) .....	50
Tabelle 23: Prozentuale Verteilung der Boniturnoten der manuellen Fußballenbonitur im Stall an den Tagen der Datenerfassung pro Variante im Praxisversuch (Studie 3) .....	50
Tabelle 24: Prozentuale Verteilung der mittleren Boniturnoten der Fußballen am Schlachthof aller 3 Schlachtungen pro Variante in den Praxisversuchen (Studie 1-3) .....	51
Tabelle 25: Mittlere N-Gehalte der Originalsubstanz und der Trockensubstanz der verschiedenen Zonen im Stall an VT 38 (Mittelwert, n = 5 pro Variante, Studie 1).....	53
Tabelle 26: Mistmenge und mittlere Mistqualität im Haus Düsse- Versuch pro Variante (Studie 4).....	54
Tabelle 27: Varianzanalytische Auswertung der Parameter der Ganzkörperanalyse in Studie 2 in Abhängigkeit der Variante .....	55
Tabelle 28: Varianzanalytische Auswertung der Parameter der Ganzkörperanalyse in Studie 2 in Abhängigkeit des Geschlechts .....	56
Tabelle 29: Schlachtparameter und Teilstückzerlegung in Studie 4 auf Haus Düsse .....	57

### III. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Definition
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d	Tag/Tage
DG	Durchgang
EI	European efficiency index
EG	Europäische Gemeinschaft
FA	Futteraufnahme
GKA	Ganzkörperanalyse
h	Stunde
k.A.	keine Angabe
kcal	Kilokalorie
kg	Kilogramm
LG	Lebendgewicht
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
n	Anzahl
PW	Produktionswoche
SD	Standardabweichung (standard deviation)
SEM	Standardfehler (standard error of means)
SID	standardized ileal digestibility
TGZ	Tageszunahme
TierSchNutzV	Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung
u.a.	unter Anderem
usw.	und so weiter
VG	Vorgriff
vs.	versus
XP	Rohprotein
°C	Grad Celsius
♂	Männlich/ Hahn
♀	Weiblich/ Henne

## 1. Einleitung

Um die gesetzten Klimaziele zu erreichen, gilt es nicht nur in der Industrie, sondern auch in der Tierhaltung die entsprechenden Emissionen zu senken. Insbesondere die Ammoniakemissionen und die hohen Stickstoff (N)-Salden im Ackerbau in tierintensiven Regionen können durch die Fütterung reduziert werden. Die Reduktion der N-Ausscheidungen durch einen reduzierten Proteingehalt im Futter wird von SANTONJA et al. (2017) auf EU-Ebene empfohlen. Die Politik setzt dabei immer wieder neue Maßstäbe für die Futtermittelbranche und tierhaltenden Betriebe, um diese ehrgeizigen Ziele der nationalen Verordnungen möglichst schnell zu erreichen. Dabei sind in Deutschland die Verordnungen überarbeitet und neu erlassen worden, um hier Einfluss auf die Stickstoffemissionen aus der Agrarwirtschaft zu nehmen (BMUV 2021, DüVO 2020 und StoffBilV 2017). Die Obergrenze von 170 kg N/ha aus organischer Herkunft bleibt bestehen und wird durch strengere Vorschriften bei der Düngebedarfsermittlung, der Ausbringung und der Dokumentation weiter verschärft. Hinzu kommt eine Reduktion der N-Düngung in nitratbelasteten Gebieten von 20 % in Bezug zur Düngebedarfsermittlung (DüVO 2020). Das N-Saldo der letzten 3 Bezugsjahre darf pro ha 175 kg im Mittel nicht überschreiten oder der zulässige dreijährige betriebsindividuelle Bilanzwert darf um nicht mehr als 10% überschritten werden (StoffBilV 2017). Auf europäischer Ebene ist die EU-NEC-Richtlinie 2016/2284 (National-Emission-Ceilings-Richtlinie) relevant, welche für Deutschland bis 2030 Ammoniakreduktionen von 29 % im Vergleich zum Referenzjahr 2005 vorschreibt (EU-Richtlinie 2016/2284 (2016)).

Die Analysen von EMTHAUS et al. (2021) zeigen, dass sowohl die nationalen als auch die internationalen Ziele (29% Ammoniakreduktion) zur N-Einsparung kurz- bis mittelfristig erreicht werden. Obwohl der Broiler Stickstoff im Vergleich zu anderen Tierarten bereits besonders effizient verwertet (FRY et al. 2018), ist das Einsparpotential immer noch größer als beispielsweise beim Schwein. EMTHAUS et al. (2021) kalkulieren für die deutsche Broilerfutterbranche ein größeres N-Einsparpotential bis 2030 (42 % im Vergleich zum Referenzjahr 2005) als beim Schwein (32 % im Vergleich zum Referenzjahr 2005). Jedoch haben Broiler keinen Bedarf an N, sondern an Aminosäuren (AS), welche ca. 90 % des Stickstoffs im Futter ausmachen (BELLOIR et al. 2018). Im Idealfall liegen die AS im Futter in einem

für die Tierart und dem Tialter optimalem Profil vor. Bei einer N-Absenkung im Futter und der Supplementierung von AS, nähern sich immer mehr AS dem Idealprotein an und werden gleichzeitig leistungsbestimmend, während relative Überschüsse reduziert werden (PINCHASOV et al. 1990, SIMON und ZENTEK 2019). Unerwartete Ereignisse wie beispielsweise eine Infektion können den Bedarf einzelner oder mehrerer AS verändern und bedingt durch eine marginale Versorgungslage zum Leistungsabfall führen (ALAGAWANY et al. 2020, JEROCH 2019b). Wenn sich also der Proteingehalt in der Ration nahe am physiologischen Optimum des Broilers befindet, müssen alle anderen Produktionsfaktoren optimiert sein, um die exakte Bereitstellung der Nährstoffe zu gewährleisten. Wichtige Rahmenbedingungen bei der Futterproduktion umfassen beispielsweise die Mischgenauigkeit im Futtermittelwerk, die korrekte Qualitätseinschätzung der jeweiligen Komponentenchargen und die Prüfung einer möglichen Entmischung während des Transports, in den Futtersilos oder in der Futterschnecke im Stall.

Viele wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass eine deutliche Absenkung der Proteingehalte im Broilerfutter ohne einhergehende Minderleistungen sehr gut möglich ist. Hierzu werden jedoch häufig kleine Gruppen von beispielsweise 42 (CHRYSTAL et al. 2020b) bis 288 Tieren (BELLOIR et al. 2018) pro Variante untersucht. Dabei ist nicht sichergestellt, dass die Ergebnisse aus Prüfungen in einer wissenschaftlichen Einrichtung auch auf einen landwirtschaftlichen Betrieb in einer Feldstudie mit praxisnahen Produktionsbedingungen übertragbar sind – ein Grund für die verhaltene Übernahme der wissenschaftlichen Kenntnisse in Praxisbetrieben.

Um die Auswirkungen von praxisüblichem Alleinfutter mit und ohne N-Reduktion auf die Leistung, Gesundheit und Nährstoffverwertung zu ermitteln wurden drei Teilstudien in der Praxis in einem großen Broilermastbetrieb in Norddeutschland (N=10 Ställe à 42.000 Broiler). Eine Teilstudie wurde im Stall von Haus Düsse (N=10 Boxen à 250 Broiler), der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, durchgeführt. Basis aller Untersuchungen war eine optimierte Rationsgestaltung mit Fokus auf dem aktuellen Stand der Balancierung verdaulicher AS (CHRYSTAL et al. 2020a, EVONIK INDUSTRIES—NUTRITION&CARE

GMBH 2014). Die vier Teilstudien bauten aufeinander auf, indem eine stetig stärkere Proteinabsenkung im Vergleich zur Kontrollvariante getestet werden sollte. Der gewichtete Mittelwert (gMW) des Rohprotein (XP)-gehalts im Futter der Kontrollvariante sollte praxisüblich bei 19,9 % XP liegen.

Das Ziel der ersten drei Studien in der Praxis war es, abgesicherte Effekte (geringere N-Ausscheidung bei gleicher Leistung, gesündere Fußballen, geringerer Wasserbedarf, etc.) einer N-Absenkung bei Stationsprüfungen auch in der Praxis zu belegen. Die N-Absenkungen sollten in Studie 1 moderat gewählt und von Projekt zu Projekt verschärft werden, um das wirtschaftliche Risiko des landwirtschaftlichen Betriebs gering zu halten. Dabei wurde in den drei Praxisuntersuchungen im gewichteten Mittelwert der Futterphasen im Vergleich zur Kontrollgruppe eine N-Absenkung von -0,5 % XP in Studie 1, -0,7 % XP in Studie 2 und -1,1 % XP in Studie 3 angestrebt. Um diese Absenkungen zu erreichen, sollte Sojaextraktionsschrot gegen Weizen ausgetauscht und vermehrt Aminosäuren zugesetzt werden. Außerdem sollte in Studie 2 eine zusätzliche Futterphase in der Endmast und in Studie 3 eine Multiphasenfütterung in der Endmast die Proteinabsenkungen realisieren und beide Konzepte auf Praxistauglichkeit geprüft werden. In Studie 4 sollte mit einer sehr scharfen N-Reduktion (-1,5 % XP im gMW) in der Großgruppenhaltung auf Haus Düsse die Grenze der N-Absenkung bei gleichbleibenden Mast- und Schlachtleistungen weiter erforscht werden, um wissenschaftliche Erkenntnisse zu generieren. Diese Ergebnisse könnten die Grundlage für zukünftige Gesetzgebungen bilden.

## **2. Stand des Wissens**

### **2.1 Ernährungsphysiologische Grundlagen: Aminosäuren und Proteine**

Die ernährungsphysiologischen Grundlagen der Proteine und ihrer Bausteine, den Aminosäuren (AS), sind essentiell für das Verständnis der Futteroptimierung bei N-reduzierten Broilerrationen und der Interpretation der vorliegenden Studienergebnisse.

#### **2.1.1 Struktur und Eigenschaften der Aminosäuren und Proteine**

Die Grundbausteine der Proteine sind Aminosäuren, zu deren Hauptbestandteilen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und kleinere Anteile Schwefel gehören (LOEFFLER und GÄBEL 2013). Für den lebenden Organismus sind Proteine aufgrund der vielfältigen Strukturen und Funktionen von großer Bedeutung. Proteine wirken in Form von Enzymen, Struktur-, Transport-, Abwehr-, Motor-, Nährstoff- und Speicherproteinen (STANGL 2014). Eine Aminosäure ist grundlegend aufgebaut aus mindestens einer Carboxylgruppe (-COOH) und mindestens einer Aminogruppe (-NH<sub>2</sub>) als funktionelle Gruppe (KAMPHUES et al. 2014). Die meisten Aminosäuren sind  $\alpha$ -Aminosäuren, da die Aminogruppe am ersten C-Atom nach der Carboxylgruppe gebunden ist. Weiterhin lassen sich die Aminosäuren in L- oder D-AS einteilen, je nachdem ob die Aminogruppe links oder rechts der Kohlenstoffkette gelegen ist. Eine Ausnahme bildet Glycin, weil die AS Glycin lediglich 2 C-Atome besitzt und somit keine asymmetrische Lage der Aminogruppe entsteht. Tierische Organismen können lediglich L-Formen direkt im Stoffwechsel verwenden. R-Formen müssen vom Organismus erst in L-Formen umgebaut werden. Daher ist bei der Verwertungsrate von synthetischen DL-AS mit leichten Verlusten zu rechnen (FARKE 2011, SIMON und ZENTEK 2019).

Die Zusammensetzung und Abfolge mehrerer Aminosäuren in einer Kette, die mithilfe von Peptidbindungen zusammengehalten werden, bildet die Primärstruktur von Proteinen (SIMON 2008). Durch chemische Verbindungen wie z.B. Wasserstoffbrückenbindungen entstehen bestimmte Faltungen der Proteine und bilden die räumliche Struktur, die sogenannte Sekundär- und Tertiärstruktur (SIMON und ZENTEK 2019 und STANGL 2014). Die Art und Reihenfolge der AS und die

räumliche Anordnung in einer AS-Kette bzw. die Anordnung der AS-Ketten untereinander entscheiden über die Eigenschaften der Proteine. Diese funktionelle Ausprägung nennt man auch Quartärstruktur. Die räumliche Struktur der Proteine ermöglicht es ihnen, neben der Bildung von Fleisch, auch beispielsweise enzymatische Reaktionen zu katalysieren, Zellmembranen aufzubauen oder Substrate zu binden. Daher gibt es eine Reihe von Verbindungen zwischen Proteinen und Fetten sowie Proteinen und Kohlenhydraten. Mit dieser vielschichtigen Bauart können die Proteine ihre mannigfaltigen Funktionen im Organismus ausüben (SIMON und ZENTEK 2019).

An der Proteinsynthese sind insgesamt 20 Aminosäuren beteiligt, ebenso beim Broiler. Diese Aminosäuren werden daher proteinogene AS genannt. Jedoch ist der Broiler als Monogastrier nicht in der Lage alle 20 proteinogenen AS selbst zu synthetisieren. Daher ist die bedeutsamste Einteilung der AS die der Synthetisierbarkeit (SIMON und ZENTEK 2019). Die Einteilung erfolgt in essenzielle, semiesenzielle und nicht essenzielle Aminosäuren (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Gruppierung der Aminosäuren nach ihrer Essenzialität für Geflügel (verändert nach SIMON und ZENTEK 2019)**

Essenzielle AS	Semiessenzielle AS	Nichtessenzielle AS
Arginin (Arg)	Cystein (Cys)	Alanin (Ala)
Histidin (His)	Glycin (Gly)	Asparagin (Asn)
Isoleucin (Ile)	Tyrosin (Tyr)	Asparaginsäure (Asp)
Leucin (Leu)		Glutamin (Gln)
Lysin (Lys)		Glutaminsäure (Glu)
Methionin (Met)		Prolin (Pro)
Phenylalanin (Phe)		Serin (Ser)
Threonin (Thr)		
Tryptophan (Trp)		
Valin (Val)		

AS=Aminosäuren

Essenzielle Aminosäuren können von Monogastriern nicht im eigenen Organismus für die Proteinsynthese hergestellt werden. Also müssen die essenziellen AS in aus-

reichender Menge und in einem bestimmten Verhältnis über das Futter aufgenommen werden. Weil Geflügel keinen Harnstoffzyklus hat und bestimmte Enzyme fehlen, ist Arginin anders als bei Säugetieren ebenfalls eine essenzielle Aminosäure. Die Essenzialität der AS liegt an der Unfähigkeit des Organismus Kohlenstoff-Skelette zu synthetisieren. Sind diese jedoch durch eine ausreichende Futtermittelaufnahme (FA) im Stoffwechsel vorhanden, ist der Organismus in der Lage die essenziellen AS aus ihren Vorstufen den  $\alpha$ -Hydroxysäuren zu bilden. In der Fütterungspraxis findet man daher auch den Einsatz von Methioninhydroxyanalog. Für Lysin und Threonin ist dieses Vorgehen nicht geeignet, da sie nicht am Stoffwechselweg der Transaminierung teilnehmen (SELLE et al. 2020, SIMON und ZENTEK 2019).

Dagegen können die nichtessenziellen Aminosäuren im Stoffwechsel synthetisiert werden (SIMON und ZENTEK 2019 und STANGL 2014). Semiessenzielle Aminosäuren sind nicht eindeutig einer der beiden Gruppen zuzuordnen, da sie nur in bestimmten Phasen, z. B. während des Wachstums aufgrund einer verminderten Eigensynthese, über das Futter aufgenommen werden müssen (STANGL 2014). Der Körper kann sie also grundsätzlich selbst synthetisieren, jedoch reicht die Produktionskapazität nicht aus oder essenzielle Aminosäuren sind als Vorstufe erforderlich und limitieren sich damit gegenseitig. Die schwefelhaltige AS Methionin dient als Vorstufe für die semiessenzielle AS Cystein, welche ebenfalls schwefelhaltig ist. Cystein kann jedoch nicht wieder in Methionin umgewandelt werden (JANKOWSKI et al. 2014). Für die semiessenzielle AS Tyrosin dient die essenzielle AS Phenylalanin als Vorstufe. Die AS mit dem einfachsten Bauplan, Glycin, hat beim Geflügel eine besondere Funktion. Glycin wird für die Synthese von Harnsäure benötigt, wenn überschüssiges Protein ausgeschieden werden muss und rückt dann in den essenziellen Bereich. Darauf folgt wiederum ein erhöhter Bedarf der nicht essenziellen AS Serin, weil diese für die Glycinsynthese erforderlich ist (SIMON und ZENTEK 2019).



### **2.1.2 N-Ausscheidung und Harnsäurezyklus**

Freie Aminosäuren im Organismus werden nicht gespeichert. Entweder sind alle benötigten AS im passenden Verhältnis für die Proteinbiosynthese vorhanden oder die übrigen AS werden ungenutzt ausgeschieden. Daher ist der Broiler ständig auf die Zufuhr essentieller Aminosäuren angewiesen und die Proteinquellen im Futter müssen auf das vorhandene Enzymsystem angepasst werden (SIMON und ZENTEK 2019). Damit setzt auch die Bildung des Muskelproteins bei Broilern das Vorhandensein aller essenziellen Aminosäuren in ihren erforderlichen Bedarfsmengen im Futter voraus. Das Fehlen einer essenziellen Aminosäure im Nahrungsprotein würde die Synthese des Zielproteins (Muskelprotein) stoppen und zugleich die Nutzung der anderen zur Verfügung stehenden Aminosäuren verhindern (ALAGAWANY et al. 2020, BELLOIR et al. 2017, HÄFFNER et al. 1998, STANGL 2014). Somit wird die Effizienz der Proteinsynthese maßgeblich vom Profil der Aminosäuren im Futterprotein bestimmt. Je mehr das AS-Muster im Futterprotein dem des Zielproteins Muskelprotein ähnelt, desto effizienter ist die Muskelproteinsynthese, da weniger Verluste für den Umbau von AS anfallen (SIMON und ZENTEK 2019). Dies erfordert jedoch explizite Kenntnisse über den je nach Tierart, Nutzungsrichtung und physiologischem Stadium unterschiedlich hohen Bedarf an Aminosäuren (RODEHUTSCORD 2012).

Nicht rezyklierte Aminosäuren werden in der Leber und in den Nieren abgebaut. Eine Ausnahme bilden Leucin, Isoleucin und Valin, welche in der Muskulatur abgebaut werden. Das entstehende Ammoniak muss entgiftet werden. Im Gegensatz zum Säugetier fehlt dem Geflügel das Enzym Carbamoylphosphatsynthetase, so dass Ammoniak nicht über die Bildung von Harnstoff ausgeschieden werden kann. Die Ausscheidung von überschüssigem Stickstoff findet daher beim Geflügel zu mehr als 80 % in Form von Harnsäure statt (SIMON und ZENTEK 2019).

### **2.1.3 NPN-Verbindungen**

Der Proteingehalt wird in der Futtermittelanalytik indirekt über den leichter zu analysierenden Proteinbaustein Stickstoff bestimmt. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt in Proteinen beträgt ca. 16 %. Daher wird der analysierte N-Gehalt mit 6,25 multipliziert, um den Proteingehalt zu errechnen (SIMON und ZENTEK 2019). Dieser Rohproteingehalt besteht aus dem sogenannten „Reinprotein“ und Nicht-Protein-Stickstoff (NPN)-Verbindungen. Diese NPN-Verbindungen enthalten zwar Stickstoff, gehören jedoch nicht zur Gruppe der Proteine. Beispielhafte NPN-Verbindungen sind Glutamin, Asparagin, Harnstoff, Harnsäure, Cholin, Vitamine und Betain. Der prozentuale Anteil der NPN-Verbindungen kann je nach Futtermittelkomponente sehr unterschiedlich ausfallen (LEMME et al. 2017, SIMON und ZENTEK 2019). Die NPN-Verbindungen haben auch bei Proteinmangel keine nennenswerte Bedeutung als Stickstoffquelle. Zudem haben die NPN-Verbindungen auch keinen quantitativen Anteil bei der mikrobiellen AS- und Proteinsynthese im Verdauungstrakt beim Geflügel und werden ungenutzt ausgeschieden (BELLOIR et al. 2018, HOFMANN et al. 2020, SIMON und ZENTEK 2019). Der N-Anteil der dem verdaulichen AS-N zugeordnet werden kann, liegt laut LEMME et al. (2017) bei ca. 80 % der Ration. Die weiteren N-Verbindungen in Form von NPN werden absorbiert aber nicht gänzlich im Stoffwechsel verwertet. 20 % der NPN-Verbindungen werden in Nukleinsäuren eingebunden und sind damit der Stoffgruppe der Kohlenhydrate zuzuordnen. Andere NPN-Verbindungen wie beispielsweise Vitamine, Cholin und Betain werden kurzzeitig eingelagert und im Stoffwechsel verwendet, aber nicht im Körper angesetzt (LEMME et al. 2017). Damit ist der Anteil des potentiell verfügbaren Stickstoffs in der Ration deutlich geringer als der gesamte Stickstoffanteil. Während man in gut geführten Betrieben mit einer klassischen N-Verwertung von ca. 60 % rechnen kann, ist von einer potentiell verfügbaren N-Verwertung (PAN=potentially available N) von ca. 75 % auszugehen. Berücksichtigt man, dass 5 % des Stickstoffs als endogene Verluste bei der Verdauung verloren gehen, gibt es bis zu einer PAN-Verwertung von 100 % noch 20 % Verbesserungspotential. Das gesamte Verbesserungspotential von 20 % wird man nicht voll ausschöpfen können. Ein AS-Verbrauch durch AS-Umbauprozesse im Stoffwechsel wird man auch bei Rationen, die perfekt auf den AS-Bedarf optimiert sind, nicht vermeiden können. Somit wird auch im PAN-Konzept keine 100 % Ausschöpfung der N-Verwertung erreicht werden können (LEMME et al. 2017). Für

ungefähre Werte empfiehlt LEMME (2017) zur Berechnung der PAN-Verwertung eine Addition von 0,1 für die NPN-Verbindungen auf die klassische N-Verwertung. In dem Zusammenhang wird auch der Begriff „Trueprotein“ verwendet. In der Studie von CRYSTAL et al. (2019) liegt die Differenz von Rohprotein und „Trueprotein“ bei 9 %, was dem NPN-Anteil entspricht. Die Autoren weisen ebenfalls daraufhin, dass „Trueprotein“ die exaktere Einheit zur Bewertung der Proteinversorgung im Vergleich zum Rohprotein ist.

## **2.2 Protein- / AS-Bedarf des Broilers**

Broilerrationen werden schon seit Jahrzehnten nicht mehr auf Basis von Stickstoff (N) oder Rohprotein (XP) optimiert. Die aktuelle Proteinbewertung baut auf dem Wissen auf, dass der Broiler keinen Bedarf an Rohprotein, sondern einen AS-Bedarf hat. Die Bedarfsangabe in XP war sehr ungenau, weil der Anteil NPN am XP nicht immer gleich ist und NPN nahezu ungenutzt ausgeschieden wird. Zudem beträgt der Stickstoffanteil im Protein nicht immer exakt 16 % (ALHOTAN und PESTI 2016).

Die absorbierten AS werden aufgeteilt in Erhaltungs- und Leistungsstoffwechsel. Beim Erhaltungsstoffwechsel findet kein Eiweißansatz statt, jedoch werden AS für AS-Umbauprozesse verbraucht. Hinzu kommen endogene Verluste über den Verdauungstrakt und AS werden für die Bildung von anderen Metaboliten herangezogen (SIMON und ZENTEK 2019). Der AS-Bedarf im Leistungsstoffwechsel richtet sich beim Broiler nach dem Lebendmassezuwachs. Die Proteinqualität hängt dabei vom Gehalt der essenziellen AS und der AS-Verdaulichkeit ab. Man spricht vom sogenannten „Idealprotein“, wenn das Muster der essenziellen AS dem exakten Bedarf des Broilers in der Lebensphase entspricht. Durch N- oder XP-Absenkungen im Futter geraten einzelne AS-Gehalte unter den AS-Bedarf der Tiere (VAN HARN et al. 2019). Die erste essenzielle AS, die den Bedarf nicht decken kann, wird als limitierende AS bezeichnet und muss im Futter supplementiert werden, damit der Erhaltungs- und Leistungsbedarf weiterhin gedeckt ist. Somit nähern sich immer mehr einzelne AS diesem idealen Protein an und werden gleichzeitig leistungsbestimmend, während relative Überschüsse reduziert werden. Grundlage dafür ist eine exakte Kenntnis über die AS in der Futtermischung und eine genaue Bedarfsformulierung (JEROCH 2019b, PINCHASOV et al. 1990).

In der Broilermast sind in der Regel die schwefelhaltigen AS Methionin und Cystein die erstlimitierenden AS. Sie werden bei Bedarfsangaben häufig einzeln und gemeinsam genannt, weil Cystein aus Methionin synthetisiert wird. Darauf folgen die weiteren essenziellen AS Lysin, Threonin und Tryptophan (KIDD et al. 2000, SAUER et al. 2008, TOPRAK et al. 2021). Darüber hinaus sind für den Broiler mittlerweile Arginin, Isoleucin und Valin zugelassen. Um die Anforderungen des „Idealproteins“ zu erfüllen, hat sich in der Geflügelfütterung die Supplementierung freier kristalliner Aminosäuren bis zur 7. bzw. 8. limitierenden AS bewährt (CHRYSTAL et al. 2020a, SIMON und ZENTEK 2019, SELLE et al. 2021).

Aminosäurenimbalance entstehen, wenn das aufgenommene AS-Muster stark vom AS-Bedarfsmuster abweicht und Verzehr- bzw. Wachstumsdepressionen eintreten. Die Ursachen können Veränderungen im Futter, die Konkurrenz um AS-Transportsysteme oder AS-Stoffwechselprozesse sein. Wenn zwei AS um den gleichen Stoffwechselprozess konkurrieren spricht man von AS-Antagonismus. Die wichtigsten Beispiele dafür sind Leucin vs. Isoleucin/Valin, Lysin vs. Arginin und Serin vs. Threonin (SIMON und ZENTEK 2019).

Die Bedarfsangabe findet relativ zur Leitaminosäure Lysin statt und Lysin wird auf 100 Prozent gesetzt. Beim Broiler sollte folgendes AS-Muster vorliegen: Lys : Met : Met + Cys : Thr : Trp = 100 : 46 : 82 : 62 : 18. Da die AS unterschiedliche Verdaulichkeiten aufweisen, wird das Bedarfsmuster für Brutto-AS und für verdauliche AS angegeben. Die verdaulichen AS werden als SID (standardized ileal digestibility) - AS bezeichnet (SIMON und ZENTEK 2019). Für die wichtigsten Futtermittel liegen die SID-AS-Gehalte vor und die Versorgungsempfehlungen werden in dieser Einheit angegeben. Futtermittelrechtlich ist nur die Deklaration der Bruttoaminosäuren vorgeschrieben, da die genauen Verdaulichkeiten der einzelnen AS noch nicht für alle Futtermittel überprüft werden konnten (RICHARDT und BELLOF 2021). Der Einsatz von AS in der Fütterung ist in der Futtermittelzusatzstoffverordnung geregelt (Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 (2003)). AS zählen zu den ernährungsphysiologischen Zusatzstoffen (JEROCH 2019a).

Für Geflügel liegen in den vom Ausschuss für Bedarfsnormen der „Gesellschaft für Ernährungsphysiologie“ publizierten Nährstoffempfehlungen Bedarfswerte zur Versorgung mit Aminosäuren aus dem Jahr 1999 vor (GfE 1999).

JEROCH et al. (2011) machen in ihrer Zusammenfassung zu nationalen und internationalen Nährstoffempfehlungen für den Broiler ebenfalls deutlich, dass es keine aktuellen Bedarfsempfehlungen von offiziellen wissenschaftlichen Gremien gibt. So gibt auch die DLG (2021) keine konkreten aktuelleren AS-Bedarfsempfehlungen im Merkblatt für Masthühner Nr. 406 aus. Selbst aktuellste Lehrbücher (JEROCH 2019b) diskutieren die früheren GfE-Empfehlungen in Deutschland und sprechen der Evonik-Empfehlung (EVONIK INDUSTRIES—NUTRITION&CARE GMBH 2014) mehr Genauigkeit und Aktualität zu.

Der Nährstoffbedarf der Broiler verändert sich im Laufe der Mast, weshalb eine Anpassung der Nährstoffgehalte im Futter notwendig ist (GUTIERREZ et al. 2008, ROSTAGNO et al. 2007). Heutige Mastverfahren dauern ca. 29-42 Tage und gliedern sich in 3-4 Phasen (BELLOIR et al. 2017, DLG 2021, SCHULZE-GEISTHÖVEL et al. 2019). In einer sogenannten Multiphasenfütterung werden kontinuierlich verschiedene Futtersorten miteinander verschnitten, um noch näher am Bedarf der Tiere zu füttern (GUTIERREZ et al. 2008, TAHERI et al. 2020).

### **2.3 Proteinabsenkung in Broilerrationen**

Die Proteinabsenkung in Broilerrationen wurde in den letzten Jahrzehnten in Wissenschaft und Praxis immer weiterentwickelt (CHRYSTAL et al. 2021 und EMT-HAUS et al. 2021). Dadurch sind die lange Zeit üblichen Sicherheitszuschläge im Proteingehalt stark eingeschmolzen. JEROCH (2019b) gibt aktuell für Protein und AS Sicherheitszuschläge von 5-15 % über dem Bedarf an, weil der Bedarf unter Optimalbedingungen ermittelt wurde und nicht die Produktionsbedingungen in der Praxis berücksichtigt. Das Potential für Leistungsabfälle aufgrund von kleineren Fehlern entlang des gesamten Prozesses der Futtermittelherstellung bis in den Futtertrog ist dadurch größer geworden.

Hinzu kommt ein nicht planbarer Proteinbedarf für eine notwendige Immunantwort aufgrund einer Infektion (JEROCH 2019b). Der Bedarf einzelner oder mehrerer AS erhöht sich aufgrund der eingeleiteten Immunantwort und die defizitäre Versorgungslage kann potentiell zum Leistungsabfall führen (REMUS et al. 2014). In solchen Situationen kann eine Threoninzulage das Immunsystem entlasten und den Leistungsabfall verhindern (SIGOLO et al. 2017). Bei der weiteren Erforschung der

Proteinabsenkung in der Broilerfütterung wird Threonin eine zentrale Bedeutung zukommen. Beispielsweise haben CHRYSTAL et al. (2020a) durch einen um 5 % erhöhten Threoningehalt auch bei stärkerer XP-Absenkung die Leistungen halten können. Außerdem scheinen bei stärkeren XP-Absenkung und optimaler Supplementierung der ersten sieben bis acht essenziellen AS die ersten semi- und nichtessenziellen AS aufgrund des insgesamt niedrigen Proteingehalts die Leistungen zu limitieren (TOPRAK et al. 2021, VAN HARN et al. 2019).

Das Vorgehen der Absenkung des Proteingehaltes bei gleichzeitiger Ergänzung der limitierenden Aminosäuren ermöglicht ein gezieltes Schließen von Versorgungslücken im Nahrungsprotein und das Einsparen von Futtereisweiß. Darüber hinaus führt eine angepasste Nährstoffversorgung zu geringeren Stickstoffausscheidungen, die zu einer Entlastung der Umwelt beitragen (FERKET et al. 2002, NAHM 2007).

Die Ammoniakgehalte in der Stallluft und somit auch die Ammoniakausstöße aus den Ställen werden reduziert (JEROCH 2019a). In einer Metaanalyse von SAJEEV et al. (2018) ist der Zusammenhang der geringeren Ammoniakemission über ein N-reduziertes Futter für die Rinder- und Schweinehaltung ausführlich belegt. BRINK et al. (2021) und HERNANDEZ et al. (2013) konnten in ihren Studien in der Broilermast den gleichen Effekt feststellen. Durch eine XP-Reduzierung im Futter reduzierte sich die Ammoniakkonzentration in der Stallluft signifikant und damit auch die Ammoniakfrachten, welche den Stall gasförmig verlassen. BELLOIR et al. (2017) und LEMME et al. (2019b) haben die geringeren Ammoniakverluste über einen geringeren Ammoniumgehalt in der Einstreu nachgewiesen. SELLE et al. (2021) und BRINK et al. (2021) erbringen den Nachweis einer geringeren Ammoniakfreisetzung über einen geringeren Harnsäuregehalt im Mist. JEROCH und ZENTEK (2019) führen ebenfalls an, dass die Harnsäure für die Bildung flüchtiger N-Verbindungen verantwortlich ist. Harnsäure kann, ähnlich wie Ammonium bei der Stickstoffumsetzung zu gasförmigem Ammoniak werden (BAILEY et al. 2021).

In der aktualisierten Fassung der TA-Luft ist die XP-Absenkung im Futter ebenfalls ein favorisierter Weg. Zudem ist mindestens eine 3-phasige Mast vorgeschrieben. Neben den ernährungsphysiologischen Aspekten ist eine Zwangslüftung mit Abluftreinigung Pflicht um eine Minderungsrate von 70 % bei der Schadgasaustragung aus Broilermastställen zu erreichen (BMUV 2021).

## **2.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen zur Notwendigkeit der Protein-/N-Absenkung in Broilerrationen**

Deutschland muss bis 2030 seinen Ammoniakausstoß um 29 % im Vergleich zum Referenzjahr 2005 reduzieren. Das wird auf europäischer Ebene von der EU-NEC-Richtlinie 2016/2284 (National-Emission-Ceilings-Richtlinie) vorgeschrieben (EU-Richtlinie 2016/2284 (2016)). Dafür wird auf nationaler Ebene durch verschiedene neu erlassene Verordnungen (BMUV 2021, DüVO 2020 und StoffBilV 2017) der Druck erhöht, um Einfluss auf die Stickstoffemissionen aus der Agrarwirtschaft zu nehmen. Diese Verordnungen zielen auf den N-Eintrag pro Flächeneinheit ab und regeln innerbetriebliche Stickstoffströme.

Die in tierintensiven Regionen hohen Stickstoff (N)-Salden im Ackerbau und die aus Tierhaltung und Ackerbau resultierenden Ammoniakemissionen können durch die Fütterung reduziert werden. Die Reduktion der N-Ausscheidung durch einen reduzierten Proteingehalt im Futter wird von SANTONJA et al. (2017) auf EU-Ebene empfohlen und hat großes Potential.

## **2.5 Bisherige Untersuchungen zur Proteinabsenkung bei Ausgleich des Idealproteins im Broilerfutter**

Die Vergleichbarkeit bisheriger Studien untereinander ist teilweise nicht gegeben, weil die Produktionsparameter sehr unterschiedlich sind. Beispielsweise variieren die Rasse (BELLOIR et al. 2017), die Lebensstage der Tiere (HOFMANN et al. 2019) und insbesondere die Proteingehalte und die AS-Zusammensetzung. Darüber hinaus sind die Studien nicht alle auf Basis verdaulicher Aminosäuren und in Bezug auf das ideale Proteinkonzept angelegt worden. Daher wurden die für das Thema „XP-Absenkung und Ausgleich des idealen AS-Musters“ wissenschaftlich relevantesten und vergleichbarsten Studien der letzten Jahre ausgewählt und in Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2: Auswahl und Ergebnisse bisheriger Untersuchungen zur Stickstoff-reduzierten Broilerfütterung**

Autor und Jahr	Tiere (N)	Sex	Var	Versuchst- tage	MJ ME	XP (g)	LG (g)	FA (g)	WA (g)	Futtermuf- wand(g/g)	Brust (%)	N-Exkretion (%)	TM-Einstreu (g)					
Belloir et al. (2017)	1520	m	K	21-35	13,2	190	2460	2460		1,64	b	20,1						
			V1		13,2	170	2466	2472		1,65	b	20,8						
			V2		13,2	150	2451	2528		1,71	a	19,5						
Hilliar et al. (2017)	546	m	K	10-21/22-35	n.d.	217/199	2358	a	3036	22984	a	1,48	a					
			V1		n.d.	185/165	2172	b	2900	17400	b	1,55	b					
			V2		n.d.	170/150	2067	b	2788	15876	b	1,58	b					
Ullrich et al. (2018)	360	1:1	K	0-7/8-14/15-36	12,4-13,2	225/205/199	2192	a,b			1,85		100	609	a			
			V1		12,5-12,8	215/194/192	2244	a			1,82		94	610	a			
			V2		12,6-12,8	192/177/170	2131	b			1,83		63	709	b			
Dublecz et al. (2018)	576	m	K	0-11/12-25/26-39	12,6-13,0	224/209/191	2833	a	4369		1,57	a	20,6					
			V		12,6-13,3	207/183/168	2992	b	4490		1,52	b	20,4					
Van Harn et al. (2019)	936	m	K	11-28/29-35	12,6-12,7 <sup>c</sup>	208/198	2416		3682		1,55	a	32,1 <sup>d</sup>	a				
			V1		12,6-12,7 <sup>c</sup>	188/178	2447		3626		1,51	b	31,9 <sup>d</sup>	a				
			V2		12,6-12,7 <sup>c</sup>	178/168	2448		3637		1,51	b	31,2 <sup>d</sup>	b				
Lemme et al. (2019a)	3000	1:1	K	8-21/22-28/29-36	12,5-12,9	201/189/184	2483		3565	6517	a	1,46	a	24,1	100	a	509	a
			V1		12,5-12,9	197/182/174	2373		3578	6032	c	1,54	b	22,5	97	a,b	590	b
			V2		12,6-12,8	200/187/175	2477		3585	6383	a,b	1,47	a	23,8	92	b	581	b
			V3		12,6-12,8	196/180/166	2398		3567	6198	b,c	1,51	b	22,6	87	b	624	c
Lemme et al. (2019b)	5000	1:1	K	11-16/17-30/31-40	11,5-12,6	206/200/195	2808	a	4465		1,61		40,0 <sup>d</sup>	100	a	395	a	
			V1		11,6-12,6	195/187/180	2792	a	4433		1,61		39,8 <sup>d</sup>	81	b	441	b	
			V2		11,6-12,6	190/180/170	2734	b	4423		1,64		38,9 <sup>d</sup>	74	c	444	b	
Schulze Geisthövel et al. (2019)	5000	1:1	K	11-16/17-30/31-36	12,8-13,4	200/195/190	2556		3692		1,47		38,3 <sup>d</sup>	100		480		
			V		12,8-13,5	195/185/180	2502		3664		1,49		37,9 <sup>d</sup>	84		521		
Chrystal et al. (2019)	336	m	K	14-35	12,9 <sup>c</sup>	200	1934		2888	a		1,50						
			V1		12,9 <sup>c</sup>	172	1912		2907	b		1,52						
			V2		12,9 <sup>c</sup>	156	1879		3036	b		1,63						



Autor und Jahr	Tiere (N)	Sex	Var	Versuchst- tage	MJ ME	XP (g)	LG (g)	FA (g)	WA (g)	Futterauf- wand(g/g)	Brust (%)	N-Exkretion (%)	TM-Einstreu (g)
Chrystal et al. (2020a)	336	m	K	14-35	12,9	208	2108	3173		1,51			
			V1		12,9	179	2101	3209	1,53				
			V2		12,9	165	1994	3114	1,56				
Chrystal et al. (2020b)	294	m	K	14-35	13,1	210	1838	2882	813	a	1,57		
			V1		13,1	180	1918	2949	687	a,b	1,54		
			V2		13,1	165	1866	2999	628	b	1,61		
Maynard et al. (2021)	816	1:1	K	1-11/12-	12,3-13,1	235/215/195	3230	4873		1,54	a		
			V1	27/28-41	12,3-13,2	215/195/175	3220	4951		1,56	a		
			V2		12,3-13,3	195/175/155	3189	5009		1,60	b		

N=Grundgesamtheit; Sex=Geschlecht; m=männlich; 1:1=beide Geschlechter zu gleichen Anteilen; Var=Varianten; XP=Rohprotein; LG=Lebendgewicht; FA=Futteraufnahme; WA= Wasseraufnahme; N=Stickstoff; TM=Trockenmasse; K=Kontrollvariante; V=Versuchsvarianten; ab=unterschiedliche Buchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); ° Umrechnungsfaktor: 1 kcal=0,0041868 MJME; <sup>d</sup> Anteil Brust an der Karkasse anstatt am Lebendgewicht

Die Studien in Tabelle 2 basieren auf dem aktuellen Stand der XP-Absenkung und versuchen den Proteingehalt noch weiter abzusenkern und dienen deshalb als bestmöglicher Vergleich zu den vorliegenden vier Studien. Beispielsweise sind sehr aktuelle Studien von SUCH et al. (2021) nicht mit aufgenommen worden, weil die Proteingehalte in der N-reduzierten Variante höher sind als das aktuell wissenschaftlich etablierte Absenkungsniveau. Die Proteingehalte von SUCH et al. (2021) lassen sich eher mit aktuellen Lehrbüchern wie von HYND (2019) oder den offiziellen Bedarfsempfehlungen vergleichen (GfE 1999). Die empfohlenen Proteingehalte liegen in jeder Phase ca. 2-3 % über dem Niveau der Studien in Tabelle 2. Die Proteingehalte von EMTHAUS et al. (2021) zeigen jedoch, dass die aktuelle Fütterungspraxis teilweise mit dem Proteinabsenkungsniveau deutlich weiter ist und deutlich unter den offiziellen Empfehlungen liegt.

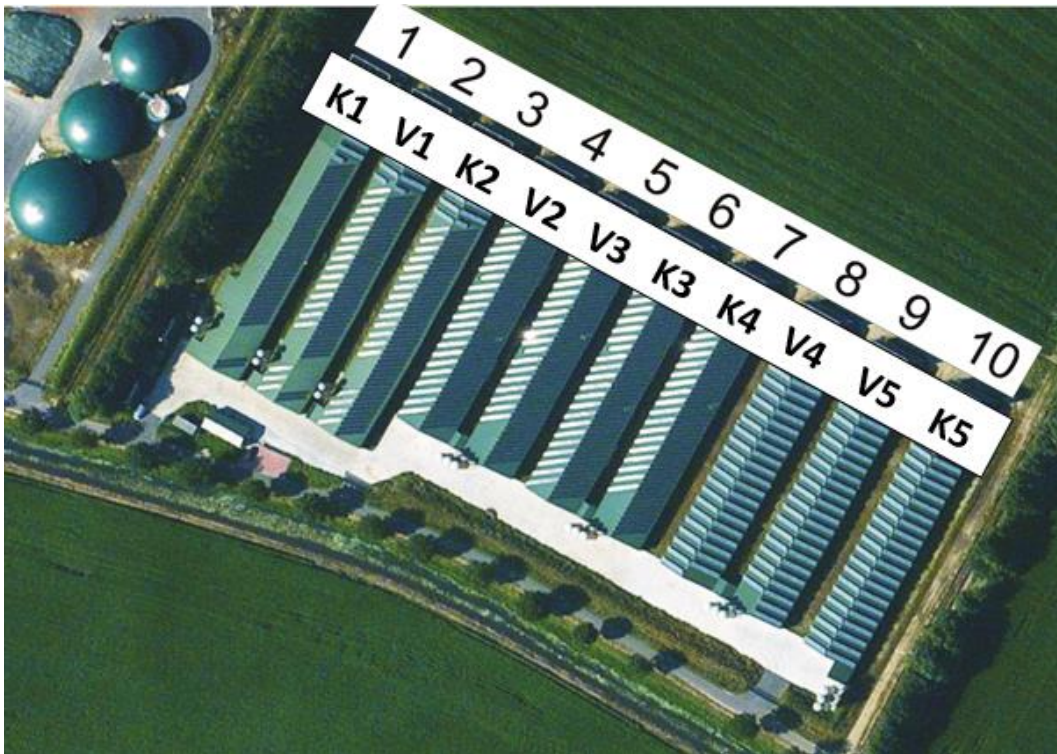
Wie man der Anzahl der Tiere der Studien in Tabelle 2 entnehmen kann basieren bisherige Untersuchungen nahezu gänzlich auf Kleingruppen- oder Großgruppenhaltungen. Es gibt weltweit nahezu keine wissenschaftlichen Untersuchungen zu N-reduzierten Broilerrationen in großen Praxisställen. Ob neueste Ergebnisse wie von CRYSTAL et al. (2020a) auf die landwirtschaftliche Praxis in größeren Ställen übertragbar sind, muss geprüft werden. Zudem sind mehr als die Hälfte der Untersuchungen in Tabelle 2 ausschließlich mit männlichen Broilern durchgeführt worden. Das erhöht zwar die wissenschaftliche Genauigkeit, reduziert jedoch die Sicherheit, dass sich die Ergebnisse auf die Bedingungen in der gemischtgeschlechtlichen Mast in der Fütterungspraxis übertragen lassen.

Die genannten Gründe unterstreichen einen hohen Forschungsbedarf zur proteinreduzierten Hähnchenfütterung in der Praxis. Aus diesem Anlass wurden die vier vorliegenden Untersuchungen durchgeführt.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Tiere und Haltung

Auf einem landwirtschaftlichen Praxisbetrieb in Nord-West-Deutschland wurden für die ersten 3 Studien ca. 420.000 Eintagsküken (as hatched=wie geboren, zufällige Verteilung der Geschlechter unter der Annahme 50 % ♂ / 50 % ♀) der Linie Ross 308 in 10 Ställe mit jeweils 42.000 Tieren (Studie 1 und 2) oder 41.000 Tieren (Studie 3) aufgeteilt (Abbildung 1).



**Abbildung 1: Varianteneinteilung der 10 Ställe auf dem landwirtschaftlichen Praxisbetrieb in Studie 1, 2 und 3 (K= Kontrolle/Standardfütterung; V= Versuch/N-reduzierte Fütterung)**

5 Ställe erhielten Standard-Kontrollfutter, die anderen 5 Ställe ein proteinreduziertes Versuchsfutter. Küken aus verschiedenen Elterntierherden wurden so auf die zwei Varianten (Standardfutter (Kontrolle): Stall 1, 3, 6, 7, 10; N-reduziert (Versuch): Stall 2, 4, 5, 8, 9) aufgeteilt, dass die durchschnittliche Legewoche der Elterntierherden sehr ähnlich war. Entsprechend kamen die Küken im gewichteten Mittelwert von Elterntieren der Legewoche 17 (Standard) und 16 (N-reduziert) in Studie 1, sowie 18 (Standard) und 18 (N-reduziert) in Studie 2 und Legewoche 30 (Standard) und 31 (N-reduziert) in Studie 3. Zufällige Stichproben von 100 Küken

pro Stall ergaben mit 41,1 g und 40,9 g gleiche durchschnittliche Einstallgewichte pro Variante in Studie 1 (Tabelle 3). Weil die Einstallgewichte der Varianten in Studie 1 durch das Ausgleichen der Legewochen nahezu identisch waren, wurde aufgrund einer drohenden Salmonellenproblematik auf die Wiegung der Küken bei der Einstellung von Studie 2 und 3 verzichtet, um das Eintragsrisiko zu senken.

**Tabelle 3: Legewoche der Elterntierherden und durchschnittliches Einstallgewicht (n=50 Küken pro Stall) in Studie 1**

Stall	Variante	Elterntier-herde	Legewoche	Anzahl Küken pro Herde	Anzahl Küken pro Stall	Mittleres Kükengewicht
1	Standard	A	22	7.287	42.000	39,15
1	Standard	B	29	34.713		
2	N-reduziert	C	24	23.450	42.000	40,83
2	N-reduziert	D	21	18.550		
3	Standard	D	21	20.639	42.000	40,92
3	Standard	F	21	21.361		
4	N-reduziert	F	21	14.857	42.000	41,49
4	N-reduziert	G	19	27.143		
5	N-reduziert	G	19	22.796	42.000	40,36
5	N-reduziert	H	16	19.204		
6	Standard	H	16	36.238	42.000	41,53
6	Standard	I	13	5.762		
7	Standard	I	13	42.000	42.000	41,46
8	N-reduziert	I	13	20.963	42.000	41,73
8	N-reduziert	J	11	21.037		
9	N-reduziert	J	11	22.171	42.000	40,09
9	N-reduziert	K	8	19.829		
10	Standard	K	8	23.028	42.000	42,42
10	Standard	L	8	18.972		
<b>Gewichteter Mittelwert der Legewoche</b>		<b>Standard</b>	<b>17,1</b>		<b>42.000</b>	<b>41,10</b>
		<b>N-reduziert</b>	<b>16,3</b>		<b>42.000</b>	<b>40,90</b>

N=Stickstoff

Das Temperaturprogramm im Stall im Praxisbetrieb entsprach der Empfehlung des Züchters (AVIAGEN 2018). An Tag 1 erhielten die Broiler 24 h Licht, am 2. und 3.Tag jeweils 22 h Licht und von Tag 3 bis zum 42. Tag 18 h Licht. Die Lichtstärke betrug an Tag 1 ca. 80 Lux und wird alle 3-4 Tage um 5 Lux reduziert, sodass ab Tag 14 in den Ställen 60 Lux vorlagen. Die Broiler erhielten ein Standardimpfprogramm gegen infektiöse Bronchitis (Tag 1 und 13), Newcastle-Krankheit (Tag 7)

und Gumboro (Tag 13). Die Ställe hatten eine Größe von 1.800 m<sup>2</sup> (23 Tiere/m<sup>2</sup> oder 35 kg/m<sup>2</sup>) und waren mit je vier Futterlinien und sechs Nippeltränkenlinien zur ad libitum Versorgung mit Futter (82 Tiere pro Trog) und Wasser (14,5 Tiere pro Tränke) ausgestattet. Daraus ergeben sich 0,66 cm Trogbreite/kg LG. Als Einstreu wurde getrocknete Maissilage in Studie 1 (0,56 kg/qm; kein Nachstreuen) und Strohpellets in Studie 2 und 3 (0,78 kg/qm; kein Nachstreuen) verwendet.

In der Großgruppenhaltung auf Haus Düsse, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, wurden für Studie 4 pro Variante 5 Boxen mit jeweils 250 Einzeltieren (125 männlich/125 weiblich) untersucht. Hierfür wurden ebenfalls Tiere der Linie Ross 308 aufgestellt. Die durchschnittlichen Einstallgewichte bei 50 gewogenen Küken pro Box waren mit 41,0 g/Küken (Standard) und 40,8 g/Küken (N-reduziert) ebenfalls nahezu identisch. Sowohl das Temperaturprogramm als auch das Lichtmanagement und die Lichtstärke entsprachen dem guten fachlichen Standard und den Empfehlungen des Züchters (AVIAGEN 2018). Geimpft wurde gegen die infektiöse Bronchitis (Tag 1 und 13), Newcastle-Krankheit (Tag 7) und Gumboro (Tag 13). Die 250 Tiere in jeder Box wurden mit einer Tränkebahn mit 20 Tränkenippeln (12,5 Tiere pro Tränke) und 4 Futterautomaten (0,95 cm Trogbreite/kg LG zum Ende der Mast) versorgt. In den ersten Tagen wurden die 4 Futterautomaten durch 3 flache Pappschalen mit Starterfutter ergänzt. Als Einstreu wurde Lignocellulose verwendet und bei feuchter werdender Einstreu in allen Boxen nachgestreut.

### **3.2 Rationsoptimierung und Futtermittelanalytik**

Die pelletierten Mischfuttermittel für Studie 1-4 (1400 t Mischfutter) auf Basis von Weizen-Mais-Sojaextraktionsschrot wurden in einer großen Futtermühle unter Praxisbedingungen hergestellt. Für alle Ställe wurde nach der Pelletierung ungemahlener Weizen ab Werk eingemischt (in den 4 Futterphasen mit 0, 5, 10 und 12 % Ganzweizenanteil) und in die Nährstoffoptimierung mit einbezogen, sodass keine Verdünnung stattfand.

Die Zugabe von Ganzweizen erhöht die Verdauungsaktivität, sodass die Größe des Muskelmagens und auch die Absorptionsoberfläche des Dünndarms gesteigert wer-

den. Da der Verdauungstrakt ein wichtiges Immunorgan ist, wird der Ganzweizenzugabe somit eine gesundheitsfördernde Wirkung zugeschrieben (RAVINDRAN et al. 2006 und SINGH et al. 2019). Zudem hat die Ganzweizenbeimischung einen energiesparenden Effekt in der Futterproduktion, weil die Zugabe nach der Pelletierung stattfindet.

Die Futteroptimierungen basierten auf den Empfehlungen des Programms AMINOChick 3.0 von EVONIK INDUSTRIES—NUTRITION&CARE GMBH (2014). Auf diese Bedarfsempfehlungen von Evonik beziehen sich die aktuellsten deutschsprachigen Lehrbücher (JEROCH 2019b), da sie genauer sind als die früheren Bedarfsangaben der GfE (1999). Darüber hinaus verwenden selbst viele internationale Studien diese Bedarfsangaben und das Optimierungsprogramm für die Planung der Futtermischungen in ihren Studien zur N-Reduktion (CHRYSTAL et al. 2021, GREENHALGH et al. 2020, HILLIAR et al. 2020).

Die Standardfutter in den Kontrollvarianten der vier Studien waren nahezu identisch und sollten als Maßstab dienen, damit ein Vergleich der Proteinabsenkungen in den Studien möglich war. Die Kontrollvarianten in den Studien 1-3 wurden mit einem 4-Phasen-Fütterungsprogramm versorgt: Starter (Tag 1-10), Grower I (Tag 11-20), Grower II (Tag 21-25) und Finisher (Tag 26-42). Weil Kokzidiostatika mindestens 3 Tage vor der Schlachtung zur Vermeidung von Rückständen im Fleisch abgesetzt werden müssen, wurde bereits ab Tag 26 ein kokzidiostatikafreies Endmastfutter eingesetzt. Starter (Narasin-Nicarbazin), Grower I (Narasin-Nicarbazin) und Grower II (Monensin-Natrium) enthielten Kokzidiostatika. Die 4 Futtermischungen der Kontrollvarianten entsprachen den Praxisfuttermischungen des Futterlieferanten zum Versuchszeitpunkt. Praxisüblich enthielten die Diäten in allen vier Studien eine Phytase und eine Xylanase.

Während der Proteingehalt im Starterfutter für beide Varianten identisch war, wurde der XP-Gehalt in den N-reduzierten Versuchsvarianten ab dem Grower I reduziert. Bei der Optimierung der N-reduzierten Versuchsvarianten in den Studien 1-3 wurde darauf geachtet, dass nur Komponenten verwendet werden, welche futtermittelrechtlich in Deutschland zugelassen sind, da diese Untersuchungen in der landwirtschaftlichen Praxis stattgefunden haben. Neben den AS DL-Methionin, L-

Lysin, L-Threonin und L-Valin, die vom Futterhersteller standardmäßig verwendet werden, wurden in den Versuchsvarianten auch L-Isoleucin und L-Arginin eingesetzt.

Die Rahmenbedingungen der vier vorliegenden Studien bezüglich der Tierzahl, der Anzahl der Ställe und die XP-Absenkung sowie die Anzahl der Phasen in der N-reduzierten Variante sind in der Übersicht in Tabelle 4 zusammengefasst.

**Tabelle 4: Übersicht zur Anzahl der Tiere, Wiederholungen, Art der Fütterung und Höhe der XP-Absenkung in den vier vorliegenden Studien**

Studie	1	2	3	4
Stall	10 Ställe	10 Ställe	10 Ställe	10 Boxen
Anzahl Tiere pro Stall	42.000	42.000	41.000	250
Anzahl Tiere insgesamt <sup>a</sup>	210.000 / 210.000	168.000 / 210.000	205.000 / 205.000	1250 / 1250
Wiederholungen <sup>a</sup>	5 / 5 Ställe	4 / 5 Ställe	5 / 5 Ställe	5 / 5 Ställe
Fütterung in der N-reduzierten Variante	4 Phasen	5 Phasen	Multiphasenfütterung in der Endmast	4 Phasen
XP-Absenkung <sup>b</sup>	-0,3 % XP	-0,7 % XP	-1,1 % XP	-1,4 % XP

N=Stickstoff; XP=Rohprotein; <sup>a</sup> pro Variante (Standard / N-reduziert); <sup>b</sup> gewichteter Mittelwert des analysierten XP-Gehalts (%)

In Studie 1, der ersten Untersuchung im großen Stall in der Praxis, wurde eine moderate Proteinreduktion gewählt, weil das Risiko für ökonomische Einbußen zunächst gering bleiben sollte. Die geplanten Rohproteingehalte beider Varianten sind in Tabelle 5 dargestellt. Der gewichtete Mittelwert berechnet sich aus dem prozentualen Anteil der Futtermenge einer Phase an der gesamten Futteraufnahme multipliziert mit dem jeweiligen Proteingehalt der Phase.

Zur Zeit der Versuchsanstellung von Studie 1 waren Erbsen verfügbar, weshalb diese bis zu einem Anteil von 9 % eingemischt wurden (Tabelle 7).

**Tabelle 5: Experimentelles Design der kalkulierten Proteingehalte der 4 Futterphasen und der gewichtete Mittelwert der Varianten in Studie 1**

Futterphase	Versuchstage	Standard	N-reduziert	Differenz
		XP (%)	XP (%)	XP (%)
Starter	1-10		21,0	0
Grower I	11-20	20,2	19,5	0,7
Grower II	21-25	19,6	19,1	0,5
Finisher	26-40	18,6	18,1	0,5
Gewichteter Mittelwert		19,35	18,84	0,51

N=Stickstoff; XP=Rohprotein

Die Futtermischungen in Studie 2 (Tabelle 8) waren, außer dem Wegfall der Erbsen, weil diese zu dem Zeitpunkt nicht mehr wirtschaftlich waren, identisch zu Studie 1 aufgebaut. Der gewichtete mittlere Proteingehalt der N-reduzierten Variante konnte durch eine stärkere XP-Absenkung in den einzelnen Futterphasen und durch die Einführung einer zweiten Finisherphase (17,8 % XP) ab Versuchstag 36 stärker reduziert werden.

Die Futtermischungen in Studie 3 (Tabelle 9) wurden ebenfalls identisch zu den Futtermischungen in Studie 1 und 2 optimiert. Im Vergleich zu Studie 2 wurde in der N-reduzierten Variante der Finisher 2 mit 17,0 % XP konzipiert und nicht als fünfte Phase eingesetzt, sondern mit dem Finisher 1 verschnitten. Das Verschnitten von 2 Futtermischungen ermöglicht eine flexible Anpassung der Mengenanteile beider Futter pro Tag oder in einem bestimmten Intervall. Dadurch entstand eine sogenannte Multiphasenfütterung, welche im Vergleich zu einem abrupten Futterwechsel zwischen Phase 4 und Phase 5 einen sanften Übergang von einem Futter zum anderen ermöglicht. Die Verschneidung begann ab VT 26 mit 5 %-Schritten, sodass an VT 35 beide Futter zu 50 % eingesetzt wurden und dadurch ein XP-Gehalt von 17,7 % realisiert wurde. Von VT 35 bis 40 wurde in 10 %-Schritten weiter verschnitten, sodass an den VT 40-42 zu 100 % der Finisher 2 mit 17,0 % XP gefüttert wurde (Tabelle 6). Auf diese Weise konnte mehr Protein im Vergleich zu Studie 2 mit zwei Finishern eingespart werden. Da die Ställe 1-3 mit lediglich 2 Futtersilos pro Stall ausgestattet waren, musste die Zuordnung der Ställe zu den Varianten geändert werden: Kontrolle mit Standardfutter Stall 1, 2, 3, 6, 7; N-reduzierte Fütterung in den Ställen 4, 5, 8, 9, 10.



**Tabelle 6: Verschneidung von Finisher 1 und Finisher 2 in der N-reduzierten Variante in Studie 3**

Ver- suchstag	Anteil Finisher 1 (%) (18,4 % XP)	Anteil Finisher 2 (%) (17,0 % XP)	XP-Gehalt des verschnit- tenen Futters (%)
25	100	0	18,40
26	95	5	18,33
27	90	10	18,26
28	85	15	18,19
29	80	20	18,12
30	75	25	18,05
31	70	30	17,98
32	65	35	17,91
33	60	40	17,84
34	55	45	17,77
35	50	50	17,70
36	40	60	17,56
37	30	70	17,42
38	20	80	17,28
39	10	90	17,14
40	0	100	17,00
41	0	100	17,00
42	0	100	17,00

N= Stickstoff; XP=Rohprotein

In den Studien 3 und 4 wurde bei der Rationsoptimierung und Mischfutterproduktion identisch zu den Studien 1 und 2 vorgegangen. Die einzige Ausnahme bildete Threonin (Thr). In den Studien 3 und 4 wurden im Versuchsfutter (Grower I, Grower II, Finisher) im Vergleich zum Standardfutter das SID Thr: SID Lys-Verhältnis um 5%-Punkte angehoben, weil neueste Studien von CHRYSTAL et al. (2020a) damit gleiche Leistungen bis zu einem mittleren Proteingehalt von 16,5 % XP erreicht hatten.

In Studie 1-3 erfolgte keine Glycin-Supplementierung, weil der Glycin-Äquivalenzspiegel bei den geplanten Proteingehalten in den Versuchsvarianten nicht limitierend wirkte und ein Einsatz von Glycin in der landwirtschaftlichen Praxis nicht erlaubt ist (HILLIAR et al. 2019).

Studie 4 wurde in einer Versuchsanlage durchgeführt, weil für eine sehr starke Proteinabsenkung auch die derzeit futtermittelrechtlich nicht registrierte AS Glycin benötigt wurde. Damit konnten die Grenzen der XP-Absenkung ausgereizt und der

Effekt auf den Schlachtkörper untersucht werden. Somit wurde eine durchschnittliche Proteinreduktion um 1,5 % Rohprotein (gewichteter Mittelwert) im Futter erzielt (Tabelle 10). Durchschnittlich wurden 1,5 kg Glycin/t Mischfutter eingesetzt, um auf ca. 1,2:1 im SIDGly:SIDLys-Verhältnis zu kommen. Als Vorbild für die gleichzeitige Anhebung von Glycin und Threonin dienten ebenfalls die Ergebnisse von CHRYSTAL et al. (2020a). Durch eine kombinierte Anhebung von 0,75:1 im Thr:Lys-Verhältnis und 1,15:1 im GlyÄqui:Lys-Verhältnis konnten gleichbleibende Leistungen im Grower 2-Futter erreicht werden. Dabei wurde der XP-Gehalt von 20,8 % auf 16,5 % XP reduziert (CHRYSTAL et al. 2020a).

In Studie 4 wurde der Ganzweizen einpelletiert, weil die Futtermengen so gering waren, dass die Weizenbeimischung bei der Verladung nicht durchführbar war. Um den positiven Effekt des Ganzweizens auf die Darmgesundheit trotz der Pelletierung, die zu teilweiser Zerkleinerung der Körner führt, zu erhalten, wurde der Ganzweizenanteil im Vergleich zu Studie 1-3 auf 0, 7, 12 und 15 % in den 4 Futterphasen erhöht und ebenfalls in die Rationsgestaltung eingerechnet. In allen vier vorliegenden Studien wurde jede Futtercharge analysiert (Studie 1 n = 97; Studie 2 n = 105; Studie 3 n = 105; Studie 4 n = 7). In Studie 3 wurde nicht das verschnittene Futter, sondern die beiden Futter, die für die Verschneidung verwendet wurden analysiert. Die Weender Rohnährstoffe und alle Aminosäuregehalte jeder Futtermittelcharge wurden nasschemisch untersucht (Commission Directive 1998). Der Gesamt-N-Gehalt wurde mittels DUMAS-Methode durch katalytische Verbrennung bestimmt. Die Aminosäurenkonzentrationen (ohne Tryptophan und Tyrosin) wurden durch Ionenaustauschchromatographie analysiert.

Die im Vergleich zu den Erwartungswerten höheren XP-Analysewerte waren auf die unterschiedliche N-Analysemethode zurückzuführen. Bei der Optimierung in der Futtermühle waren Proteingehalte resultierend aus dem Kjeldahlverfahren hinterlegt. Die Proteingehalte der 97 Futterproben wurden mit der Dumas-Methode (Referenzmethode) bestimmt, welche durch Verbrennung 100 % des enthaltenen N ermittelt. Beim Kjeldahlverfahren können Azo- und Nitrogruppen nicht aufgeschlossen und somit nicht bestimmt werden. Laut MÜLLER (2014) werden mittels Kjeldahl 2 % des Dumasproteins nicht analysiert. Dadurch relativieren sich die höheren Analysewerte im Vergleich zu den kalkulierten Werten.

Tabelle 7: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analyisierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 1 (N=10 Ställe à 42.000 Broiler)

	Starter		Grower I		Grower II		Finisher	
	Standard		N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	
<b>Komponenten (%)</b>								
Weizen (ganz)			5,0		10,0		12,0	
Weizen	25,7	24,7		27,4	24,6	26,4	22,4	24,3
Mais	38,0		28,5		25,2		24,7	
Backwaren			2,8				2,6	
Sojaextraktionsschrot	23,3	23,8		21,1	20,7	18,8	18,3	16,4
Sojaproteinkonzentrat	3,0							
Rapsextraktionsschrot	3,0		3,3			1,8		1,8
Rapskuchen						1,5		1,7
Erbsen			4,8		9,0		8,8	
Futteröl, 40 % Linols.	2,1	3,3		3,0	4,0	3,8	5,1	4,8
Lysinsulfat 70	0,63	0,33		0,46	0,29	0,38	0,28	0,37
DL-Methionin	0,40	0,33		0,35	0,30	0,31	0,28	0,29
L-Threonin	0,16	0,11		0,15	0,10	0,13	0,10	0,13
L-Valin	0,08	0,05		0,10	0,04	0,08	0,04	0,07
L-Arginin				0,08		0,06		0,06
L-Isoleucin				0,05		0,04		0,04
Mineral und Premix <sup>a</sup>	to 100	to 100	to 100	to 100	to 100	to 100	to 100	to 100
<b>Energie (MJ /kg) und Inhaltsstoffe (%)</b>								
MJ/kg	12,6		12,9		13,0		13,3	
Fett	5,9	7,1		6,9	7,3	7,1	8,4	8,1
Faser	2,8	2,8		2,8	3,0	2,9	2,9	2,8
Asche	5,3	4,7		4,6	4,6	4,5	4,2	4,1
Stärke	40,7	40,5		41,9	41,7	42,7	42,3	43,4
Rohprotein - kalkuliert <sup>b</sup>	21,0	20,2		19,5	19,6	19,1	18,6	18,1
Rohprotein - analysiert <sup>c</sup>	21,6	20,6		20,1	20,1	19,9	19,3	18,8
Lysin <sup>d</sup>	1,40 (1,39)	1,20 (1,20)		1,20 (1,20)	1,17 (1,16)	1,15 (1,15)	1,09 (1,08)	1,08 (1,08)
Methionin+Cystin <sup>d</sup>	0,99 (1,02)	0,91 (0,93)		0,89 (0,92)	0,86 (0,89)	0,88 (0,88)	0,83 (0,84)	0,82 (0,84)
Threonin <sup>d</sup>	0,89 (0,89)	0,81 (0,82)		0,81 (0,81)	0,78 (0,78)	0,78 (0,78)	0,74 (0,76)	0,74 (0,74)
Arginin <sup>d</sup>	1,34 (1,33)	1,29 (1,30)		1,30 (1,30)	1,28 (1,27)	1,29 (1,27)	1,19 (1,19)	1,20 (1,19)
Valin <sup>d</sup>	1,00 (1,02)	0,95 (0,96)		0,96 (0,96)	0,93 (0,93)	0,93 (0,92)	0,87 (0,88)	0,87 (0,87)
Isoleucin <sup>d</sup>	0,86 (0,85)	0,82 (0,82)		0,82 (0,82)	0,80 (0,79)	0,81 (0,79)	0,75 (0,75)	0,75 (0,74)
GlycinÄquivalente <sup>d, e</sup>	1,56 (1,53)	1,49 (1,50)		1,41 (1,41)	1,46 (1,46)	1,43 (1,40)	1,38 (1,38)	1,32 (1,32)

	Starter	Grower I		Grower II		Finisher	
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert
SID Lysin	1,27	1,08	1,09	1,04	1,04	0,97	0,97
SID Methionin + Cystein	0,94	0,85	0,85	0,80	0,80	0,76	0,76
SID Threonin	0,78	0,70	0,70	0,67	0,67	0,64	0,64
SID Arginin	1,20	1,18	1,18	1,15	1,15	1,08	1,08
SID Valin	0,91	0,85	0,85	0,81	0,82	0,77	0,77
SID Isoleucin	0,76	0,73	0,73	0,70	0,70	0,66	0,66
SID Glycin <sub>Äquivalente</sub>	1,32	1,28	1,21	1,25	1,19	1,18	1,13

N=Stickstoff; AS=Aminosäuren; SID=standardized ileal digestibility; <sup>a</sup> enthält Phytase und Xylanase, Starter- und Growerfütter enthalten Kokzidiostatika <sup>b</sup> nach Kjehldahl <sup>c</sup> analysiert nach Dumas <sup>d</sup> analysierte Werte in Klammern: Analysen basieren auf Starter: n=7; Grower I: n=14 / 16; Grower II: n=12 / 8; Finisher: n=23 / 17 für Standardfütterung / N-reduzierte Fütterung <sup>e</sup> Gly<sub>Äquivalente</sub>: Gly + 0,714 \* Ser

Tabelle 8: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analyisierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 2 (N=9 Ställe à 42.000 Broiler)

	Starter	Grower I		Grower II		Finisher 1		Finisher 2	
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	N-reduziert	
<b>Komponenten (%)</b>									
Weizen (ganz)			5,0		10,0		12,0		15,0
Weizen	24,3	26,7	29,54	29,5	31,7	27,1	29,2		28,2
Mais	36,0		28,5		25,2		24,7		24,7
Backwaren			2,8				2,6		2,6
Sojaextraktionsschrot	26,6	26,9	24,0	24,7	22,5	22,2	20,0		18,1
Sojaproteinkonzentrat	3,0								
Rapsextraktionsschrot	3,0		3,3		1,8		1,8		1,8
Rapskuchen					1,5		1,7		1,7
Futteröl, 40 % Linols.	2,4	3,2	2,8	4,2	3,9	5,3	5,0		4,8
Lysinsulfat 70	0,50	0,30	0,43	0,30	0,41	0,30	0,41		0,46
DL-Methionin	0,40	0,31	0,34	0,29	0,30	0,26	0,28		0,28
L-Threonin	0,15	0,10	0,14	0,09	0,13	0,09	0,12		0,12
L-Valin	0,05	0,05	0,11	0,05	0,11	0,05	0,09		0,11
L-Arginin			0,09		0,07		0,07		0,10
L-Isoleucin			0,05		0,04		0,04		0,06
Mineral und Premix <sup>a</sup>	3,6	2,9	2,9	2,4	2,4	1,9	1,9		1,9
<b>Energie (MJ /kg) und Inhaltsstoffe (%)</b>									
MJ/kg	12,6		12,86		13,00		13,35		13,36
Fett	6,1	7,1	6,7	7,3	7,0	8,6	8,3		8,1
Faser	3,0	3,1	3,0	3,0	3,0	3,0	29,		2,9
Asche	6,4	5,7	5,6	5,1	5,0	4,6	4,5		4,4
Stärke	28,5	39,3	41,0	40,8	42,1	41,2	42,5		43,7
Rohprotein - kalkuliert <sup>b</sup>	21,7	20,5	19,8	19,9	19,4	18,9	18,4		17,8
Rohprotein - analysiert <sup>c</sup>	22,8	21,0	20,3	20,2	19,5	19,1	18,4		17,9
Lysin <sup>d</sup>	1,37 (1,42)	1,18 (1,22)	1,18 (1,21)	1,13 (1,17)	1,14 (1,15)	1,07 (1,13)	1,07 (1,06)		1,05 (1,02)
Methionin+Cystin <sup>d</sup>	1,06 (1,05)	0,95 (0,89)	0,95 (0,93)	0,92 (0,86)	0,90 (0,88)	0,86 (0,84)	0,86 (0,85)		0,84 (0,78)
Threonin <sup>d</sup>	0,93 (0,94)	0,83 (0,83)	0,82 (0,83)	0,79 (0,80)	0,80 (0,80)	0,75 (0,75)	0,75 (0,74)		0,72 (0,71)
Arginin <sup>d</sup>	1,37 (1,44)	1,28 (1,32)	1,29 (1,32)	1,23 (1,25)	1,23 (1,24)	1,16 (1,17)	1,16 (1,16)		1,13 (1,12)
Valin <sup>d</sup>	1,03 (1,06)	0,97 (0,98)	0,98 (1,00)	0,94 (0,94)	0,96 (0,97)	0,90 (0,90)	0,90 (0,91)		0,88 (0,87)
Isoleucin <sup>d</sup>	0,89 (0,96)	0,84 (0,86)	0,84 (0,86)	0,81 (0,82)	0,80 (0,81)	0,76 (0,78)	0,76 (0,77)		0,74 (0,74)
GlycinÄquivalente <sup>d, e</sup>	1,61 (1,68)	1,53 (1,54)	1,44 (1,45)	1,48 (1,47)	1,42 (1,40)	1,41 (1,40)	1,34 (1,33)		1,29 (1,28)
SID Lysin	1,25	1,07	1,07	1,02	1,03	0,96	0,97		0,95

	Starter	Grower I		Grower II		Finisher 1		Finisher 2
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	N-reduziert
SID Methionin + Cystein	0,97	0,86	0,87	0,83	0,83	0,78	0,79	0,77
SID Threonin	0,80	0,71	0,71	0,68	0,69	0,65	0,65	0,62
SID Arginin	1,24	1,16	1,18	1,11	1,12	1,04	1,05	1,03
SID Valin	0,91	0,86	0,88	0,84	0,86	0,80	0,80	0,79
SID Isoleucin	0,79	0,74	0,75	0,72	0,72	0,68	0,68	0,67
SID Glycin <sub>Äquivalente</sub>	1,38	1,32	1,24	1,28	1,22	1,21	1,16	1,11

N=Stickstoff; AS=Aminosäuren; SID=standardized ileal digestibility <sup>a</sup> enthält Phytase und Xylanase, Starter- und Growerfutter enthalten Kokzidiostatika <sup>b</sup> nach Kjehldahl <sup>c</sup> analysiert nach Dumas <sup>d</sup> analysierte Werte in Klammern: Analysen basieren auf Starter: n=7; Grower I: n=8 / 6; Grower II: n=12 / 10; Finisher: n=28 / 14; Finisher 2: n=0 / 10 für Standardfütterung / N-reduzierte Fütterung <sup>e</sup> Gly<sub>Äquivalente</sub>: Gly + 0,714 \* Ser

Tabelle 9: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analyisierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 3 (N=10 Ställe à 41.000 Broiler)

	Starter	Grower I		Grower II		Finisher 1 <sup>f</sup>		Finisher 2 <sup>f</sup>
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	N-reduziert
<b>Komponenten (%)</b>								
Weizen (ganz)			5,0		10,0		12,0	15,0
Weizen	20,5	27,2	30,9	29,7	33,9	29,3	31,2	33,7
Mais	36,0		28,0		25,0		25,0	25,0
Haferschalen	2,0		1,4				2,6	
Sojaextraktionsschrot	26,9	26,7	22,9	23,0	18,6	20,0	18,0	12,7
Sojaproteinkonzentrat	3,0							
Rapsextraktionsschrot	2,0		2,0		2,0		2,0	2,0
Rapskuchen	2,0		2,0		4,0		5,0	5,0
Futteröl, 40 % Linols.	3,15	4,00	3,50	3,15	2,60	4,30	4,00	3,30
Lysinsulfat 70	0,37	0,27	0,46	0,30	0,52	0,30	0,40	0,52
DL-Methionin	0,31	0,25	0,30	0,23	0,28	0,21	0,23	0,24
L-Threonin	0,09	0,10	0,16	0,09	0,18	0,08	0,14	0,20
L-Valin	0,04	0,04	0,09	0,02	0,09	0,02	0,05	0,13
L-Arginin			0,11		0,15		0,08	0,22
L-Isoleucin			0,06		0,09		0,05	0,13
Mineral und Premix <sup>a</sup>	3,65	3,04	3,09	2,48	2,54	1,80	1,82	1,81
<b>Energie (MJ /kg) und Inhaltsstoffe (%)</b>								
MJ/kg	12,52		12,89		12,91		13,35	13,35
Fett	6,6	7,3	6,8	6,6	6,0	7,8	7,5	6,8
Faser	3,6	3,4	3,3	3,2	3,1	3,2	3,2	3,1
Asche	6,6	5,9	5,8	5,3	5,1	4,5	4,4	4,1
Stärke	36,5	38,4	40,7	40,8	43,4	41,8	42,9	46,3
Rohprotein - kalkuliert <sup>b</sup>	21,8	20,5	19,6	19,9	18,9	18,9	18,5	17,0
Rohprotein - analysiert <sup>c</sup>	22,3	21,2	20,6	20,9	19,4	19,1	18,7	17,5
Lysin <sup>d</sup>	1,33 (1,34)	1,18 (1,15)	1,18 (1,15)	1,13 (1,12)	1,13 (1,13)	1,06 (1,06)	1,07 (1,06)	0,99 (1,01)
Methionin+Cystin <sup>d</sup>	0,98 (0,97)	0,89 (0,89)	0,91 (0,87)	0,87 (0,85)	0,88 (0,86)	0,83 (0,80)	0,83 (0,80)	0,79 (0,79)
Threonin <sup>d</sup>	0,88 (0,90)	0,84 (0,85)	0,83 (0,84)	0,80 (0,81)	0,82 (0,82)	0,75 (0,74)	0,78 (0,77)	0,75 (0,74)
Arginin <sup>d</sup>	1,39 (1,40)	1,29 (1,28)	1,28 (1,29)	1,22 (1,23)	1,24 (1,21)	1,14 (1,13)	1,17 (1,11)	1,15 (1,12)
Valin <sup>d</sup>	1,03 (1,06)	0,97 (1,00)	0,95 (1,00)	0,92 (0,94)	0,91 (0,92)	0,87 (0,87)	0,87 (0,85)	0,85 (0,84)
Isoleucin <sup>d</sup>	0,91 (0,95)	0,84 (0,88)	0,83 (0,88)	0,80 (0,84)	0,81 (0,82)	0,75 (0,76)	0,76 (0,74)	0,75 (0,74)
Glycin <sub>Äquivalente</sub> <sup>d,e</sup>	1,63 (1,66)	1,54 (1,57)	1,42 (1,49)	1,49 (1,51)	1,35 (1,39)	1,41 (1,39)	1,35 (1,34)	1,19 (1,20)

	Starter	Grower I		Grower II		Finisher 1 <sup>f</sup>		Finisher 2 <sup>f</sup>
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	N-reduziert
SID Lysin	1,20	1,05	1,07	1,01	1,03	0,95	0,96	0,90
SID Methionin + Cystein	0,89	0,80	0,83	0,78	0,80	0,75	0,75	0,72
SID Threonin	0,75	0,71	0,72	0,68	0,71	0,64	0,67	0,66
SID Arginin	1,26	1,17	1,17	1,10	1,13	1,03	1,06	1,05
SID Valin	0,91	0,86	0,85	0,81	0,81	0,77	0,77	0,76
SID Isoleucin	0,80	0,74	0,75	0,71	0,73	0,67	0,68	0,68
SID Glycin <sub>Äquivalente</sub>	1,40	1,32	1,22	1,28	1,16	1,21	1,16	1,03

N=Stickstoff; AS=Aminosäuren; SID=standardized ileal digestibility<sup>a</sup> enthält Phytase und Xylanase, Starter- und Growerfutter enthalten Kokzidiostatika<sup>b</sup> nach Kjelhdahl<sup>c</sup> analysiert nach Dumas<sup>d</sup> analysierte Werte in Klammern: Analysen basieren auf Starter: n=7; Grower I: n=10 / 9; Grower II: n=11 / 7; Finisher: n=30 / 14; Finisher 2: n=0 / 8 für Standardfütterung / N-reduzierte Fütterung<sup>e</sup> Gly<sub>Äquivalente</sub>: Gly + 0,714 \* Ser<sup>f</sup> Finisher 1 und Finisher 2 wurden in der N-reduzierten Variante miteinander verschnitten (Tabelle 6)



Tabelle 10: Komponenten und kalkulierte (N- und AS-analyisierte) Nährstoffgehalte der Futter in Studie 4 (N=10 Boxen à 250 Broiler)

	Starter		Grower I		Grower II		Finisher	
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	
<b>Komponenten (%)</b>								
Weizen (ganz)			7,0		12,0		15,0	
Weizen	23,8	30,4	34,4	33,4	41,9	28,8	37,6	
Mais	36,0		24,0		20,0		20,0	
Backwaren			2,8				2,6	
Sojaextraktionsschrot	25,5	25,0	20,8	22,1	13,2	19,5	10,4	
Sojaproteinkonzentrat	3,0							
Rapsextraktionsschrot	3,0		2,0		2,0		2,0	
Rapskuchen	2,0		2,0		4,0		5,0	
Futteröl, 40 % Linols.	2,1	3,1	2,5	3,2	2,0	4,5	3,2	
Lysinsulfat 70	0,48	0,38	0,57	0,40	0,79	0,37	0,77	
DL-Methionin	0,39	0,26	0,30	0,25	0,31	0,22	0,29	
L-Threonin	0,15	0,09	0,21	0,08	0,28	0,09	0,27	
Tryptophan			0,01		0,01			
L-Valin	0,10	0,06	0,14	0,07	0,20	0,05	0,21	
L-Arginin			0,18		0,34		0,35	
L-Isoleucin			0,11		0,20		0,21	
Glycin			0,10		0,20		0,15	
Minerale und Premix <sup>a</sup>	3,5	2,9	3,1	2,5	2,6	1,9	1,9	
<b>Energie (MJ /kg) und Inhaltsstoffe (%)</b>								
MJ/kg	12,6		12,9		12,9		13,4	
Fett	5,9	6,6	6,0	6,5	5,2	8,1	6,8	
Faser	3,2	3,1	3,0	3,2	3,0	3,2	3,1	
Asche	6,4	5,7	5,5	5,2	4,9	4,5	4,2	
Stärke	38,1	39,9	42,3	41,1	46,3	41,1	46,5	
Rohprotein - kalkuliert <sup>b</sup>	21,8	20,3	19,5	19,8	18,0	18,9	17,1	
Rohprotein - analysiert <sup>c</sup>	21,9	20,1	19,5	20,1	18,2	18,7	17,2	
Lysin <sup>d</sup>	1,36 (1,38)	1,20 (1,18)	1,19 (1,20)	1,17 (1,17)	1,14 (1,19)	1,09 (1,10)	1,07 (1,03)	
Methionin+Cystin <sup>d</sup>	1,06 (1,02)	0,90 (0,82)	0,90 (0,87)	0,89 (0,86)	0,86 (0,78)	0,84 (0,76)	0,82 (0,81)	
Threonin <sup>d</sup>	0,93 (0,91)	0,81 (0,80)	0,86 (0,82)	0,78 (0,77)	0,83 (0,80)	0,75 (0,77)	0,79 (0,74)	
Arginin <sup>d</sup>	1,37 (1,35)	1,25 (1,22)	1,31 (1,28)	1,20 (1,19)	1,28 (1,26)	1,14 (1,12)	1,22 (1,17)	
Valin <sup>d</sup>	1,08 (1,09)	0,97 (0,94)	0,97 (0,96)	0,96 (0,94)	0,93 (0,92)	0,90 (0,89)	0,89 (0,86)	
Isoleucin <sup>d</sup>	0,89 (0,90)	0,82 (0,80)	0,85 (0,84)	0,79 (0,78)	0,82 (0,81)	0,75 (0,74)	0,78 (0,76)	

	Starter	Grower I		Grower II		Finisher	
		Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert	Standard	N-reduziert
GlycinÄquivalente <sup>d,e</sup>	1,61 (1,61)	1,51 (1,47)	1,48 (1,47)	1,47 (1,45)	1,40 (1,41)	1,41 (1,37)	1,28 (1,28)
SID Lysin	1,23	1,08	1,08	1,05	1,05	0,98	0,98
SID Methionin + Cystein	0,97	0,81	0,82	0,80	0,79	0,76	0,76
SID Threonin	0,80	0,69	0,75	0,66	0,74	0,64	0,70
SID Arginin	1,24	1,13	1,20	1,09	1,18	1,02	1,12
SID Valin	0,96	0,86	0,87	0,85	0,84	0,79	0,81
SID Isoleucin	0,79	0,73	0,76	0,70	0,76	0,66	0,72
SID GlycinÄquivalente	1,38	1,30	1,29	1,26	1,23	1,20	1,12

N=Stickstoff; AS=Aminosäuren; SID=standardized ileal digestibility<sup>a</sup> enthält Phytase und Xylanase, Starter- und Growerfutter enthalten Kokzidiostatika<sup>b</sup> nach Kjehtdahl<sup>c</sup> analysiert nach Dumas<sup>d</sup> analysierte Werte in Klammern: Analysen basieren auf n=1 pro Futter für Standardfütterung / N-reduzierte Fütterung<sup>e</sup> GlyÄquivalente: Gly + 0.714 \* Ser

### 3.3 Datenerfassung

Die Datenerfassung in Studie 1-3 hat auf Stallebene (5 Wiederholungen pro Variante) und auf Einzeltierebene (50 Tiere pro Stall) stattgefunden. Pro Stall wurde über die gesamte Mast automatisiert die Wasseraufnahme und die Mortalität erfasst. Die Futterraufnahme pro Stall wurde aus den angelieferten Futterchargen abzüglich der Futterreste ermittelt, während der Konsum pro Tier durch die entsprechende Anzahl der abgelieferten Tiere am Schlachthof errechnet wurde. Der Futterraufwand ergab sich aus dem Verhältnis von angeliefertem Futter (abzüglich der gewonnenen Futterreste) und dem abgelieferten Lebendgewicht (LG) am Schlachthof. Über die Berichte der am Schlachthof erhobenen Daten konnten stallbezogen pro Schlachtermin und Stall die Anzahl der abgelieferten Tiere, das Lebendgewicht (kg) und eine Fußballenbonitur ausgewertet werden. Die Fußballen wurden mit einem Kamerasystem klassifiziert: 0 (leichte Läsionen), 1, 2a und 2b (schwere Läsionen) (Tabelle 12). Im Schlachthof kam das System „Chicken Check“ der Firma CLK GmbH, Altenberge, Deutschland zum Einsatz. Eine Kamera nimmt Bilder der bereits vom Schlachtkörper abgetrennten Füße auf und eine Software wertet den prozentualen Anteil der nekrotischen Veränderung an der Gesamtfläche aus besteht.

In den Studien 1-3 im Praxismaßstab wurden bei Vorfang 1 an Tag 29 ca. 23-24 % der Tiere geschlachtet, bei Vorfang 2 an Tag 34 ca. 17-20 % und bei der Endausstellung an den Tagen 40, 41 und 42 ca. 56-60 %. Bezogen auf das insgesamt abgelieferte Lebendgewicht (kg) am Schlachthof, verteilten sich die 3 Schlachtungen auf 16, 17 bzw. 67 %. Im praxisüblichen großen Schlachthof konnten keine Schlachtkörpermerkmale erfasst oder Teilstücke gewogen werden. Um die Gewichtsentwicklung im Verlauf der Mast besser einschätzen zu können, wurden zusätzlich manuell Daten erfasst. Die manuelle Datenerfassung orientierte sich an den Futterwechsel und Schlachttagen (Tabelle 11).

**Tabelle 11: Terminraster für die Datenerfassung in den Studien 1-3 (abweichendes Schema in Studie 2)**

Datum	Versuchstage	Bemerkungen	Futterphasen
Dienstag	0	Wiegen/Datenerf.	Starter
Mittwoch	1		
Donnerstag	2		
Freitag	3		
Samstag	4		
Sonntag	5		
Montag	6		
Dienstag	7		
Mittwoch	8		
Donnerstag	9		
Freitag	10	Wiegen/Datenerf.	Futterwechsel
Samstag	11		Grower I
Sonntag	12		
Montag	13		
Dienstag	14		
Mittwoch	15		
Donnerstag	16		
Freitag	17		
Samstag	18		
Sonntag	19		
Montag	20		
Dienstag	21		Futterwechsel
Mittwoch	22	Wiegen/Datenerf.	
Donnerstag	23		Broiler II
Freitag	24		
Samstag	25		
Sonntag	26		
Montag	27		Futterwechsel
Dienstag	28	Wiegen/Datenerf.	Endmast
Mittwoch	29	Vorgriff 1	
Donnerstag	30		
Freitag	31		
Samstag	32		
Sonntag	33		
Montag	34	Vorgriff 2	
Dienstag	35		
Mittwoch	36		
Donnerstag	37		
Freitag	38	Wiegen/Datenerf.	
Samstag	39		
Sonntag	40		
Montag	41	Ausstallung	
Dienstag	42		

Die Datenerfassung nach Tabelle 11 inkludierte die Erfassung des Lebendgewichtes (g) und eine Fußballenbonitur nach HOCKING et al. (2008) bei 50 Tieren pro Stall (Tabelle 12). Es wurde bei jedem Tier der schlechtere Fußballen bewertet. Die Bewertung wurde immer durch die gleiche, geschulte Person durchgeführt. Die Auswahl der 50 Tiere erfolgte ohne Geschlechtsbestimmung an 4 Orten im Stall: Nach knapp einem Drittel und nach knapp zwei Dritteln der Stalllänge wurden Tiere auf dem linken Hauptgang ausgewählt, nach gut einem Drittel und nach gut zwei Dritteln auf dem rechten Hauptgang (Abbildung 2). Somit erstreckte sich die Auswahl der Tiere auf 4 verschiedene Orte in Bezug auf die Stalllänge. An den Punkten wurden jeweils im Umkreis von ca. 5-6 Metern 12-13 Tiere zufällig ausgewählt. Diese Datenerfassung wurde in Studie 2 aufgrund einer bestehenden Salmonellenproblematik auf Versuchstag 38 reduziert.

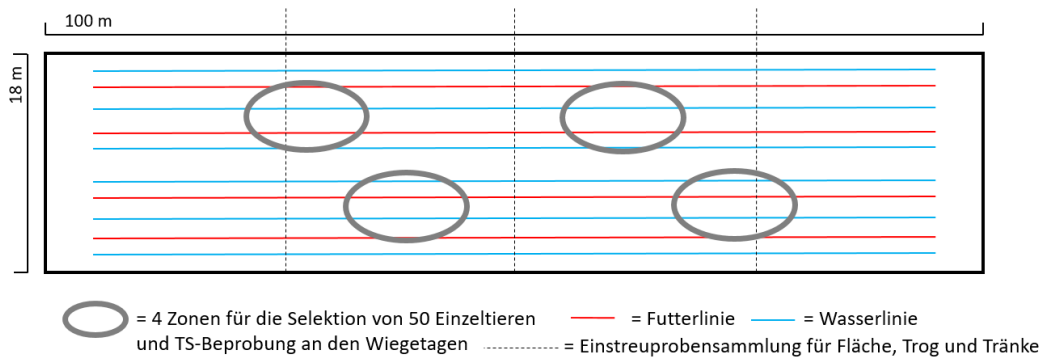
**Tabelle 12: Beurteilungsschema des Fußballens verändert nach HOCKING et al. (2008) und am Schlachthof in Studie 1-3 mittels Kameraklassifizierung**

Score	HOCKING et al. (2008)	Score	Kameraklassifizierung am Schlachthof
0	Keine äußeren Anzeichen für FPD. Haut fühlt sich weich an. Läsionen und Nekrosen liegen nicht vor.		
1	Fußballen fühlt sich härter und verdichteter an. Netzartig angelegte Schuppen sind (leicht) differenziert bzw. voneinander getrennt. Kleine schwarze Nekrosen sichtbar.	0	1 – 5 % nekrotischer Bereich des Fußballens
2	Fußballen ist markant geschwollen. Retikuläre Schuppen stark ausdifferenziert und schuppenartige Nekrosen herausgebildet und sichtbar. Teilweise um nekrotisierten Bereich weißes Narbengewebe. Nekrotischer Bereich $\leq \frac{1}{4}$ des Fußballens.	1	6 – 20 % nekrotischer Bereich des Fußballens
3	Fußballen ist stark ausgeprägt geschwollen und vergrößert. Zahlreich, deutlich ausgeprägte, einzelne retikuläre Schuppen. Nekrotischer Bereich $\leq \frac{1}{2}$ des Fußballens.	2A	21 – 50 % nekrotischer Bereich des Fußballens
4	Entspricht Beschreibung Score 3. Außer: Nekrotischer Bereich $> \frac{1}{2}$ des Fußballens	2B	> 51 % nekrotischer Bereich des Fußballens

In Studie 1-3 wurde an den Versuchstagen 0, 10, 22, 28 und 38 außerdem der Trockensubstanz (TS)-Gehalt in der Einstreu aller Ställe in den vier Wiegezone (graue

Kreise in Abbildung 2) bestimmt. In Studie 2 wurde auf die Erfassung der TS-Gehalte und Einzeltiergewichte aufgrund der Salmonellenproblematik an den Versuchstagen 22 und 28 verzichtet. Es wurde eine repräsentative Mischprobe aus 4 Einzelproben an den Orten der Einzeltierwiegung gebildet. Die Einzelproben wurden im Bereich der Stallfläche mit großem Abstand zu den Futter- und Tränkebahnen gezogen (Abbildung 2).

An VT 38 wurden in Studie 1-3 zusätzlich Mistproben genommen, um die Nährstoffgehalte des Mists am Ende der Mast zu analysieren, indem nach ca. 25, 50 und 75 % der Stalllänge Einstiche im Mist auf der gesamten Stallbreite (gestrichelte Linien in Abbildung 2) bis auf den Betonboden gezogen wurden. Dabei wurden die Bereiche „Fläche“, „Trog“ und „Tränke“ getrennt beprobt (Abbildung 2). Das Probenahmeschema ist angelehnt an die Studien von TASISTRO et al. 2004a, TASISTRO et al. 2004b und TOPPEL et al. 2018. Die Modifizierungen wurden vorgenommen, damit die Probenahme in 10 Ställen von einem Team an einem Tag zeitlich möglich war. Somit konnte eine Praktikabilität für wissenschaftliche Untersuchungen in großen Praxisbetrieben erreicht werden. Aus den Einstichen wurden jeweils separat für die 3 Bereiche homogene Mischproben für die Analyse gebildet. Nach der Ausstallung wurde die Mistmenge pro Stall bestimmt. In Studie 1 erfolgte die Erfassung mittels einer Wiegeeinrichtung am Frontlader des Radladers bei der Verladung des Mistes auf LKWs. In Studie 2 hat diese Art der Datenerfassung technische Probleme bereitet, sodass keine belastbaren Daten erhoben werden konnten. Daher wurde in Studie 3 auf die Erfassung mittels Fuhrwerkswaage bei der Nährstoffbörse umgestellt. Der Mist pro Stall wurde auf jeweils 2 LKWs verladen und exakt verwogen. Die Berechnung des N-Anfalls über den Mist erfolgte aus der Mistmenge und dem N-Gehalt des Bereichs „Fläche“, da dieser Bereich mit Abstand den größten Anteil an der Gesamtmistmenge ausmacht (Schätzungsweise ca. 70 %).



**Abbildung 2: Probenahmeschema für die Auswahl der Einzeltiere und TS-Proben an den Wiegetagen sowie der Einstreuproben an Versuchstag 38 in den Studien 1-3 (verändert nach TASISTRO et al. 2004 a,b und TOPPEL et al. 2018)**

Die Datenerfassung in Studie 4 der Parameter Futteraufnahme, Futteraufwand und Mistqualität hat pro Box (n=5 Boxen à 250 Tiere) stattgefunden. Auf Einzeltierebene wurden an Tag 0, 10, 29 und 34 bei 50 Tieren pro Box die Lebendgewichte erfasst und eine Fußballenbonitur nach HOCKING et al. (2008) durchgeführt (Tabelle 12). Eine Erfassung der Wasseraufnahme war nicht möglich. Eine Teilstückzerlegung ist bei einer Stichprobe von 5 Hähnen und 5 Hennen pro Box (25 Hähne und 25 Hennen pro Variante) analog zu LEMME et al. (2019) durchgeführt worden. Dafür wurden bei der letzten Wiegung an Tag 34 (ein Tag vor der Schlachtung) Durchschnittstiere ( $MW \pm 50$  g) jeder Variante ermittelt und per Geflügelmarke und Farbmarkierung individuell gekennzeichnet. Bei der Teilstückzerlegung wurden manuell folgende Parameter erfasst: Lebendgewicht, Schlachtgewicht, Ausschlagung, Flügel-, Keulen- und Brustkappengewicht mit Haut und die prozentualen Anteile der Teilstücke am Gesamtgewicht (LEMME et al. 2019b).

Auch in Studie 4 wurde nach der Ausstallung eine Mischprobe des Mistes pro Box gezogen, um die Nährstoffgehalte im Mist zu bestimmen. Direkt nach der Ausstallung wurden die Mistmengen pro Variante (nicht pro Box) gewogen. In den Mistproben aller vier Studien wurde mittels NIR (DIN ISO 11261;1997-05 und DIN EN 12880-S 2a;2001-02) der N-Gehalt in der Originalsubstanz (OS), der TS-Gehalt und der N-Gehalt in der Trockensubstanz bestimmt.

Aus den gewonnenen Daten wurden verschiedene N-Bilanz-Parameter berechnet. Der European Efficiency Index (EEI) wurde als Produktivitätsindex auf Basis der biologischen Leistung herangezogen.

- N-Aufnahme (kg/Stall) = konsumiertes Futter (kg) \* analysierter N-Gehalt (%)
- N-Deposition (kg/Stall) = kg angeliefertes Lebendgewicht am Schlachthof \* 30 g N/kg LG (HILLER et al. 2014)
- N-Exkretion (kg/Stall) = N-Aufnahme (analysierter N-Gehalt im Futter \* Futtermenge) – N-Deposition
- N-Anfall (kg/Stall) = Mistmenge \* N-Gehalt der Fläche i. d. OS
- N-Verwertung (%) = N-Deposition (kg/Stall) / N-Intake (kg/Stall) \* 100
- EEI = ([Überlebensrate (%) \* LG (kg)] / [Futterraufwand \* Alter (d)] \* 100)

### 3.4 Ganzkörperanalyse

Die Ganzkörperanalyse wurde an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock durchgeführt. Dafür wurden bei Studie 2 am Morgen nach der Einnistung 40 Küken (4 pro Stall \* 10 Ställe) aufgesammelt, die frisch verendet waren. An Lebenstag 38 wurden 20 adulte Tiere (2 pro Stall; je 1 ♂ / 1 ♀ mit durchschnittlichem Herdengewicht) ausgewählt. Die Hähne wurden mit 2,4 kg Lebendgewicht  $\pm 100$  g und die Hennen mit 2,2 kg LG  $\pm 100$  g für die Ganzkörperanalyse aus den Herden gesucht. Die Geschlechtsbestimmung erfolgte anhand des Kamms. Die Tiere konnten vor der Tötung nicht genüchert werden, weil sie direkt aus der Herde ausgesucht und ohne weiteren Stress getötet wurden. Die Tötung wurde vom Hoftierarzt als Person mit Sachkunde durchgeführt. Nach der N-Bestimmung im Ganzkörper wurde der Fleisch-Knochen-Brei zu Hundefutter verarbeitet. Somit stellt der Zweck der Tötung zur weiteren Verarbeitung als Hundefutter einen vernünftigen Grund im Sinne des Tierschutzgesetzes dar. Nach der fachgerechten Betäubung erfolgte die Tötung durch Dislokation, sodass kein Blutentzug stattgefunden hat. Diese Art der Tötung war wichtig, damit das ganze Tier ohne Verluste durch Entblutung für die Ganzkörperanalyse verwendet werden konnte. Nach der Tötung wurden die Tiere in verschlossenen Plastiksäcken eingefroren, um sie vor Austrocknung zu schützen. Der Transport der Tiere nach Rostock erfolgte im privaten PKW. Dafür hat das zuständige Veterinäramt des Landkreises Emsland



eine Genehmigung in Form einer Registrierung als Transporteur von tierischen Nebenprodukten ausgestellt.

Für die Ganzkörperanalyse gibt es keine allgemeingültige VDLUFA-Norm oder ähnliches. Die im folgenden beschriebene Vorgehensweise ähnelt den Ganzkörperanalysen von HILLER et al. (2014), MÜSSE et al. (2022) und den Untersuchungen, die in Kapitel 2.5 genannt wurden. Teilweise werden die Federn nach dem Rupfen als Poolprobe analysiert, teilweise pro Einzeltier.

Nach dem Auftauen der Tiere wurden ggf. grobe Kotreste am Gefieder der Tiere entfernt und das ganze Tier gewogen. Im zweiten Schritt wurden die Tiere einzeln gerupft und die Federn der Tiere sowie der Körper des gerupften Tieres gewogen. Die Federn der Tiere wurden vermahlen und der Proteingehalt pro Einzeltier nach Kjeldahl bestimmt. Dem Schlachtkörper wurden die Organe entnommen und der Inhalt der Organe ausgestrichen, sowie das Gewicht des Leerkörpers und der Organe bestimmt. Danach wurde der Leerkörper grob zerlegt und inklusive der Organe als 5-6 kleine Pakete zum Einfrieren zusammengepackt. Die gefrorenen Pakete wurden durch einen großen Knochenmußer gedrückt und der Fleisch-Knochen-Brei händisch sorgfältig homogenisiert. Davon wurde eine Teilprobe von ca. 400 g für die Proteinbestimmung gezogen. Nach der Bestimmung des XP-Gehalts des Körpers mittels Kjeldahl-Methode im Labor der Universität Rostock, wurden die XP-Gehalte der Federn und des Körpers anhand der prozentualen Gewichtsverteilung miteinander verrechnet. Der Rohproteingehalt des Ganzkörpers wurde durch 6,25 geteilt, um die Stickstoffmenge zu errechnen.

### 3.5 Statistische Analyse

Die schriftlich dokumentierten Messwerte wurden mit Microsoft Excel erfasst und aufbereitet. Die Versuchsauswertung erfolgt anhand der vier Abschnitte (Wiegungen). Die Fütterungsabschnitte werden getrennt und zusammengefasst ausgewertet. Neben der deskriptiven Statistik aller Parameter wurden die TS-Gehalte im Mist und die manuell erfassten Daten aus Studie 1-3 (Praxismaßstab) sowie alle Daten aus Studie 4 (Großgruppenhaltung) und die Ganzkörperanalyse varianzanalytisch mit Hilfe des Statistikprogrammpakets IBM SPSS Statistics für Windows, Version 24.0 verrechnet. Der Stall (Studie 1-3) bzw. die Box (Studie 4) dienten als experimentelle Einheit. Zuvor wurde jeweils die Varianzhomogenität und die Normalverteilung kontrolliert.

Die Ergebnisse werden als LSQ-Mittelwerte und ggf. mit Standardfehler dargestellt. Der Vergleich der LSQ-Mittelwerte erfolgt mit dem Scheffé-Test als Post-Hoc-Test ( $p \leq 0,05$ ). Ziel der statistischen Methode ist es, den Einfluss des stark proteinreduzierten Futters darzustellen. Die genannten Parameter für die Varianzanalyse wurden mit folgendem varianzanalytischen Modell betrachtet:

$$Y_{klm} = \mu + \text{Var}_k + \text{Stall}_l(\text{Var}_k) + e_m$$

Dabei bedeutet:

$Y_{klm}$	=	Beobachtungswert: Gewicht an Tag 0, 10, 22, 28, 38
$\mu$	=	Populationsmittel
$\text{Var}_k$	=	fixer Effekt der Variante (Kontrolle = 1, Versuch = 2)
$\text{Stall}_l(\text{Var}_k)$	=	fixer Effekt des Stalles innerhalb der Variante (K: 1, 3, 6, 7, 10; V: 2, 4, 5, 8, 9)
$e_m$	=	zufälliger Restfehler

Das Programm IBM SPSS Statistics für Windows, Version 24.0 wurde ebenfalls für die manuelle Fußballenbonitur genutzt und mit dem Mann-Whitney-U-Test jeder Erfassungszeitpunkt auf Unterschiedlichkeit geprüft. Die stallbezogenen Daten der Feldstudien wurden mit dem t-Test als Mittelwertvergleich ausgewertet. Signifikante Behandlungsunterschiede werden bei  $p \leq 0,05$ , statistische Tendenzen bei  $p \leq 0,1$  ausgewiesen.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Futtermittelanalytik

Die Rohproteinanalysen der Futterproben (Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9, Tabelle 10) und die relativen Anteile der einzelnen Fütterungsphasen zur Gesamtfutteraufnahme zeigten, dass der gewichtete Mittelwert des Futterproteingehalts um 0,3 %-Punkte (Studie 1), um 0,7 %-Punkte (Studie 2), um 1,1 %-Punkte (Studie 3) und um 1,5 %-Punkte (Studie 4) im Vergleich zur Standardvariante gesenkt wurde.

Die analysierten XP-Gehalte in der N-reduzierten Variante in Studie 1 ergeben einen gewichteten Mittelwert von 19,6 % XP im Gegensatz zu 19,9 % XP im Standardfutter. Die Gehalte in den Studien 2, 3 und 4 lagen entsprechend bei 19,8 % XP, 20,0 % XP und 19,9 % XP im Kontrollfutter und 19,1 % XP, 18,9 % XP und 18,4 % XP im N-reduzierten Futter.

Die Absenkungen wurden insbesondere durch die Verschiebung der drei Makro-Komponenten Sojaextraktionsschrot, Pflanzenöl und Weizen erreicht. Sojaextraktionsschrot und Pflanzenöl wurden reduziert und entsprechend der Weizenanteil erhöht und AS ergänzt. Entsprechend wurde der Sojaextraktionsschrotanteil in Studie 1 von durchschnittlich 204 kg/t um 9 % auf 185 kg/t, in Studie 2 von durchschnittlich 236 kg/t um 10 % auf 212 kg/t, in Studie 3 von 221 kg/t um 17 % auf 183 kg/t und in Studie 4 von 221 kg/t um 34 % auf 146 kg/t reduziert. Bei der gesamten Futtermittelanalytik wurden alle verwendeten Futtermittelchargen in den vier vorliegenden Studien analysiert (Studie 1 n = 97; Studie 2 n = 105; Studie 3 n = 105; Studie 4 n = 7). Die analysierten Werte der AS-Gehalte sind jeweils in Klammern in den Rationstabellen Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 in Kapitel 3.2 zu finden.

### 4.2 Leistungsparameter

#### *Lebendgewichte*

Die Leistungsparameter der Broiler aus Studie 1 werden in Tabelle 13 dargestellt. Die durchschnittlichen Lebendgewichte gemäß Schlachthofbericht unterschieden sich nicht zwischen den Behandlungen ( $p \geq 0,05$ ), sowohl einzeln für Vorfang 1, 2 und die Endausstallung ( $p = 0,880$ ), als auch für den Gesamtdurchschnitt. In Bezug auf die Lebendgewichte, die auf manuellen Stichprobenwiegungen von 50 Tieren verschiedenen Zeitpunkten pro Stall beruhen (Tabelle 14), zeigten sich an Tag 0,

10 und 22 nahezu identische Werte. Danach entwickelten sich Tiere der Versuchsvariante minimal langsamer und wogen an Tag 28 ca. 20 g und an Tag 38 ca. 29 g weniger als die Tiere der Kontrollvariante. Dieser numerische Unterschied im Wachstumsverlauf ist statistisch nicht signifikant abgesichert ( $p=0,835$ ).

**Tabelle 13: Leistungsparameter von 420.000 Broilern (as hatched) mit praxisüblichem Standardfutter (210.000 Tiere, n=5) und N-reduzierter Fütterung (210.000 Tiere, n=5) über die gesamte Mast in Studie 1**

	Standard	N-reduziert	gepoolter SEM <sup>d</sup>	p
<b>Lebendgewichte (kg/Tier)</b>				
Vorgriff 1, Tag 29	1,550	1,523	0,032	0,366
Vorgriff 2, Tag 34	2,016	2,004	0,028	0,638
Endausstallung, Tag 40-42	2,789	2,780	0,060	0,880
<b>Mastparameter</b>				
Durchschnittsalter (d) <sup>a</sup>	36,7	36,7	0,333	0,943
Lebendgewicht – Gesamt (kg/Tier) <sup>a</sup>	2,344	2,328	0,043	0,685
Futtermittelaufnahme – Gesamt (kg/Tier) <sup>a</sup>	3,547	3,463	0,047	0,083
Futtermittelaufwand (kg/kg) <sup>a</sup>	1,517	1,496	0,014	0,138
EEI <sup>b</sup>	415	419	8,7	0,611
Mortalität (%)	1,14	1,36	0,06	<b>0,022</b>
<b>Futtermittelaufnahme (kg/Stall)</b>				
Starter	10.502	10.336	57	0,091
Grower 1	33.051	33.933	300	0,129
Grower 2	30.216	30.768	213	0,057
Finisher	73.067 <sup>a</sup>	67.608 <sup>b</sup>	1078	<b>0,003</b>
<b>Wasser und Mist</b>				
Wasseraufnahme (ml/Tier)	7.789 <sup>a</sup>	7.476 <sup>b</sup>	135,0	<b>0,032</b>
Mistmenge (t/Stall)	54,6	47,9	4,67	0,148
<b>N-Bilanz (kg/Stall)</b>				
N-Aufnahme	4.666 <sup>a</sup>	4.464 <sup>b</sup>	57,6	<b>0,004</b>
N-Deposition <sup>c</sup>	2.852	2.810	51,9	0,393
N-Exkretion	1.814 <sup>a</sup>	1.654 <sup>b</sup>	31,8	<b>&lt;0,001</b>
N-Verwertung (%) <sup>c</sup>	61,1 <sup>a</sup>	62,9 <sup>b</sup>	0,65	<b>0,014</b>

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>a</sup> Gewichteter Mittelwert aller Schlachtungen; <sup>b</sup> European Efficiency Index =  $(\text{Überlebensrate (\%)} * \text{LG (kg)}) / [\text{Futtermittelaufwand} * \text{Alter (d)}] * 100$ ; <sup>c</sup> 30 g N/kg LG (Hiller et al., 2014); <sup>d</sup> SEM: Standardfehler, 5 Wiederholungen pro Variante, unterschiedliche Hochbuchstaben zeigen Signifikanzen an ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$ .

**Tabelle 14: Entwicklung der Lebendgewichte (g) der Broiler bei Angebot eines Standard- bzw. proteinreduzierten Alleinfutters in Studie 1**

	Standard (n=250 Tiere)		N-reduziert (n=250 Tiere)	
	(g/Tier)	SD	(g/Tier)	SD
Tag 0	40,96	(± 3,11)	40,76	(± 3,29)
Tag 10	286,77	(± 28,53)	291,05	(± 29,38)
Tag 22	1.049,57	(± 120,00)	1.050,49	(± 114,54)
Tag 28	1.504,23	(± 171,49)	1.484,40	(± 181,07)
Tag 38	2.466,20	(± 314,03)	2.437,27	(± 298,10)

250 Tiere pro Variante, 50 Tiere pro Stall \* 5 Ställe; SD = Standardabweichung

Die Absenkung von 0,7 % XP im gewichteten Mittelwert der vier Futterphasen in Studie 2 führte ebenfalls zu gleichen Leistungen bezüglich des Lebendgewichts bei den einzelnen Schlachterminen und über die gesamte Mast hinweg (Tabelle 15). Bei Vorfang 1 und 2 liegen die Gewichte der Tiere der N-reduzierten Variante numerisch 47 g und 24 g vor der Standardfütterung. Zum Zeitpunkt der Endausstallung liegt die Standardvariante 35 g numerisch vor der N-reduzierten Variante.

**Tabelle 15: Leistungsparameter von 378.000 Broilern (as hatched) mit praxisüblichem Standardfutter (168.000 Tiere, n=4) und N-reduzierter Fütterung (210.000 Tiere, n=5) über die gesamte Mast in Studie 2**

	Standard	N-reduziert	gepoolter SEM <sup>d</sup>	p
<b>Lebendgewichte (kg/Tier)</b>				
Vorgriff 1, Tag 29	1,538	1,585	0,047	0,331
Vorgriff 2, Tag 34	2,020	2,044	0,066	0,714
Endausstallung, Tag 40-42	2,774	2,741	0,090	0,714
<b>Mastparameter</b>				
Durchschnittsalter (d) <sup>a</sup>	36,2	36,3	0,165	0,829
Lebendgewicht – Gesamt (kg/Tier) <sup>a</sup>	2,320	2,330	0,068	0,881
Futteraufnahme – Gesamt (kg/Tier) <sup>a</sup>	3,554	3,575	0,052	0,673
Futteraufwand (kg/kg) <sup>a</sup>	1,544	1,549	0,034	0,891
EEI <sup>b</sup>	400	407	22,8	0,775
<b>N-Bilanz (kg/Stall)</b>				
N-Aufnahme	112,7	109,4	1,64	0,068
N-Deposition <sup>c</sup>	67,8	68,1	2,04	0,910
N-Exkretion	44,9	41,3	1,45	<b>0,035</b>
N-Verwertung (%) <sup>c</sup>	60,2	62,2	1,38	0,156

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>a</sup> Gewichteter Mittelwert aller Schlachtungen; <sup>b</sup> European Efficiency Index = ((Überlebensrate (%) \* LG (kg)) / [Futteraufwand \* Alter (d)] \* 100); <sup>c</sup> 30 g N/kg LG (Hiller et al., 2014); <sup>d</sup> SEM: Standardfehler, 4 Wiederholungen in der Standardvariante, 5 Wiederholungen in der N-reduzierten Variante, unterschiedliche Hochbuchstaben zeigen Signifikanzen an (p ≤ 0.05); statistische Tendenz: p ≤ 0.1.

Die höchste XP-Absenkung (- 1,1 % XP) in Studie 3 wurde durch eine Multiphasenfütterung in der Endmast erreicht. Die stärkere XP-Absenkung führte zu einem signifikant höheren durchschnittlichen Lebendgewicht über alle Schlachtungen hinweg ( $p=0,020$ ). Beim zweiten Vorgriff ( $p=0,013$ ) und bei der Endausstallung ( $p=0,041$ ) wurden ebenfalls signifikant höhere Lebendgewichte erreicht. Die Differenzen lagen bei ca. 120 g höherem Lebendgewicht. Beim Vorgriff 1 konnte die N-reduzierte Variante mit 70 g Differenz tendenziell ( $p=0,098$ ) höhere Lebendgewichte erreichen (Tabelle 16).

**Tabelle 16: Leistungsparameter von 420.000 Broilern (as hatched) mit praxisüblichem Standardfutter (205.000 Tiere, n=5) und N-reduzierter Fütterung (205.000 Tiere, n=5) über die gesamte Mast in Studie 3**

	Standard	N-reduziert	gepoolter SEM <sup>d</sup>	p
<b>Lebendgewichte (kg/Tier)</b>				
Vorgriff 1, Tag 29	1,496	1,565	0,053	0,098
Vorgriff 2, Tag 34	2,035	2,155	0,070	<b>0,013</b>
Endausstallung, Tag 40-42	2,651	2,748	0,075	<b>0,041</b>
<b>Mastparameter</b>				
Durchschnittsalter (d) <sup>a</sup>	36,8	36,9	0,205	0,428
Lebendgewicht – Gesamt (kg/Tier) <sup>a</sup>	2,278	2,372	0,056	<b>0,020</b>
Futtermittelaufnahme – Gesamt (kg/Tier) <sup>a</sup>	3,481	3,593	0,090	<b>0,033</b>
Futtermittelaufwand (kg/kg) <sup>a</sup>	1,539	1,524	0,021	0,514
EEI <sup>b</sup>	393	412	16,675	0,154
<b>Wasser und Mist</b>				
Wasseraufnahme (ml/Tier)	6292	6325	249,73	0,810
Mistmenge (t/Stall)	53,28	50,13	1,51	0,198
<b>N-Bilanz (kg/Stall)</b>				
N-Aufnahme	4354	4273	117,34	0,151
N-Deposition <sup>c</sup>	2673	2775	95,50	0,074
N-Exkretion	1681	1497	33,17	<b>0,017</b>
N-Verwertung (%) <sup>c</sup>	61,4	65,0	0,96	<b>0,018</b>

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>a</sup> Gewichteter Mittelwert aller Schlachtungen; <sup>b</sup> European Efficiency Index =  $(\text{Überlebensrate (\%)} * \text{LG (kg)}) / [\text{Futtermittelaufwand} * \text{Alter (d)}] * 100$ ; <sup>c</sup> 30 g N/kg LG (Hiller et al., 2014); <sup>d</sup> SEM: Standardfehler, 5 Wiederholungen pro Variante, unterschiedliche Hochbuchstaben zeigen Signifikanzen an ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$ .

Die täglichen Zunahmen und die Lebendgewichte liegen in Studie 4 (Tabelle 17) in der N-reduzierten Variante auf gleichem Niveau mit der Standardvariante. Die N-reduzierte Variante war an VT 10 um 2 g leichter, an VT 29 um 9 g schwerer und an VT 34 um 11 g leichter (jeweils numerisch) als die Standardvariante. Das Irrtumswahrscheinlichkeitsniveau liegt im Bereich von  $p=0,268$  bis  $p=0,810$ .

**Tabelle 17: Leistungsparameter der Broiler (50 % ♂/ 50 % ♀) mit Standardfütterung (n=1250; 5 Boxen à 250 Tiere) und N-reduzierter Fütterung (n=1250; 5 Boxen à 250 Tiere) über die gesamte Mast (Studie 4)**

LG (g/Tier)	Standard	N-reduziert	gepoolter SEM <sup>c</sup>	p
Tag 0	42,6	42,7	0,45	0,810
Tag 10	326	324	1,8	0,268
Tag 29	1,830	1,839	33,0	0,779
Tag 34	2,403	2,392	22,9	0,601
<b>TGZ (g/Tier und Phase)</b>				
Starter	284	282	1,8	0,222
Grower	1.504	1.515	33,1	0,730
Finisher	573	553	27,7	0,448
Futtermaufnahme <sup>a</sup> (kg/Tier)	3,456	3,423	2,38	0,121
Futterm Aufwand <sup>a</sup> (kg/kg LG)	1,443	1,439	0,014	0,810
<b>N-Bilanz<sup>a</sup></b>				
N-Aufnahme (g/Tier)	110,7 <sup>a</sup>	101,7 <sup>b</sup>	0,10	<0,01
N-Deposition <sup>b</sup> (g/Tier)	70,6 <sup>a</sup>	70,5 <sup>ab</sup>	0,25	0,461
N-Exkretion (g/Tier)	40,1 <sup>a</sup>	31,7 <sup>b</sup>	0,20	<0,01
N-Verwertung <sup>b</sup> (%)	63,8 <sup>b</sup>	69,3 <sup>a</sup>	0,19	<0,01
PAN-Verwertung (%)	75,7 <sup>b</sup>	82,2 <sup>a</sup>	0,22	<0,01

N=Stickstoff; PAN=potentially available N; p=Irrtumswahrscheinlichkeit<sup>a</sup> Mittelwerte, 5 Wiederholungen pro Variante; <sup>b</sup> 30 g N/kg LG (Hiller et al. 2014); <sup>c</sup> SEM: Standardfehler, 5 Wiederholungen pro Variante, unterschiedliche Hochbuchstaben zeigen Signifikanzen an ( $p \leq 0.05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0.1$ .

### *Futtermaufnahme*

In Studie 1 haben die Tiere der Versuchsvariante (3,46 kg/Tier/d) tendenziell weniger Futter im Vergleich zur Kontrollvariante (3,55 kg/Tier/d) aufgenommen ( $p=0,083$ ). Dieser Unterschied resultiert ausschließlich aus der Finisherphase (Tabelle 13) in der der Futtermverbrauch signifikant geringer war ( $p=0,003$ ). In den ersten 3 Fütterungsphasen sind die Futtermaufnahmen in den verschiedenen Fütterungsvarianten nahezu identisch (Tabelle 13). Über den gesamten Zeitraum der Studie 1 verbrauchten die Tiere der Versuchsvariante insgesamt durchschnittlich 5,4 t weniger Futter als die Kontrollvariante.

In Studie 2 haben die Tiere der Standardfütterung (3,55 kg FA/Tier) und der N-reduzierte Variante (3,58 kg FA/Tier) gleiche Futteraufnahmen verzeichnet ( $p=0,673$ ). In Studie 3 ist bei stärkerer XP-Absenkung eine signifikant erhöhte Futteraufnahme festgestellt worden ( $p=0,033$ ). Die N-reduzierte Variante nahm mit 3,59 kg Futter pro Tier über 100 g mehr Futter auf als die Standardvariante (3,48 kg Futter/Tier). In Studie 4 wurden bei Tieren beider Varianten nahezu gleiche Futteraufnahmen (3,46 kg zu 3,42 kg FA/Tier) erfasst ( $p=121$ ).

Somit lassen sich über alle 4 Studien zur N-Absenkung hinweg eine signifikant erhöhte Futteraufnahme, eine tendenziell reduzierte und zwei gleichbleibende Futteraufnahmen festhalten.

#### *Futteraufwand*

In Studie 1 lag die N-reduzierte Variante mit einem Futteraufwand von 1,496 numerisch ( $p=0,138$ ) vor der Standardvariante mit 1,517 (Tabelle 13). In Studie 2 war ein identischer Futteraufwand in beiden Varianten bei einem Irrtumswahrscheinlichkeitsniveau von  $p=0,891$  zu verzeichnen (Standardfütterung: Futteraufwand=1,544 und N-reduzierte Fütterung: Futteraufwand=1,549). In Studie 3 war der Futteraufwand ebenfalls nicht beeinflusst ( $p=0,514$ ). Die Standardvariante lag bei einem Futteraufwand von 1,539 und die N-reduzierte Variante bei 1,524. In Studie 4 konnte in der Großgruppenhaltung in beiden Varianten ein Futteraufwand von ca. 1,44 erzielt werden.

Somit wurde in allen 4 vorliegenden Studien ein gleichbleibender Futteraufwand bei stärker werdenden Proteinabsenkungen festgestellt.

#### *European Efficiency Index*

Der EEI lag in Studie 1 in der N-reduzierten Variante (419) auf einem ähnlichen Niveau ( $p=0,611$ ) wie in der Kontrollvariante (415). Auch in Studie 2 wurden mit einem EEI von 400 in der Standardvariante und 407 in der N-reduzierten Variante sehr ähnliche Ergebnisse ( $p=0,775$ ) im EEI erzielt. In Studie 3 haben die erhöhten Zunahmen der N-reduzierten Variante zu einem numerisch ( $p=0,154$ ) erhöhten EEI von 412 im Vergleich zu 393 in der Standardvariante geführt (Tabelle 16).

In Studie 4 zeigten sowohl die Standardvariante als auch die N-reduzierte Variante einen EEI von 472.



### Wasseraufnahme

In Studie 1 haben die Tiere der Versuchsvariante 4 % weniger Wasser verbraucht ( $p=0,004$ ). In Studie 2 haben 3 Ställe (Stall 1: Wasserrohrbruch; Stall 7: Salmonellenstall mit erhöhter Tierdichte; Stall 10: Ausfall der automatischen Datenerfassung) in der Standardvariante unrealistische Werte produziert die nicht in der Auswertung berücksichtigt werden konnten. Eine Auswertung von 2 Ställen der Standardvariante zu 5 Ställen der N-reduzierten Variante war aus wissenschaftlicher Sicht nicht zielführend. In Studie 3 wurde in beiden Varianten eine sehr ähnliche ( $p=0,810$ ) Wassermenge aufgenommen. In Studie 4 wurde die Wasseraufnahme, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, nicht erfasst.

### 4.3 Trockensubstanz der Einstreu

In Studie 1 war der TS-Gehalt in der Einstreu beider Varianten bis VT 22 nahezu identisch. An den VT 28 und 38 wurde in der N-reduzierten Variante eine numerisch trockenere Einstreu festgestellt (Tabelle 18). An VT 38 konnten im Bereich des Trog, im Bereich der Tränke und im Bereich der Fläche zwischen den Tränkebahnen mit 2-5 % geringeren TS-Gehalten in der N-reduzierten Variante in allen Stallbereichen ähnliche numerische Unterschiede gemessen werden (Tabelle 25). Mit mehr als 75 % TS hat der Bereich des Trog den höchsten TS-Gehalt. Im Bereich der Tränke wurde ein TS-Gehalt von ca. 65 % und im Bereich der Fläche von etwa 58 % TS festgestellt.

**Tabelle 18: Ergebnisse der mittleren TS-Gehalte der Einstreu der Kontroll- und Versuchsvariante an den Versuchstagen 0, 10, 22, 28, 38 in Studie 1**

Einstreu-TS (%)	Standard	N-reduziert	p
VT 0	90,19	90,79	0,572
VT 10	74,32	75,09	0,723
VT 22	67,11	67,94	0,793
VT 28	61,02	64,16	0,294
VT 38	56,23	58,52	0,331
Alle Tage			0,274

VT=Versuchstag; N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup> = unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

In Studie 2 konnten nahezu identische TS-Gehalte in der Einstreu beider Varianten an VT 1, 10 und 38 gemessen werden (Tabelle 19).

Die N-reduzierte Variante in Studie 3 zeigte an VT 22 einen signifikant geringeren TS-Gehalt (Tabelle 20). Bis zum Ende der Mast glichen sich die TS-Gehalte der beiden Varianten nahezu an, jedoch wies auch dort die N-reduzierte Variante einen numerisch niedrigeren TS-Gehalt in der Einstreu auf.

**Tabelle 19: Ergebnisse der mittleren TS-Gehalten der Einstreu der Kontroll- und Versuchsvariante an den Versuchstagen 0, 10, 38 in Studie 2**

Einstreu-TS (%)	Standard	N-reduziert	p
VT 1	91,91	92,11	0,876
VT 10	72,85	71,36	0,168
VT 38	53,23	53,72	0,527

VT=Versuchstag; N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup> = unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0.05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0.1$

**Tabelle 20: Ergebnisse der mittleren TS-Gehalten der Einstreu der Kontroll- und Versuchsvariante an den Versuchstagen 10, 22, 28, 38 in Studie 3**

Einstreu-TS (%)	Standard	N-reduziert	p
VT 10	76,92	75,15	0,154
VT 22	68,55 <sup>a</sup>	61,03 <sup>b</sup>	<b>0,005</b>
VT 28	60,82	56,79	0,142
VT 38	55,78	54,78	0,287

VT=Versuchstag; N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup> = unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0.05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0.1$

In Studie 4 wurde zwischen den beiden Fütterungsvarianten der größte Unterschied im TS-Gehalt gemessen. Die Standardfütterung hatte an VT 34 nach der Ausstallung mit 50,02 % TS einen signifikant ( $p=0,001$ ) niedrigeren TS-Gehalt als die N-reduzierte Variante mit 61,92 % TS.

#### 4.4 Fußballengesundheit

Die Fußballbonituren in Studie 1 ergaben bei den Boniturnoten 0 und 1 in der Kontrollvariante nahezu 100 % bei allen 3 Schlachterminen (Tabelle 24). Anhand der Werte der Stufe 0 (keine Veränderungen) im Verlauf der 3 Schlachtermine fällt auf, dass die Standardfütterungsvariante (94 %, 89 %, 82 %) mit jeder Teilschlachtung einen abnehmenden Anteil der Boniturnote 0 zeigte. Die Versuchsvariante blieb im Verlauf der drei Teilschlachtungen stabil (95 %, 99 %, 98 %). Die N-reduzierte Variante konnte tendenziell geringere Fußballbonituren bei den Boniturnoten 0 und 1 zeigen ( $p=0,086$  und  $p=0,081$ ). Die Ergebnisse der manuellen Fußballbonitur (Tabelle 21) zeigten ebenfalls kontinuierlich steigende Boniturnoten in der Kontrollvariante im Mastverlauf. Dagegen konnte die Versuchsvariante analog zur Kameraklassifizierung am Schlachthof bis zur letzten Bonitur an Tag 38  $\geq 95$  % gesunde Fußballen mit der Boniturnote 0 aufweisen. Im Vergleich dazu wurden in der Kontrollvariante an Tag 38 nur 70 % der Fußballen mit 0 bonitiert. Dieser Unterschied an Tag 38 konnte signifikant abgesichert werden ( $p=0,032$ , siehe Tabelle 21). Zudem lagen an Tag 22 und Tag 28 statistische Tendenzen für gesündere Fußballen in der Versuchsvariante vor.

**Tabelle 21: Prozentuale Verteilung der Boniturnoten der manuellen Fußballbonitur im Stall an den Tagen der Datenerfassung pro Variante im Praxisversuch (Studie 1)**

Versuchstag	Variante	Anteil der Boniturnote (%)					p
		0	1	2	3	4	
0	Standard	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000
	N-reduziert	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	Standard	96,4	2,8	0,8	0,0	0,0	0,421
	N-reduziert	98,4	1,6	0,0	0,0	0,0	
22	Standard	91,6	4,4	2,4	1,2	0,4	0,056
	N-reduziert	98,4	0,8	0,0	0,8	0,0	
28	Standard	83,6	6,4	8,0	1,6	0,4	0,095
	N-reduziert	98,4	0,8	0,4	0,4	0,0	
38	Standard <sup>a</sup>	69,6	6,0	15,6	6,8	2,0	<b>0,032</b>
	N-reduziert <sup>b</sup>	94,8	1,2	3,6	0,4	0,0	

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

Nachdem es in Studie 2 keine Einflüsse der N-reduzierten Variante auf die Parameter Futteraufnahme, Wasseraufnahme und TS der Einstreu gab, sind bei den Fuß-

ballenbonituren am Schlachthof Unterschiede festgestellt worden (Tabelle 24). Boniturnote 0 konnte signifikant häufiger und Boniturnote 1 signifikant seltener bei der N-reduzierten Variante festgestellt werden. Tabelle 22 zeigt das Ergebnis der manuellen Fußballbonitur in Studie 2. In der N-reduzierten Variante sind die Boniturnoten 2 und 3 an VT 38 reduziert und die Boniturnote 0 erhöht ( $p=0,144$ ).

**Tabelle 22: Prozentuale Verteilung der Boniturnoten der manuellen Fußballbonitur im Stall an den Tagen der Datenerfassung pro Variante im Praxisversuch (Studie 2)**

Versuchstag	Variante	Anteil der Boniturnote (%)					p
		0	1	2	3	4	
0	Standard	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000
	N-reduziert	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	Standard	99,6	0,4	0	0	0	0,059
	N-reduziert	97,6	2,4	0	0	0	
38	Standard	35,6	10	41,2	11,2	2	0,144
	N-reduziert	60,8	12,4	22,4	4,4	0	

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

In Studie 3 wurde die Fußballengesundheit in der N-reduzierten Variante an VT 28 signifikant verbessert. An VT 0 und 10 waren keine Veränderungen an den Fußballen zu beobachten. An VT 38 haben die Schweregrade, vor allem in der Kontrollvariante zugenommen. Der numerische Unterschied an VT 38 liegt bei einem Irrtumswahrscheinlichkeitsniveau von  $p=0,151$ .

**Tabelle 23: Prozentuale Verteilung der Boniturnoten der manuellen Fußballbonitur im Stall an den Tagen der Datenerfassung pro Variante im Praxisversuch (Studie 3)**

Versuchstag	Variante	Anteil der Boniturnote (%)					p
		0	1	2	3	4	
0	Standard	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000
	N-reduziert	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	Standard	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000
	N-reduziert	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
22	Standard	72,4	12,0	6,8	8,8	0,0	0,421
	N-reduziert	80,4	10,0	5,2	4,4	0,0	
28	Standard <sup>a</sup>	55,6	10,4	18,0	16,0	0,0	<b>0,032</b>
	N-reduziert <sup>b</sup>	78,0	11,2	7,2	3,6	0,0	
38	Standard	59,2	5,6	8,8	26,4	0,0	0,151
	N-reduziert	71,6	6,0	9,2	13,2	0,0	

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

**Tabelle 24: Prozentuale Verteilung der mittleren Boniturnoten der Fußballen am Schlachthof aller 3 Schlachtungen pro Variante in den Praxisversuchen (Studie 1-3)**

	Boniturnote	Standard	N-reduziert	gepoolter SEM	p
Studie 1	0	86,5	97,6	6,38	0,086
	1	12,1	2,3	5,45	0,081
	2a	1,5	0,0	0,96	0,134
Studie 2	0	57,4 <sup>a</sup>	77,5 <sup>b</sup>	8,56	<b>0,042</b>
	1	37,0 <sup>a</sup>	20,4 <sup>b</sup>	7,07	<b>0,042</b>
	2a	5,6	2,1	1,66	0,060
Studie 3	0	73,3	82,1	10,58	0,125
	1	22,1	14,8	9,48	0,119
	2a	4,6	3,0	2,00	0,498
	2b	0,1	0,1	0,06	0,975

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

In Studie 4 waren nahezu alle Bonituren bis zum Ende der Untersuchung in Boniturnote 0. Somit konnte in den Studien 1-3 ein Einfluss der N-Reduktion auf die Gesundheit der Fußballen festgestellt werden.

#### 4.5 Umwelt-/N-Bilanz

Die rechnerische N-Ausscheidung ergibt sich aus der N-Aufnahme über das Futter abzüglich der N-Deposition im Tierkörper. Die N-Verwertung ist der prozentuale Anteil des N-Ansatzes in Bezug zur N-Aufnahme. Die Ergebnisse der berechneten N-Ströme sind in Tabelle 13, Tabelle 15, Tabelle 16 und Tabelle 17 dargestellt. Die N-Aufnahme konnte in Studie 1 um 4 % ( $p=0,004$ ), in Studie 2 um 3 % ( $p=0,068$ ), in Studie 3 um 2 % ( $p=0,151$ ) und in Studie 4 um 8 % ( $p<0,01$ ) gesenkt werden.

Wie bereits im Kapitel der Leistungsparameter beschrieben, waren die Lebendgewichte der Tiere am Schlachthof in der N-reduzierten Variante gleich. Somit konnte kein Einfluss auf die N-Deposition festgestellt werden. Das führte in allen vier Studien zu rechnerisch signifikant geringeren N-Ausscheidungen. Die rechnerische N-Ausscheidung wurde in Studie 1 um 9 % ( $p\leq 0,001$ ), in Studie 2 um 8 % ( $p=0,035$ ), in Studie 3 um 11 % ( $p=0,017$ ) und in Studie 4 um 21 % ( $p<0,01$ ) reduziert.

Die N-Verwertung der N-reduzierten Varianten konnte in Studie 1, 3 und 4 signifikant und in Studie 2 numerisch verbessert werden. In Studie 1 wurde die N-Verwertung von 61,1 % in der Standardvariante um 1,8 %-Punkte auf 62,9 % in der N-reduzierten Variante signifikant ( $p=0,014$ ) verbessert. Die N-Verwertungsraten waren in Studie 2 auf einem ähnlichen Niveau wie in Studie 1 (60,2 % in der Standardvariante und 62,2 % in der N-reduzierten Variante). Die Verbesserung der N-Verwertung in der N-reduzierten Variante um 2 %-Punkte in Studie 2 konnte nicht signifikant abgesichert werden ( $p=0,156$ ). In Studie 3 konnte in der Versuchsvariante eine signifikante Verbesserung um 3,6 %-Punkte von 61,4 % auf 65,0 % N-Verwertung erreicht werden ( $p=0,018$ ). Studie 4 erzielte mit 63,8 % in der Standardvariante und 69,3 % in der N-reduzierten Variante in der N-Verwertung das höchste Niveau und eine signifikante Verbesserung von 5,5 %-Punkten ( $p<0,01$ ). Damit wurden die N-Verwertungen der N-reduzierten Variante relativ zur Standardfütterung um 3 % (Studie 1), 3 % (Studie 2), 6 % (Studie 3) und 9 % (Studie 4) verbessert.

#### 4.6 Einstreumenge und -qualität

Die Wiegung der Mistmenge und die Analyse des N-Gehalts im Mist ergab in den N-reduzierten Varianten in allen Studien quantitativ und qualitativ eine geringere N-Ausscheidung. In Studie 1 konnte eine N-Einsparung in der Trockensubstanz im Mist bezogen auf den Bereich „Fläche“ um - 5,5 % erzeugt werden. Im Bereich „Trog“ lag die Reduktion mit - 3,1 % im signifikanten Bereich ( $p=0,029$ ).

**Tabelle 25: Mittlere N-Gehalte der Originalsubstanz und der Trockensubstanz der verschiedenen Zonen im Stall an VT 38 (Mittelwert, n = 5 pro Variante, Studie 1)**

Parameter	Variante	Fläche	p	Tränke	p	Trog	p
N-Original -substanz (%)	Standard	3,01	0,726	3,17	0,282	3,74	0,584
	N-reduziert	2,97		3,35		3,69	
TS-Gehalt (%)	Standard	56,87	0,359	62,08	0,260	76,59	0,564
	N-reduziert	59,58		67,25		78,17	
N in der TS (%)	Standard	5,29	0,130	5,13	0,381	4,88 <sup>a</sup>	<b>0,029</b>
	N-reduziert	5,00		4,99		4,73 <sup>b</sup>	

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

Die gewogene Mistmenge pro Stall in Studie 1 (Tabelle 13) liegt in der Kontrollvariante bei 54,6 t und in der Versuchsvariante bei 47,9 t und entspricht damit einer Mengeneinsparung von ca. 12,3 % Mist. Die Mistmengen multipliziert mit dem N-Gehalt der „Fläche“ in der Originalsubstanz (OS) aus Tabelle 25, ergeben den N-Anfall pro Stall von 1643,5 kg N in der Standardvariante und 1422,6 kg N in der N-reduzierten Variante.

In Studie 2 konnten aufgrund von technischen Schwierigkeiten keine Mistmengen mittels Wiegeeinrichtung am Radlader erfasst werden. Der N-Gehalt der „Fläche“ lag in der N-reduzierten Variante (2,69 % N in der OS) numerisch ( $p=0,145$ ) unter dem N-Gehalt der Standardvariante (2,80 % N in der OS).

In Studie 3 hat die N-reduzierte Variante mit 50,13 t pro Stall eine um 5,9 % numerisch ( $p=0,150$ ) reduzierte Mistmenge im Vergleich zur Standardfütterung mit 53,28 t pro Stall. Der N-Gehalt der „Fläche“ war mit 2,91 % N in der OS in der Standardvariante und 2,72 % N in der OS in der N-reduzierten Variante um 0,19 Prozentpunkte und somit relativ um ca. 6,5 % tendenziell reduziert ( $p=0,087$ ). Aus der Mistmenge und dem N-Gehalt in der OS der „Fläche“ errechnet sich ein N-Anfall pro Stall von 1550,8 kg N in der Standardvariante und 1365,4 kg N pro

Stall in der N-reduzierten Variante. Das ist eine signifikante ( $p=0,021$ ) Reduktion des N-Anfalls und der Flächenbelastung von 11,95 %.

Auch in Studie 4 ist die Mistmenge um 31,1 % reduziert worden. In den qualitativen Parametern der Einstreu (Tabelle 26) konnten ebenfalls N-Reduktionen erzielt werden. Bei Standardisierung des Mists auf den Parameter Trockenmasse in kg, sind immer noch erhebliche N-Einsparungen entstanden (-14,8 %). Aufgrund eines um 14,8 % geringeren N-Gehalts im Mist, lag die prozentuale Abnahme der N-Menge und somit die Minderung der Flächenbelastung bei 27,3 %.

**Tabelle 26: Mistmenge und mittlere Mistqualität im Haus Düsse-Versuch pro Variante (Studie 4)**

Variante	n pro Variante	Standard	N-reduziert	p
Mistmenge (kg)	1	2.120,00	1.460,00	
TS-Gehalt (%)	5	50,02 <sup>a</sup>	61,92 <sup>b</sup>	0,001
TM-Mist (kg)	1	1.060,42	904,03	
N (% der TS)	5	4,56 <sup>a</sup>	3,89 <sup>b</sup>	0,001
N-Menge (kg)	1	48,40	35,17	
prozentuale-Abnahme			-27,34	

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$



## 4.7 Ganzkörperanalyse

Die Ergebnisse der in Studie 2 durchgeführten Ganzkörperanalyse sind in Tabelle 27 dargestellt. Zwischen der Standardfütterung und der N-reduzierten Fütterung sind in keinem Parameter signifikante Unterschiede festgestellt worden. Lediglich der XP-Gehalt der Federn ist in der N-reduzierten Variante tendenziell erhöht ( $p=0,091$ ). Die N-reduzierte Variante (29,55 kg N/kg Ganzkörper) weist numerisch einen niedrigeren N-Gehalt im Ganzkörper im Vergleich zur Standardfütterung (29,80 kg N/kg Ganzkörper) auf.

**Tabelle 27: Varianzanalytische Auswertung der Parameter der Ganzkörperanalyse in Studie 2 in Abhängigkeit der Variante**

	Standard (n=10)	N-reduziert (n=10)	Gepoolter SEM	p
Ganzkörper (g)	2294,47	2301,51	16,947	0,773
Federn (g)	64,25	60,98	1,926	0,246
Gerupfter Ganzkörper (g)	2244,47	2259,56	17,159	0,386
Zerlegeverluste (g)	14,77	10,26	1,833	0,101
Leerkörper (g)	1852,56	1864,73	16,641	0,612
Innereien (g)	231,73	229,53	6,091	0,802
Darminhalt (g)	131,16	136,01	9,105	0,712
Masseanteil Körper (%)	97,01	97,17	0,092	0,240
Masseanteil Federn (%)	2,99	2,83	0,092	0,240
XP-Gehalt Körper (g/kg)	176,69	174,64	1,321	0,289
XP-Gehalt Federn (g/kg)	495,37	529,46	11,388	0,091
XP-Gehalt Gesamt (g/kg)	186,23	184,69	1,261	0,401
N-Gehalt Gesamt (g/kg)	29,80	29,55	0,202	0,401

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

In Tabelle 28 sind die Ergebnisse der Ganzkörperanalyse in Bezug auf das Geschlecht ausgewertet worden. Da pro Stall eine Henne und ein Hahn für die Ganzkörperanalyse genutzt wurden, konnte das Geschlecht als Effekt bei der Varianzanalyse miteinbezogen werden. Die weiteren Parameter der Ganzkörperanalyse weisen keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf, bis auf die XP- und N-Gehalte. Die weiblichen Tiere weisen einen tendenziell höheren XP-Gehalt in den Federn auf. Bei Verrechnung mit dem numerisch höheren XP-Gehalt im Körper (ohne Federn) ergibt sich ein signifikant höherer N-Gehalt im Ganzkörper der Hennen ( $p=0,041$ ).

**Tabelle 28: Varianzanalytische Auswertung der Parameter der Ganzkörperanalyse in Studie 2 in Abhängigkeit des Geschlechts**

	Weiblich (n=10)	Männlich (n=10)	Gepoolter SEM	p
Ganzkörper (g)	2209,67 <sup>a</sup>	2386,31 <sup>b</sup>	16,947	< <b>0,001</b>
Federn (g)	61,44	63,79	1,926	0,403
Gerupfter Ganzkörper (g)	2166,10	2337,93	17,159	0,543
Zerlegeverluste (g)	11,39	13,64	1,833	0,398
Leerkörper (g)	1773,96 <sup>a</sup>	1943,33 <sup>b</sup>	16,641	< <b>0,001</b>
Innereien (g)	230,06	231,20	6,091	0,897
Darminhalt (g)	132,82	134,36	9,105	0,906
Masseanteil Körper (%)	97,02	97,15	0,092	0,349
Masseanteil Federn (%)	2,98	2,85	0,092	0,349
XP-Gehalt Körper (g/kg)	177,03	174,29	1,321	0,161
XP-Gehalt Federn (g/kg)	526,91	497,92	11,388	0,050
XP-Gehalt Gesamt (g/kg)	187,45 <sup>a</sup>	183,48 <sup>b</sup>	1,261	<b>0,041</b>
N-Gehalt Gesamt (g/kg)	29,99 <sup>a</sup>	29,36 <sup>b</sup>	0,202	<b>0,041</b>

N=Stickstoff; p=Irrtumswahrscheinlichkeit <sup>ab</sup>=unterschiedliche Hochbuchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

Im Zuge der Ganzkörperanalyse wurden ebenfalls 40 Eintagsküken (4 Küken aus jeweils 10 Ställen) gemußt und der N-Gehalt/kg Lebendgewicht bestimmt. Am 1. Lebenstag betrug der N-Gehalt der Ganzkörperanalyse der 40 Küken 26,71 g N/kg Lebendgewicht.

#### 4.8 Schlachtkörperbewertung

In den vorliegenden Studien 1-3 konnten keine Daten der Teilstückzerlegung aus dem kommerziellen Schlachthof übermittelt werden.

In Studie 4 wurde am Ende der Untersuchung bei ausgewählten mittelschweren Tieren (Tag 34, pro Box 5 männliche und 5 weibliche Broiler) eine Teilstückzerlegung durchgeführt. Die Lebendgewichte der ausgewählten Schlachttiere (Tabelle 29) sind in der N-reduzierten Variante im Vergleich zur Standardfütterung tendenziell erhöht. Im Schlachtgewicht und im Flügelgewicht gibt es keinen Unterschied zwischen der Standardfütterung und der stark proteinreduzierten Variante. Die Keulen der N-reduzierten Variante waren signifikant schwerer. Bei den relativen Anteilen zeigte sich ein signifikant reduzierter Brustanteil am Lebendgewicht in der N-reduzierten Variante. Die Brüste sind in der N-reduzierten Variante (438,9 g) ca. 8 g leichter ( $p=0,187$ ) als in der Kontrollvariante (446,5 g). Der prozentuale Anteil der Brüste am Lebendgewicht hat in der N-reduzierten Variante signifikant abgenommen ( $p=0,023$ ).

**Tabelle 29: Schlachtparameter und Teilstückzerlegung in Studie 4 auf Haus Düsse**

	Standard (n=50)	N-reduziert (n=50)	p
LG (g)	2.358,06	2.389,62	0,053
SG (g)	1.694,28	1.710,38	0,086
Flügel (g)	197,44	193,94	0,111
Keule (g)	495,20 <sup>a</sup>	510,92 <sup>b</sup>	<b>0,000</b>
Brust (g)	446,48	438,88	0,187
Ausschlachtung (%)	71,84	71,63	0,555
Fluegel (in % relativ zum LG)	8,37	8,13	0,058
Keulen (in % relativ zum LG)	21,00	21,39	0,091
Brust (in % relativ zum LG)	18,92 <sup>a</sup>	18,37 <sup>b</sup>	<b>0,023</b>

<sup>a, b</sup>=Unterschiedliche Buchstaben weisen Signifikanzen aus ( $p \leq 0,05$ ); Statistische Tendenz:  $p \leq 0,1$

## 5. Diskussion

### *Futtermittelanalytik*

Die Rohproteinanalysen der Futterproben und die relativen Anteile der einzelnen Fütterungsphasen zur Gesamtfutteraufnahme zeigten eine Senkung des gewichteten Mittelwerts des Futterproteingehalts um 0,3%-Punkte (Studie 1), um 0,7 %-Punkte (Studie 2), um 1,1 %-Punkte (Studie 3) und um 1,5 %-Punkte (Studie 4) im Vergleich zur Standardvariante. Bei der Berechnung des gewichteten Mittelwerts wird deutlich, dass eine höhere Reduktion in der Finisherphase den größten Effekt hat, weil die Futtermenge bei wachsenden Tieren mit jeder Phase deutlich ansteigt und somit stärker in die Berechnung des gewichteten Mittelwerts eingeht. Die Absenkungen wurden insbesondere durch die Verschiebung von den drei Makro-Komponenten Sojaextraktionsschrot, Pflanzenöl und Weizen erreicht. Sojaextraktionsschrot und Pflanzenöl wurden reduziert, dafür Weizen erhöht und AS ergänzt. Entsprechend wurde der Sojaextraktionsschrotanteil in Studie 1 um 9 %, in Studie 2 um 10 %, in Studie 3 um 17 % und in Studie 4 um 34 % gesenkt. Während SELLE et al. (2021) von Soja-Einsparpotentialen von bis zu 60 % in semi-synthetischen Versuchsfuttern berichten, sollte hier erwähnt werden, dass in Studie 1 durchschnittlich 7,3 % Erbsen in den Rationen bereits einen Anteil von etwa 1,5 % vom Futterprotein erklären. Darüber hinaus waren die Proteinabsenkungen in den vorliegenden Studien relativ gering im Vergleich zu den Proteingehalten von SELLE et al. (2021). Die Studien 1-4 zeigen aber, dass bereits kleine bis mittlere Veränderungen in den Futterspezifikationen einen erheblichen Einfluss auf die Einsatzraten der Proteinträger haben. Auf diese Weise führt eine Proteinabsenkung zur deutlichen Reduktion von unerwünschten Sojaimporten aus Nord- und Südamerika, welche zu erheblichen Regenwaldabholzungen führen (IDH 2019).

Dass jede Futtermittelcharge in den vier vorliegenden Studien analysiert wurde, ist sehr positiv zu bewerten. Die Nährstoffgehalte im Futter konnten trotz der großen Futtermengen (ca. 1400 t Futter pro Studie) genauestens dokumentiert werden. Dabei zeigten die analysierten Aminosäuren (AS)-Gehalte eine sehr gute Übereinstimmung zu den kalkulierten Werten. Zudem gab es nur geringe Variationen der AS-Konzentration innerhalb der Behandlungen und der Phasen, die maximal 5 % be-

trugen und in den meisten Fällen unter 2 % lagen. Diese Homogenität macht deutlich, dass eine kommerzielle Futtermühle sehr genau mischen kann, wobei eine exakte Rohstoffevaluation vor der Futteroptimierung eine entscheidende Voraussetzung sein dürfte. Die Analysen der Versuchsfutter der Studie 4 (n=7) basieren jeweils auf nur einer Charge pro Phase und Behandlung. Hier wurden zum Teil etwas größere Abweichungen von den Erwartungswerten insbesondere in den proteinreduzierten Diäten beobachtet. Besonders hervorzuheben ist hier das Threonin, das entsprechend neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse (CHRYSTAL et al. 2020a, STAR et al. 2021) über das Niveau der Standardfutter angehoben werden sollte. Jedoch konnte die Futtermittelanalytik nur ca. 80 % des geplanten Thr-Zusatzes wiederfinden. Ebenso lag die Wiederfindungsrate des geplanten Lysins (Lys) und Arginins (Arg) deutlich hinter den Erwartungen. Da diese Abweichungen insbesondere im Finisherfutter gefunden wurden, konnte ein Einfluss auf die Leistung nicht ausgeschlossen werden. Beim Proteingehalt zeigten sich insbesondere in Studie 1 geringfügige Unterschiede zwischen den erwarteten und tatsächlich ermittelten Werten die zum Teil auf den in 3.2 beschriebenen Unterschieden zwischen den berechneten (Kjeldahl-Methode) und analysierten (Dumas-Methode) N-Gehalten beruhen. Die maximale XP-Abweichung lag 0,7 %-Punkte über dem kalkulierten Wert. Das führte beispielsweise in Studie 1 in der Versuchsvariante unter Berücksichtigung der gesamten Futteraufnahme statt einer geplanten Differenz von 0,5 %-Punkten zu einer 0,3 %-Punkte niedrigeren durchschnittlichen Proteinversorgung.

Der Gesamt N-Gehalt setzt sich aus Aminosäuren-N und Nicht-Protein-N (NPN) zusammen, wobei letzterer in den verwendeten Rationen relativ konstant 10 % betrug. Nur der Anteil des AS-N kann potentiell von den Tieren in körpereigene Eiweiße retiniert werden, während NPN überwiegend verstoffwechselt und ausgeschieden wird. Somit würde eine Rationsoptimierung auf Basis des in AS gebundenen Stickstoffs die Genauigkeit der Kalkulation deutlich verbessern. Denn der NPN-Anteil wird nicht nur nahezu komplett ausgeschieden, sondern variiert stark in verschiedenen Chargen der Einzelkomponenten. Somit wird eine Kalkulation auf der Basis von Rohprotein sehr ungenau, wenn der Anteil der sicher ausgeschieden wird, unbekannt ist (MARIOTTI et al. 2008). Dennoch wurden nicht die geplanten, sondern die analysierten N-Gehalte für die N-Bilanzberechnungen verwendet.

*Lebendgewicht*

In Studie 1 gab es keinen Variantenunterschied bei den Lebendgewichten der 3 Schlachtungen und bei den manuell durchgeführten Wiegunen während des Durchgangs. Die Differenz der manuellen Wiegun an VT 38 (-29 g) ist minimal höher als am Schlachthof (-9 g), aber unterlag sehr wahrscheinlich auch einem gewissen Streuungsfehler durch die geringe Tierzahl (n=50) und der zufälligen Auswahl der Tiere an den 4 Orten im Stall, welche gegebenenfalls bei steigendem Alter weniger repräsentativ ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Stichprobe von 50 Tieren pro Stall nur etwa 0,1-0,2 % der Stallpopulation darstellt. Der Vorteil der manuellen Datenerfassung liegt dagegen eher darin, dass man den Wachstumsverlauf bewerten kann. Bei der Differenz von 9 g LG am Schlachthof sind pro Stall über 23.000 Tiere in den Datensatz der Endausstallung eingegangen, sodass dieser Wert deutlich valider ist.

Die N-reduzierten Rationen in Studie 2 führten auch zu gleichen Leistungen bei den Lebendgewichten. Die höchste XP-Absenkung (1,1 % XP) in den drei Praxisversuchen im Feld wurde in Studie 3 durch eine Multiphasenfütterung in der Endmast erreicht. Die stärkere XP-Absenkung führte zu gleichbleibende Leistungen oder teilweise in den Parametern am Schlachthof oder in der Futteraufnahme zu signifikant besseren Leistungen. Eine Vielzahl von Studien konnte gleiche Leistungen bei einer ähnlich starken XP-Absenkung nachweisen. Eine Verbesserung der Lebendgewichte wie in Studie 3 konnten DUBLECZ et al. (2018) ebenfalls feststellen. Gut optimierte Diäten nahe am Proteinbedarf der Tiere reduzieren den Energiebedarf der Zellen für die Desaminierung von überschüssigen AS. Der Ammoniumgehalt im Blut wird gesenkt und die Leber muss weniger Harnsäure synthetisieren. Die für die Entsorgung von überschüssigem Protein eingesparte Energie kann im Energie- und Proteinstoffwechsel genutzt werden (CHRYSTAL et al. 2019), was eine mögliche Erklärung für die besseren Leistungen in Studie 3 ist (DUBLECZ et al. 2018 und LAMBERT et al. 2023). Zudem wird bei der Synthese des Ausscheidungsprodukts Harnsäure Glycin verbraucht und steht damit der Proteinsynthese nicht mehr zur Verfügung (SIMON und ZENTEK 2019).

Die gleichen Lebendgewichte in Studie 4 sind umso erstaunlicher, da die Proteinabsenkung schärfer war und die Tiere im kleinen Versuchsstall auf einem deutlich höheren Leistungsniveau waren. Trotz stärkerer N-Absenkungen sind die Ergebnisse auf dem gleichen Niveau mit denen von LEMME et al. (2019b), welche im selben Versuchsstall erhoben wurden. Würden die Leistungen in den Praxisversuchen (Studie 1-3) auf den identischen Wiegetag (Tag 34) umgerechnet werden, würde das Lebendgewicht ca. 300 g unter den Leistungen im kleinen Versuchsstall in Studie 4 liegen.

Trotz der relativ hohen Proteinabsenkung in den Studien 3 und 4 sind die Gewichtsentwicklungen der N-reduzierten Variante im Verlauf der gesamten Mast gleichwertig mit der Kontrollvariante. Somit wird zum wiederholten Male bestätigt, dass gut optimierte Rationen bis hin zu Arginin und Isoleucin und erhöhten Threonin- und Glycingehalten (CHRYSTAL et al. 2020a) und eine Proteinabsenkung bis ca. 16,5-17,0 % XP im Finisherfutter keine relevanten Minderleistungen erwarten lassen. Die Ergebnisse der Studien mit sehr ähnlichem AS-Muster und mit ähnlichen Proteingehalten wie in Studie 3 und 4 von BELLOIR et al. (2017), CHRYSTAL et al. (2020a), CHRYSTAL et al. (2020b), MAYNARD et al. (2021), SCHULZE-GEISTHÖVEL et al. (2019), VAN HARN et al. (2019) und TOPRAK et al. (2021) lassen sich demnach auf die Broilermast im großen Praxismaßstab übertragen. Ein analysierter mittlerer XP-Gehalt von 17,2 % XP (N-reduzierte Diät) im Finisher und eine optimale AS-Ausstattung bis hin zu Arginin und Isoleucin garantieren die Leistungen im Vergleich zur Standardfütterung (18,8 % XP im Finisher) zu halten (CHRYSTAL et al. 2019). HILLIAR et al. (2020) zeigen ebenfalls, dass bei 16,5 % XP und 16,7 % XP in der Endmast und AS-Balancierung bis Arginin und Isoleucin keine Leistungseinbußen aufgetreten sind. Dafür ist eine Planung der Rationen auf Basis der verdaulichen AS-Gehalte essentiell. Die eingesetzten Komponenten sollten vorab analysiert sein und die Ergebnisse in die Optimierung mit einbezogen werden. Zudem muss die Bedarfsangabe ebenfalls auf Basis der verdaulichen AS, wie in den vorliegenden Studien, erfolgen.

*Futteraufnahme*

Die täglichen Zunahmen werden von der Höhe der Futteraufnahme entscheidend beeinflusst (FERKET UND GERNAT 2006). Eine höhere Futteraufnahme korreliert stark mit einer höheren Zunahme (BARACHO et al. 2019 und FERKET UND GERNAT 2006). BARACHO et al. (2019) weisen einen Korrelationskoeffizienten von 0,85 aus. Diesen Zusammenhang verdeutlichen die Ergebnisse von DUBLECZ et al. (2018). Dort führte eine erhöhte Futteraufnahme in der N-reduzierten Variante ebenfalls zu höheren Tageszunahmen. Da die Wachstumsleistungen der Tiere in allen 4 vorliegenden Studien nicht beeinflusst waren, dürfte man davon ausgehen, dass die Futteraufnahme keine großen Unterschiede aufweist. In Studie 1 haben die Tiere der Versuchsvariante jedoch tendenziell weniger Futter im Vergleich zur Kontrollvariante aufgenommen. Dieser Unterschied resultiert ausschließlich aus der Finisherphase, in der der Futtermittelverbrauch signifikant unterschiedlich war. Über den gesamten Zeitraum der Studie 1 verbrauchte die Versuchsvariante insgesamt durchschnittlich 5,4 t weniger Futter pro Stall als die Kontrollvariante. Die 5,4 t weniger Futter pro Stall ergeben in der Endmast (ca. 23.000-24.000 Tiere pro Stall) eine geringere Futtermenge von ca. 230 g pro Tier. Trotzdem resultieren daraus gleiche Wachstumsleistungen am Ende der Mast. Ob die Ursache hierfür ein höherer Futteraufwand allgemein, eine höhere N-Verwertung oder eine geringere Stoffwechselbelastung war, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht eindeutig beurteilen. Eine signifikant geringere Futteraufnahme bei Angebot proteinreduzierter Futter konnten GREENHALGH et al. (2020) ebenfalls feststellen. Damit einhergehend sind die Wachstumsleistungen stärker eingebrochen, was in der vorliegenden Studie 1 nicht beobachtet werden konnte.

In Studie 2 lagen die Standardfütterung und die N-reduzierte Variante in der Futteraufnahme sehr eng beieinander. In Studie 3 ist bei stärkerer XP-Absenkung eine signifikant erhöhte Futteraufnahme festgestellt worden. Die N-reduzierte Variante nahm über 100 g mehr Futter auf als die Standardvariante. Den Effekt einer signifikant höheren Futteraufnahme aufgrund einer N-Reduktion im Futter konnte nur eine Studie aus der Übersichtstabelle zu bisherigen Untersuchungen in Kapitel 2.5 beobachten (CHRYSTAL et al. 2019). Jedoch konnte in diesem Fall die erhöhte Futteraufnahme keine verbesserten Leistungen bewirken. CHRYSTAL et al. (2019) führen als mögliche Gründe eine zu hohe Stärkekonzentration, eine verringerte



DCAB-Bilanz aufgrund der Sojaabsenkung oder ein falsches AS-Muster auf. Das AS-Muster wurde aufgrund eines erhöhten Lysingehalts im Blutplasma vermutet. In der vorliegenden Studie 4 wurden bei beiden Varianten nahezu identische Futteraufnahmen erfasst. Pro Tier war die Futteraufnahme im Vergleich zu den Studien 1-3 etwa 150 g niedriger, was durch eine kürzere Mastdauer zu erklären ist. Somit lassen sich über alle 4 Studien hinweg eine signifikant erhöhte Futteraufnahme, eine tendenziell reduzierte und zwei gleichbleibende Futteraufnahmen festhalten. Die N-Reduktion scheint also keinen starken, gerichteten Einfluss auf die Futteraufnahme zu haben. Ähnlich heterogene Ergebnisse zeigen auch die bisherigen Fütterungsversuche in kleineren Versuchsställen, wobei ebenfalls die große Mehrheit der Studien keine Beeinflussung der Proteinabsenkung auf die Futteraufnahme messen konnte.

#### *Futteraufwand*

Der Futteraufwand in der hier durchgeführten Studie 1-3 lagen auf einem ähnlichen Niveau, weil die Studienanordnung, vor allem in der Kontrollvariante, sehr ähnlich war. Pro Variante variierte der Futteraufwand von 1,496 bis 1,549, wobei in Studie 1 insgesamt das beste Niveau im Futteraufwand der drei vorliegenden Studien im großen Praxisstall erreicht wurde.

In Studie 1 lag die N-reduzierte Variante mit einem um 0,2 verbesserten Futteraufwand vor der Standardvariante. In der Studie 2 hatten beide Varianten einen recht ähnlichen Futteraufwand. In Studie 3 war der Futteraufwand trotz der signifikant höheren Futteraufnahme der N-reduzierten Variante numerisch verbessert, weil die Zunahmen signifikant erhöht waren. Das betont die bereits beschriebene Korrelation zwischen FA und Entwicklung des LG's. Eine Erhöhung der FA und eine Verbesserung des LG's heben sich in der Berechnung des Futteraufwandes gegenseitig auf, sodass die geringe Differenz der beiden Varianten in Studie 3 im Futteraufwand zu erklären sind.

Eine repräsentative Region für konventionelle Broilermast, ist die Region Nord-West Deutschland, in der auch die vorliegenden Studien 1-3 stattgefunden haben.

Der Futteraufwand der Betriebe, die im Wirtschaftsjahr 2019/20 an der Betriebszweigungsauswertung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen teilgenommen haben, liegt bei 1,54 (PIEPER 2022).

Ein Niveau von 1,5 bis 1,55 im Futteraufwand in den vorliegenden Studien 1-3 in der Broilermast im großen Stall in der Praxis ist somit als effizient anzusehen, weil das Niveau mindestens so gut oder besser ist wie der aktuelle Durchschnitt.

Bemerkenswert ist, dass die vorliegende Studie 1, in den Leistungsparametern (z.B. ca. 68 g TZ über die gesamte Mast und 1,5 Futteraufwand) mit den zahlreichen Studien im Stationsstall (z.B. CHRYSTAL et al. 2020a, VAN HARN et al. 2019) auf gleichem Niveau liegt. Dies deutet auf ein sehr gutes Management des Betriebes hin. Dagegen ist ein Futteraufwand von ca. 1,44 in beiden Varianten in Studie 4 extrem effizient und zeigt, was unter optimalen Bedingungen mit stark N-reduzierten, aber optimal AS-balancierten, Rationen möglich ist. Die wichtigsten Gründe für den sehr niedrigen Futteraufwand in Studie 4 sind die bessere Verfügbarkeit von Futter und Wasser (cm Trogbreite pro Tier und Anzahl Tiere pro Tränke, ein geringerer Krankheitsdruck, eine höhere Besatzdichte und kleinere Tiergruppen im Vergleich zu Studie 3.

In vielen Untersuchungen zur Proteinabsenkung ist der Futteraufwand ebenfalls numerisch verbessert oder auf einem identischen Niveau im Vergleich zur Kontrollvariante (CHRYSTAL et al. 2019, CHRYSTAL et al. 2020a, LEMME et al. 2019a, LEMME et al. 2019b, SCHULZE-GEISTHÖVEL et al. 2019, ULLRICH et al. 2018). Auffällig ist dabei, dass die XP-Absenkungen im Bereich von 16-18 % XP in der Endmast liegen und eine akribische AS-Balancierung stattgefunden hat, was die Ergebnisse der vorliegenden Studien vergleichbar machen. Außerdem erklärt die AS-Balancierung auf Basis der aktuellsten Studien zum AS-Muster (zum Beispiel CHRYSTAL et al. 2020a), wie in Kapitel 3.2 genauer beschrieben, der gleichbleibende Futteraufwand in allen 4 Studien auch bei stärkeren Proteinabsenkungen. Einzelne Untersuchungen (DUBLECZ et al. 2018 und VAN HARN et al. 2019) zeigen sogar einen signifikant verbesserten Futteraufwand. Im Vergleich zu CHRYSTAL et al. (2019) beginnt VAN HARN et al. (2019) erst an Tag 28 mit der Finisherphase. Beide verwenden 3 Futterphasen, aber VAN HARN et al. (2019) teilt diese homogener über die gesamte Mast auf, was den signifikant verbesserten

Futteraufwand erklären könnte. Sehr starke Proteinabsenkungen und möglicherweise zu frühe Futterwechsel können auch zu einem schlechteren Futteraufwand führen, wenn nicht die neuesten Erkenntnisse zu Threonin- und Glycingehalten berücksichtigt werden (CHRYSTAL et al. 2020a). In der Endmast wurde der XP-Gehalt beispielsweise auf 15 und 16 % XP (BELLOIR et al. 2017), 17,57 % XP (BEZERRA et al. 2016), auf 16 % XP (CHRYSTAL et al. 2021), auf 16,25 % XP (GREENHALGH et al. 2020), auf 15 % (HILLIAR et al. 2017) und auf 15,5 % XP (MAYNARD et al. 2021) abgesenkt. Somit wird deutlich, dass eine Proteinabsenkung im Bereich von 16 % selbst bei optimierten AS-Gehalten ein Effizienzrisiko birgt. Anscheinend kommen in dem Bereich bestimmte AS oder einige AS in Summe in den Mangel, zu denen noch keine wissenschaftlichen Kenntnisse vorliegen (BELLOIR 2017, BEZERRA et al. 2016, CHRYSTAL et al. 2019). Daher ist es sinnvoll, wie in den vorliegenden Studien 3 und 4, einen leichten Threoninüberschuss bei N-reduzierten Rationen zu erzeugen. Mögliche Überschüsse werden zu wertvollen Stoffwechselprodukten wie Acetyl-Coa und Pyruvat, sowie der semiesenziellen AS Glycin abgebaut (KIDD und KERR 1996). Somit können auf verschiedene Weise die Leistung und Gesundheit der Tiere bei N-reduzierten Rationen abgesichert werden.

Teilweise sind die Minderleistungen jedoch auch durch eine fehlende gute fachliche Praxis zu erklären. Wenn beispielsweise eine Ration von LT 14 bis LT 35 gefüttert wird, kann diese Ration für Broiler nicht an jedem Tag bedarfsgerecht für das Wachstum des Broilers sein und es kommt zu einem geringeren Futteraufwand (CHRYSTAL et al. 2021).

Die vorliegenden Ergebnisse zu einer derart starken XP-Absenkung in der Großgruppenhaltung in Studie 4 müssen in den nächsten Jahren in kleinen Schritten in die Praxis übertragen werden. Bei stärkeren XP-Absenkungen könnten eine höhere Anzahl der Fütterungsphasen (beispielsweise 5 Phasen wie in Studie 2) oder multiphasige Absenkungskonzepte (Studie 3) wichtig sein, um die Futteroptimierungen noch näher an den Bedarf der Tiere im Verlauf der Mastperiode heranzuführen und somit die Leistungen zu halten. Bei Feldversuchen in großen Ställen wird sich die Wissenschaft weiterhin in kleinen Absenkungsschritten herantasten müssen, um Wachstumseinbrüche und Rückgänge im Futteraufwand, welche in vielen Stationsuntersuchungen im Bereich von 16 % XP in der Endmast auftraten, zu vermeiden.

Da diese Rationen sehr nah am tatsächlichen Bedarf der Tiere ausgerichtet sind, können eine minderwertige Futteroptimierung oder Mischungenauigkeit im Werk (z.B. beim Threoningehalt) zu Leistungs- und Gesundheitseinbrüchen führen.

Diese Risiken müssen daher durch ein optimales Futter- und Fütterungsmanagement von der Bewertung der Rohkomponenten im Werk (FEIL et al. 2009, RODRIGUES et al. 2014) bis hin zur exakten Futtervorlage im Stall (POHOLSKY et al. 2021) minimiert werden. Die Futtermittelanalytik der drei Praxisstudien im großen Stall zeigt jedoch, dass die Mischgenauigkeit der Futterproduktion in der Praxis im normalen Maßstab deutlich genauer und zwischen den einzelnen Chargen homogener sein kann als im kleineren Versuchsmaßstab.

### *European Efficiency Index*

Der EEI war in den Studien 1 und 2 nahezu nicht beeinflusst (+ 4/+ 7). In Studie 3 haben die erhöhten Zunahmen der N-reduzierten Variante zu einem numerisch um 19 Punkte erhöhten EEI geführt. Da die anderen Faktoren in der EEI-Formel (Fut-  
teraufwand, Überlebensrate und Alter der Tage) nicht beeinflusst wurden, war das erhöhte Lebendgewicht in der N-reduzierten Variante der ausschlaggebende Faktor.

Alle vergleichbaren Untersuchungen fanden in kleinen Stallungen in speziellen Versuchseinrichtungen statt, in denen sehr gute hygienische Bedingungen herrschten. Zudem werden die Leistungen positiv durch die Haltung von Broilern in kleineren Tiergruppen beeinflusst (bessere individuelle Betreuung, weniger Rangordnungskämpfe, höhere Verfügbarkeit von Ressourcen wie Wasser oder Futter, etc.). Außerdem werden die Tiere bei Stationsprüfungen teilweise sehr jung und an unterschiedlichen Tagen geschlachtet, was bedingt durch die Berücksichtigung des Schlachalters in der EEI-Berechnungsformel einen großen Einfluss auf den Wert hat. Daher sind die EEI in anderen Proteinabsenkungsstudien in Stationsprüfungen deutlich höher als in den vorliegenden Praxisstudien. Beispielsweise erzielen DUBLECZ et al. (2018) mit 24 Tieren pro Box und 576 Tieren insgesamt einen EEI von 460/484/482, SCHULZE-GEISTHÖVEL et al. (2019) mit 250 Tieren pro Box und 5000 Tieren insgesamt einen EEI von 471/454 und VAN HARN et al. (2019) mit 13 Tieren pro Box und 884 Tieren insgesamt einen EEI von 413 bis 447. Die Produktionsbedingungen in Studie 4 lagen mit 250 Tieren pro Box näher an der Praxis

als die üblichen Stationsprüfungen mit beispielsweise 13 oder 24 Tieren pro Box. Trotzdem erzielt Studie 4 vergleichbare EEI-Werte wie die aktuelle Literatur bei Stationsprüfungen. Sowohl die Standardvariante als auch die N-reduzierte Variante kommen auf einen EEI von 472.

Die genannten potentiellen Effekte der Proteinabsenkung auf Wachstumsleistung, Alter in Tagen und Futteraufwand, beeinflussen auch den EEI. Jedoch können sich leichte Wachstumseinbußen mit leichten Verbesserungen in der Effizienz gegenseitig aufheben, sodass der EEI häufig gar nicht so stark durch die Proteinabsenkung verändert wird. Zudem bleiben Effekte bei den Schlachtleistungen, vor allem beim Brustfleischanteil, unberücksichtigt. Daher ist der EEI als objektiver Vergleichsparameter bei Proteinabsenkungsversuchen zu hinterfragen.

#### *Wasseraufnahme*

Die Wasseraufnahme eines Broilers wird durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten Faktoren sind das Alter der Tiere, die Zusammensetzung des Futters, die Temperatur im Stall und die Art der Tränke (FRANCESCH und BRUFAU 2004). Bei der Zusammensetzung des Futters sind die größten Einflussfaktoren der Salzgehalt, der Proteingehalt und das Kokzidiostatikum (OUART 1995, PFEIFFER et al. 1995). Überschüssiges Protein, was der Organismus nicht benötigt, muss über die Leber verstoffwechselt werden. Das Abbauprodukt der überschüssigen AS ist Harnsäure, welche ausgeschieden wird. Dieser metabolische Prozess verursacht einen erhöhten Wasserbedarf (LEPKOVSKY et al. 1957). Der Wasserverbrauch sollte nicht nur aufgrund der Kosten und der Ressourcenschonung so gering wie möglich gehalten werden. Durch feuchte Exkreme kann es zu einer Verschlechterung der Einstreu kommen und in der Folge zu Veränderungen an den Fußballen (JEROCH 2019b, MARTLAND 1985, MARKS UND PESTI 1984). Durch einen reduzierten Proteingehalt in der Ration lässt sich somit der Wasserverbrauch pro Tier und Durchgang senken.

Fütterungsversuche im kleineren Maßstab haben den wassersparenden Effekt von N-reduzierten Broilerrationen schon häufig bewiesen (CHRYSTAL et al. 2020b, HILLIAR et al. 2017, HERNANDEZ et al. 2012, HERNANDEZ et al. 2013,

LEMME et al. 2019a), sodass auch im großen Stall in der Praxis ein Effekt zu erwarten war. Der wassersparende Effekt N-reduzierter Rationen konnte in Studie 1 bestätigt werden. Die Tiere der N-reduzierten Variante haben mit einer Einsparung von 4 % signifikant weniger Tränkwasser verbraucht. In Studie 2 gab es wie beschrieben keine Ergebnisse zur Wasseraufnahme.

In Studie 3 wurden in beiden Varianten sehr ähnliche Wasseraufnahmen gemessen. Der wassersparende Effekt der N-reduzierten Fütterung wurde durch eine signifikant höhere Futteraufnahme egalisiert, weil bei erhöhter Futteraufnahme mehr Wasser aufgenommen wird, um das Futter aufzuweichen und verdauen zu können. In Studie 4 wurde die Wasseraufnahme, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, nicht erfasst. Die signifikant geringere Wasseraufnahme in Studie 1 ist ein guter Hinweis dafür, dass weniger Wasser für die aufwändige Ausscheidung von überschüssigem Protein als Harnsäure im Stoffwechsel verbraucht wurde. Zusätzlich enthalten N-reduzierte Rationen weniger Kalium, aufgrund der Sojareduktion, was ebenfalls einen geringeren Wasserbedarf der Tiere bewirkt, da der Elektrolythaushalt reduziert wird (ALFONSO-AVILA et al. 2022, JEROCH 2019b).

#### *Trockensubstanz der Einstreu*

Die geringere Wasseraufnahme in der N-reduzierten Variante in Studie 1 führte, vor allem zum Mastende, in der Folge zu einer numerisch trockeneren Einstreu. Dieser Zusammenhang wurde beispielsweise auch von VAN HARN et al. (2019) beschrieben. Obwohl versucht wurde, anhand eines Probenahmeschemas möglichst repräsentative Proben zu erhalten, ist die Variation innerhalb des Stalls insbesondere zwischen den Funktionsbereichen Futteraufnahme („Trog“), Wasseraufnahme („Tränke“) und Aufenthalt („Fläche“) recht groß, sodass keine statistischen Gesamtunterschiede errechnet werden konnten. Darüber hinaus ist die Quantifizierung der Mistmenge über den Anteil der drei Funktionsbereiche an der Gesamtmenge nicht möglich. Diese Probleme bei der Probenahme und statistischen Absicherung der Ergebnisse konnten TASISTRO et al. (2004a), TASISTRO et al. (2004b) und TOPPEL et al. (2018) ebenfalls feststellen. Bei TASISTRO et al. (2004b) und TOPPEL et al. 2018 hatte der Bereich rund um die Tränken den niedrigsten TS-Gehalt. In der vorliegenden Studie 1 hat dagegen der Bereich der „Fläche“ den niedrigsten

TS-Gehalt aufzuweisen. Die Gründe dafür sind vielfältig und können nicht eindeutig für eine endgültige Interpretation herangezogen werden. Mögliche Einflüsse sind unter anderem das Lüftungs- und Einstreumanagement, die Art der Tränken, die Einstellung der Tränken, die Besatzdichte und die Wasseraufnahmhöhe.

In Studie 2 konnten nahezu identische TS-Gehalte in der Einstreu gemessen werden. Die Wachstumsparameter und die Futteraufnahmen in beiden Varianten sehr ähnlich. Die geringeren N-Gehalt in den Futterphasen in Studie 2 führten bei gleicher Futteraufnahme zu einer geringeren N-Aufnahme. Daher war ein Effekt der N-Reduktion auf den TS-Gehalt zu erwarten. Der Effekt der N-Reduktion auf eine reduzierte Wasseraufnahme und somit auch eine trockenere Einstreu konnte in Studie 2 nicht belegt werden.

In Studie 3 konnte die N-Reduktion ebenfalls keine geringere Wasseraufnahme bewirken. Vermutlich hat die signifikant höhere Futteraufnahme in der N-reduzierten Variante eine identische Wasseraufnahme bewirkt. Das führte bei der N-reduzierten Variante an VT 22 sogar zu einem signifikant geringeren TS-Gehalt in der Einstreu. Bis zum Ende der Mast glichen sich die TS-Gehalte der beiden Variante nahezu an, jedoch wies auch zu diesem Zeitpunkt die N-reduzierte Variante einen niedrigeren TS-Gehalt in der Einstreu auf. Eine feuchtere Einstreu durch N-reduzierte Rationen scheint jedoch eine Ausnahme zu sein und ist in keiner Untersuchung in der Übersichtstabelle in 2.5 gemessen worden.

LEMME et al. (2019a) und LEMME et al. (2019b) konnten bei vergleichbaren Proteinabsenkungen ebenfalls signifikant höhere TS-Gehalte in der Einstreu messen. ULLRICH et al. (2018) konnten numerische Verbesserungen feststellen. In etwa die Hälfte der Untersuchungen aus der Übersichtstabelle in 2.5 zur Proteinreduktion in Broilerrationen haben die Trockenmasse der Einstreu nicht erfasst oder nicht publiziert (BELLOIR et al. 2017, CHRYSTAL et al. 2019, CHRYSTAL et al. 2020a, CHRYSTAL et al. 2020b, DUBLECZ et al. 2018, HILLIAR et al. 2017, MAYNARD et al. 2021 und VAN HARN et al. 2019). Die teilweise fehlende Erfassung des TS-Gehalts in den wissenschaftlichen Stationsprüfungen ist ein Nachteil für die Gesamtinterpretation, zumal der Parameter „TS in der Einstreu“ mit wenig Aufwand und geringen Kosten erfassbar ist.

In Studie 4 konnte der größte Unterschied im Proteingehalt zwischen den beiden Varianten getestet werden. Dort wurde auch der größte Unterschied (+ 12 Prozentpunkte) in der TS im Mist gemessen, obwohl mehrmals nachgestreut wurde. Die wassersparenden Effekte der Proteinreduktion schienen sehr stark gewesen zu sein. Im Vergleich zu den drei Praxisstudien lag der TS-Gehalt in Studie 4 trotz Nachstreuen auf einem relativ niedrigen Niveau (ca. 50 % und 62 % TS). SIMON und ZENTEK (2019) geben an, dass der TS-Gehalt von frisch abgesetzten Exkrementen bei ca. 25 % TS liegt und unter guten Bedingungen im Stall auf 70 % TS getrocknet werden kann. Wenn der TS-Gehalt in der Einstreu unter 65 % TS fällt, ist ein kritischer Punkt für die Fußballengesundheit erreicht (ABD EL-WAHAB 2011). Ein TS-Gehalt von unter 65 % TS wurde in allen vier Studien spätestens bei der letzten Datenerfassung erreicht, sodass Fußballenveränderungen zu erwarten waren. In der Praxis wird wohl nur in den seltensten Fällen nachgestreut oder die Einstreu aufgearbeitet.

### *Fußballengesundheit*

Neben einer feuchteren Einstreu (DE JONG et al. 2014, SHEPERD und FAIRCHILD 2010, DE TOLEDO et al. 2020) wirken sich ein erhöhter Ammonium-/ Ammoniakgehalt und ein höherer pH-Wert negativ auf die Gesundheit der Fußballen von Broilern aus (LI et al. 2013 und BAILEY et al. 2021) und verschlechtern damit das Tierwohl. Dass durch eine verbesserte Fußballengesundheit ein ökonomischer Vorteil durch ein höheres Mastendgewicht erreicht wird, belegen LI et al. (2013) und SAHOO et al. (2017). Auch wenn die geringere Pododermatitis nicht durch eine Proteinabsenkung, sondern durch Zusätze in der Einstreu erreicht worden sind, bleibt das Prinzip das gleiche.

Die vorliegenden Studien zeigen insgesamt eine sehr gute Fußballengesundheit, was auf die hohen TS-Gehalte (> 65 % TS) bis zur Mittelmast zurückzuführen ist (ABD EL-WAHAB 2011). In Studie 1 ist erst beim letzten Schlachtttermin (tendenziell) und bei der manuellen Bonitur an VT 38 (signifikant) eine Veränderung der Fußballen in der Kontrollvariante zu beobachten. Die Tiere der N-reduzierten Variante hatten bis zum Ende der Mast sehr gesunde Fußballen. In schlechter geführten Ställen sollte demnach ein deutlich größeres Potential zur Verbesserung der



Fußballengesundheit durch N-reduzierte Fütterungskonzepte vorhanden sein. Bemerkenswert ist, dass diese Ergebnisse bereits bei einer moderaten Proteinabsenkung von 0,3 % (gewichteter Mittelwert) erzielt werden konnten. In Studien von LI et al. (2017) und NAGARAJ et al. (2007) konnten Vorkommen und Schweregrad der Pododermatitis ebenfalls durch eine Proteinabsenkung im Futter reduziert werden. Zudem konnten LEMME et al. (2019b) unter deutschen Bedingungen den Nachweis erbringen, dass durch eine Proteinreduktion die Boniturnote 0 deutlich zunimmt. Im Rahmen der zunehmenden Bemühungen um das Tierwohl in Deutschland, sind die Verbesserungen der Fußballengesundheit nicht zu unterschätzen, auch wenn sie ökonomisch bisher noch keinen nennenswerten Vorteil für den Broilermäster bei der Abrechnung im Schlachthof bringen.

Trotz der recht unauffälligen Ergebnisse (Futteraufnahme, Wasseraufnahme, TS der Einstreu) der N-reduzierten Variante in Studie 2, sind die Ergebnisse der Fußballenbonitur am Schlachthof recht deutlich und positiv für die N-reduzierte Variante ausgefallen. Schweregrad 0 konnte signifikant häufiger und Schweregrad 1 signifikant seltener bei der N-reduzierten Variante festgestellt werden. Die Zahlen der manuellen Fußballenbonitur verdeutlichen das Ergebnis der gesünderen Fußballen in Studie 2. In der N-reduzierten Variante sind an VT 38 die Boniturnoten 2 und 3 numerisch reduziert und die Boniturnote 0 numerisch erhöht. Da der TS-Gehalt der Einstreu in Studie 2 nahezu gleich war, deutet die bessere Fußballengesundheit auf andere Effekte wie ein geringerer pH-Wert und ein reduzierter Ammoniumgehalt in der Einstreu hin.

In Studie 3 ist die Einstreu in der N-reduzierten Variante an Tag 22 sogar signifikant feuchter gewesen, dennoch zeigte sich eine signifikant verbesserte Fußballengesundheit an Tag 28. Diese Ergebnisse in Studie 3 legen nahe, dass ein anderer Parameter, wie beispielsweise ein geringerer Ammoniumgehalt im Mist, zu gesünderen Fußballen aufgrund der N-reduzierten Fütterung führt. Somit scheint es in den Praxisstudien 1-3 keinen kausalen Zusammenhang zwischen einer verbesserten Fußballengesundheit aufgrund einer trockeneren Einstreu zu geben. Die N-Reduktion wird demnach wahrscheinlich einen Einfluss auf den pH-Wert im Mist und den Ammoniumgehalt haben.

In Studie 4 wurden nahezu alle Fußballen im Rahmen der Bonituren bis zum Ende der Mast mit der Boniturnote 0 bewertet. Dies könnte dadurch bedingt gewesen sein, da mehrmals bei Bedarf in allen Buchten nachgestreut wurde und somit optimale Bedingungen für beide Varianten geschaffen wurden. Umso erstaunlicher ist es, dass der TS-Gehalt zum Ende der Untersuchung an Tag 34 in der Versuchsvariante (62 % TS) um 12 %-Punkte höher war als in der Kontrollvariante (50 % TS). Somit konnte in den Studien 1-3 ein deutlicher Einfluss der N-Reduktion auf die Gesundheit der Fußballen festgestellt werden, selbst wenn der TS-Gehalt der Einstreu nicht immer verbessert werden konnte. Damit wird durch die N-Reduktion ein großer Beitrag zu einem verbesserten Tierwohl der Broiler in der Praxis geleistet.

#### *Umwelt-/N-Bilanz*

Die Reduktion des XP-Gehalts um durchschnittlich 0,3 %-Punkte in Studie 1, um 0,7 %-Punkte in Studie 2, um 1,1 %-Punkte in Studie 3 und um 1,5 %-Punkte in Studie 4 führte jeweils zu ähnlichen Futteraufnahmen und gleichem Wachstum. Folglich wurde auch kein Einfluss auf die N-Deposition durch gleiche Lebendmassen am Schlachthof festgestellt. Das führte in allen vier Studien zu rechnerisch signifikant geringeren N-Ausscheidungen (Studie 1-4: -9 %, - 8 %, - 10 %, -14 %). Würde man diesen kausalen Zusammenhang linear hochrechnen (Extrapolation), ergäbe eine XP-Absenkung um 1 %-Punkt in zukünftigen Untersuchungen das Potential für eine Reduktion der N-Ausscheidung um ca. 30 % (Studie 1), um ca. 11 % in Studie 2, um ca. 10 % in Studie 3 und ca. 14 % in Studie 4. VAN HARN et al. (2019) kommen dagegen nur auf eine Einsparung der N-Ausscheidung von 3,34 % pro Prozentpunkt in der Proteinabsenkung. SANTONJA et al. (2017) kommen auf etwa 10 % geringere N-Ausscheidungen und LEMME et al. (2019b) auf 15 %, 14 % und 12 % Reduktion der N-Ausscheidung pro Prozentpunkt XP-Reduktion im Futter. Zusammenfassend mit wenigen Ausnahmen von 10 % geringeren N-Ausscheidungen pro Prozentpunkt Rohproteinabsenkung auszugehen ist. Das große Einsparpotential in der N-Ausscheidung in den vorliegenden Studien und den genannten Vergleichsstudien lässt auch eine Minderung des gasförmigen N-Ausstoßes in ähnlicher Höhe erwarten (BELLOIR et al. 2017).

Damit scheinen die gesteckten Ziele auf nationaler Ebene über die Stoffstrombilanzverordnung und Düngeverordnung (BMUV 2021, DüVO 2020 und StoffBilV

2017) sowie auf europäischer Ebene mit der EU-NEC-Richtlinie 2016/2284 (EU-Richtlinie 2016/2284 2016) und einem Einsparziel von 29 % Ammoniak in Deutschland von 2005 bis 2030 realistisch. Diese Aussage unterstützt der DVT (2021) mit der Erhebung einer linearen Absenkungskurve der historischen Futterproteingehalte in der Praxis. Das UMWELTBUNDESAMT (2022) gibt an, dass von 1990 bis 2020 eine Reduktion der Ammoniakemission aus der Tierhaltung in Deutschland von 25,5 % erreicht wurde. Dieses Ergebnis zeigt ebenfalls, dass die EU-NEC-Richtlinie 2016/2284 eingehalten werden dürfte. Damit nimmt Deutschland eine Vorreiterrolle ein, da im Vergleich zu anderen tierhaltungsstarken EU-Ländern wie Spanien (16 % Ammoniakreduktionspflicht) und Polen (17 % Ammoniakreduktionspflicht) in Deutschland deutlich mehr Ammoniak eingespart werden muss.

Die N-Verwertung konnte in Studie 1, 3 und 4 signifikant und in Studie 2 numerisch verbessert werden. In Studie 1 und 2 wurde die N-Verwertung um 3 %, in Studie 3 um 6 % und in Studie 4 um 9 % verbessert. Die Werte der Standardvariante (61,1 % N-Verwertung) und der N-reduzierten Variante (62,9 % N-Verwertung) in Studie 1 sind auf einem sehr hohen Niveau unter Praxisbedingungen im großen Stall. Dennoch zeigt Studie 1, dass auch mit einer moderaten N-Absenkung eine signifikant bessere N-Verwertung erreicht werden kann. EMTHAUS et al. (2021) weisen für die Praxis im Jahr 2020 ca. 313 g XP (50,1 g N) aus, um 1 kg Lebendmasse (30 g N) zu erzeugen. Damit liegt die aktuelle Praxis in Deutschland im Mittel bei 59,9 % N-Verwertung und somit leicht unter den Werten der Studie 1 und deutlich unter den Werten der Studien 2 und 3. In der Großgruppenhaltung in Studie 4 konnten N-Effizienzen von 63,8 % mit Standardfutter und 69,3 % in der stark N-reduzierten Variante festgestellt werden. Das zeigt zum einen das Effizienzpotential für die Broilermast in der Praxis, als auch das Effizienzpotential für weitere N-Absenkungen. Andere Studien in kleineren Stationen zeigen N-Verwertungen von über 69 % (CHRYSTAL et al. 2020a). BELLOIR et al. (2017) modellierten den Zusammenhang zwischen Futterproteingehalt und der N-Verwertung in der Finisherphase (21-35 Tage, männliche Broiler) und kamen auf Werte von etwa 72 % N-Verwertung bei extrem niedrigen XP-Gehalten von 15 % im Futter. Während die Tierleistung dort auch verschlechtert war, suggerierten die Regressionskoeffizienten, dass mit jedem Prozentpunkt Proteinabsenkung die Verwertung um 3,2 bis 3,6 % verändert

würde. Hochgerechnet für Studie 4, die die gesamte Mastzeit einschließt, kann eine Steigerung der N-Verwertung von 3,7 % pro %-Punkt XP-Absenkung ermittelt werden. Während Studie 1 sogar 6 % Verbesserung in der N-Verwertung suggeriert, liegen die Studien 2 und 3 mit 2,9 % und 3,3 % auf dem Niveau von BELLOIR et al. (2017). Somit konnte erfreulicherweise auch der Effekt der verbesserten N-Verwertung aus Stationsprüfungen mit N-reduzierten Rationen in den vorliegenden Praxisstudien im großen Stall exakt bestätigt werden.

#### *Einstreumenge und -qualität*

Die Rückgänge der berechneten N-Ausscheidungen (Futteranalysen x Futtermenge abzüglich Deposition) ließen sich auch in der Erfassung der Mistmenge und den Mistanalysen wiederfinden. Die N-reduzierten Varianten erzeugten in allen Studien quantitativ und qualitativ eine geringere N-Ausscheidung.

In Studie 1 führte ein leicht verringerter N-Gehalt in der Originalsubstanz (OS) durch den unterschiedlichen Trockensubstanzgehalt zu einer deutlichen N-Einsparung in der Trockensubstanz im Mist bezogen auf den Bereich „Fläche“ (-5,5 %). Im Bereich „Trog“ lag die Reduktion bei 3,1 %. Aufgrund der sehr homogenen Messwerte weist die Varianzanalyse eine Signifikanz für den Bereich „Trog“ aus. Die unterschiedlichen TS- und N-Gehalte in den Bereichen „Fläche“, „Trog“ und „Tränke“ veranschaulichen das Problem einer repräsentativen Nährstoffanalyse im Mist. Eine Beprobung nach der Ausstallung mittels Mischprobenbildung durch Einzelproben aus dem zusammengeschobenen Misthaufen des ganzen Stalls garantiert ebenfalls keine repräsentative homogene Mischprobe. Sinnvoll, aber sehr aufwändig, wäre eine exakte Bestimmung der Gewichtsanteile „Fläche“, „Trog“ und „Tränke“ zur prozentualen Verrechnung der Analyseergebnisse.

Die gewogene Mistmenge pro Stall in Studie 1 liegt in der Kontrollvariante bei 54,6 t und in der Versuchsvariante bei 47,9 t und entspricht damit einer Mengeneinsparung von ca. 12,3 % Mist. Die Mistmengen multipliziert mit dem N-Gehalt der „Fläche“ in der OS ergeben den N-Anfall pro Stall von 1643,5 kg N in der Standardvariante und 1422,6 kg N in der N-reduzierten Variante. Abzüglich der 40 % Verluste bei der Lagerung und Ausbringung (StoffBilVO 2017) ergibt sich bei maximal 170 kg N aus organischer Herkunft pro Hektar (EU-Richtlinie (EU)

91/676/EWG (1991)) ein Flächenbedarf pro Stall und Durchgang von 5,79 ha in der Kontrollvariante und 5,05 ha in der Versuchsvariante (- 12,84 % geringerer Flächenbedarf).

In Studie 2 konnten, wie beschrieben, keine Mistmengen aufgrund von technischen Schwierigkeiten der Wiegeeinrichtung am Radlader erfasst werden. Zum Vergleich mit den anderen vorliegenden Studien lag der N-Gehalt der „Fläche“ in der N-reduzierten Variante (2,69 % N in der OS) numerisch unter dem N-Gehalt der Standardvariante (2,80 % N in der OS). In Studie 3 wurde die Wiegung des Mistes mittels Fuhrwerkswaage beim Abtransport des Mistes zur Nährstoffbörse durchgeführt. Die N-reduzierte Variante hat um 5,9 % numerisch reduzierte Mistmenge im Vergleich zur Standardfütterung. Nach Verrechnung mit dem niedrigeren N-Gehalt im Mist, entstand eine signifikante Reduktion des N-Anfalls und der Flächenbelastung um 11,95 %.

Auch in Studie 4 ist die Mistmenge vor allem aufgrund des geringeren Wasseranteils trotz zusätzlicher Einstreugaben während der Studie deutlich um -31,1 % reduziert worden. Auch bei Standardisierung des Mistes auf den Parameter Trockenmasse in kg, sind immer noch erhebliche Einsparungen entstanden (-14,75 %). Aufgrund eines um 14,7 % geringeren N-Gehalts im Mist, lag die prozentuale Abnahme der N-Menge und somit die Minderung der Flächenbelastung bei 27,3 %. Rechnet man die geringeren Flächenbelastungen durch die reduzierte N-Ausscheidung auf 1 % Proteinabsenkung um, ergeben sich in den Studien 1, 3 und 4 geringere Ausscheidungen von 42,8 %, 10,9 % und 18,2 % pro Prozentpunkt Proteinabsenkung. Die 42,8 % erscheinen etwas unrealistisch, da es fraglich ist, ob sich die Effekte von 0,3 % Proteindifferenz linear auf 1 % Proteinabsenkung skalieren lassen. Die anderen beiden Werte liegen im Bereich der Faustzahl von 10-12 % Reduktion der N-Ausscheidung von LEMME et al. (2019b), obwohl die Studie von LEMME et al. (2019b) mit 14-15 % sogar leicht höhere Werte festgestellt hat. ULLRICH et al. (2018) lagen ebenfalls bei 10 % Reduktion der N-Ausscheidung pro %-Punkt Proteinabsenkung.

Im Vergleich der N-Bilanzierung lagen die errechneten Werte der N-Exkretion (analysierter XP-Gehalt im Futter \* Futtermenge abzüglich N-Deposition mit 30 g N-Ansatz/LG von HILLER et al. 2014) in vorliegender Studie 1 etwas über den

Werten aus real gewogener Mistmenge und N-Analyse im Mist im Bereich „Fläche“. Entsprechend sind in Studie 1 pro Stall rechnerisch 1814 kg N (Standard) bzw. 1654 kg N-Exkretion (N-reduzierte Variante) entstanden. Der N-Anfall über die Mistmenge pro Stall lag bei 1643,5 kg N in der Standardvariante und 1422,6 kg N in der N-reduzierten Variante, also 9,4 % bzw. 14,0 % unter der rechnerischen N-Exkretion. Analog dazu waren in Studie 3 die N-Salden aus der Mistmenge und dem analysierten N-Gehalt im Vergleich zur rechnerischen N-Exkretion ebenfalls 7,7 % in Standardvariante und 8,8 % in der N-reduzierten Variante niedriger. Für Studie 4 ergaben sich rechnerische N-Exkretionen (Futter-N – N-Deposition) von 48,8 kg N und 38,0 kg N-Ausscheidung pro Variante. Die Ermittlung des N-Anfalls (Gemeinsame Wiegung des Mists aller 5 Boxen à 250 Tiere \* mittlerer N-Gehalt der 5 Boxen) ergab 48,0 kg N-Anfall in der Standardvariante und 35,2 kg N in der N-reduzierten Variante. Diese Werte liegen damit 1,6 % bzw. 7,5 % niedriger als die errechnete N-Exkretion (Futter-N- Deposition). Die Annahme von 30 g N/kg LG für schlachtreife Broiler ist mehrmals bestätigt worden und lässt vermuten, dass die indirekte Methode der Bilanzierung verlässlicher ist. Einen Teil der Differenz der beiden Wege zur N-Bestimmung könnten Austragungen über die Luft als Ammoniak erklären.

Die Mistqualitäten von LEMME et al. (2019b) zeigen, dass  $\text{NH}_4\text{-N}$  etwa 15 % bis 22 % des im Mist gemessenen Gesamt-N entsprach. Interessanterweise sank dieser relative Anteil bei der Futterproteinabsenkung kontinuierlich ab. BELLOIR et al. (2017) berichten ebenfalls über abnehmende N-Verflüchtigungen mit Futterproteinabsenkung im Finisherfutter. Entsprechend rangierten die  $\text{NH}_3$ -Verluste zwischen etwa 12 % bei niedrigem Futterproteingehalt und bis 36 % bei Standardproteingehalt, was die vorliegenden Differenzen von 10,6 % bzw. 15,7 % erklären würde. HILLER et al. (2020) geben pro Prozentpunkt Proteinabsenkung eine Reduktion der gasförmigen Ammoniakaustragungen von 15 % an. Diese Angabe ist sehr gut vergleichbar mit den vorliegenden Ergebnissen und ergibt bei einer Absenkung des XP-Gehalts im Broilerfutter um 2 Prozentpunkte eine Einsparung von 30 % Ammoniak. Damit würde die geforderte Reduktion von 30 % Ammoniakaustragung aus der Tierhaltung in der EU-NEC-Richtlinie 2016/2284 zumindest für die Broilermast erfüllt werden. Auch HERNANDEZ et al. (2013) berichteten über steigende kumulative  $\text{NH}_3$ -Verluste, die in der Praxis in der Finisherphase ermittelt

wurden und beobachteten signifikant geringere  $\text{NH}_3$ -Verluste bei Futterproteinabsenkung. Eine Erklärung für diesen Effekt könnte der geringere Wassergehalt in der Einstreu N-reduzierter Rationen sein. Durch einen geringeren Feuchtegehalt wird die mikrobiologische Aktivität gesenkt und damit auch die Umsetzung von gebundenem Ammonium zu gasförmigen Ammoniak (MEDA et al. 2011 und FERGUSON et al. 1998).

Aufgrund dieser Unwägbarkeiten wird in Deutschland auf den Betrieben gemäß Gesetzgebung entsprechend indirekt bilanziert (StoffBilVO 2017). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass bereits geringe Reduktionen des N-Gehalts in Broilerfuttern die notwendige und flächengebundene N-Ausbringung erheblich reduzieren und somit die N-Bilanz von landwirtschaftlichen Praxisbetrieben verbessert werden kann.

#### *Ganzkörperanalyse*

Die Ganzkörperanalysen der Studie 2 zeigten lediglich, dass die XP-Gehalte der Federn in der N-reduzierten Variante tendenziell erhöht waren. Die N-reduzierte Variante (29,55 kg N/kg Ganzkörper) weist numerisch einen minimal höheren N-Gehalt im Ganzkörper im Vergleich zur Standardfütterung (29,80 kg N/kg Ganzkörper) auf. Es scheint demnach keinen größeren Einfluss der N-Reduktion auf die N-Gehalte im Ganzkörper zu geben. Der Effekt eines N-reduzierten Futters auf einen niedrigeren N-Gehalt im Ganzkörper konnte bisher lediglich von VELDKAMP et al. (2017) gemessen werden. Die Studie von VELDKAMP et al. (2017) ist mit der vorliegenden Studie 2 annähernd vergleichbar. Die Proteinabsenkung in der N-reduzierten Variante war bei VELDKAMP et al. (2017) mit 17 % in der Mittelmast und 15 % XP in der Endmast etwas höher und der Schlachtermin war mit 28 Tagen etwas früher als in der vorliegenden Studie 2. Daher ist es nur plausibel, dass die Differenz der N-Gehalte im Ganzkörper zwischen den Varianten etwas größer ist als in der vorliegenden Studie. Da zwei Studien jedoch nicht für einen linearen Zusammenhang des N-Gehalts im Futter und des N-Gehalts im Ganzkörper ausreichen, besteht in dieser Thematik zukünftig weiterer Forschungsbedarf. Denn ALETTOR et al. (2000) und BREGENDAHL et al. (2002) konnten dagegen keine Veränderung des N-Gehalts im Ganzkörper durch einen reduzierten N-Gehalt im Futter nachweisen.

Die berechneten N-Bilanzen basieren auf den aktuell wissenschaftlich anerkannten 30 g N/kg LG von HILLER et al. (2014). Dieser Wert sollte in der vorliegenden Studie 2 mit aktueller Genetik und aktueller Fütterung überprüft werden.

Der N-Gehalt des Ganzkörpers liegt in der vorliegenden Untersuchung knapp unter den wissenschaftlich anerkannten 30 g N/kg LG von HILLER et al. (2014). Jüngere Studien wie von VELDKAMP et al. (2017) weisen ebenfalls einen N-Gehalt von etwas unter 30 g N/kg LG aus. ALETOR et al. (2000) konnten einen N-Gehalt von 29,14 – 31,68 g N/kg LG bestimmen. Alle Untersuchungen, einschließlich der vorliegenden, sind vergleichbar, weil die Tiere an Lebenstag  $38 \pm 3$  Tage geschlachtet wurden.

Der signifikante Unterschied der Geschlechter in den Lebendgewichten, wie bei MÜSSE et al. (2022) zeigt den Geschlechtsdimorphismus nochmals deutlich. Die weiteren Parameter der Ganzkörperanalyse weisen keine großen Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf, bis auf die XP- und N-Gehalte. Die weiblichen Tiere weisen einen tendenziell höheren XP-Gehalt in den Federn auf. Bei Verrechnung mit dem numerisch höheren XP-Gehalt im Körper (ohne Federn) ergibt sich ein signifikant höherer N-Gehalt im Ganzkörper der Hennen. Im Gegensatz dazu haben VARGAS et al. (2020) bei steigendem Alter und Gewicht der Tiere einen steigenden N-Gehalt im Ganzkörper feststellen können. Dieser Effekt ist besonders interessant für deutsche Betriebe die Slowgrower und Bruderhähne mästen, wie HILLER und KÖLLN (2022) eindrucksvoll berechnen. Die strengen Nährstoffbilanzen und Regularien bei der Düngung geben einheitlich 30 g N/kg Lebendmasse bei der Kalkulation der Nährstofffrachten vor. Da dieser Wert jedoch nur bei ca.  $38 \pm 3$  Lebenstagen gilt, wird der Nährstoffausstoß bei längeren Mastzeiten unterbewertet. Slowgrower (33 g N/kg LG) und Bruderhähne (39 g N/kg LG) setzen deutlich mehr N pro kg LG an und reduzieren damit rechnerisch die Ausscheidung und somit auch den Flächenbedarf der Tierhaltung. Diese Betriebe sollten ihre Nährstofffrachten durch chemische Analysen und Wiegung der Mistmengen genau bestimmen und sich diese Werte anrechnen lassen.



Im Zuge der Ganzkörperanalyse wurden ebenfalls 40 Eintagsküken (4 Küken à 10 Ställe) gemußt und der N-Gehalt/kg Lebendgewicht bestimmt. Am 1. Lebenstag betrug der N-Gehalt der Ganzkörperanalyse 26,71 g N/kg Lebendgewicht und liegt damit deutlich unter dem N-Gehalt eines Broilers an Lebenstag 38 mit ca. 2,3 kg Lebendgewicht pro Tier. VELDKAMP et al. (2017) konnten bei Tieren mit 9 Lebenstagen ähnliche N-Gehalte im Ganzkörper feststellen.

#### *Schlachtkörperbewertung*

Leider konnten in den vorliegenden Studien 1-3 keine Daten der Teilstückzerlegung gewonnen werden, die klar den Ställen innerhalb der Variante zuzuordnen waren. Der Landwirt hat diesbezüglich jedoch keine Leistungsunterschiede vom Schlachthof übermittelt bekommen, sodass bei der Bezahlung ausschließlich das Lebendgewicht der Tiere berücksichtigt wird und der Schlachtkörper der Norm entsprechen haben muss. LEMME et al. (2019b) und VAN HARN et al. (2019) zeigen, dass bei einer Proteinabsenkung mit einem sehr ähnlichen Proteinlevel in der Endmast (16,8 % XP) vor allem das Teilstückgewicht der Brust reduziert sein kann. Dagegen können LEMME et al. (2019a) keine Abnahme des Brustfleischanteils bis 17,5 % in der Endmast und BELLOIR et al. (2017) bis 16 % XP feststellen. Zudem wurden in diesen Untersuchungen noch nicht die Erkenntnisse von CRYSTAL et al. (2020a) in Bezug auf einen erhöhten Threonin- und Glycingehalt berücksichtigt, anders als in Studie 4.

Die Lebendgewichte der ausgewählten Schlachttiere in Studie 4 sind in der N-reduzierten Variante im Vergleich zur Standardfütterung tendenziell erhöht. Da diese 10 Tiere pro Box jedoch dem Mittelwert an Tag  $34 \pm 50$  g entsprachen und die Tiere zufällig ausgewählt wurden, steckt in der Tendenz für ein erhöhtes Lebendgewicht auch ein gewisser Zufallseffekt. Die Keulen der N-reduzierten Variante waren signifikant schwerer. Bei den relativen Anteilen zeigte sich ein signifikant reduzierter Brustanteil am Lebendgewicht in der N-reduzierten Variante. Die Brüste sind in der N-reduzierten Variante (438,9 g) ca. 8 g numerisch leichter als in der Kontrollvariante (446,5 g), bei einer Absenkung des XP-Gehalts um 1,5 %. Bei ca. 3 % XP-Absenkung auf 16,8 % XP in der Endmast können VAN HARN et al. (2019) ebenfalls nur 7 g leichtere Brüste in der N-reduzierten Variante feststellen. BELLOIR et al. (2017) können bei einer Absenkung von 3 % XP auf 16 % XP sogar numerisch

leicht schwerere Brüste feststellen. Erst bei 15 % XP sinkt der Anteil der Brust am Lebendgewicht. Da gleichzeitig schon der Futteraufwand signifikant verschlechtert wird, scheint bei diesen Werten eine Grenze der N-Absenkung erreicht zu sein.

Die numerisch leichteren Brüste und ein tendenziell höheres Lebendgewicht führen dazu, dass der prozentuale Anteil der Brüste am Lebendgewicht in Studie 3 durch die Proteinabsenkung signifikant abgenommen hat. Die Untersuchung zeigt deutlich, dass eine scharfe Proteinabsenkung bis 17 % XP im Finisherfutter (Studie 4) funktioniert, wenn man den allgemeinen Zuwachs und das Schlachtgewicht betrachtet. VAN HARN et al. (2019) konnten ebenfalls beobachten, dass eine Proteinabsenkung zu schwereren Keulen und einem geringeren Brustanteil führte. In der vorliegenden Untersuchung muss allerdings berücksichtigt werden, dass in der N-reduzierten Variante insbesondere im, für die Fleischausprägung wichtigen, Finisherfutter nur ca. 80 % der geplanten Lysin- und Threoninsupplementierung erreicht wurde, wodurch das Fleischbildungspotential wahrscheinlich begrenzt war (MACELLINE et al. 2021). Insbesondere der Fleischansatz reagiert sensibel auf die Versorgung mit AS und bereits kleine Abweichungen können sich hier bemerkbar machen, während der Gesamtzuwachs und der Futteraufwand nicht berührt werden. Der Anteil der Brust am gesamten Körper nimmt bei steigendem Körpergewicht deutlich zu. Beispielsweise weist ein Broiler mit 1,2 kg Lebendgewicht ca. 18 % Brustfleisch auf. Ein Broiler mit 2,8 kg Lebendgewicht hat anteilig ca. 25 % Brustfleisch (+7 % relativ zum Körpergewicht). Die Keulen nehmen in diesem Zeitraum nur ca. 1,5 % relativ zum Körpergewicht zu. Die Flügel verlieren sogar 0,25 % am Körpergewicht in diesem Zeitraum (AVIAGEN 2019). Damit muss gegen Ende der Mast anteilig immer mehr reines Fleisch gebildet werden und der N-Gehalt pro kg Lebendgewicht im Laufe der Mast steigt. Daraus resultiert ein veränderter Bedarf der verschiedenen AS (Lys, Thr). PACK et al. (2003) berichteten aus vergleichenden Meta-Analysen, dass für die Optimierung des Brustfleischansatzes höhere Futtergehalte an Lys und Thr nötig waren als für die Maximierung des Gesamtzuwachses oder des Futteraufwandes. Man könnte also davon ausgehen, dass nicht nur die Wachstumsleistungen bei 1,5 % XP-Absenkung gehalten werden können, sondern auch die Schlachtleistungen, wenn in der N-reduzierten Variante die AS Lys und Thr ausreichend und analog zur Futteroptimierung ergänzt worden wären (CHRYSAL et al. 2020a). Nach Addition der Gewichte von Keulen und Brust,

haben beide Varianten in Studie 4 exakt gleiche Schlachtleistungen gezeigt, was die These insgesamt unterstreicht.

### *Schlussfolgerung und Ausblick*

Eine Reduzierung des diätetischen XP-Gehalts um 0,3 %/ 0,7 %/ 1,1 % des insgesamt verzehrten Futters in den Studien 1-3 wirken sich auch in der Broilermast im Praxismaßstab nicht negativ auf die Leistung aus, wenn eine ausreichende Versorgung mit essentiellen AS nach aktuellem wissenschaftlichem Stand gewährleistet ist. Zudem konnten ressourcenschonende Effekte (reduzierter Wasserverbrauch), umweltschonende Effekte (Einsparung von südamerikanischem Soja, geringe Nährstofffrachten pro Durchgang oder pro kg Broilerfleisch) und ein verbessertes Tierwohl (Fußballengesundheit) eindrucksvoll nachgewiesen werden. Ähnliche Vor- und Nachteile einer reduzierten Proteinversorgung konnten auch in anderen Studien erzielt werden: Gleiche Wachstumsleistung und gleicher Futteraufwand, trockenere Einstreu, gesündere Fußballen, eine geringere Mistmenge, weniger N-Ausscheidungen und dadurch eine verbesserte N-Effizienz. Jedoch ist es nun gelungen die Ergebnisse aus wissenschaftlichen Stationsuntersuchungen in die Broilermast in der Praxis (Feldversuch) zu übertragen. Somit können sich Broilermäster bei eigenen Überlegungen zur N-Absenkung im Futter an den vorliegenden Ergebnissen orientieren ohne in der Praxis Minderleistungen oder einer Einschränkung der Tiergesundheit zu riskieren.

Eine Besonderheit der Forschung im Feld unter Praxisbedingungen ist neben dem höheren Gesundheitsdruck, der hohen Tierzahl und der knapperen Verfügbarkeit von Futter (Studie 1-3: 0,66 cm Trogbreite/kg LG und Studie 4: 0,95 cm Trogbreite/kg LG) und Wasser (14,5 Tiere pro Tränke in Studie 1-3 und 12,5 Tiere pro Tränke in Studie 4) auch die gemischtgeschlechtliche Aufstallung. Häufig werden bei Stationsprüfungen getrenntgeschlechtliche Untersuchungen durchgeführt oder sogar getrenntgeschlechtlich in der Praxis gemästet, wie beispielsweise in Brasilien. Dadurch lässt sich eine genauere Fütterung direkt am Bedarf der beiden Geschlechter realisieren, wohingegen man in der gemischtgeschlechtlichen Mast in Deutschland mit gewissen Kompromissen zu Lasten der Verwertungsraten arbeitet. Vor allem in den letzten 10 Tagen der Mast treten größere Differenzen im Lebendgewicht auf (JEROCH 2019b). Beispielsweise gibt die Zuchtorganisation für Ross 308 an

Tag 40 für den Hahn (2.918 g LG) 390 g weniger Lebendgewicht als für die Henne (2.528 g LG) an (AVIAGEN 2019). MÜSSE et al. (2022) weisen den Geschlechtsdimorphismus zum Ende der Mast ebenfalls eindeutig nach. Daher müssen die Hähne aufgrund des höheren Körpergewichts einen deutlich größeren Fleischansatz im Vergleich zu den Hennen leisten, weil die Brust, wie in Kapitel 4.8 beschrieben, bei steigendem Körpergewicht einen größeren Anteil ausmacht. Da für Hähne und Hennen in der gemischtgeschlechtlichen Mast auch in der Endmast das gleiche Futter konzipiert und vorgelegt wird, muss ein Kompromiss zwischen der Ausfütterung des höheren Fleischansatzes der Hähne und den daraus resultierenden N-Überschüssen bei den Hennen eingegangen werden. Die Ergebnisse sind bezüglich der Leistung und der N-Verwertung im deutschen Praxisstall daher umso höher zu bewerten.

In Studie 4 wurde mit einem gewichteten Mittelwert von 18,4 % XP deutlich unter dem aktuellen Proteingehalt in der Praxis (EMTHAUS et al. 2021) gefüttert und trotzdem konnten gegenüber der Kontrollvariante mit 19,9 % XP gleichbleibende Wachstumsleistungen erzielt werden. Dieses extrem starke Absenkungsniveau sollte nach und nach durch unabhängige Forschung in die Broilermast in der Praxis übertragen und somit skaliert werden. Die Untersuchung in der Großgruppenhaltung kann mit 250 Tieren pro Box die Praxis besser simulieren als Stationsprüfungen mit sehr kleinen Boxen. So zeigte sich hier deutlich, dass das Potential für stärkere N-Absenkungen ohne Wachstumseinbußen in der Broilermast in der Praxis vorhanden ist. Ein geringerer Brustanteil kann die Folge sein und wäre zukünftig bei der Vermarktung entsprechend zu kalkulieren. Jedoch wäre eine um 1,7 % leichtere Brust im Großgruppenversuch (Studie 4) ein verlockender Kompromiss bei einer Reduktion der N-Ausscheidungen um 27,3 %. Eine weitere Optimierung des AS-Musters kann die Wachstumseinbußen der Brust bei N-reduzierter Fütterung verhindern.

In den vorliegenden Studien 2 und 3 wurden zwei verschiedene Konzepte zur Phasenfütterung, als Baustein für schärfere N-Absenkungen im Broilermastfutter, vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Konzepte ihren Beitrag zu einer gelungenen N-Absenkung liefern konnten. Das 5 phasige Konzept bietet die Möglichkeit

in der Finisherphase eine weitere, stärkere N-Absenkung vorzunehmen. Damit erreicht man eine weitere Annäherung an die Fütterungskurve. Es bleibt jedoch eine eventuelle Proteinunterversorgung am Anfang und eine Proteinübersorgung am Ende der Futterphasen. Durch die Verschneidung in der multiphasigen Fütterung, kann der Bedarf der Tiere exakter gedeckt werden. Im Vergleich der Praxisstudien 1-3 liegt Studie 3 also am dichtesten am Bedarf der Tiere und hat die geringsten Sicherheitszuschläge. Die Proteingehalte der Teilstudien 3 und 4 sind im Vergleich zu den Prognosen von EMTHAUS et al. (2021) bereits im Jahr 2030 angekommen oder liegen schon darunter. Dadurch wird das große N-Einsparpotential deutlich. Zukünftige Forschung sollte an multiphasigen Konzepten, eventuell auch schon in den ersten drei Fütterungsphasen anknüpfen. Dabei muss immer die spätere Umsetzung in der Praxis berücksichtigt und ökonomisch bewertet werden.

Die Konzepte der Studien 2 und 3 sind in der Umsetzung für den Broilermäster in der Praxis zu durchdenken. Ein gewöhnlicher Stall in der Broilermastfütterung ist mit 3 Futtersilos vor dem Stall ausgestattet. Ein Silo ist für kokzidiostatikahaltige Futter der ersten drei Phasen vorgesehen. Diese Futterphasen werden vom Landwirt nach und nach bestellt und kurz vor Ende einer Phase das Futter im Silo übereinandergeschichtet. Das zweite Silo ist für das Mischfutter der letzten Fütterungsphase, welche 3 Tage vor der ersten Schlachtung beginnt und kokzidiostatikafrei sein muss. Das dritte Silo ist normalerweise für die Verschneidung von Ganzweizen mit dem Mischfutter gedacht. Mit der Ganzweizenverschneidung wird die Darmgesundheit verbessert und das Futter wird günstiger. Weit verbreitet ist bei der Ganzweizenverschneidung, dass der Weizenzusatz nicht in der Nährstoffoptimierung berücksichtigt wird. Damit werden die bedarfsgerechten Nährstoffgehalte der Rationsoptimierung verdünnt und sinken unter die in der Optimierung angestrebten Bedarfswerte. Versuche wie von LEMME et al. (2019a) zeigen, dass dadurch Wachstumseinbußen, ein höherer Futteraufwand, ein geringerer EEI und ein geringerer Brustfleischanteil die negativen Folgen sein können. Daher sind in den vorliegenden Studien die Nährstoffgehalte im Ganzweizen bei der Optimierung berücksichtigt worden. Diese Vorgehensweise sollte auch in der Praxis flächendeckend umgesetzt werden, damit eine exakte Fütterung bei stark geminderten Sicherheitszuschlägen möglich ist.

Bei einer 5-Phasen-Mast muss das Futter der fünften Phase in das gleiche Silo gelassen werden wie das Futter der vierten Phase, denn ein Silo ist mit Weizen belegt und ein Silo für die kokzidiostatikahaltigen Futter der ersten 3 Phasen vorgesehen. Da man die Futtermengen bis zur Schlachtung nicht exakt kalkulieren und das Silo leerfüttern kann, verbleiben Futterreste von Phase 5 in dem Silo welches im nächsten Durchgang zuerst wieder für Futter der Phase 4 benötigt wird. Das gleiche Problem trifft auf das Konzept einer multiphasigen Fütterung in der Endmast zu. Die beiden Mischfutter, welche zur tagesgenauen Verschneidung des Endmastfutters verwendet werden, belegen die beiden kokzidiostatikafreien Silos. Damit das dritte Silo in einer 5-Phasen-Mast oder einer Multiphasenmast nicht für den nächsten Durchgang blockiert wird, müssten die Futterreste von Phase 5 aus den Silos geholt und gesammelt werden. Das verursacht Kosten und eine Zwischenlagerung der letzten Futterphase wird notwendig. Eine weitere Lösung wäre es, den Ganzweizen bereits ab Werk in Phase 4 und 5 einzumischen, was jedoch auch zu höheren Kosten führt. Die kostengünstige Beimischung von Ganzweizen auf dem Betrieb wäre bei beiden Fütterungskonzepten durch das Aufstellen eines vierten Silos vor jedem Stall möglich. Ob günstigere Beimischung des Ganzweizens auf dem Betrieb die Kosten für die Anschaffung des Silos rechtfertigen, müsste geprüft werden.

## 6. Zusammenfassung

Die deutsche Landwirtschaft ist durch europäische Gesetze dazu verpflichtet den Ammoniakausstoß bis zum Jahr 2030 um 29 % im Vergleich zum Referenzjahr 2005 abzusenken. Zudem werden durch nationale Verordnungen hohe Stickstoff (N)-Salden im Ackerbau in tierintensiven Regionen pro Flächeneinheit (170 kg N aus organischer Substanz/ha) und pro Betrieb begrenzt. Ein wesentlicher Faktor zur Reduktion dieser Umwelteinflüsse ist die Absenkung des N- bzw. Proteingehalts im Futter der Nutztiere, auch im Broilerfutter. Analysen zum historischen Verlauf der Proteingehalte in der deutschen Fütterungspraxis zeigen die bisher erreichten Einsparungen und das Potential für weitere N-Absenkungen. Entwickelt sich die deutsche Fütterungspraxis mit dem N-Gehalt im Broilerfutter linear weiter nach unten, dürften die genannten Einsparziele erreicht werden. Eine Vielzahl von weltweiten Fütterungsversuchen zeigen ebenfalls das N-Absenkungspotential in der Broilermast bei gleichbleibenden Leistungsparametern, verbessertem Tierwohl und geringeren Umwelteinflüssen. Essentiell für eine erfolgreiche N-Absenkung ist dabei eine Optimierung des idealen AS-Musters in den N-reduzierten Rationen. Bisher sind die Ergebnisse von Stationsprüfungen jedoch nicht in der Praxis oder in wissenschaftlichen Praxiseinrichtungen mit höheren Tierzahlen getestet worden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Erkenntnisse der N-Absenkungsstudien aus Stationsprüfungen auf Feldversuche in Praxisbetrieben zu übertragen. Dafür wurden insgesamt 4 Studien angelegt. Drei Fütterungsversuche wurden auf einem Broilermastbetrieb in Norddeutschland durchgeführt und die Ergebnisse wissenschaftlich dokumentiert. Dafür wurden pro Variante insgesamt ca. 210.000 Broiler in 5 Ställe à ca. 42.000 Broiler eingestellt. Das Ziel der Studie 4 in einer Großgruppenhaltung (N=5 Boxen à 250 Tiere) war die weitere Erprobung der aktuellen Grenzen der N-Absenkung im Futter ohne Leistungseinbußen. In den vorliegenden Studien wurde über alle Studien hinweg in den Kontrollvarianten ein sehr ähnliches praxisübliches Standardfütterungskonzept verfüttert. In den Versuchsvarianten wurde der Rohproteingehalt im gewichteten Mittelwert über alle Futterphasen hinweg wie folgt reduziert:

- Studie 1: - 0,3 % Rohprotein
- Studie 2: - 0,7 % Rohprotein
- Studie 3: - 1,1 % Rohprotein
- Studie 4: - 1,5 % Rohprotein

Die N-Absenkung im Futter wurde durch den Austausch von Sojaextraktionsschrot durch Weizen und einer Zulage von freien Aminosäuren realisiert. Jeder Futtercharge der vier vorliegenden Studien wurde auf den Rohproteingehalt und alle AS analysiert, um die N-Reduktionen exakt zu dokumentieren (Studie 1 n = 97; Studie 2 n = 105; Studie 3 n = 105; Studie 4 n = 7).

Der Nachweis für eine erfolgreiche N-Absenkung und ihr Effekt sollte durch die Erfassung manueller und automatisierter Parameter erfolgen. Im Stall wurden manuell stichprobenartig Einzeltiergewichte erfasst, Fußballen bonitiert sowie Mistproben gezogen und die Mistmenge pro Stall gewogen. Am Schlachthof wurden die typischen Schlachtparameter für alle Einzeltiere pro Stall erfasst und den Ställen zugeordnet. In Studie 2 wurde zusätzlich eine N-Ganzkörperanalyse und in Studie 4 eine Schlachtkörperzerlegung durchgeführt.

Die Ergebnisse der 4 Studien mit steigenden N-Absenkungsniveaus in der Broilermast lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Futtermittelanalysen zeigten sehr homogene AS-Zusammensetzungen in den Futterphasen und zwischen den einzelnen zahlreichen Futterchargen sowie die angestrebten AS-Gehalte in den Praxisstudien 1-3. Die Futtermischungen der Studie 4 sind grundsätzlich gelungen, verzeichneten jedoch Einbußen im Lysin- und Threoninegehalt.
2. In den Rationszusammensetzungen der N-reduzierten Varianten konnten die Mengen an Sojaextraktionsschrot reduziert werden (-9 %/ -10 %/ -17 %/ -34 %). Dadurch wird ein Beitrag zum Umweltschutz geleistet, weil die Importmengen für Sojaextraktionsschrot vermindert werden.
3. Die Stickstoffreduktion im Futter führte, wie in bisherigen Untersuchungen in Stationsprüfungen ebenfalls aufgezeigt, zu gleichen oder besseren Leistungen (Futteraufnahme, Tageszunahme, Futteraufwand) und in einer Studie zu signifikant geringeren Wasseraufnahmen.
4. Der TS-Gehalt in der Einstreu konnte teilweise numerisch, teilweise signifikant erhöht werden. Teilweise gab es keinen Einfluss auf den TS-Gehalt der Einstreu oder er wurde signifikant reduziert. Die Fußballengesundheit war in den Studien 1-3 signifikant verbessert, was durch eine veränderte Mistzusammensetzung zu erklären ist.



5. Die N-Ausscheidung, als Differenz aus N-Aufnahme und N-Ansatz, konnte in allen 4 Studien signifikant reduziert werden (-9 %/ -8 %/ -11 %/ -21 %). Die N-Ausscheidungen, als Produkt aus Mistmenge und N-Gehalt wurden in zwei Studien signifikant und in 2 Studien numerisch reduziert (-12,8 %/ k.A./-12,0 %/ -27,3 %). Die N-Verwertungen ergaben ein sehr hohes Niveau für die Broilermast im Praxismaßstab und konnten in drei Studien signifikant verbessert werden (+3 % / +3 %/ +6 %/ +9 %).
6. Die Ganzkörperanalysen in Studie 2 bestätigten mit 29,8 und 29,55 g N/kg LG die wissenschaftlich anerkannten 30 g N/kg LG bei einem Schlachtagter von  $38 \pm 3$  LT.
7. Studie 4 zeigte, dass schärfere N-Absenkungen bei einem Mangel einzelner Aminosäuren (AS) einen signifikant geringeren Brustanteil am Lebendgewicht verursachen können, aber keine Einbußen in den Tageszunahmen bedeuten müssen. Zudem wurden die leichteren Brüste durch schwerere Keulen kompensiert.

Die vorliegenden Fütterungsversuche in der Broilermast in der Praxis, zeigen sehr gute Ergebnisse, welche mit den Ergebnissen bei Stationsprüfungen vergleichbar sind. Somit sollten Futtermühlen und Landwirte überzeugt werden können neueste wissenschaftliche Erkenntnisse flächendeckend in die Rationsgestaltung in der Praxis zu übernehmen. Forschung und Praxis leisten auf diese Weise einen sehr wichtigen Beitrag zum Umweltschutz und zu mehr Tierwohl. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse sind die Prognosen der deutschen Mischfutterindustrie für die Einsparung der Ammoniakemissionen im Jahr 2030 als realistisch zu bezeichnen und die EU-Richtlinie 2016/2284 (29 % Ammoniakreduktion von 2005 bis 2030) könnte eingehalten werden.

## 7. Summary

German agriculture is obliged by European legislation to reduce ammonia emissions by 29% by 2030 compared to the reference year 2005. In addition, national regulations limit high nitrogen (N) balances in arable farming in animal-intensive regions per unit area (170 kg N from organic matter/ha) and per farm. A major factor in reducing these environmental impacts is lowering the N or protein content in livestock feed, including broiler feed. Analyses of the historical development of protein levels in German feeding practices show the savings achieved so far and the potential for further N reductions. If the German feeding practice with the N content in broiler feed continues to develop linearly downwards, the savings targets mentioned should be achieved. A large number of feeding trials worldwide also show the N reduction potential in broiler fattening with unchanged performance parameters, improved animal welfare and reduced environmental impact. Essential for a successful N-reduction is an optimization of the ideal AS-pattern in the N-reduced rations. So far, however, the results of station tests have not been tested in practice or in scientific practice facilities with higher animal numbers.

The aim of the present work was to transfer the findings of the N-reduction studies from station trials to field trials in commercial practice. For this purpose, a total of 4 studies were set up. Three feeding trials were carried out on a chicken fattening farm in northern Germany and the results were scientifically documented. For this purpose, a total of approx. 210,000 chickens were housed in 5 barns per variant. The aim of study 4 in a large group housing (N=2500 birds) was to further test the current limits of N reduction in the feed without performance losses. A similar commercial standard feed was fed across all studies in the control variants. In the experimental variants, the crude protein content was reduced in the weighted mean across all feeding phases as follows:

- Study 1: - 0.3 % crude protein.
- Study 2: - 0.7 % crude protein
- Study 3: - 1.1 % crude protein
- Study 4: - 1.5 % crude protein

The N reduction in the feed was realized by replacing soybean extraction meal with wheat and an addition of free amino acids. Each forage batch in the four present studies was analyzed for crude protein content and all AS to accurately document N reductions (Study 1 n = 97; Study 2 n = 105; Study 3 n = 105; Study 4 n = 7).

Proof of successful N reduction was to be provided by recording manual and automated parameters. In the barn, individual animal weights were recorded manually on a random basis, foot pads were bonitted, manure samples were counted and the amount of manure per barn was weighed. At the slaughterhouse, typical slaughter parameters were recorded for all individual animals per pen and assigned to the pens. In study 2, an N-whole carcass analysis was also performed, and in study 4, a carcass dissection was performed.

The results of the 4 studies with increasing N reduction levels in a commercial practice farm can be summarized as follows:

1. The feed analyses showed very homogeneous AS compositions in the feed phases and between the individual numerous feed batches as well as the targeted AS contents in the commercial studies 1-3. The feed term mixtures of study 4 were basically successful, but recorded losses in lysine and threonine content.
2. In the ration compositions of the N-reduced variants, the amounts of soybean extraction meal could be reduced (-9%/ -10%/ -17%/ -34%). This contributes to environmental protection by reducing the import volumes of soybean extraction meal.
3. The nitrogen reduction in the feed led to the same or better performance (feed intake, daily gain, feed conversion rate), as also shown in previous studies in station trials, and in one study to significantly lower water intakes.
4. The DM content in the litter could be increased numerically in some cases and significantly in others. In some cases there was no effect on the TS content of the litter or it was significantly reduced. Footpad health was significantly improved in studies 1-3, which can be explained by a change in manure composition.

5. N excretion, as the difference between N uptake and N application, was significantly reduced in all 4 studies (-9%/ -8%/ -11%/ -21%). N excretion, as the product of manure intake and N content was significantly reduced in 2 studies and numerically reduced in 2 studies (-12.8%/ not specified/ -12.0%/ -27.3%). N utilization rates were found to be very high for commercial practice and significantly improved in three studies (+3%/ +3%/ +6%/ +9%).
6. The whole body analyses in study 2 confirmed 29.80 and 29.55 g N/kg LG, respectively, the scientifically recognized 30 g N/kg LG at a slaughter age of  $38 \pm 3$  LT.
7. Study 4 showed that sharper N reductions in single amino acid (AS) deficiency can cause significantly lower breast percentage of live weight, but need not imply losses in daily gains. In addition, the lighter breasts were compensated for by heavier legs.

The present feeding trials in commercial practice show very good results, which are comparable with the results of station tests. Thus, feed mills and farmers should be convinced to adopt the latest scientific findings in the commercial ration design. In this way, research and practice make a very important contribution to environmental protection and greater animal welfare. This means that, by consideration of the presented results, the German compound feed industry's forecasts for ammonia emission savings in 2030 can be described as realistic, and the goals of the EU Directive 2016/2284 (29% ammonia reduction from 2005 to 2030) could be met.

## 8. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich durch eigenhändige Unterschrift, die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben. Die aus den Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Dissertation ist in dieser Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

---

Ort, Datum

Unterschrift des Doktoranden

## 9. Literaturverzeichnis

- Abd El-Wahab, A., Beineke, A., Beyerbach, M., Visscher, C.F. und Kamphues, J. (2011): Effects of floor heating and litter quality on the development and severity of foot pad dermatitis in young turkeys. *Avian Diseases*, 55, 429-434.
- Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Tiwari R, Yatoo MI, Karthik K, Michalak I, Dhama K. (2020): Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health - a comprehensive review. *The Veterinary Quarterly*, 41, 1-29.
- Aletor, V.A., Hamid, I.I., Nieß, E. und Pfeffer, E. (2000): Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 547-554.
- Alfonso-Avila, A.R., Cirot, O., Lambert, W. und Letourneau-Montminy, M.P. (2022): Effect of low-protein corn and soybean meal-based diets on nitrogen utilization, litter quality, and water consumption in broiler chicken production: Insight from meta-analysis. *Animal*, 16, 100458.
- Alhotan, R.A. und Pesti, G.M. (2016): Quantitative estimates of the optimal balance between digestible lysine and the true protein contents of broiler feeds. *British Poultry Science*, 57, 538-550.
- Aviagen (2018): Broiler Management Handbook. Available online: [https://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/Ross\\_Broiler/Ross-BroilerHandbook2018-EN.pdf](https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-BroilerHandbook2018-EN.pdf) (Zugriff am 03.11.2022).
- Aviagen (2019): ROSS 308 FF Performance Objectives 2019. Available online: [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/Ross\\_Broiler/Ross308-308FF-BroilerPO2019-EN.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross308-308FF-BroilerPO2019-EN.pdf) (Zugriff am 09.03.2022).
- Bailey, M.A., Hess, J.B., Krehling, J.T. und Macklin, K.S. (2021): Broiler performance and litter ammonia levels as affected by sulfur added to the bird's diet. *Journal of Applied Poultry Research*, 30, 100159.

- Baracho, M.S., Nääs, I.A., Lima, N.D.S., Cordeiro, A.F.S. und Moura, D.J. (2019): Factors Affecting Broiler Production: A Meta-Analysis. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21, 03.
- Belloir, P., Lessire, M., Lambert, W., Corrent, E., Berri, C. und Tesseraud, S. (2018): Changes in body composition and meat quality in response to dietary amino acid provision in finishing broilers. *Animal*, 13, 1094-1102.
- Belloir, P., Meda, B., Lambert, W., Corrent, E., Juin, H., Lessire, M. und Tesseraud, S. (2017): Reducing the CP content in broiler feeds: Impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal*, 11, 1881-1889.
- Bezerra, R.M., Costa, F.G.P., Givisiez, P.E.N., Freitas, E.R., Goulart, C.C., Santos, R.A., Souza, J.G., Brandao, P.A., Lima, M.R., Melo, M.L. und Rodrigues, V.P. (2016): Effect of L-glutamic acid supplementation on performance and nitrogen balance of broilers fed low protein diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100, 591-600.
- BMUV (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum BundesImmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. *GMBI* 2021, Nr. 48-54, 1050.
- Bregendahl, K., Sell, J.L. und Zimmerman, D.R. (2002): Effect of Low-Protein Diets on Growth Performance and Body Composition of Broiler Chicks. *Poultry Science*, 81, 1156-1167.
- Brink, M., Janssens, G.P.J., Demeyer, P., Bagci, Ö. Und Delezie, E. (2021): Reduction of dietary crude protein and feed form: Impact on broiler litter quality, ammonia concentrations, excreta composition, performance, welfare, and meat quality. *Animal Nutrition*, 9, 291-303.
- Chrystal, P.V., Greenhalgh, S., McInerney, B.V., McQuade, L.R., Akter, Y., Cesar de Paula Dorigam, J., Selle, P.H. und Liu, S.Y. (2021): Maize-based diets are more conducive to crude protein reductions than wheat-based diets for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 275, 114867.

- Chrystal, P.V., Moss, A.F., Khoddami, A., Naranjo, V.D., Selle, P.H. und Liu, S.Y. (2019): Effects of reduced crude protein levels, dietary electrolyte balance, and energy density on the performance of broiler chickens offered maize-based diets with evaluations of starch, protein, and amino acid metabolism. *Poultry Science*, 99, 1421-1431.
- Chrystal, P.V., Moss, A.F., Yin, D., Khoddami, A., Naranjo, V.D., Selle, P.H. und Liu, S.Y. (2020b): Impacts of reduced-crude protein diets on key parameters in male broiler chickens offered maize-based diets. *Poultry Science* 99, 505-516.
- Chrystal, P.V., Moss, A.F., Yin, D., Khoddami, A., Naranjo, V.D., Selle, P.H. und Liu, S.Y. (2020a): Glycine equivalent and threonine inclusions in reduced-crude protein, maize-based diets impact on growth performance, fat deposition, starch-protein digestive dynamics and amino acid metabolism in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 261, 114387.
- Commission Directive (1998): Directive 71/393/EEC: Establishing community methods for the determination of amino acids, crude oils and fats, and olanquinox in feeding stuffs and amending. *Official Journal of the European Communities*, 257, 14-23.
- De Jong, I.C., Gunnink, H. und Van Harn, J. (2014): Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 51-58.
- De Toledo, T.D.S., Roll, A.A.P., Rutz, F., Dallmann, H.M., Dai Pra, M.A., Leite, F.P.L. und Roll, V.F.B. (2020): An assessment of the impacts of litter treatments on the litter quality and broiler performance: A systematic review and metaanalysis. *PLOS ONE*, 15, e0232853.
- Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (2021): DLG-Merkblatt 406: Haltung von Masthühnern. 3.Auflage, DLG e.V., Frankfurt am Main.
- Deutscher Verband Tiernahrung e.V. (DVT) (2021): Stickstoffausscheidung in der Veredlungswirtschaft drastisch gesunken – Ziel der Ammoniakreduzierung ist



erreichbar. Pressemitteilung vom 22.Juni 2021 Nr. 7/2021, <https://www.dvtiernahrung.de/aktuelles/themen-positionen/klimaschutz-und-tierernaehrung> (Zugriff am 22.02.2022).

DUBLECZ, K. (2017): Application of low protein concept in common hungarian broiler diets. Keszthely: University of Pannonia - Georgikon Faculty - Department of Animal Science and Animal Husbandry.

DüVO (2020): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüVO) vom 28. April 2020. BGBl. I S. 846.

Emthaus C, Riewenherm G, Roesmann P, Heseke A, Binder M, Bleeser R, Radewahn P. (2021): Retrospektive Betrachtung der Fütterungs- und Futtertrends und der damit verbundene positive Entwicklungsverlauf der Stickstoffeffizienz in der Broilermast der Jahre 2000 bis 2020 mit rechnerischer Fortschreibung des Trends bis ins Jahr 2030. Deutscher Verband Tiernahrung e.V. (DVT), [https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/2021\\_06\\_21\\_DVT-Ad-hoc-Gruppe\\_Gefluegel\\_FINAL-a.pdf](https://www.dvtiernahrung.de/fileadmin/Archiv/Dokumente/2021_06_21_DVT-Ad-hoc-Gruppe_Gefluegel_FINAL-a.pdf) (Zugriff am 22.02.2022).

EU-Richtlinie (EU) 2016/2284 (2016): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe vom 14. Dezember 2016. Amtsblatt der Europäischen Union, 344, 1-31.

EU-Richtlinie (EU) 91/676/EWG (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 375, 1-5.

Evonik Industries—Nutrition&Care GmbH (2014): AMINOChick 3.0.0, Amino Acid Recommendation Software for Growing Broilers. Evonik Industries—Nutrition&Care GmbH: Essen, Germany, 2014.

Farke, J. (2011): Studien zur Aminosäurenwirksamkeit beim Mastgeflügel unter spezifischer Betrachtung der schwefelhaltigen Aminosäuren. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

- Feil, A., Neumann, K.-D. und Pehlken, A. (2021): Qualitätssicherung im Mischfutterwerk Probenahme von Futtermitteln. *Schüttgut*, 15, 22-29.
- Ferguson, N.S., Gates, R.S., Taraba, J.L., Cantor, A.H., Pescatore, A.J., Ford, M.J. und Burnham, D.J. (1998): The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poultry Science*, 77, 1481-1487.
- Ferket, P.R. und Gernat, A.G. (2006): Factors That Affect Feed Intake of Meat Birds: A Review. *International Journal of Poultry Science*, 5 (10), 905-911.
- Francesch, M. und Brufau, J. (2004): Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. *World's Poultry Science Journal*, 60, 64-75.
- Fry, J.P., Mailloux, N.A., Love, D.C., Milli, M.C. und Ling, C. (2018): Feed conversion efficiency in aquaculture: Do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13, 024017.
- GfE (1999): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Greenhalgh, S., McInerney, B.V., McQuade, L.R., Chrystal, P.V., Khoddami, A., Zhuang, M.A.M., Liu, S.Y. und Selle, P.H. (2020): Capping dietary starch:protein ratios in moderately reduced crude protein, wheat -based diets showed promise but further reductions generated inferior growth performance in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 6, 168-178.
- Gutierrez, O., Surbakti, N., Haq, A., Carey, J.B. und Bailey, C.A. (2008): Effect of Continuous Multiphase Feeding Schedules on Nitrogen Excretion and Broiler Performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 17, 463-470.
- Häffner, J., Kahrs, D., Limper, J., De Mol, J., Peisker, M. (1998): Eiweiß und Aminosäuren. In: Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (Hrsg.) „Aminosäuren in der Tierernährung“. Holm: Alfred Strothe, 8-35.
- Hernandez, F., Lopez, M., Martinez, S., Megias, M.D., Catala, P. und Madrid, J. (2012): Effect of low-protein diets and single sex on production performance, plasma metabolites, digestibility, and nitrogen excretion in 1- to 48-day-old broilers. *Poultry Science*, 91, 683-692.

- Hernandez, F., Megias, M.D., Orengo, J., Martinez, S., Lopez, M.J. und Madrid, J. (2013): Effect of dietary protein level on retention of nutrients, growth performance, litter composition and NH<sub>3</sub> emission using a multi-phase feeding program in broilers. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11, 736-746.
- Hiller, P., Ahlers, N., Didam, R., Jansen, A., Klahsen, M., Lüssing-Griese, J., Meyer, A., Müsse, J., Pieper, H., Schierhold, S. und Schulte, C. (2020): Leitfaden Geflügelhaltung. 7. Auflage, Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- Hiller, P., Kölln, M. und Klüß, J. (2022): Ganzkörperanalysen für die Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen von langsam wachsenden Mastherkünften und Bruderhähnen. [https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/39508\\_Teil\\_2\\_Ganzkoerperanalysen\\_fuer\\_die\\_Bilanzierung\\_der\\_Naehrstoffausscheidungen\\_von\\_langsam\\_wachsenden\\_Mastherkuenften\\_und\\_Bruderhaehnen](https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/39508_Teil_2_Ganzkoerperanalysen_fuer_die_Bilanzierung_der_Naehrstoffausscheidungen_von_langsam_wachsenden_Mastherkuenften_und_Bruderhaehnen) (Zugriff am 05.01.2023).
- Hiller, P., Lindermeier, H., Luepping, W., Meyer, A., Pohl, C., Pries, M., Schenkel, H., Spiekers, H., Stalljohann, G. und Staudacher, W. (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. 2. Auflage, Band 199. DLG-Verlag GmbH: Frankfurt, Germany, 2014.
- Hilliar, M., Hargraeve, G., Girish, C.K., Barekatin, R., Wu, S.-B. und Swick, R.A. (2020): Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poultry Science*, 99, 1551-1563.
- Hilliar, M., Huyen, N., Girish, C.K., Barekatin, R., Wu, S. und Swick, R.A. (2019): Supplementing glycine, serine, and threonine in low protein diets for meat type chickens. *Poultry Science*, 98, 6857-6865.
- Hilliar, M., Morgan, N., Hargraeve, G., Barekatin, R., Wu, S. und Swick, R. (2017): The Effect of Glycine Supplementation in Low Protein Diets on Water Consumption and Performance in Meat Chickens. In Proceedings of the 21st European Symposium on Poultry Nutrition, Salou/Vilaseca, Spain, 8.-11. Mai 2017.
- Hocking, P.M., Mayne, R.K., Else, R.W., French, N.A. und Gatcliffe, J. (2008): Standard European footpad dermatitis scoring system for use in turkey processing plants. *World's Poultry Science Journal*, 64, 323-328.

- Hofmann, P., Siegert, W., Kenez, A., Naranjo, V.D. und Rodehutsord, M. (2019): Very Low Crude Protein and Varying Glycine Concentrations in the Diet Affect Growth Performance, Characteristics of Nitrogen Excretion, and the Blood Metabolome of Broiler Chickens. *Journal of Nutrition*, 149, 1122-1132.
- Hofmann, P., Siegert, W., Naranjo, V.D. und Rodehutsord, M. (2020): Effects of supplemented nonessential amino acids and nonprotein nitrogen on growth and nitrogen excretion characteristics of broiler chickens fed diets with very low crude protein concentrations. *Poultry Science*, 99, 6848-6858.
- Hynd, P. (2019): *Animal Nutrition from theory to practice*. Boston: CABI-Verlag.
- IDH (2019): *European Soy Monitor Report 2019*. <https://www.idhsustainabletrade.com/publication/european-soy-monitor-report-2019/> (Zugriff am 23.01.2023).
- Jankowski, J., Kubinska, M. und Zdunczyk, Z. (2014): Nutritional and immunomodulatory function of methionine in poultry diets – a review. *Annals of Animal Science*, 14, 17-31.
- Jeroch, H. (2019a): Futtermittel und Futtermittelzusatzstoffe. In: Jeroch, H., Simon, A., Zentek, J. (Hrsg.) "Geflügelernährung". Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 107-234.
- Jeroch, H. (2019b): Fütterung des Lege-, Reproduktions- und Mastgeflügels. In: Jeroch, H., Simon, A., Zentek, J. (Hrsg.) "Geflügelernährung". Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 235-486.
- Jeroch, H. und Zentek, J. (2019): Umwelt- und ressourcenschonende Fütterung. In: Jeroch, H., Simon, A., Zentek, J. (Hrsg.) "Geflügelernährung". Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 486-490.
- Jeroch, H., Kozłowski, K. und Jankowski, J. (2011): Versorgung des Geflügels mit Energie und Nährstoffen aus der Sicht nationaler und internationaler Empfehlungen. *Archiv für Geflügelkunde*, 75, 218-225.
- Kamphues, J., Wolf, P., Coenen, M., Eder, K., Iben, C., Kienzle, E., Liesegang, A., Männer, K., Zebeli, Q., Zentek, J. (2014): *Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis*. Hannover: M. & H. Schaper GmbH.

- Kidd, M.T. und Kerr, B.J. (1996): L-Threonine for Poultry: A Review. *Journal of applied Poultry Research*, 5, 358-367.
- Kidd, M.T., Kerr, B.J., Allard, J.P., Rao, S.K. und Halley, J.T. (2000): Limiting amino acid responses in commercial broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 9, 223-233.
- Lambert, W., Berrocoso, J.D., Swart, B., Van Tol, M., Bruininx, E. und Willems, E. (2023): Reducing dietary crude protein in broiler diets positively affects litter quality without compromising growth performance whereas a reduction in dietary electrolyte balance further improves litter quality but worsens feed efficiency. *Animal Feed Science and Technology* 297, 115571.
- Lemme, A. (2017): Dietary Protein Reduction and Implications on Animal Nutrition. In *Proceedings of the 30th Annual Convention of Philippine Society of Animal Nutritionists*, Manila, Philippines, 5 October 2017.
- Lemme, A., Hiller, P., Klahsen, M., Taube, V., Stegemann, J. und Simon, I. (2019b): Reduction of dietary protein in broiler diets not only reduces n-emissions but is also accompanied by several further benefits. *Journal of Applied Poultry Research*, 28, 867-880.
- Lemme, A., Wild, C., Hartmann, J., Damme, K. (2019a): Weniger Stickstoff poliert die Bilanz. *DGS Magazin*, 49, 16-18.
- Lepkovsky, S., Lyman, R., Fleming, D., Nagumo, M. und Dimick, M.M. (1957): Gastrointestinal Regulation of Water and Its Effect on Food Intake and Rate of Digestion. *The Journal of Physiology*, 188, 327-331.
- Li, C., Lesuisse, J., Schallier, S., Climaco, W., Wang, Y., Bautil, A., Everaert, N. und Buyse, J. (2017): The effects of a reduced balanced protein diet on litter moisture, pododermatitis and feather condition of female broiler breeders over three generations. *Animal*, 12, 1493-1500.
- Li, H., Lin, C., Collier, S., Brown, W. und White-Hansen, S. (2013): Assessment of frequent litter amendment application on ammonia emission from broilers operations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63, 442-452.

- Loeffler, K., Gäbel, G. (2013): Anatomie und Physiologie der Haustiere. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Macelline, S.P., Chrystal, P.V., YunLiu, S. und Selle, P.H. (2021): Implications of elevated threonine plasma concentrations in the development of reduced-crude protein diets for broiler chickens. *Animal Production Science*, 61, 1442-1448.
- Mariotti, F., Tome, D. und Mirand, P.P. (2008): Converting Nitrogen into Protein- Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Food Science and Nutrition*, 48, 177-184.
- Marks, H.L. und Pesti, G.M. (1984): The Roles of Protein Level and Diet Form in Water Consumption and Abdominal Fat Pad Deposition of Broilers. *Poultry Science*, 63, 1617-1625.
- Martland, M.F. (1985): Ulcerative dermatitis dm broiler chickens: The effects of wet litter. *Avian Pathology*, 14:3, 353-364.
- Maynard, C.W., Ghane, A., Chrystal, P.V., Selle, P.H. und Liu, S.Y. (2021): Sustaining live performance in broilers offered reduced crude protein diets based on corn and wheat blend. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114928.
- Meda B., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P. und Dourmad, J.Y. (2011): Influence of rearing conditions and manure management practices on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses. *World's Poultry Science Journal*, 67, 441-456.
- Müller, J. (2014): Dumas oder Kjeldahl für die Referenzanalyse? Vergleich und Betrachtungen zur Stickstoff-/Proteinanalyse von Lebens- und Futtermitteln. White Paper von Foss, [https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/laboratories-segment/the-dumas-method-for-nitrogen-protein-analysis\\_de.pdf](https://www.fossanalytics.com/-/media/files/documents/papers/laboratories-segment/the-dumas-method-for-nitrogen-protein-analysis_de.pdf) (Zugriff am 10.02.2022).
- Müsse, J., Louton, H., Spindler, B. und Strake, J. (2022): Sexual Dimorphism in Bone Quality and Performance of Conventional Broilers at Different Growth Phases. *Agriculture*, 12, 1109.
- Nagaraj, M., Wilson, C.A.P., Saenmahayak, B., Hess, J.B. und Bilgili, S.F. (2007): Efficacy of a Litter Amendment to Reduce Pododermatitis in Broiler Chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 255-261.

- Nahm, K.H. (2007): Feed formulations to reduce N excretion and ammonia emission from poultry manure. *Bioresource Technology*, 98, 2282-2300.
- Ouart, M.D., Damron, B.L., Christmas, R.B. und Martin, F.G. (1995): Effect of Coccidiostats on Performance, Water Intake, and Litter Moisture of Broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 4, 374-378.
- Pack, M., Hoehler, D. und Lemme, A. (2003): Economic Assessment of Amino Acid Responses in Growing Poultry. In: *Amino Acids in Animal Nutrition*, 2nd ed.; D'Mello, J.P.F., Ed.; CABI Publishing; Wallingford, UK, 459-483.
- Pfeiffer, A., Henkel, H., Verstegen, M.W.A und Philipczyk, I. (1995): The influence of protein intake on water balance, flow rate and apparent digestibility of nutrients at the distal ileum in growing pigs. *Livestock Production Science*, 44, 179-187.
- Pieper, H. (2022): Betriebszweigungswertung (BZA) Hähnchenmast Wirtschaftsjahr 2019/2020. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, [https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/22725\\_Betriebszweigungswertung\\_H%C3%A4hnchenmast\\_WJ\\_20192020](https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/22725_Betriebszweigungswertung_H%C3%A4hnchenmast_WJ_20192020) (Zugriff am 10.02.2022).
- Pinchasov, Y., Mendonca, C.X. und Jensen, L.S. (1990): Broiler chick response to low protein diets supplemented with synthetic amino acids. *Poultry Science*, 69, 1950-1955.
- Poholsky, C.M., Hofstetter, D.W., Khezrimotlagh, D. und Boney, J.W. (2021): Effects of pellet quality on-farm nutrient segregation in commercial broiler houses varying in feed line length. *Journal of Applied Poultry Research*, 30, 100157.
- Ravindran, V., Wu, Y.B., Thomas, D.G. und Morel, P.C.H. (2006): Influence of the method of whole wheat inclusion on performance and caecal microbiota profile of broiler chickens. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57, 21-26.
- Remus, A., Hauschild, L., Andretta, I., Kipper, M., Lehnen, C.R. und Sakomura, N.K. (2014): A meta-analysis of the feed intake and growth performance of broiler chickens challenged by bacteria. *Poultry Science*, 93, 1149-1158.

- Richardt, W. und Bellof, G. (2021): Futtermittel: untersuchen, bewerten, einordnen. In: Durst, L., Freitag, M. und Bellof, G. (Hrsg.) "Futtermittel für landwirtschaftlicher Nutztiere". Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 21-80.
- Rodehutschord, M. (2012): Einsatz von Aminosäuren in der Tierernährung. In: H. Wilhelm-Schaumann-Stiftung (Hrsg.) „24. Hülsenberger Gespräche 2012 - Zusatzstoffe in der Ernährung“. Hamburg: Heigener Europrint GmbH, 108-118.
- Rodrigues, S.I.F.C., Stringhini, J.H., Ribiero, A.M.L., Pontalti, G.C. und McManus, C.M. (2014): Quality Assessment of Corn Batches Received at a Feed Mill in the Vrazilian Cerrado. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16, 233-240.
- Rostagno, H., Paez, L. und Albino, L. (2007): Nutrient requirements of broilers for optimum growth and lean mass. 16th European Symposium on Poultry Nutrition.
- Sahoo, S.P., Kaur, D., Sethi, A.P.S., Sharma, A., Chandra, M. and Chandrasah (2017): Effect of chemically amended litter on litter quality and broiler performance in winter. *Journal of Applied Animal Research*, 45, 533-537.
- Sajeev, E.P.M., Amon, B., Ammon, C., Zollitsch, W. und Winiwarter, W. (2017): Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110, 161-175.
- Santonja, G., Georgitzikis, K., Scalet, B., Montobbio, P., Roudier, S. und Delgado Sancho, L. (2017): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs; Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) EUR 28674EN; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2017; p. JRC107189.
- Sauer, N., Emrich, K., Piepho, H.-P., Lemme, A., Redshaw, M.S. und Mosenthin, R. (2008): Meta-Analysis of the Relative Efficiency of Methionine-Hydroxy-Analogue-Free-Acid Compared with dl-Methionine in Broilers Using Nonlinear Mixed Models. *Poultry Science*, 87, 2023-2031.



- Schulze-Geisthövel, S., Simon, I., Stegemann, J., Hiller, P., Schättler, J.K., Meyer, A., Lemme, A. und Taube, V. (2019): Nährstoffreduzierte Futtervarianten für Masthähnchen Weniger rein – weniger raus. DGS Magazin, 27, 42-45.
- Selle, P.H., De Paulo Dorigam, J.C., Lemme, A., Chrystal, P.V. und Liu, S.Y. (2021): Synthetic and Crystalline Amino Acids: Alternatives to Soybean Meal in Chicken-Meat Production. Animals, 10, 729-749.
- Shepherd, E.M. und Fairchild, B.D. (2010): Footpad dermatitis in poultry. Poultry Science, 89, 2043–2051.
- Sigolo, S., Zohrabi, Z., Gallo, A., Seidavi, A. und Prandini, A. (2017): Effect of a low crude protein diet supplemented with different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters and immune responses of growing broilers. Poultry Science, 96, 2751-2760.
- Simon, A. und Zentek, J. (2019): Ernährungsphysiologische Grundlagen. In: Jeroch, H., Simon, A., Zentek, J. (Hrsg.) „Geflügelernährung“. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 17-107.
- Simon, O. (2008): Ernährungsphysiologie. In: Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O. (Hrsg.) „Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere“. Stuttgart: Eugen Ulmer, 15-62.
- Singh, Y., Molan, A.L. und Ravindran, V. (2019): Influence of the method of whole wheat inclusion on performance and caecal microbiota profile of broiler chickens. Journal of Applied Animal Nutrition, 7, 1-7.
- Stangl, G.I. (2014): Proteine und ihr Stoffwechsel. In: Kirchgeßner, M. (Hrsg.) „Tierernährung- Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis“. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 96-134.
- Star, L., Tesseraud, S., van Tol, M., Minussi, I., Corrent, E. und Lambert, W. (2021): Production performance and plasma metabolite concentrations of broiler chickens fed low crude protein diets differing in Thr and Gly. Animal Nutrition, 7, 472-480.

- StoffBilVO (2017): Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV) vom 14.12.2017. BGBl. I S.3436.
- Such, N., Pal, L., Strifler, P., Horvath, B., Koltay, I.A., Rawash, M.A., Farkas, V., Mezolaki, A., Wagner, L. und Dubleczy, K. (2021): Effect of Feeding Low Protein Diets on the Production Traits and the Nitrogen Composition of Excreta of Broiler Chickens. *Agriculture*, 11, 781.
- Taheri, H.R., Mansouri, A. und Ghaderi, O. (2020): Comparison of Multi-Step Phase-Feeding Programs (Eight or Thirteen Steps) with a Commercial Three-Step Feeding Program for Broiler Chickens. *Poultry Science Journal*, 8, 9-15.
- Tasistro, A. S., D. E. Kissel, and P. B. Bush. 2004a. Sampling broiler litter: How many samples are needed? *Journal of Applied Poultry Research*, 13, 163-170.
- Tasistro, A. S., D. E. Kissel, and P. B. Bush. 2004b. Spatial variability of Broiler litter composition in a chicken house. *Journal of Applied Poultry Research*, 13, 29-43.
- Toppel, K., Kaufmann, F., Schön, H., Gauly, M. und Andersson, R. (2018): Effect of pH-lowering litter amendment on animal-based welfare indicators and litter quality in a European commercial broiler husbandry. *Poultry Science*, 1, 1181-1189.
- Toprak, N.N., Yavas, I., Cenesiz, A.A., Ceylan, N. und Ciftci, I. (2021): Effects of digestible amino acid based formulation of low protein broiler diets supplemented with valine, isoleucine and arginine on performance and protein efficiency. *Czech Journal of Animal Science*, 66, 168-178.
- Ullrich, C., Langeheine, M., Brehm, R., Taube, V., Siebert, D. und Visscher, C. (2018): Influence of Reduced Protein Content in Complete Diets with a Consistent Arginine–Lysine Ratio on Performance and Nitrogen Excretion in Broilers. *Sustainability*, 10, 3827.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2022): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. 03.06.2021. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff->

emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#entwicklung-seit-1990  
(Stand 06.01.2022).

- Van Harn, J., Dijkslag, M.A. und Van Krimpen, M.M. (2019): Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poultry Science*, 98, 4868-4877.
- Vargas, L., Sakomura, N.K., Leme, B.B., Antayhua, F., Reis, M., Gous, R. und Fisher, C. (2020): A description of the potential growth and body composition of two commercial broiler strains. *British Poultry Science*, 61, 266-273.
- Veldkamp, T., Schamp, T., Van Harn, J., Dekker, R., Josef, M. und Jansman, A.J.M. (2017): Effect of iso-energetic exchange of dietary fat and starch on growth performance and body composition of broilers. Wageningen Livestock Research, Livestock Research Report 1061.
- Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 (2003): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung. *Amtsblatt der Europäischen Union*, 268, 29-43.