

Erarbeitung von Daten zu Inhaltsstoffen, Aminosäuren und Vitaminen in Öko- Futtermitteln zur optimierten Rationsgestaltung in der Monogastrierernährung

Analytical data for evaluation of organic feedstuffs in monogaster nutrition: main ingredients, amino acids and vitamins

FKZ: 11OE054

Projektnehmer:

Thünen-Institut
Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32, 23847 Westerau
Tel.: +49 4539 8880-311
Fax: +49 4539 8880-120
E-Mail: karen.aulrich@thuenen.de
Internet: www.thunen.de/de/ol

Autoren:

Aulrich, Karen; Witten, Stephanie

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

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

**Erarbeitung von Daten zu Inhaltsstoffen, Aminosäuren und Vitaminen in
Öko-Futtermitteln zur optimierten Rationsgestaltung in der
Monogastrierernährung**

Schlussbericht

FKZ: 28110E054

Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2012 bis 31.06.2018

Zuwendungsempfänger

Dr. Karen Aulrich
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32, 23847 Westerau
Tel. 04539 8880 311
Email: karen.aulrich@thuenen.de

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Kooperationspartner

Dr. Herwart Böhm
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32, 23847 Westerau
Tel. 04539 8880 313
Email: herwart.boehm@thuenen.de

Autoren des Schlussberichts: Karen Aulrich, Stephanie Witten

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Kurzfassung.....	1
Abstract	2
1 Einführung	3
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	3
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....	3
1.3 Planung und Ablauf des Projekts.....	4
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	6
3 Material und Methoden	10
3.1 Probenmaterial	10
3.2 Probenvorbereitung	10
3.3 Referenzanalytik.....	11
3.3.1 Rohnährstoffanalytik	11
3.3.2 Aminosäureanalytik	11
3.3.3 Vitaminanalytik	11
3.4 <i>In vivo</i> Verdaulichkeitsbestimmung	12
3.4.1 Tiere und Stallungen	13
3.4.2 Chymusgewinnung	14
3.4.3 Chemische Analysen	15
3.4.4 Auswertung	15
3.5 <i>In vitro</i> Verdaulichkeitsbestimmung.....	15
3.6 Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS).....	17
3.6.1 NIRS-Messung	17
3.6.2 Kalibrationsentwicklung	17
3.7 Statistische Auswertung	17
3.7.1 Stichprobenauswahl	18
3.7.2 Einfluss von Sorte, Standort und Anbaujahr	20
3.7.3 Beispielrationen und Einfluss der Schwankungen der Inhaltsstoffe von Einzelfuttermitteln	20
4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	24
4.1 Ergebnisse der Referenzanalytik	24
4.1.1 Rohnährstoffgehalte und ihre Schwankungen	24
4.1.2 Aminosäuren	25
4.1.3 B-Vitamine	29

4.2 Nah-Infrarotspektroskopie.....	30
4.2.1 Rohnährstoffe	31
4.2.2 Aminosäuren	35
4.2.3 B-Vitamine	37
4.2.4 <i>In vitro</i> Verdaulichkeit	37
4.3 Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren	38
4.3.1 <i>In vivo</i> Verdaulichkeit - Ackerbohne und Futtererbse	38
4.3.2 <i>In vitro</i> Verdaulichkeit	39
4.4 Effekt von Sorte und Umweltbedingungen.....	41
4.4.1 Rohnährstoffe und Aminosäuren	41
4.4.2 B-Vitamine	48
4.4.3 <i>In vitro</i> Verdaulichkeit	51
4.5 Rationsgestaltung.....	53
4.5.1 Rohprotein und Aminosäuren	53
4.5.2 B-Vitamine	54
5 Diskussion der Ergebnisse	58
5.1 Nah-Infrarotspektroskopie.....	58
5.2 Rohnährstoffe und Aminosäuren	58
5.2.1 Gehalte, Korrelationen und Schätzggleichungen	58
5.2.2 Verdaulichkeit	61
5.2.3 Rationen	65
5.3 Thiamin- und Riboflavin.....	65
5.3.1 Gehalte	65
5.3.2 Rationen	67
5.4 Schlussfolgerung, Fazit.....	69
6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	70
7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten und tatsächlich erreichten Ziele..	71
8 Zusammenfassung	72
9 Literaturverzeichnis.....	74
10 Verbreitung der Ergebnisse	83
10.1 Veröffentlichungen.....	83
10.2 Geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	85
Anhang: Erfolgskontrollbericht.....	86
1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms	86
2. Wissenschaftliche und technische Ergebnisse des Vorhabens	86
3. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	86
4. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase	87
5. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	87

Abkürzungsverzeichnis

Zusätzlich zu den gängigen Abkürzungen des internationalen SI-Systems sowie den Symbolen für chemische Elemente und Verbindungen werden folgende Abkürzungen verwendet:

AS	Aminosäure(n)
AME _N	N-korrigierte scheinbare umsetzbare Energie
ANF	Antinutritive Faktoren
anova	Varianzanalyse
Arg	Arginin
Asp	Asparagin(-säure)
Cys	Cystein
d21	21 Tage alte Broiler
d42	42 Tage alte Broiler
FLD	Fluoreszenzdetektor
glm	Generalisiertes lineares Modell
Glu	Glutamin(-säure)
Gly	Glycin
GMO	Genetisch modifizierter Organismus
His	Histidin
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
Ile	Isoleucin
CV	Variationskoeffizient
Leu	Leucin
Lys	Lysin
ME	Umsetzbare Energie
Met	Methionin
Phe	Phenylalanin
Pro	Prolin
R ²	Bestimmtheitsmaß
SAS	Schwefelhaltige AS
Ser	Serin
TS	Trockensubstanz
Thr	Threonin
Trp	Tryptophan
Tyr	Tyrosin
Val	Valin
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XN	Rohnährstoffe
XP	Rohprotein

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Probenaufkommen in drei Jahren der Getreide- und Körnerleguminosenkulturen (S = Sommer, W = Winter).....	10
Tabelle 2: Probenaufkommen weiterer Futterkomponenten	10
Tabelle 3: Chromatographischer Gradient: Bedingungen für die Aminosäurenanalyse	11
Tabelle 4: Chromatographischer Gradient: Bedingungen für die Riboflavinanalyse.....	12
Tabelle 5: Rohrnährstoff- und Aminosäuregehalte (g/kg TS) in den geprüften Ackerbohnen und Futtererbsen.....	13
Tabelle 6: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe (kalkulierte Ergebnisse in g/kg TS) der Starterration	13
Tabelle 7: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe (Analysergebnisse in g/kg TS) der Testrationen	14
Tabelle 8: Trockensubstanzgehalt, pH-Wert und Verweildauer des Chymus im Verdauungstrakt des Huhns*.....	16
Tabelle 9: Stichprobenbeschreibung für Rohrnährstoffe und Aminosäuren – Gesamtanzahl (n total), Probenanzahl für weitere statistische Untersuchungen (n subset) und Anzahl der Faktorausprägungen	18
Tabelle 10: Stichprobenbeschreibung für Thiamin und Riboflavin – Gesamtanzahl (n total), Probenanzahl für weitere statistische Untersuchungen (n subset) und Anzahl der Faktorausprägungen	19
Tabelle 11: Probenbeschreibung für den <i>in vitro</i> Versuch.....	19
Tabelle 12: Beispielrationen für Schweine im Ökolandbau [g/kg TS]	22
Tabelle 13: Beispielrationen für Geflügel im Ökolandbau [g/kg TS]	23
Tabelle 14: Gehalte an Rohrnährstoffen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in % TS) in Wintergetreide	24
Tabelle 15: Gehalte an Rohrnährstoffen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in % TS) in Sommergetreide	24
Tabelle 16: Gehalte an Rohrnährstoffen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in % TS) in Körnerleguminosen.....	25
Tabelle 17: Aminosäuregehalte (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in g/kg TS) in Wintergetreide.....	26

Tabelle 18: Aminosäuregehalte (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in g/kg TS) in Sommergetreide.....	27
Tabelle 19: Aminosäuregehalte (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in g/kg TS) in Körnerleguminosen	28
Tabelle 20: Spearman Korrelationskoeffizienten der Aminosäuren (g/16 g N) zum Rohprotein (% TS)*	29
Tabelle 21: Thiamin- und Riboflavingehalte [mg/kg TS] in Getreide und Körnerleguminosen ...	30
Tabelle 22: Thiamin- und Riboflavingehalte [mg/kg TS] in weiteren Kulturen.....	30
Tabelle 23: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Rohnährstoffe inkl. Stärke in Getreide und Körnerleguminosen.....	31
Tabelle 24: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Aminosäuren in Getreide	35
Tabelle 25: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Aminosäuren in Körnerleguminosen	36
Tabelle 26: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Vorhersage der <i>in vitro</i> XP Verdaulichkeitskoeffizienten (DC) in Getreide und Körnerleguminosen	37
Tabelle 27: <i>Praecaecale</i> Verdaulichkeitskoeffizienten (pcSDC) des XP und der AS von ökologisch erzeugten Ackerbohnen und Futtererbsen ermittelt mittels eines linearen Regressionsansatzes in 21 Tage alten Mastbroilern (modifiziert nach Witten <i>et al.</i> 2018)...	38
Tabelle 28: Koeffizienten der <i>in vitro</i> XP- (XP) und AS-Verdaulichkeit* von ausgewählten Getreide- und Körnerleguminosenarten als Futtermittel für 21 Tage alte Broiler.....	39
Tabelle 29: Koeffizienten der <i>in vitro</i> XP- (XP) und AS-Verdaulichkeit* von ausgewählten Getreide- und Körnerleguminosenarten als Futtermittel für 42 Tage alte Broiler.....	40
Tabelle 30: F-Werte der Faktoren, die den Gehalt an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren in ausgewählten Getreidesorten und Körnerleguminosen signifikant ($p < 0,05$) beeinflussen.....	41
Tabelle 31: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Winterweizen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr	42
Tabelle 32: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Sommerweizen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	43
Tabelle 33: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Winterroggen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr	43

Tabelle 34: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Wintertriticale abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	44
Tabelle 35: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Sommergerste abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	45
Tabelle 36: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Hafer abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	45
Tabelle 37: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Futtererbsen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	46
Tabelle 38: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Ackerbohnen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	47
Tabelle 39: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Blauen Lupinen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr.....	47
Tabelle 40: F- und P-Werte (<i>kursiv</i>) der Hauptfaktoren der Modelle, die Sorten- und Umwelteinflüsse auf die Thiamin- und Riboflavingehalte beschreiben.....	49
Tabelle 41: F- and p-Werte (<i>kursiv</i>) der Hauptfaktoren in Modellen, die den Einfluss von Sorte und Umweltbedingungen auf die <i>in vitro</i> Rohproteinverdaulichkeit ausgewählter Kulturen für 21- und 42-Tage alte Broiler beschreiben.....	52
Tabelle 42: Gehalte an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren (in g/kg TS) in Futterrationen für Schweine, die Getreide und Körnerleguminosen mit geringen und hohen Rohproteingehalten enthalten, die im Jahr 2012 an zwei Standorten in Schleswig-Holstein angebaut wurden.....	53
Tabelle 43: Gehalte an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren (in g/kg TS) in Futterrationen für Geflügel, die Getreide und Körnerleguminosen mit geringen und hohen Rohproteingehalten enthalten, die im Jahr 2012 an zwei Standorten in Schleswig-Holstein angebaut wurden.....	54
Tabelle 44: Gehalte an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren (in g/kg TS) in Futterrationen für Geflügel, die Getreide und Körnerleguminosen mit geringen und hohen Rohproteingehalten enthalten.....	54
Tabelle 45: Versorgungsempfehlungen und Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Beispielrationen für Schweine im Ökolandbau [mg/kg TS].....	56
Tabelle 46: Versorgungsempfehlungen und Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Beispielrationen für Schweine im Ökolandbau [mg/kg TS].....	56
Tabelle 47: Versorgungsempfehlungen und tatsächlicher Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Beispielrationen für Geflügel im Ökolandbau [mg/kg TS].....	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kalibration von Rohprotein in Getreide – Original- und geschätzte XP-Gehalte aller Getreidearten in % TS.....	32
Abbildung 2: Kalibration von Rohfett in Getreide – Original- und geschätzte XL-Gehalte aller Getreidearten in % TS.....	32
Abbildung 3: Kalibration von Rohfett in Getreide ohne Hafer – Original- und geschätzte XL-Gehalte in % TS.....	33
Abbildung 4: Kalibration von Rohfett in Hafer – Original- und geschätzte XL-Gehalte in % TS.....	33
Abbildung 5: Kalibration von Stärke in Getreide ohne Hafer – Original- und geschätzte Stärke-Gehalte in % TS.....	33
Abbildung 6: Kalibration von Stärke in Hafer – Original- und geschätzte Stärke-Gehalte in % TS.....	34
Abbildung 7: Kalibration von Rohprotein in Körnerleguminosen – Original- und geschätzte XP-Gehalte aller Körnerleguminosenarten in % TS.....	34
Abbildung 8: Kalibration von Lysin in Triticale – Original- und geschätzte Lysin-Gehalte in % TS.....	35
Abbildung 9: Kalibration von Lysin in Körnerleguminosen – Original- und geschätzte Lysin-Gehalte in % TS.....	36
Abbildung 10: Kalibration von Lysin in Körnerleguminosen – Original- und geschätzte Lysin-Gehalte in % TS.....	37
Abbildung 11: Kalibration der <i>in vitro</i> XP-Verdaulichkeit in Getreide – Original- und geschätzte <i>in vitro</i> XP-Verdaulichkeitskoeffizienten.....	37
Abbildung 12: Bivariate Anpassung von verdauter Menge Lysin nach aufgenommener Menge Lysin aus Ackerbohnen und Futtererbsen pro Tag.....	38
Abbildung 13: Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Getreidekörnern; Die Säulen illustrieren die Faktorausprägungen von Sorte, Anbaujahr und Anbauort/-region mit den minimalen bzw. maximalen Gehalten. Weiterführende Informationen sind im Anhang zu finden.....	50
Abbildung 14: Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Körnerleguminosenkörnern; Die Säulen illustrieren die Faktorausprägungen von Sorte, Anbaujahr und Anbauort/-region mit den minimalen bzw. maximalen Gehalten. Weiterführende Informationen sind im Anhang zu finden.....	51

- Abbildung 15: *In vitro* Rohproteinverdaulichkeit ausgewählter Getreide- und Körnerleguminosenarten in 42-Tage alten Broilern. Die Säulen illustrieren die Faktorausprägungen von Sorte, Anbaujahr und Anbauort/-region mit den minimalen bzw. maximalen Gehalten. 53
- Abbildung 16: Lysin- und Threoningehalte in Gerste (links) und Futtererbsen (rechts) bestimmt mit HPLC sowie geschätzt mit Gleichungen, die im Projekt entwickelt wurden (_geschätzt) oder in AminoDat 5.0 (_Evonik, Evonik 2016) zu finden sind..... 60

Kurzfassung

Erarbeitung von Daten zu Inhaltsstoffen, Aminosäuren und Vitaminen in Öko-Futtermitteln zur optimierten Rationsgestaltung in der Monogastrierernährung

Karen Aulrich¹ und Stephanie Witten¹

¹Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland, karen.aulrich@thuenen.de

Die optimierte Rationsgestaltung in der Monogastrierernährung ist von zentralem Interesse in der ökologischen Tierhaltung, weil Imbalancen in der Inhaltsstoffzusammensetzung von Futtermitteln zu einer verringerten Futtermittelverwertung und gesundheitlichen Einschränkungen führen können. Es ist nicht hinreichend bekannt, in welchem Ausmaß Inhaltsstoffgehalte und Verdaulichkeiten zwischen einzelnen Chargen derselben Einzelfuttermittel schwanken. Zudem unterscheiden sich Öko-Futtermittel durch das abweichende Management potentiell von konventionell erzeugten Futtermitteln. Daher ist es notwendig, die Zusammensetzung ökologisch erzeugter Futtermittel zu kennen.

Um die Datengrundlage zu Inhaltsstoffen, Aminosäuren und ausgewählten B-Vitaminen in Öko-Futtermitteln zu erweitern, wurden 1400 Proben verschiedener Kulturen aus Sortenversuchen der Landwirtschaftskammern und Landesforschungsanstalten gesammelt. Ein Teil der Proben wurde mit klassischen analytischen Methoden auf ihre Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren und den Vitaminen B₁ und B₂ analysiert. Mit den Ergebnissen wurden NIRS-Kalibrationen erstellt. Ein Teil der Proben wurde genutzt, um eine *in vitro* Multienzym-Methode zur Schätzung der Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren bei Broilern anzupassen. Zudem wurden Effekte von Sorte, Standort und Anbaujahr geprüft.

Die Spannweiten der Inhaltsstoffgehalte waren zum Teil sehr hoch, sodass der Einsatz von Tabellenwerten nicht empfohlen werden kann. NIRS zeigt sich als ein gutes Tool zur Schätzung vieler Inhaltsstoffgehalte. Die Sorte, der Standort und das Anbaujahr beeinflussten die Zusammensetzung stark aber nicht gerichtet. Das heißt, dass Schwankungen beachtet werden müssen aber nicht berechnet werden können. Auch die *in vitro* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren wurde beeinflusst. Die Auswirkungen auf die Rationsgestaltung sind stark. Vitamin B₁ war in aller Regel ausreichend vorhanden, aber Vitamin B₂ kann bei getreidebasierten Rationen für monogastrische Nutztiere schnell im Mangel vorliegen. Lösungen für dieses Problem gilt es zu finden.

Abstract

Analytical data for evaluation of organic feedstuffs in monogaster nutrition: main ingredients, amino acids and vitamins

Karen Aulrich¹ and Stephanie Witten¹

¹Johann Heinrich von Thünen-Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany, karen.aulrich@thuenen.de

The optimized diet formulation in nutrition of monogastric animals is of great interest in organic animal husbandry. Imbalances in the nutrient composition of feedstuffs could lead to a decreased feed conversion and health problems. The knowledge on the variability of the nutrient composition and digestibility in different batches of the same feedstuff is scarce. Because of the different management, the composition between organic and conventional produced feedstuffs could vary. Therefore, it is necessary to know the composition of organically produced feedstuffs.

To expand the data basis on main ingredients, amino acids and selected B-vitamins in organic feedstuffs 1400 samples of different cultivars were collected from variety field trials of the German Chambers of Agriculture and German Experimental stations. A selection of the samples was analyzed for main ingredients, amino acids and vitamin B₁ and B₂ with classical analytical methods. The results were used to develop NIR calibrations. Furthermore, a selection of the samples was used to evaluate an adapted *in vitro* multi-enzyme method for the prediction of the digestibility of crude protein and amino acids in broiler chicken. Additionally, the effects of variety, area and cultivation year were tested.

Wide variations of the nutrient composition were observed. Therefore, the use of table values could not be recommended. NIRS is a helpful tool to predict the composition. The variety, the area and the cultivation year had a great influence on the composition and must be considered. However, differences are not predictable. The *in vitro* digestibility of crude protein and amino acids was also affected. The effect on diet formulation is strong. Vitamin B₁ was normally sufficient, but vitamin B₂ could be deficient in common cereal based diets. It is important to find solutions for this problem.

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Es ist angestrebt, alle ökologisch gehaltenen Nutztiere zu 100 % mit ökologisch erzeugten Futtermitteln zu versorgen. Derzeit ist eine Ausnahmegenehmigung in Kraft, die den Einsatz von 5 % nicht-ökologisch erzeugten Futtermitteln in der Monogastrierfütterung zulässt (EG 2007; 2008). Dies ist notwendig, um eine Lücke in der Versorgung monogastrischer Nutztiere mit essentiellen Aminosäuren (AS) zu schließen. Begünstigt wird diese Lücke durch verschiedene Faktoren. Zum einen sind verschiedene konventionell eingesetzte Proteinfuttermittel nicht in ausreichenden Mengen aus ökologischer Erzeugung verfügbar (z. B. Kartoffeleiweiß und Maiskebler) oder ihr Einsatz ist im Ökologischen Landbau verboten (gentechnisch modifizierte Organismen =GMO). Zum anderen wächst der Umfang der ökologischen Tierproduktion weiter, sodass eine Konkurrenz um die knappen Ressourcen entsteht. Um die vorhandenen Futtermittel nachhaltig nutzen und so kombinieren zu können, dass eine 100 %-Biofütterung möglich ist, ist es notwendig, die Nährstoffzusammensetzung von häufig genutzten heimischen Futtermitteln, wie Getreide und Körnerleguminosen, zu kennen.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Vor dem Hintergrund der gewünschten Einführung der 100 %-Biofütterung für monogastrische Nutztiere und die angestrebte hauptsächlich Nutzung regional erzeugter Produkte ist die bedarfsgerechte Proteinversorgung mit heimischen Futtermitteln von zentraler Bedeutung. Das Ziel des Projektes war es daher, die angepasste Rationsgestaltung für die 100 %-Biofütterung von Monogastriern im Ökolandbau zu verbessern bzw. zu vereinfachen. Dazu sollten

- (1) die Datengrundlage zu den Gehalten an Rohnährstoffen, AS und ausgewählten B-Vitaminen in Öko-Futtermitteln erweitert,
- (2) NIR (Nah-Infrarot)-Kalibrationen für die schnelle und kostengünstige Analyse der Inhaltsstoffe direkt nach der Ernte erstellt und
- (3) ein *in vitro* Verfahren für die Ermittlung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von Rohprotein (XP) und AS beim Broiler etabliert werden.

Die Erweiterung der Datengrundlage ist eine Voraussetzung für die bessere Einschätzbarkeit von Öko-Futtermitteln für die Rationsgestaltung. Dabei ist vor allem der Gehalt an B-Vitaminen bisher nur unzureichend bekannt. Da eine mangelhafte Vitaminversorgung aber zu tierschutzwidrigen gesundheitlichen Beeinträchtigungen und auch zu Leistungseinbußen führen kann, werden chemisch synthetisch oder fermentativ erzeugte B-Vitamine standardmäßig auch zu Rationen im Ökologischen Landbau zugesetzt. Bei der fermentativen Erzeugung werden Mikroorganismen (Hefen, Bakterien) eingesetzt, bei denen eine gentechnische Modifikation ihres Erbgutes vorliegt bzw. nicht auszuschließen ist. Um zu überprüfen, ob der Einsatz dieser Zusätze notwendig ist, ist es von Interesse, die nativen Gehalte dieser Vitamine in Einzelfuttermitteln zu kennen.

Da davon auszugehen ist, dass zwischen Chargen von Einzelfuttermitteln abhängig von Sorte und Umweltbedingungen Schwankungen in der Zusammensetzung auftreten, die im Ökolandbau durch die Einschränkungen im Anbaumanagement stärker sein können, als im konventionellen Landbau, ist eine schnelle, zuverlässige und kostengünstige Analyse der Inhaltsstoffe von Interesse. Die Nah-

Infrarot-Spektroskopie (NIRS) ist für diese Herausforderung ein vielversprechender Ansatz. Daher sollten NIR-Kalibrationen für jeden betrachteten Inhaltsstoff entwickelt werden.

Neben der Kenntnis der Inhaltsstoffe spielt vor allem bei XP und AS die Kenntnis der Verdaulichkeit eine wichtige Rolle. Nur der Teil des XP und der im Futtermittel enthaltenen AS, der bis zum Ende des Dünndarms, also *praecaecal* aufgeschlossen wird, steht dem Monogastrier potentiell für den eigenen Stoffwechsel zur Verfügung. Diese Information kann in die Rationsgestaltung einbezogen werden. Dabei werden Tabellenwerte genutzt. Um für unterschiedliche Chargen an Einzelfuttermitteln die Verdaulichkeit zu ermitteln und zu prüfen, in welchem Umfang Schwankungen vorliegen, sollte ein Ansatz für die Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von XP und AS beim Broiler *in vitro* im Labor weiterentwickelt werden. Eine schnelle Methode zur Schätzung der *praecaecalen* Verdaulichkeit hat das Potential, Ergebnisse, die in einer angepassten Rationsberechnung genutzt werden können, zu liefern und auf diesem Weg Tabellenwerte zu ergänzen. Dabei kann weitgehend auf Tierversuche zur Schätzung der Verdaulichkeit verzichtet werden.

1.3 Planung und Ablauf des Projekts

Das Projekt wurde zunächst für 2,5 Jahre geplant. Zu Projektbeginn waren ausschließlich die umfangreiche Entwicklung von NIRS-Kalibrationen sowie die Beschreibung einer großen Stichprobe ökologisch erzeugter Futtermittel angestrebt. Das Projekt wurde durch eine Praxisbefragung zur AS-Lücke erweitert, deren Ergebnis in Form eines Thünen Working Papers bereits erschienen ist (Witten & Paulsen 2014). Das Projekt wurde außerdem um einen Projektteil erweitert, in dem eine *in vitro* Methode zur Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit beim jungen Broiler entwickelt und etabliert werden sollte. Dafür war es notwendig, auch *in vivo* Verdaulichkeiten einzelner Futtermittel zu bestimmen.

Zunächst fand eine Einarbeitung in die Methodik der HPLC zur Bestimmung von AS und wasserlöslichen Vitaminen in Futtermitteln statt. Es wurden Proben von den verschiedenen Anbaustandorten der Landwirtschaftskammern und Landesforschungsanstalten deutschlandweit über drei Jahre gesammelt und für die Analysen vorbereitet. Zudem wurde in Trenthorst/Wulmenau ein Feldversuch zum Anbau der Blauen Lupine angelegt. Vor der Analyse der Rohnährstoffe, Aminosäuren und B-Vitamine wurden jeweils NIR-Spektren von allen Proben in verschiedenen Vermahlungsgraden aufgenommen. Dann erfolgte die Analyse des umfangreichen Probensatzes mittels klassischer Methoden. Mit Hilfe dieser Ergebnisse und der NIR-Spektren wurden NIR-Kalibrationen und -Schätzungen erstellt und fortlaufend weiterentwickelt.

Im März 2013 fand ein Projekttreffen und Austausch erster Ergebnisse mit allen Projektnehmern des Aufrufs „Förderung der nachhaltigen und einheimischen Eiweißversorgung in der Monogastrierernährung“ statt.

2014 wurde die Praxisbefragung zur „Aminosäurenlücke“ durchgeführt und der entsprechende Bericht verfasst.

Im Jahr 2015 wurde das Projekt um die Etablierung einer *in vitro* Methode erweitert, die danach auf einen Teil der vorhandenen Proben angewandt wurde.

Es folgte die Auswertung der Ergebnisse. So wurden der Einfluss von Sorte, Standort und Jahr auf die Inhaltsstoffe und die Verdaulichkeiten geprüft. Die verschiedenen Ergebnisse, die auf Grundlage unterschiedlicher Methoden und Auswertungen erhalten wurden, flossen in die Rationsgestaltung ein. Das gesamte Material wurde für die Erstellung des Abschlussberichtes verwendet.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Ökologischen Landbau ist die Einführung der 100 %-Biofütterung auch für monogastrische Nutztiere angestrebt. Die flächendeckende Umsetzung war bisher jedoch aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Der Umfang der Produktion reicht momentan noch nicht aus, um bestimmte Produkte, wie Kartoffelprotein oder Maiskleber, in ausreichender Menge für den Einsatz in der Fütterung im Ökologischen Landbau bereitzustellen. Die Tiere, die im Ökologischen Landbau eingesetzt werden, entstammen weitestgehend denselben Zuchtlinien, wie die im konventionellen Landbau und haben entsprechend ihres hohen Leistungspotentials auch einen hohen Anspruch an ihr Futter. Vor allem die bedarfsgerechte Versorgung mit hochwertigem Protein und AS ist eine Herausforderung, da einige AS liefernde Futtermittel, die im konventionellen Landbau regulär eingesetzt werden, aufgrund der Regularien des Ökologischen Landbaus (EG 2007; 2008) nicht nutzbar sind. Dazu gehören Extraktionsschrote, die mit Hilfe von Lösungsmitteln produziert werden, und synthetische AS. Des Weiteren sind eine regionale Produktion und der Einsatz von betriebseigenen Futtermitteln angestrebt, sodass importierte Futtermittel, zu denen Sojaprodukte in großem Umfang gehören, ebenfalls nur eingeschränkt zum Einsatz kommen können. Dadurch kommt es vor allem in der Versorgung der Jungtiere mit essentiellen AS zu Engpässen (Zollitsch 2007), die zu Kannibalismus, Federpicken, Schwanzbeißen und Entwicklungsstörungen führen können (van Krimpen *et al.* 2005). Imbalancen im AS-Muster der Ration können zudem zu einer vermehrten XP-Aufnahme führen, die zu einer gesteigerten N-Exkretion und somit zu einer potentiellen Belastung des Stoffwechsels der Tiere und der Umwelt führt (Zollitsch 2007; Wecke & Liebert 2013). Defizitäre Futterrationen in der ökologischen Geflügel- und Schweineproduktion resultieren vor allem aus Schwankungen der Gehalte an essentiellen AS in den Einzelfuttermitteln. Um den Tieren mit den verfügbaren Futtermitteln bedarfsgerechte 100 %-Biorationen anbieten zu können, ist es unerlässlich, die Inhaltsstoffe der Einzelfuttermittel zu kennen. Wichtige Einzelfuttermittel sind Getreide, die regelmäßig in Rationen für Monogastrier vorkommen. Des Weiteren sind heimische Leguminosen von zentralem Interesse, da sie dem Aspekt der Regionalität entsprechen können und hohe XP-Gehalte aufweisen. Zudem sind sie reich an Lysin und können so das Defizit an Lysin, das die Getreide aufweisen, ausgleichen. Um heimische Leguminosen als Alternative zu hochwertigen konventionellen Proteinfuttermitteln einsetzen zu können, ist ein an die jeweilige Proteinqualität angepasster Einsatz im Futter notwendig. Neben der Sortenwahl beeinflussen Umwelteffekte, wie die Jahreswitterung und Standortbedingungen die Gehalte der Inhaltsstoffe (Bramm & Böhm 2005; Bramm *et al.* 2005; Böhm & Berk 2006).

Datensammlungen zu den AS-Gehalten in ökologisch erzeugten Einzelfuttermitteln liegen bisher nur lückenhaft vor. Noch weniger Informationen gibt es über die Gehalte an B-Vitaminen, die ebenfalls in Abhängigkeit von Sorte und Umweltbedingungen schwanken können (Bognar & Kellermann 1993; Shewry *et al.* 2011) und durch Verarbeitung (Gołda *et al.* 2004; Lebidzińska & Szefer 2006) und Lagerungsbedingungen (Bayfield & O'Donnell 1945; Finglas 2003) beeinflusst sind. Vorhandene Tabellenwerke (Sauvant *et al.* 2004; Souci *et al.* 2008; USDA 2016) beziehen sich auf Untersuchungen, die vor längerer Zeit durchgeführt wurden oder auf mündliche Übermittlungen. Zudem sind sie nicht mit einheitlichen Methoden erstellt. Unterschiedliche Analysen können zu abweichenden Ergebnissen führen (Hollman *et al.* 1993). Da ein Mangel an B-Vitaminen aber zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen kann (Blair & Newsome 1985; Balk

et al. 2016), wird einer Unterversorgung durch die Supplementierung von B-Vitaminen in Mineralergänzern vorgebeugt. Dies gilt auch für Vitamin B₁ (Thiamin), das laut Jeroch *et al.* (2012) in der Regel in ausreichenden Mengen in getreidebasierten Rationen vorliegt. Die Supplementierung von Riboflavin in der Monogastrierernährung im Ökologischen Landbau ist kritisch zu betrachten, da bei der fermentativen Herstellung von Riboflavin, die heute standardmäßig eingesetzt wird (Revuelta *et al.* 2016; Schweichheimer *et al.* 2016), nach derzeitigem Kenntnisstand immer GMO eingesetzt werden. Die synthetische Herstellung wurde aufgrund verschiedener Nachteile vom konventionellen Markt verdrängt (Revuelta *et al.* 2017). Die Kenntnis der nativen Gehalte an Thiamin und Riboflavin ist für eine Evaluierung des Versorgungsengpasses von Nutzen. Es ist möglich, dass Probleme, die aufgrund des hohen Einsatzes getreidereicher, und damit riboflavinarmer Rationen bekannt sind, im Ökologischen Landbau aufgrund von Bestimmungen, wie verlängerter Säugezeit oder des Einsatzes von Grünfutter, nicht auftreten. Ferkel müssen z.B. nach EU-Öko-Verordnung über 40 Tage mit arteigener Milch versorgt werden, deren Riboflavingehalt ausreichend sein sollte, um die Versorgungsempfehlungen der GfE (GfE 2006: max. 4,4 mg/kg Futter-TS) zu decken. Des Weiteren ist der Einsatz von Raufutter in Rationen für Schweine und Geflügel (Artikel 20 § 3 der VO EG Nr. 889/2008) und der „ständige Zugang zu Freigelände, vorzugsweise zu Weideland...“ (Artikel 14 § 1 b) iii) der VO EG Nr.834/2007) im Ökologischen Landbau vorgeschrieben. Welchen Beitrag diese Futtermittel zur Bedarfsdeckung leisten, ist bisher nicht untersucht worden. Weitere Nahrungsquellen mit hohen Riboflavingehalten können in die Rationsgestaltung einbezogen werden. Dazu gehören Grünmehle oder auch Leguminosen, die potenziell im Vergleich mit Getreide ca. doppelt so hohe Riboflavingehalte aufweisen. Auch die Kombination vieler verschiedener Einzelfuttermittel in den Futtermischungen kann die ausgeglichene Riboflavinversorgung der Tiere begünstigen. In den Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen (GfE 2006) wird jedoch darauf verwiesen, „dass die Analysemethoden für viele B-Vitamine in biologischem Material nach wie vor Schwierigkeiten bereiten.“

Bei Mastschweinen werden in der 1. Phase bis 60 kg Lebendmasse 2,8 mg Thiamin pro kg T und in der Endmast 2,3 mg/kg T empfohlen, bei Sauen sind es 4,2 mg/kg T. Die Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie zur Versorgung des Geflügels (GfE 1999) mit Riboflavin sehen folgendermaßen aus: Legehennen: 2,8 g/kg T, Hühnerküken und Junghennen: 3,3 mg/kg T, Zuchthennen: 4,4 mg/kg T, Masthühner (Broiler): 3,0 mg/kg T. Ob die Öko-Futterkomponenten diesen Bedarf decken können, muss nach Vorliegen aktueller Gehaltsdaten abgeklärt werden. Aufgrund der aktuellen Datenlage erschien die Erarbeitung aktueller Daten und eine anschließende Neubewertung der Vitamin-Supplementierung dringend gegeben. In die Betrachtung der Rationsoptimierung sollten auch Forschungsergebnisse aus anderen BÖL-Projekten (s. (Abel & Gerken 2004); Projekt 02OE622) einfließen, die zu anderen Einsatzmengen einzelner Komponenten in den Rationen kommen als in den klassischen Empfehlungen der GfE (1999) veröffentlicht. Im genannten Projekt konnte die Einsatzmenge von vicin/convicinarmen Ackerbohnsorten auf 30 % in Rationen für Mastbroiler erhöht werden, womit auch der Gehalt an Vitamin B₂ in der Ration deutlich erhöht werden kann.

Zur Bewertung der Protein- und der Gesamtqualität des Futtermittels kommen verschiedene analytische Methoden zum Einsatz, die sehr zeit- und kostenaufwendig sind. Dazu gehört die AS-Analytik mittels Aminosäureanalysator oder HPLC und die Roh Nährstoffanalytik nach den

Verfahren des VDLUFA (Naumann & Bassler 2012). Die Schätzung mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) bietet sich an, um schnell Daten zu gewinnen und bereitzustellen. Die Voraussetzung dafür sind allerdings stabile Kalibrierungen für jeden zu bestimmenden Inhaltsstoff, die auf den Analysendaten aus klassischen Methoden beruhen. In der internationalen Literatur ist der Einsatz der NIRS für verschiedene Inhaltsstoffe erfolgreich beschrieben (Miralbés 2004; González-Martín *et al.* 2006; Aulrich & Böhm 2007a; b), unter anderem auch für AS (Fontaine *et al.* 2001; Fontaine *et al.* 2002; Fontaine *et al.* 2004; Qiao *et al.* 2004; Qiao & van Kempen 2004) und Vitamine (Pires *et al.* 2001; Gotor *et al.* 2007; Xiao *et al.* 2012).

Ein weiterer an Bedeutung gewinnender Faktor in der Futterbewertung ist die Kenntnis über die *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS. Diese kann die Fütterung dahingehend optimieren, weniger Stickstoffüberschüsse zu generieren, die negativ auf den Stoffwechsel des Tieres sowie auf die Umwelt wirken. Vor allem die Kenntnis der *praecaecalen* Verdaulichkeit der limitierenden AS ist hier von Interesse. Mit Hilfe dieser Informationen kann ein Hinweis darauf gegeben werden, welche AS aus dem Futter dem Tier intermediär zur Verfügung stehen und, wenn sie nicht im Stoffwechsel umgebaut werden, verwertbar sind.

Die Ermittlung der Verdaulichkeit *in vivo*, also am Tier, ist aufwendig, teuer und ethisch schwer zu vertreten, da für diese Untersuchungen entweder operative Eingriffe oder Tötungen der Tiere nach einer festgelegten Zeit zur Chymusgewinnung stattfinden. Da für einen Tierversuch größere Mengen der Futtermittel zur Verfügung stehen müssten, können nur beispielhaft einzelne Futtermittelchargen untersucht werden. Aus diesen Gründen ist es wünschenswert, *in vitro* Methoden zur Messung der *praecaecalen* Verdaulichkeit von XP und AS zu nutzen bzw. zu entwickeln. Ein weiterer Vorteil einer laboranalytischen Methode ist, dass tierindividuelle Unterschiede (Zyklus, Gesundheit, Körpertemperatur, etc.) sowie Variationen der Ergebnisse aufgrund abweichender Umweltbedingungen (Stallklima, Tageszeit, etc.) ausgeschlossen werden. Daher können standardisierte Ergebnisse generiert werden.

Verschiedene Ansätze zur Bestimmung der *praecaecalen* XP- und AS-Verdaulichkeit *in vitro* sind in der Literatur beschrieben (Boisen & Eggum 1991; Ravindran & Bryden 1999). Darunter gibt es chemische, enzymatische und mikrobiologische Methoden. Erfolgversprechend für die Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit erscheinen die enzymatischen Methoden. Bei diesen Methoden werden beispielsweise einzelne Verdauungsenzyme, mehrere Verdauungsenzyme (Multienzymmethoden) oder vom lebenden Tier entnommene Verdauungssekrete eingesetzt, um die Verdauung im Labor zu simulieren. Die Veränderung des pH-Wertes während der Umwandlung durch Enzyme (pH-shift- und pH-stat-Methoden) sowie die Proteinlöslichkeit in verschiedenen Medien können genutzt werden, um die Verdaulichkeit verschiedener Proben zu vergleichen bzw. ein Ranking zu erstellen. Zudem geben sie Aufschluss darüber, ob ein Protein bei der Verarbeitung, z. B. Toasten, geschädigt wurde.

Besonders vielversprechend für die Bestimmung der Verdaulichkeit sind Methoden, in denen verschiedene Teile des Verdauungstraktes mit Hilfe des Einsatzes verschiedener Verdauungsenzyme, z. B. Pepsin und Pankreatin oder Trypsin, nachgestellt werden. Aus der Differenz der XP- und AS-Gehalte in der Ausgangsprobe und dem *in vitro* unverdauten Rest, also der Verschwindensrate, kann dann die Verdaulichkeit geschätzt werden. Für die Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren beim Schwein existiert eine *in vitro* Methode, die in den 90er Jahren von Boisen und Fernández (1991, 1995) entwickelt und

später von Boisen weiter angepasst wurde (Boisen & Fernández 1995; Boisen 2007). Diese Methode wird derzeit in der Forschung angewandt und sowohl in Hohenheim (Jezierny *et al.* 2010), am MTT in Finnland u.a. in Zusammenarbeit mit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Weltin *et al.* 2014) als auch an der Aarhus Universität in Dänemark (AarhusUniversity 2015) genutzt und bearbeitet. Auch in Kassel/Witzenhausen werden angepasste Methoden nach Boisen & Fernández (1995; 1997) durchgeführt. Die Multienzymmethode verfügt über großes Potential, tierversuchsfrei für jedes Futtermittel laboranalytische Werte zu liefern. Auch beim Geflügel wird die Futterbewertung auf Basis der *praecaecalen* AS angestrebt, sodass in diesem Bereich ebenfalls die Etablierung von Analysemethoden anzustreben ist, die die erforderlichen Informationen ohne die momentan benötigten Tierversuche mit hohen Tierzahlen liefern. Eine Methode, wie die von Boisen und Fernández (1995) für das Schwein, die in der aktuellen Forschung zum Zweck der Dezimierung von Tierversuchen gefördert und verbreitet eingesetzt wird, gibt es jedoch derzeit nicht. Da aber de Coca-Sinova *et al.* (2008) mit der Methode von Boisen und Fernández generierte Analysenergebnisse mit Ergebnissen aus *in vivo* Verdaulichkeitsuntersuchungen mit Masthähnchen korrelieren konnten, erscheint die Multienzymmethode auch vielversprechend für den Einsatz zur Schätzung von *praecaecalen* XP- und AS-Verdaulichkeiten beim Geflügel.

Um die *in vitro* Methoden zu kalibrieren, werden Ergebnisse aus Verdaulichkeitsversuchen *in vivo* benötigt. Die kalibrierte *in vitro* Methode kann dann genutzt werden, um Verdaulichkeitskoeffizienten zu schätzen, die den mit der zugrundeliegenden *in vivo* Methode bestimmten Ergebnissen entsprechen. Die Wahl der *in vivo* Methode ist daher ein grundlegender Schritt. Zum Beispiel wirken sich Fütterungstechnik (Kadim & Moughan 1997), Probenahmezeit nach der Fütterung (Kadim & Moughan 1997) oder Probenahmetechnik (Parsons 1985; Johns *et al.* 1986; Kadim *et al.* 2002) auf die ermittelte *praecaecale* Verdaulichkeit aus. Darüber hinaus wurde von Auswirkungen verschiedener Charakteristika des Tieres, wie Alter (Batal & Parsons 2002; Ravindran & Hendriks 2004), Geschlecht (Doeschate *et al.* 1993; Siriwan *et al.* 1993), oder Rasse (Doeschate *et al.* 1993) berichtet. Um die wahre oder standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS zu bestimmen, müssen zudem endogene Verluste quantifiziert werden (Karakas *et al.* 2001; de Coca-Sinova *et al.* 2008; Kim *et al.* 2011; Adedokun *et al.* 2014). Es gibt jedoch keine standardisierte Methode zur Quantifizierung endogener Verluste (Donkoh & Moughan 1999; Cremers 2002; Jansman *et al.* 2002). Aus diesen Gründen kann es irreführend sein, Ergebnisse, die mit verschiedenen Methoden generiert wurden, zu vergleichen und eine Aussage für Tiere in einem anderen Stoffwechsellzustand oder Alter zu treffen. Der Vorteil eines Regressionsansatzes, wie er in verschiedenen Studien verwendet wird (Short *et al.* 1999; Kluth *et al.* 2005), besteht darin, dass keine Korrektur für basale endogene Verluste notwendig ist (Rodehutsord *et al.* 2004). Die Steigung der linearen Regression berücksichtigt praktisch die standardisierte *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS.

Angeknüpft werden konnte bei Projektbeginn an die Erfahrungen der Antragsteller, die auf den Gebieten der Futtermittelanalytik, klassisch und mittels NIRS, der Planung und Durchführung von Anbauversuchen wie auch der speziellen AS-Analytik vorlagen (Aulrich & Böhm 2007a; b; Böhm *et al.* 2007; Aulrich 2008; Böhm *et al.* 2008; Böhm & Aulrich 2009; Aulrich *et al.* 2010; Aulrich 2011b; a; Aulrich *et al.* 2011; Böhm & Aulrich 2011; Aulrich & Böhm 2012).

3 Material und Methoden

3.1 Probenmaterial

Aus Sortenversuchen der Landwirtschaftskammern und Landesforschungsanstalten standen Ernteproben der wichtigsten einheimischen Einzelfuttermittel aus den Jahren 2011-2013 zur Verfügung, von denen etwa zwei Drittel mit klassischen Analysemethoden untersucht wurden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Probenaufkommen in drei Jahren der Getreide- und Körnerleguminosenkulturen (S = Sommer, W = Winter)

Futtermittel \ Anbaujahr	2011			2012			2013			Gesamt		
	Plan	klassisch	NIRS									
Ackerbohne (S)	(10)	(10)	(10)	25	32	43	25	41	73	60	83	126
Blaue Lupine (S)	16	16	16	50	49	50	50	45	72	116	110	138
Futtererbse (S)	25	28	29	25	28	45	25	31	74	75	87	148
Weizen (S und W)	50	24/48/72	107	25	12/25/37	98	25	9/33/42	216	100	151	421
Gerste (S und W)	30	19/0/19	33	35	23/19/42	57	35	24/11/35	81	100	96	171
Triticale (W)	30	38	38	35	35	46	35	34	54	100	107	138
Roggen (W)	30	36	36	35	35	53	35	35	56	100	106	145
Hafer	30	34	35	35	36	52	35	35	39	100	105	126
Gesamt	221	253	304	265	294	444	265	298	665	751	845	1.413

Da es derzeit nur wenige Anbauorte gibt, die Sorten der Blauen Lupinen testen, wurde auf Flächen des Versuchsbetriebes des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst/Wulmenau ein Parzellenversuch angelegt, aus dem weitere Proben in den Jahren 2012, 2013 und 2015 zur Verfügung standen. In 2015 wurden 52 Proben genommen, von denen 46 auf die Roh Nährstoffgehalte und 15 auf die AS-Gehalte analysiert wurden. Zudem wurden verschiedene weitere Futtermittel auf die Gehalte an ausgewählten Inhaltsstoffen analysiert (Tabelle 2). Drei Proben der im Mai 2016 geernteten (erster Schnitt) Rotklee-Grassilage, die auf dem Versuchsbetrieb in Trenthorst/Wulmenau in Norddeutschland zur Schweinefütterung verwendet wird, wurde aus Rundballen entnommen, gefriergetrocknet und auf ihren Riboflavingehalt sowie auf die XP- und Aminosäuregehalte analysiert.

Tabelle 2: Probenaufkommen weiterer Futterkomponenten

Weitere Futterkomponenten	Plan	klassisch	NIRS
Blaue Lupine 2015		46/15*	46
Sommertriticale		3	3
Winterackerbohne		1	1
Winterfuttererbse		1	1
Nacktgerste		1	1
Nackthafer		1	1
Kleegrassilage		3	
Wicke, Luzerne		4	
Gesamt	60	60	53

*Roh Nährstoff/Aminosäuren

3.2 Probenvorbereitung

Nach der Reinigung mittels Windsichter und der schonenden Trocknung (60°C, 16 h) wurden die Proben gedrittelt und jeweils ein Drittel in einer Cylotec-Mühle (Fa. Foss) durch ein 1 mm Sieb und durch ein 0,5 mm Sieb vermahlen und für die nachfolgenden Analysen bereitgestellt. Ein Drittel der Proben wurde unvermahlen als Rückstellprobe einbehalten.

3.3 Referenzanalytik

3.3.1 Rohrnährstoffanalytik

Die Analyse der Rohrnährstoffe erfolgte an den auf 1 mm vermahlenden Proben nach den Verbandsmethoden der VDLUFA (Naumann & Bassler 2012). Stärke wurde polarimetrisch nach der Methode von Ewers bestimmt (Naumann & Bassler 2012).

3.3.2 Aminosäureanalytik

Für die Bestimmung der AS-Zusammensetzung mittels HPLC müssen die Proteine zunächst hydrolysiert werden. Dies erfolgte nach EU-Richtlinie 98/64 (EG 1998), die eine Hydrolyse mit 6 M Salzsäure unter Zusatz von 0.1 % Phenol vorsieht. Die schwefelhaltigen AS Methionin und Cyst(e)in werden bei dieser Hydrolyse zerstört. Deshalb werden sie in einer separaten Probe einer Oxidation zu Methioninsulfon bzw. Cysteinsäure unterzogen und anschließend hydrolysiert (EG 1998). Die EG-Methode wurde dahingehend angepasst, dass zur Entfernung des überschüssigen Oxidationsreagenzes anstelle von Natriumdisulfit 48 %ige HBr verwendet wurde (Moore 1963). Dies führte zu einer deutlichen Reduzierung salzartiger Ablagerungen.

Nach der Hydrolyse erfolgte die Derivatisierung (Vorsäulenderivatisierung) der Proben im Gegensatz zur EU-Richtlinie mit 6-Aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl-carbamat (Cohen & Michaud 1993). Die Auftrennung der AS wurde an einer C18-Säule (3µ C18 – Luna 150 x 2mm, Fa. Phenomenex) vorgenommen. Die Vorteile dieser Methode sind die hohe Reproduzierbarkeit in der Derivatisierung und die sehr gute Stabilität der entstandenen Derivate bei gleichzeitig sehr hoher Empfindlichkeit für primäre und sekundäre AS durch selektive Fluoreszenzdetektion. Es stand eine HPLC-Anlage (Infinity 1260, Fa. Agilent) mit Fluoreszenzdetektor (FLD) zur Verfügung. Die Anregungswellenlänge betrug 250 nm, die Emissionswellenlänge 400 nm. Die Trennung erfolgte mittels Gradientenelution, wobei sich die Bedingungen für die AS-Trennung der schwefelhaltigen AS von den nur hydrolytisch aufbereiteten AS unterschieden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Chromatographischer Gradient: Bedingungen für die Aminosäureanalytik

HPLC nach Hydrolyse			HPLC nach Oxidation und Hydrolyse		
Zeit (min)	Eluent A ^{1a} (%)	Eluent B ² (%)	Zeit (min)	Eluent A ^{1b} (%)	Eluent B ² (%)
	100	0		90	10
0,1	90	10	0,1	90	10
14	86	14	14	86	14
18	83,4	16,6	18	83,4	16,6
33	63	37	25	73,9	26,1
34	0	100	26	0	100
35,5	38	62	27	0	100
37	90	10	31	90	10
39	100	0			

¹0,14 M Natriumacetat, 0,0173 M Triethylamin, 0,8 mM EDTA; ^apH 5,41; ^b pH 5,15; ²60 % Acetonitril

3.3.3 Vitaminanalytik

Die Analyse der Thiamin- und Riboflavingehalte wurde mittels HPLC und FLD nach EN14122 (2014) und EN14152 (2014) durchgeführt. Thiamin wurde mittels Vorsäulenoxidation mit Kaliumhexacyanoferrat (III)-Lösung (0,4 g/l) zu Thiochrom oxidiert und in dieser Form bestimmt.

Ein Agilent 1260 Infinity HPLC-System mit FLD (Waldbronn, Deutschland) wurde eingesetzt. Die Umkehrphasenchromatographie wurde mit einer SecurityGuard™ Standard Gemini-NX C18

Vorsäule (Fa. Phenomenex) und einer Kinetex 5,0 µm C18 Säule (150 x 4,6 mm, Fa. Phenomenex) durchgeführt. Es wurde ein Volumen von 20 µl injiziert.

Die Thiochromtrennung erfolgte bei einer Säulentemperatur von 25°C und einer Flussrate von 0,8 ml/min. Die mobile Phase bestand aus Methanol und 0,5 M Natriumacetat (30/70, v/v, isokratische Bedingungen, pH 5,2). Der FLD arbeitete mit einer Anregungswellenlänge von 366 nm und einer Emissionswellenlänge von 435 nm. Die Ergebnisse wurden als Gesamthiamin mit dem Faktor 0,787 für die Umwandlung von Thiaminhydrochlorid in Thiamin ausgedrückt.

Riboflavin wurde mittels Gradientenelution bei einer Flussrate von 1 ml/min und einer Säulentemperatur von 35°C analysiert. Eluent A (Phosphatpuffer: 5 mM Kaliumdihydrogenphosphat, 10 mM Natriumheptansulfonat, 36 mM Trimethylamin, pH 3,0) und Eluent B (60 % Methanol) wurden nach den in Tabelle 4 gezeigten Bedingungen als mobile Phase genutzt. Die Detektion erfolgte bei einer Anregungswellenlänge von 468 nm und einer Emissionswellenlänge von 520 nm.

Tabelle 4: Chromatographischer Gradient: Bedingungen für die Riboflavinanalyse

Zeit (min)	Eluent A ¹ (%)	Eluent B ² (%)
0	95	5
3	95	5
12	53	47
12,1	2	98
17	2	98
17,1	95	5
25	95	5

¹10 mM Na-Heptansulfonat; 5 mM Kaliumdihydrogenphosphat; 36 mM Triethylamin pH 3.0; ²60 % Methanol

3.4 *In vivo* Verdaulichkeitsbestimmung

Für die Kalibrierung der *in vitro* Methode zur Verdaulichkeitsbestimmung des XP und der AS wurde Probenmaterial mit bekannter *in vivo* Verdaulichkeit benötigt. Es standen Rückstellproben von Weizen (W), Roggen (R), Triticale (T), Dinkel (D, ungeschält), Rispenhirse (RH), Buchweizen (BW), Nackthafer (NH), Sommergerste (SG), Nacktgerste (NG), Mais-Ganzkorn-Silage (GKS), Linsen (L), Luzerneblättern (LB) und unbehandelter (KU) sowie behandelter (extrudiert, KB) Klee gras-Silage vom 4. Schnitt (90 % Luzerne und 10 % Weißklee) zur Verfügung, die in einem Projekt der Universität Hohenheim im Rahmen des BÖLN (Ritteser 2015; Ritteser & Grashorn 2015) auf die *praecaecale* XP- und AS-Verdaulichkeit bei 21 und 42 Tage alten Broilern geprüft worden waren. Um weitere Körnerleguminosenproben für die Kalibrierung der *in vitro* Methode zur Verfügung zu haben, wurden im Rahmen dieses Projektes je eine Futtererbsen (FE)- und eine Ackerbohnen (AB)-Sorte (Tabelle 5) auf die *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS in 21 Tage alten Broilern geprüft. Im Folgenden wird das Vorgehen bei den *in vivo* Versuchen beschrieben.

Die *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS wurde anhand der linearen Regressionsmethode von Rodehutsord *et al.* (2004) ermittelt. Drei Zulagestufen der Testfuttermittel wurden gewählt, um die Verdaulichkeit mittels Regression bestimmen zu können (300, 500 und 700 g/kg bzw. bei Luzerneblättern und Klee grassilagen 100, 300 und 500 g/kg). Nach Kluth *et al.* (2009) wurde eine auf Weizenkleie und Sojakuchen basierende Basisration eingesetzt. Der Basisration wurde Maisstärke zugesetzt, die entsprechend der Zulagestufen der Testfuttermittel reduziert wurde. Das Testfuttermittel fungierte so als alleinige Quelle der Protein- bzw. AS-Mengensteigerung. Der Basisration wurden essentielle AS zugesetzt, sodass der Bedarf an XP, Lysin, Methionin, Cystin, Threonin und Tryptophan in allen Rationen gedeckt war. Als unverdaulicher Marker wurde

Titandioxid (TiO₂, 5 g/kg) eingesetzt. Die fertig gemischten Rationen wurden ohne Dampf durch eine 3 mm-Matrize pelletiert.

Tabelle 5: Rohnährstoff- und Aminosäuregehalte (g/kg TS) in den geprüften Ackerbohnen und Futtererbsen

Sorte	Ackerbohne (<i>Vicia faba</i> L.)	Futtererbse (<i>Pisum sativum</i> L.)
	Taifun	Alvesta
XP	283,3	173,5
Rohasche	57,3	33,3
Rohfett	18,6	22,6
Rohfaser	81,3	54,5
Lysin	18,73	13,96
Methionin	2,34	2,23
Cystin	3,87	3,49
Threonin	9,92	7,48
Tryptophan	2,06	1,42
Leucin	20,37	12,66
Isoleucin	10,97	7,33
Valin	12,21	8,26
Arginin	25,82	12,41
Histidin	8,77	5,14
Phenylalanin	12,08	8,87
Tyrosin	8,55	5,73
Alanin	11,56	8,06
Glycin	11,74	7,72
Serin	13,36	8,24
Prolin	12,00	7,78
Asparaginsäure	30,56	20,94
Glutaminsäure	46,39	29,27

3.4.1 Tiere und Stallungen

Tiere der Rasse ISA JA 957 (couvoirs de l'est, 67370 Willgottheim), die aufgrund ihres etwas langsameren Wachstums im Vergleich zu den meisten konventionell eingesetzten Tieren häufig im Ökologischen Landbau eingesetzt werden, wurden als Eintagsküken eingestallt und in Gruppen in Bodenabteilen gehalten. In den ersten beiden Wochen wurde allen Tieren handelsübliches Starterfutter (Tabelle 6) gefüttert.

Tabelle 6: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe (kalkulierte Ergebnisse in g/kg TS) der Starterration

Zusammensetzung	g/kg TS	Inhaltsstoffe	g/kg TS
Sojabohnen*	399,90	Rohprotein	205,0
Weizen*	389,90	Rohfaser	44,7
Mais*	109,95	Rohfett	86,9
Luzerngrünmehl	50,00	Methionin	4,1
Weizenkleber	5,00	Lysin	11,0
Sonnenblumenöl*	0,50	Threonin	7,4
Kalk	14,00	Tryptophan	2,6
Mono-Ca-Phosphat	20,00	AMEN (MJ/kg TS) ³	12,2
Natrium-Bicarbonat	2,50		
Salz	2,00		
Mineral-Premix ¹	0,80		
Vitamin-Premix ²	2,00		
DL-Methionin	1,20		
L-Lysin	1,10		
Cholinechlorid	1,00		
Antioxidantien	0,15		

*ökologisch erzeugt; ¹Spurenelemente (mg/kg): Fe 81, Mn 108, Zn 72, Cu 14, J 1,44, Se 0,45 ²Vitamin Premix (/kg): A 12.600 IU, D₃ 3,150 IU, E 41 mg, K 3 mg, B₁ 3 mg, B₂ 6 mg, B12 32 µg, Niacin 53 mg, Panthotensäure 13 mg, Folsäure 1050 µg, Biotin 105 µg

Am 10. Lebenstag wurden die Tiere gewogen und in Gruppen mit ähnlichem Durchschnittsgewicht in kleinere Abteile (130 cm * 155 cm) mit jeweils 17 oder 18 Tieren umgestallt. Die Tiere wurden zudem zu Versuchsbeginn (Gruppengewicht) und am Schlachttag (Einzeltiergewicht) gewogen. Die Umgebungstemperatur betrug beim Einstellen 34°C und wurde in kleinen Schritten, kontrolliert über den gesamten Zeitraum, abgesenkt. Die Stallungen waren 18 Stunden am Tag beleuchtet und die Besatzdichte lag bei weniger als 10 Tieren/m². Wasser und Futter standen *ad libitum* zur Verfügung. Ab dem 15. Lebenstag erhielten die Tiere die jeweiligen Versuchsfuttermittel (Tabelle 7; für die Ermittlung beim 42 Tage alten Broiler wurde das Versuchsfuttermittel ab dem 35. Lebenstag gefüttert s. Ritteser 2015).

Tabelle 7: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe (Analyseergebnisse in g/kg TS) der Testrationen

Zusammensetzung	Ackerbohne			Futtererbse		
	300	500	700	300	500	700
Bohne/Erbse	300	500	700	300	500	700
Maisstärke	400	200	0	400	200	0
Sojabohnen*		170			170	
Weizenkleber*		64			64	
Sonnenblumenöl		10			10	
Kalk		13			13	
Mono-Ca-Phosphat		23			23	
Na-Bicarbonat		10,2			10,2	
Cholinchlorid		1,0			1,0	
Salz		2,2			2,2	
Mineral-Premix ¹		0,8			0,8	
Vitamin-Premix ²		2,0			2,0	
DL-Methionin		2,8			2,8	
L-Lysin		2,8			2,8	
L-Threonin		1,8			1,8	
L-Tryptophan		0,4			0,4	
TiO ₂		5,0			5,0	
Inhaltsstoffe						
ME (MJ)	14,5	13,7	13,0	14,5	13,9	13,1
Rohprotein	206,5	259,9	316,1	169,8	207,1	239,2
Rohfaser	30,7	37,4	68,3	20,2	34,1	45,0
Rohfett	71,9	71,7	73,6	66,4	68,7	72,3
Methionin	4,7	5,4	5,7	5,4	6,0	6,5
Lysin	13,4	17,1	20,5	11,6	15,3	17,7
Threonin	7,8	9,9	12,8	7,5	9,4	11,7
Tryptophan	2,3	2,7	3,2	2,0	2,5	2,7

*ökologisch erzeugt; ¹Spurenelemente (mg/kg): Fe 81, Mn 108, Zn 72, Cu 14, J 1,44, Se 0,45 ²Vitamin Premix (/kg): A 12.600 IU, D₃ 3,150 IU, E 41 mg, K 3 mg, B₁ 3 mg, B₂ 6 mg, B₁₂ 32 µg, Niacin 53 mg, Panthotsäure 13 mg, Folsäure 1050 µg, Biotin 105 µg

3.4.2 Chymusgewinnung

Am 21. Lebenstag wurden die Tiere mit einer Gasmischung (CO₂, O₂ und N₂) betäubt und mit reinem CO₂ getötet. Umgehend wurden die letzten beiden Drittel des Abschnitts zwischen Meckel'schem Divertikel und 2 cm vor Einmündung der Blinddärme entnommen. Der Chymusinhalt wurde mittels destillierten Wassers vorsichtig ausgespült und je Abteil gepoolt. Die so gewonnenen Proben wurden sofort eingefroren. Für die weiteren Analysen wurden sie gefriergetrocknet (Christ Alpha 1-6, Fa. Christ, Osterode) und anschließend durch eine 0,5 mm-Matritze (ZM 200, Fa. Retsch) gemahlen.

3.4.3 Chemische Analysen

Analysen zur Bestimmung der XP- und AS-Gehalte in Futter und Chymus wurden wie oben beschrieben (Kapitel 3.3) analog zu den Analysen der Futtermittel am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau durchgeführt.

Die Bestimmung des Markers fand an der Universität Hohenheim photometrisch statt (Brandt & Allam 1987). Zur Bestimmung des Gehaltes an TiO_2 in Futter und Chymus wurden zunächst 0,8 g Probe, 6 g K_2SO_4 , 25 ml konzentrierte H_2SO_4 und 2 ml $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ (25 %ig) in einen Kjehldahlkolben eingewogen und erhitzt. Ab dem Zeitpunkt, an dem sich die anfangs schwarze Mischung klar grünlich verfärbte, wurde der Inhalt drei weitere Stunden gekocht. Nach dem Abkühlen wurde die Probe überführt und mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Zum anschließenden Filtrieren wurden spezielle Filterpapiere (Art.Nr. 10602802, GE Healthcare Europe GmbH) verwendet. Zur Erstellung einer Kalibriergerade wurden 3 Standards (20, 60 und 100 mg/100 ml) hergestellt. 1 ml des Filtrats, 0,2 ml H_2SO_4 (2 N) und 0,2 ml H_2O_2 (30 %ig) wurden in Küvetten eingewogen, gemischt und 30 Minuten stehen gelassen. Für jede Probe wurden zwei Wiederholungen erstellt. Alle Proben und die Standards wurden bei 405 nm im Photometer gemessen. Wasser diente zur Bestimmung des Blindwertes.

3.4.4 Auswertung

Für jedes Abteil wurde ein Wert für die scheinbare *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS (VK_{AS}) ermittelt. Dazu fand folgende Formel Anwendung:

$$\text{VK}_{\text{AS}} \text{ Futter} = 1 - [(\text{TiO}_2 \text{ Futter} * \text{AS}_{\text{Chymus}}) / (\text{TiO}_2 \text{ Chymus} * \text{AS}_{\text{Futter}})] \text{ wobei:}$$

$\text{TiO}_{\text{Futter}}$ Gehalt an Titandioxid im Futter in g/kg

$\text{TiO}_2 \text{ Chymus}$ Gehalt an Titandioxid im Chymus in g/kg

$\text{AS}_{\text{Futter}}$ Gehalt an AS/XP im Futter in g/kg

$\text{AS}_{\text{Chymus}}$ Gehalt an AS/XP im Chymus in g/kg

Im Anschluss wurde die *praecaecale* Verdaulichkeit ermittelt, indem die Menge an aufgenommener/m AS/XP gegen die Menge an scheinbar *praecaecal* verdauter/m AS/XP abgetragen und eine Regressionsgerade angepasst wurde (RCORETEAM 2017). Dabei entspricht die Steigung der Regressionsgeraden der *praecaecalen* Verdaulichkeit des XP bzw. der getesteten AS, korrigiert um basale endogene Verluste. Sie ist dementsprechend vergleichbar mit Angaben zur standardisierten *praecaecalen* Verdaulichkeit.

3.5 In vitro Verdaulichkeitsbestimmung

Es gibt keine standardmäßig genutzte Methode zur Schätzung der *praecaecalen* XP- und AS-Verdaulichkeit. Multienzymmethoden stellen Teile des Verdauungstraktes nach und sind daher realistisch und einfach umzusetzen. Die *in vitro* Methode zur Bestimmung der Verdaulichkeit des XP und der AS in Einzelfuttermitteln von Boisen & Fernández (1995) sollte adaptiert werden. Bei dieser Methode werden Futtermittel in Erlenmeyerkolben für 6 Stunden bei pH 2,0 mit Pepsin und für weitere 18 Stunden bei pH 6,8 mit Pankreatin bei 38°C in einer Wärmekammer inkubiert, um die *praecaecale* XP- und AS-Verdaulichkeit von Futtermitteln beim Schwein zu schätzen. Die nicht gelösten Bestandteile der Probe werden abfiltriert und analysiert. Die Verschwindensrate der Nährstoffe ist ein Indikator für ihre Verdaulichkeit. Um die Methode zum Einsatz für Broiler

anzupassen und zu kürzen, wurden zunächst die Bedingungen im Verdauungstrakt des Geflügels recherchiert (Tabelle 8). Auf Basis der Recherche wurden die Bedingungen angepasst.

Tabelle 8: Trockensubstanzgehalt, pH-Wert und Verweildauer des Chymus im Verdauungstrakt des Huhns*

Sektion	Trockensubstanzgehalt (%)	pH-Wert	Verweildauer (min.)
Kropf	34 - 38	4,5 - 6,6	31 - 360
Drüsenmagen		4,3 - 4,8	1
Muskelmagen	14 - 30	2,4 - 2,8	33 - 135
Duodenum	14 - 20	4,8 - 6,5	136 - 191
Jejunum		5,8 - 6,6	
Ileum		6,2 - 7,2	
Pankreassaft		6,4 - 6,8	

*Farner (1942), Herpol (1966), Barnes (1979), Mehner & Hartfield (1983), Hesselman & Åman (1986), Bedford *et al.* (1991), Petterson *et al.* (1991), Richter *et al.* (1992), Kadim & Moughan (1997), Hetland & Svihus (2001), Weurding *et al.* (2001), Engberg *et al.* (2002), Pang & Applegate (2007), Liu *et al.* (2014), Denbow (2015), Valentim *et al.* (2017)

Folgende Methode wurde für die Untersuchung von 16 *in vivo* gemessenen Proben eingesetzt: 1,5 g der Probe wurden in Glaszentrifugenröhrchen mit Schraubdeckel (45 ml) eingewogen, 7,5 ml PPA (1 M Phosphatpuffer A aus NaH_2PO_4 und $\text{Na}_2\text{HPO}_4^-$, pH 6,0) und ein Rührfischchen (12 mm) hinzugegeben und für 30 Minuten bei 41°C im Rührwasserbad inkubiert. 1,5 ml frisch angesetzte Pepsinlösung (0,2 M HCl mit 0,03 g Pepsin, Merck Nr. 7190) werden hinzugegeben, der pH-Wert mittels HCl und NaOH (5 M) auf 2,6 eingestellt und für 135 Minuten bei 41°C inkubiert. Anschließend werden 0,375 ml 0,6 M NaOH und 1,5 ml frisch angesetzte Pankreatinlösung (Phosphatpuffer B, pH 6,8 mit 0,075 g Pankreatin Sigma No P-1750) hinzugegeben, der pH Wert auf 6,4 eingestellt und 120 Minuten bei 41°C inkubiert. Die Proben werden für 10 Minuten bei 4000 U/min (3321 *g) im Ausschwingrotor bei 4°C zentrifugiert und über Kopf dekantiert. Danach werden sie über Nacht (14 Stunden) im Vakuumtrockenschrank oder 36 Stunden im normalen Trockenschrank bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach der Rückwaage wird die Probe mit einem Mörser sehr fein vermahlen und in die Probengefäße für die XP- oder AS-Analyse überführt. Die XP-Analyse erfolgte mit dem Elementaranalysator (vario Max cube, Fa. Elementar, Langenselbold) nach der Methode von Dumas (Naumann und Bassler 2012).

Für die Bestimmung der XP- und AS-Verdaulichkeit konnten Gleichungen entwickelt werden, die eine Schätzung der Verdaulichkeit aus der XP-Verschwindensrate ermöglichen:

d21

XP:	$y = 0,7973x + 0,2954$	$R^2 = 0,87$
Lys:	$y = 1,0824x + 0,1431$	$R^2 = 0,84$
Met:	$y = 1,0207x + 0,2020$	$R^2 = 0,90$
Cys:	$y = 1,8210x - 0,4764$	$R^2 = 0,77$
Thr:	$y = 0,8211x + 0,2911$	$R^2 = 0,73$
Trp:	$y = 0,9902x + 0,1487$	$R^2 = 0,91$
Ile:	$y = 0,5051x + 0,5139$	$R^2 = 0,63$
Leu:	$y = 0,5480x + 0,4877$	$R^2 = 0,54$
Val:	$y = 0,6237x + 0,4281$	$R^2 = 0,64$
Arg:	$y = 1,0815x + 0,1596$	$R^2 = 0,78$
His:	$y = 1,0977x + 0,1244$	$R^2 = 0,76$
Phe:	$y = 0,8367x + 0,2672$	$R^2 = 0,72$
Tyr:	$y = 0,7226x + 0,3718$	$R^2 = 0,75$
Ala:	$y = 0,5873x + 0,4439$	$R^2 = 0,58$
Gly:	$y = 0,9472x + 0,1802$	$R^2 = 0,79$
Ser:	$y = 0,8574x + 0,2582$	$R^2 = 0,80$
Pro:	$y = 0,7022x + 0,3721$	$R^2 = 0,78$
Asp:	$y = 0,5678x + 0,4719$	$R^2 = 0,67$
Glu:	$y = 1,0137x + 0,1789$	$R^2 = 0,83$

d42

XP:	$y = 0,8289x + 0,2532$	$R^2 = 0,94$
Lys:	$y = 0,9315x + 0,1828$	$R^2 = 0,92$
Met:	$y = 0,8886x + 0,2769$	$R^2 = 0,97$
Cys:	$y = 1,1389x - 0,0529$	$R^2 = 0,95$
Thr:	$y = 0,7672x + 0,2611$	$R^2 = 0,90$
Trp:	$y = 1,1215x + 0,0210$	$R^2 = 0,90$
Ile:	$y = 0,9657x + 0,1322$	$R^2 = 0,94$
Leu:	$y = 0,7222x + 0,3485$	$R^2 = 0,92$
Val:	$y = 0,8340x + 0,2496$	$R^2 = 0,89$
Arg:	$y = 0,9917x + 0,1487$	$R^2 = 0,91$
His:	$y = 1,3203x - 0,1245$	$R^2 = 0,93$
Phe:	$y = 0,8589x + 0,2319$	$R^2 = 0,94$
Tyr:	$y = 0,7974x + 0,2641$	$R^2 = 0,90$
Ala:	$y = 0,4962x + 0,4746$	$R^2 = 0,85$
Gly:	$y = 0,9577x + 0,1027$	$R^2 = 0,96$
Ser:	$y = 0,7791x + 0,2846$	$R^2 = 0,97$
Pro:	$y = 0,8654x + 0,2433$	$R^2 = 0,95$
Asp:	$y = 0,5072x + 0,4168$	$R^2 = 0,73$
Glu:	$y = 0,7334x + 0,3605$	$R^2 = 0,93$

3.6 Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS)

3.6.1 NIRS-Messung

Die Aufnahme der Spektren erfolgte zunächst am Fourier-Transform-Nah-Infrarot-Spektrometer NIRLab N200 (Fa. Büchi, Essen) und ab 2014 am FT-NIR-Polarisationsinterferometer N500 (Fa. Büchi, Essen) im Spektralbereich von 1000-2500 nm in diffuser Reflexion. Die Proben wurden als Schrot/Mehl in den Vermahlungsgraden 1,0 und 0,5 mm vermessen. Am N200 wurde jede Probe dreimal gescannt und das Mittelwertspektrum für die spätere chemometrische Berechnung gebildet. Die Spektren wurden als Mittelwertspektren gespeichert und in die Chemometrie-Software NIRCal (Fa. Büchi, Essen) importiert. Das Messprinzip des N500 sieht eine Doppelbestimmung jeder Probe vor, so dass auch je zwei Spektren in die Chemometrie-Software NIRCal überführt wurden.

3.6.2 Kalibrationsentwicklung

Die Weiterverarbeitung der spektralen Daten erfolgte im Weiteren unter Zuhilfenahme chemometrischer Verfahren. Hierfür war es erforderlich, die Referenzdaten für die zu schätzenden Inhaltsstoffe und die AS einzubeziehen, ohne sie ist eine Kalibrierung im NIR nicht möglich, im Unterschied zu anderen spektroskopischen Verfahren. Es wurde für die Getreidearten und die Körnerleguminosen getrennt für jeden Rohnährstoff einschließlich Stärke, jede der 18 AS und die *in vitro* Rohproteinverdaulichkeit eine eigene Kalibration erstellt. Das bedeutet, dass für jeden Parameter das beste mathematische Modell gesucht wurde, das in der Lage war, die Schätzung des einzelnen Parameters mit dem geringsten Fehler vorzunehmen. Für die Kalibrationsentwicklung wurden jeweils ca. zwei Drittel der Spektren genutzt. Die Validierung erfolgte an ca. einem Drittel der Proben. Es kamen verschiedene mathematische Verfahren zum Einsatz, die im Einzelnen getestet wurden.

Die erreichten Schätzgenauigkeiten wurden anhand statistischer Kennzahlen bewertet, dies waren der Standardfehler der Kalibrierung (SEE: standard error of estimation), der Standardfehler der Validierung (SEP: standard error of prediction), die Regressionskoeffizienten von Kalibration und Validation, der Achsenabschnitt (nahe 0), die Steigung (nahe 1) und der BIAS der Validation (Maß für die Unrichtigkeit). Das Ziel waren möglichst kleine SEE- und SEP-Werte. Diese können allerdings nie kleiner sein als der Fehler der Referenzmethode. Statistisch gesehen ist der erwartete Fehler einer Applikation mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % in einem Intervall von +/- SEP und mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in einem Intervall von +/- 2 SEP. Die Regressionskoeffizienten sollen so nahe wie möglich bei 1 liegen und der Bias soll so nahe wie möglich bei 0 sein. Sind diese Forderungen erfüllt, kann von einer guten Kalibration gesprochen werden.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde zunächst mit den Ergebnissen der klassischen Analysen durchgeführt (Dissertation Witten, 2018). Für den vorliegenden Bericht wurden, wenn möglich, Ergebnisse aus der NIR für die Auswertung genutzt. Der Fokus bei der statistischen Auswertung lag auf den Gehalten an Rohprotein und limitierenden Aminosäuren sowie deren *in vitro* Verdaulichkeit und auf den geprüften B-Vitaminen.

Für jede Kultur wurden Mittelwert, Standardabweichung und Schwankungsbreite jedes Inhaltsstoffes und der ermittelten Verdaulichkeiten bestimmt, indem alle verfügbaren Ergebnisse

genutzt wurden. Die statistische Auswertung wurde mit R 3.4.0 (RCoreTeam 2017) durchgeführt. Korrelationen zwischen den Inhaltsstoffen innerhalb einer Kultur wurden mit Spearman Korrelationsanalysen (package PerformanceAnalytics) überprüft (Peterson & Carl 2014). Generalisierte lineare Modelle (GLM) mit der Kultur als Faktor wurden genutzt, um Unterschiede zwischen den Kulturen in Bezug auf die Inhaltsstoffe zu ermitteln.

3.7.1 Stichprobenauswahl

Da die Probenverfügbarkeit nicht ausgeglichen war, lag insgesamt ein nicht balancierter Datensatz vor. Für weitere statistische Analysen wurden Sorte, Anbauort und Anbaujahr als Faktoren genutzt. Die folgenden Anpassungen des Datensatzes mussten für die weitere statistische Auswertung des Einflusses von Sorte und Umweltbedingungen auf die Inhaltsstoffgehalte vorgenommen werden:

1. Wenn Kulturarten auf vielen verschiedenen Orten mit wenig Wiederholungen angebaut wurden, wurden die Orte zu Regionen mit homogenen klimatischen Bedingungen (JKI 2018) zusammengefasst. Diese Aggregation wurde für Wintertriticale, Winterweizen, Sommergerste, Sommerweizen und Ackerbohne genutzt.
2. Faktorausprägungen wurden nicht in Betracht gezogen, wenn weniger als vier Wiederholungen vorlagen.
3. Die Wiederholungen eines Faktors (Sorte, Anbauort/Region und Anbaujahr) mussten mindestens zwei Ausprägungen der anderen beiden Faktoren beinhalten.

Im Gegensatz zu den anderen Kulturarten konnten für Wintergerste nur die Faktoren Sorte und Versuch (Ort*Jahr) genutzt werden, da nur Proben aus zwei Jahren vorlagen. Es wurden zwar dieselben Sorten in den Versuchen geprüft, aber keine Versuche am selben Ort in verschiedenen Jahren wiederholt. Tabelle 9 zeigt die Stichprobe für die Auswertung der Rohnährstoffe und ausgewählter Aminosäuren.

Tabelle 9: Stichprobenbeschreibung für Rohnährstoffe und Aminosäuren – Gesamtanzahl (n total), Probenanzahl für weitere statistische Untersuchungen (n subset) und Anzahl der Faktorausprägungen

	n total	n subset	Sorten	Anbaujahre	Standorte	Regionen ¹
Getreide						
Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	328	174	16	3	8	
Sommerweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	93	71	8	3	5	
Winterroggen (<i>Secale cereale</i> L.)	145	117	9	3	7	
Wintertriticale (<i>Triticosecale</i>)	138	102	9	3	7	
Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	50	36	7		6	
Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	123	56	8	3		
Hafer (<i>Avena sativa</i> L.)	126	96	9	3	6	
Körnerleguminosen						
Futtererbse (<i>Pisum sativum</i> L.)	147	74	8	3	5	
Ackerbohne (<i>Vicia faba</i> L.)	124	51	10	2	4	
Blaue Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i> L.)	132	33	5	3	4	
Total						

Für die B-Vitamine standen keine NIRS-Ergebnisse zur Verfügung, sodass die Stichprobe für die Auswertung abwich (Tabelle 10).

Tabelle 10: Stichprobenbeschreibung für Thiamin und Riboflavin – Gesamtanzahl (n total), Probenanzahl für weitere statistische Untersuchungen (n subset) und Anzahl der Faktorausprägungen

	n total	n subset	Sorten	Anbaujahre	Standorte	Regionen ¹
Getreide						
Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	106	70	3	3	5	
Sommerweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	45	25	4	3	3	
Winterroggen (<i>Secale cereale</i> L.)	106	81	5	3	7	
Wintertriticale (<i>Triticosecale</i>)	107	92	7	3	5	
Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	30	15	3	2	5	
Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	66	47	4	3	4	
Hafer (<i>Avena sativa</i> L.)	105	80	7	3	6	
Körnerleguminosen						
Futtererbse (<i>Pisum sativum</i> L.)	87	41	6	3	4	
Ackerbohne (<i>Vicia faba</i> L.)	73/82*	57/59*	6	2	3	
Blaue Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i> L.)	110	31	5	3	3	
Total	846/855*	539/541*				

*Thiamin/Riboflavin; ¹Anbauregionen mit homogenen klimatischen Bedingungen nach JKI (2018)

Da der Probensatz zu umfangreich war, um vollständig mit der angepassten *in vitro* Multienzymmethode analysiert werden zu können, musste eine Auswahl getroffen werden. Bei der Auswahl der Proben wurden die folgenden Kriterien angewandt, um eine möglichst weite Spannbreite der XP-Gehalte abdecken und den Einfluss von Sorte, Anbaujahr und Anbauort bewerten zu können:

1. Die Probenmenge sollte ausreichend sein, um homogenisiert und in Dreifachbestimmung analysiert zu werden.
2. Faktorausprägungen wurden nicht berücksichtigt, wenn weniger als drei Wiederholungen verfügbar waren.
3. Die Wiederholungen eines Faktors (Sorte, Anbaujahr und Anbauort oder -gebiet (JKI 2018) mussten mindestens zwei Ausprägungen der beiden anderen Faktoren beinhalten.

Das reduzierte Probenet enthält 54 Gersten-, 50 Winterroggen-, 48 Wintertriticale-, 43 Winterweizen-, 44 Ackerbohnen- und 37 Futtererbsenproben (Tabelle 11).

Tabelle 11: Probenbeschreibung für den *in vitro* Versuch

	n	XP [%TS]	Sorten	Anbaujahre	Standorte	Regionen ¹
Getreide						
Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i> L.)	43	8.9 - 15.4	3	3	8	
Winterroggen (<i>Secale cereale</i> L.)	50	6.1 - 12.4	5	3	4	
Wintertriticale (<i>Triticosecale</i>)	48	7.0 - 13.0	3	3	9	
Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	15	7.4 - 11.8	3	2	5	
Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	39	7.3 - 11.7	3	3		4
Körnerleguminosen						
Futtererbsen (<i>Pisum sativum</i> L.)	37	14.8 - 24.9	5	3	5	
Ackerbohnen (<i>Vicia faba</i> L.)	44	27.3 - 33.5	4	2		3
Total	276					

¹Anbauregionen mit homogenen klimatischen Bedingungen nach JKI (2018)

3.7.2 Einfluss von Sorte, Standort und Anbaujahr

Die angepassten Datensätze wurden mit generalisierten linearen Modellen (GLM) betrachtet, um den Effekt von Sorte, Anbauort bzw. Anbauregion und Anbaujahr zu prüfen. Interaktionen konnten aufgrund der nicht balancierten Datensätze und der fehlenden Feldwiederholungen nicht geprüft werden. Das R-Paket `glmulti` (Calcagno 2013) wurde genutzt, um das beste Modell bestehend aus Hauptfaktoren mit Hilfe des AICc zu bestimmen. Residuen der GLM wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung getestet und gegebenenfalls wurde eine Modelltransformation vorgenommen. Ein Ausreissertest wurde ebenfalls durchgeführt und die Stabilität des Modells wurde anhand dieser Ausreißer überprüft, indem der Einfluss des Löschens des Ausreißers auf die folgende ANOVA überprüft wurde. Multiple Mittelwertvergleiche wurden mit dem `multcomp` R-Paket (Hothorn *et al.* 2008) berechnet. Zudem wurden `LSMeans` (Lenth 2016) und eine Bonferroni-Holm-Adjustierung genutzt. Das R-Paket `sandwich` (Zeileis 2004) machte eine robuste Schätzung der Kovarianz möglich (robust auf Heteroskedastizität und Autokorrelation sowie robuste Standardfehler mit `vcochAC`). Aufgrund der Einbeziehung dieses Merkmals konnten in einigen Fällen keine Unterschiede zwischen den Faktorausprägungen festgestellt werden, obwohl der Faktor in der GLM signifikant war. Unterschiede zwischen den Mittelwerten wurden als signifikant angesehen, wenn die p-Werte geringer als 0,05 waren. Der maximale Unterschied zwischen den Faktorausprägungen wurde für jede Kultur berechnet, um Säulendiagramme zur Darstellung zu erstellen.

3.7.3 Beispielrationen und Einfluss der Schwankungen der Inhaltsstoffe von Einzelfuttermitteln

Es wurden praxisnahe Beispielrationen aus deutschen Publikationen gewählt, um zu betrachten, wie sich Schwankungen der Konzentrationen an Inhaltsstoffen bzw. der Verdaulichkeit auswirken können. Mit MS Excel wurden Rationsberechnungen für Schweine und Geflügel durchgeführt. Für die Auswertung wurden Diäten für Schweine (Tabelle 12) sowie für Geflügel (Tabelle 13) gewählt, die die folgenden Kriterien erfüllten:

- Sie sollten einen Mindestanteil von 70 % (mit Ausnahme von Mastschweinen und Masthühnern) an Getreide und Körnerleguminosen enthalten, für die exemplarisch Proben im Projekt analysiert worden sind.
- Für weitere enthaltene Futtermittel sollten die Thiamin- und Riboflavingehalte in den Futterwerttabellen von Sauvant *et al.* (2004) und die Roh Nährstoff- und Aminosäuregehalte in Aminodat (Evonik 2016) oder ebenfalls in den Futterwerttabellen von Sauvant *et al.* (2004) verfügbar sein.

Rohprotein und Aminosäuren in Beispielrationen

Für die exemplarische Überprüfung des Gehaltes an Rohprotein (XP) und Aminosäuren (AS) in Öko-Rationen für Schweine und Geflügel sowie des Gehaltes an *praecaecal* verdaulichem/n XP und AS in Öko-Rationen für Geflügel wurden Analysenergebnisse verschiedener Futtermittelchargen in die Beispielrationen eingerechnet. Die Rationskomponenten, für die keine Analysenergebnisse vorlagen, wurden nicht verändert. Ihre Roh Nährstoff- und Aminosäuregehalte wurden aus Tabellen entnommen.

B-Vitamingehalte in Beispielrationen

Für die exemplarische Überprüfung der Thiamin- und Riboflavingehalte in Öko-Rationen für Schweine und Geflügel wurden die jeweils geringsten und höchsten analysierten Gehalte an B-Vitaminen in Getreide und Körnerleguminosen beispielhaft eingesetzt.

Anschließend wurden das Minimum und Maximum der Analyseergebnisse für die Thiamin- und Riboflavingehalte verwendet, um die minimalen und maximalen Mengen an Thiamin und Riboflavin zu berechnen, die aus Getreide und Körnerleguminosen in der Ration stammten. Die Mengen an Thiamin und Riboflavin, die aus anderen Futtermitteln stammten, wurden mit den von Sauvant *et al.* (2004) veröffentlichten Tabellenwerten geschätzt. Die Summe beider Werte entspricht dem Gesamtgehalt an Thiamin bzw. Riboflavin in der Diät.

Darüber hinaus wurde der Effekt des Einsatzes von 10 % Kleegrassilage in der Trockensubstanz (TS) jeder Diät auf den Riboflavingehalt getestet. Die Einsatzmenge aller anderen Futtermittel wurde zu diesem Zweck gleichmäßig reduziert.

Versorgungsempfehlungen für Thiamin- und Riboflavin (NRC 1994; GfE 1999; 2006; NRC 2012) wurden daraufhin mit Thiamin- und Riboflavingehalten in allen exemplarischen Diäten für Schweine und Geflügel verglichen.

Tabelle 13: Beispielrationen für Geflügel im Ökolandbau [g/kg TS]

Diät	Starter		Legehennen				Broiler	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Getreide & Leguminosen	Triticale		300	200	300	300		
	Roggen			200		200		
	Weizen	460	350	350			350	200
	Gerste		50			100		100 200
	Hafer		100			200		100 103
	Blaue Lupinen				200		200	
	Futtererbsen	200	150	200		150		70 120
	Ackerbohnen	80	60		50			150
	Kleegrassilage			50	50	50	50	
	Summe	740	710	900	700	800	750	770
Andere	Mais			190	100	180		180
	Leinsamen			10				
	Sojakuchen			100		100	50	100
	Sonnenblumenkuchen							30
	Leinkuchen						20	30
	Maiskleber	170	120					100
	Bierhefe	20	20					30
	Grünmehl		30					50
	Maiskleberfutter				100			
B-Vitamin-frei	70	120					50	37
Quelle	a	a	b	b	b	b	a	c

^aDeerberg (2000); ^bSteinhöfel & Lippmann (2005); ^cBellof *et al.* (2005); B vitamin-frei = Öl und Mineralstoffe; Getreide & Leguminosen = Getreide und Leguminosen (eigene Ergebnisse verfügbar); Andere = andere Futtermittel außer Getreide und Leguminosen (keine eigenen Ergebnisse verfügbar)

4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Referenzanalytik

4.1.1 Rohrnährstoffgehalte und ihre Schwankungen

Die Rohrnährstoffgehalte unterschieden sich zwischen den betrachteten Kulturen erwartungsgemäß (Tabellen 14, 15, 16). Getreide, mit Ausnahme des Hafers, enthielt deutlich mehr Stärke, aber weniger XP und Rohasche (XA) als Körnerleguminosen. Die Rohfaser (XF)- und Rohfett (XL)-Gehalte waren bei Hafer (Tabelle 15) und Blauen Lupinen am höchsten (Tabelle 16).

Innerhalb der Getreidekulturen wurde der höchste XP-Gehalt im Weizen mit einem Maximum von 15,4 g/kg TS beobachtet. Den niedrigsten XP-Gehalt wies Roggen mit einem Minimum von 6,1 g/kg TS auf. Hafer enthielt die geringsten Mengen an NfE und Stärke, aber die höchsten Mengen an XL, XA und XF. Der Gehalt an XA und XF in Wintertriticale glich denen im Weizen. Der Stärkegehalt aller getesteten Kulturen differierte und war in Wintertriticale und Winterweizen mit ca. 70 % am höchsten. Der NfE-Gehalt in Weizen und Gerste war geringer als in Triticale und Roggen. Bei den Sommerungen wurde beobachtet, dass sie einen höheren XP-Gehalt, aber einen niedrigeren XF-Gehalt aufwiesen als die Winterungen. Der Stärke- und NfE-Gehalt war bei Sommergerste höher als bei Wintergerste. Bei Weizen wiesen die Sommer- und Wintervarianten jedoch keinen unterschiedlichen NfE-Gehalt auf, und der Stärkegehalt war im Sommerweizen geringer als im Winterweizen.

Tabelle 14: Gehalte an Rohrnährstoffen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in % TS) in Wintergetreide

	Winterweizen <i>T. aestivum</i> L.	Winterroggen <i>S. cereale</i> L.	Wintertriticale <i>Triticosecale</i> L.	Wintergerste <i>H. vulgare</i> L.
n	106	106	107	30
Rohprotein	12,19 ± 1,21 8,91 - 15,38	9,04 ± 1,57 6,09 - 12,47	9,95 ± 1,48 7,01 - 13,09	9,04 ± 1,45 7,39 - 11,80
Rohfett	2,26 ± 0,22 1,69 - 2,74	1,74 ± 0,17 1,30 - 2,17	1,83 ± 0,22 1,30 - 2,33	3,00 ± 0,28 2,61 - 3,57
Rohasche	1,98 ± 0,19 1,51 - 2,43	1,81 ± 0,12 1,56 - 2,06	1,97 ± 0,09 1,77 - 2,28	2,57 ± 0,25 2,24 - 3,09
Rohfaser	3,00 ± 0,29 2,44 - 3,73	2,52 ± 0,20 1,98 - 3,05	2,88 ± 0,32 2,02 - 3,74	5,75 ± 0,48 4,81 - 6,67
Stärke	69,48 ± 1,26 65,98 - 72,45	65,78 ± 1,63 62,30 - 69,00	70,64 ± 1,78 66,99 - 74,73	61,45 ± 3,08 56,69 - 66,00

Tabelle 15: Gehalte an Rohrnährstoffen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in % TS) in Sommergetreide

	Sommerweizen <i>T. aestivum</i> L.	Sommergerste <i>H. vulgare</i> L.	Hafer <i>A. sativa</i> L.
n	45	66	105
Rohprotein	12,65 ± 1,27 10,05 - 14,99	9,77 ± 0,83 7,34 - 11,67	10,46 ± 1,06 8,66 - 12,88
Rohfett	2,50 ± 0,26 1,82 - 2,98	2,82 ± 0,15 2,55 - 3,34	4,77 ± 0,37 4,11 - 6,17
Rohasche	1,96 ± 0,18 1,62 - 2,40	2,50 ± 0,23 2,05 - 2,93	2,99 ± 0,32 2,43 - 3,78
Rohfaser	2,86 ± 0,22 2,33 - 3,33	4,29 ± 0,45 2,78 - 5,18	11,79 ± 1,39 8,70 - 15,51
Stärke	67,21 ± 1,28 64,52 - 69,63	64,18 ± 1,07 60,62 - 66,69	47,69 ± 3,59 39,48 - 53,65

Von den Getreiden zeigte Winterroggen mit einem Variationskoeffizienten (CV) von 17,4 % die größte Variation des XP-Gehalts, gefolgt von Wintergerste und Wintertriticale. Während der Variationskoeffizient für den XP-Gehalt in Weizen und Hafer etwa 10 % betrug, variierte der XP-Gehalt in Sommergerste weniger stark (CV = 8,5 %). Die größte Variation des XL-Gehalts wurde in Wintertriticale (CV = 12,0 %) beobachtet, während die geringste Variation bei Sommergerste (CV = 5,3 %) auftrat. Für den XA-Gehalt wurden Variationskoeffizienten von 4,6 %, 6,6 % und etwa 9-11 % für Wintertriticale, Winterroggen bzw. die anderen Getreidekulturen bestimmt. Auch die XF-Gehalte variierten stark (CV = 8-12 %). Mit Ausnahme von Hafer (CV = 7,5 %) und Wintergerste (CV = 5,0 %) waren die Schwankungen des Stärkegehalts gering (CV = 2,5 % oder niedriger).

Mit Ausnahme von Hafer und Sommerweizen war der Stärkegehalt aller Kulturen stark negativ mit dem XP-Gehalt korreliert ($r = -0,63$ - $-0,91$, $p < 0,05$). Darüber hinaus war der NfE-Gehalt in allen Kulturen negativ mit dem XP-Gehalt ($r = -0,40$ in Hafer, $r = -0,80$ - $-0,90$ in den anderen Kulturen, $p < 0,05$) und mit Ausnahme von Sommerweizen positiv mit dem Stärkegehalt korreliert. Bei Blauen Lupinen und Wintergerste war der XL-Gehalt negativ mit dem XP-Gehalt ($r = -0,62$ und $-0,63$, $p < 0,05$) und positiv mit dem Stärkegehalt ($r = 0,55$ und $0,75$, $p < 0,05$) korreliert. Bei Hafer war der XF-Gehalt negativ mit dem Stärkegehalt korreliert ($r = -0,75$, $p < 0,05$). Darüber hinaus war der XL-Gehalt von Sommerweizen positiv mit seinem XP-Gehalt korreliert ($r = 0,63$, $p < 0,05$).

Bei den Körnerleguminosen hatten Blaue Lupinen die höchsten Gehalte an XP, XL und XF (Tabelle 16). Der Gehalt an Stärke und NfE war sehr niedrig in Blauen Lupinen und hoch in Futtererbsen. Der XP-Gehalt variierte um 15 % TS in Blauen Lupinen, um 10,5 % TS in Futtererbsen und um 7,8 % TS in Ackerbohnen.

In Körnerleguminosen zeigten Ackerbohnen (CV = 5,5 %) eine geringe Variation des XP-Gehalts im Vergleich zu Futtererbsen und Blauen Lupinen (CV = 10-11 %). Allerdings variierten die Gehalte an XL, XA und XF in Ackerbohnen stark (CV = 11,4, 11,4, 11,4 und 7,7 %). Obwohl Blaue Lupinen geringe Mengen an Stärke enthielten, war die Variation des Stärkegehalts groß (CV = 13,1 %).

Tabelle 16: Gehalte an Rohnährstoffen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in % TS) in Körnerleguminosen

	Futtererbse <i>P. sativum</i> L.	Ackerbohne <i>V. faba</i> L.	Blaue Lupine <i>L. angustifolius</i> L.
n	87	73	110
Rohprotein	21,2 ± 2,13 14,74 - 25,22	29,67 ± 1,63 25,66 - 33,50	32,03 ± 3,41 23,53 - 38,40
Rohfett	1,95 ± 0,20 1,37 - 2,47	1,75 ± 0,20 1,29 - 2,42	6,28 ± 0,59 5,11 - 8,03
Rohasche	3,08 ± 0,24 2,46 - 3,50	3,95 ± 0,45 3,35 - 5,00	3,90 ± 0,24 3,35 - 4,75
Rohfaser	6,70 ± 0,37 5,81 - 7,82	9,55 ± 0,74 8,03 - 12,10	16,05 ± 0,83 14,15 - 19,62
Stärke	53,25 ± 1,65 49,54 - 56,31	42,87 ± 1,98 36,91 - 47,42	10,55 ± 1,38 7,59 - 13,72

4.1.2 Aminosäuren

Der Gehalt an AS in der TS unterschied sich sowohl zwischen den Getreidekulturen (Tabelle 17, 18) als auch zwischen den Körnerleguminosenkulturen deutlich (Tabelle 19). Obwohl Weizen das Getreide mit dem höchsten XP-Gehalt in der TS war, waren die Gehalte an Lysin (Lys) und Asparagin/Asparaginsäure (Asp) gering. Sommerweizen hatte deutlich höhere Lysin-, Threonin-

(Thr) und Seringehalte als Winterweizen und Sommergerste hatte einen hohen Asp-Gehalt im Vergleich zu Wintergerste ($p < 0,05$). Im Gegensatz zum XP-Gehalt war der Lys-Gehalt in Blauen Lupinen deutlich niedriger als bei den anderen Körnerleguminosen. Es wurden große Unterschiede im Gehalt verschiedener AS beobachtet (CV = 8 - 26 %). Die Variationskoeffizienten waren bei Weizen, Sommergerste und Hafer niedriger als bei den anderen Getreidesorten. Darüber hinaus wurden für den Gehalt an Prolin (Pro), Glutamin/Glutaminsäure (Glu) und Phenylalanin (Phe) größere Abweichungen festgestellt als für die anderen AS. Die AS-Gehalte in Körnerleguminosen variierten meist weniger stark als bei Getreide. Darüber hinaus waren die Schwankungen des AS-Gehalts bei den Ackerbohnen im Allgemeinen gering und die größten Schwankungen wurden für Cystin (Cys, CV = 15,3 %) und Arginin (Arg, CV = 9,8 %) bestimmt. Bei Blauen Lupinen und Futtererbsen wurden große Unterschiede im Gehalt an Arg (CV = 15,7 und 15,1 %) und Histidin (His; CV = 22,3 und 22,2 %) beobachtet.

Tabelle 17: Aminosäuregehalte (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in g/kg TS) in Wintergetreide

n	Winterweizen <i>T. aestivum</i> L, 106	Winterroggen <i>S. cereale</i> L, 106	Wintertriticale <i>Triticosecale</i> L, 107	Wintergerste <i>H. vulgare</i> L, 30
Lysin	3,54 ± 0,25 2,85 - 4,13	3,77 ± 0,40 2,86 - 4,65	3,77 ± 0,45 2,90 - 4,87	3,65 ± 0,44 2,90 - 4,42
Methionin	2,01 ± 0,26 1,25 - 2,79	1,60 ± 0,24 1,12 - 2,45	1,69 ± 0,21 1,12 - 2,30	1,55 ± 0,20 1,18 - 1,95
Cystin	2,89 ± 0,38 1,99 - 3,95	2,26 ± 0,37 1,52 - 3,47	2,30 ± 0,36 1,57 - 3,16	2,08 ± 0,27 1,51 - 2,53
Threonin	3,39 ± 0,33 2,45 - 4,03	3,09 ± 0,37 2,31 - 3,97	3,27 ± 0,44 2,43 - 4,25	3,01 ± 0,35 2,53 - 3,66
Tryptophan*	1,39 ± 0,15 1,03 - 1,69	0,95 ± 0,12 0,81 - 1,18	1,05 ± 0,15 0,74 - 1,31	1,13 ± 0,21 0,88 - 1,51
Isoleucin	3,94 ± 0,38 2,78 - 4,86	2,91 ± 0,48 2,05 - 4,01	3,20 ± 0,43 2,26 - 4,01	2,95 ± 0,52 2,38 - 4,13
Leucin	7,94 ± 0,74 5,75 - 9,73	5,58 ± 0,90 3,99 - 7,52	6,57 ± 1,08 4,43 - 8,96	6,15 ± 0,98 4,93 - 8,04
Valin	5,04 ± 0,42 3,72 - 6,08	4,13 ± 0,62 2,92 - 5,53	4,50 ± 0,63 3,24 - 5,89	4,32 ± 0,63 3,59 - 5,70
Arginin	5,61 ± 0,47 4,19 - 6,87	4,77 ± 0,59 3,36 - 6,02	5,20 ± 0,72 3,81 - 6,76	4,53 ± 0,61 3,73 - 5,66
Histidin	3,14 ± 0,49 1,89 - 4,34	2,37 ± 0,41 1,51 - 3,49	2,62 ± 0,44 1,77 - 3,60	2,08 ± 0,41 1,38 - 2,70
Phenylalanin	5,48 ± 0,60 3,75 - 6,86	4,06 ± 0,86 2,31 - 5,99	4,50 ± 0,81 2,98 - 6,17	4,26 ± 0,98 3,08 - 6,00
Tyrosin	3,38 ± 0,36 2,38 - 4,22	2,31 ± 0,32 1,59 - 3,09	2,78 ± 0,44 1,94 - 3,90	2,72 ± 0,44 2,19 - 3,64
Alanin	4,20 ± 0,34 3,26 - 5,08	3,93 ± 0,45 3,12 - 5,05	4,21 ± 0,51 3,11 - 5,37	3,77 ± 0,40 3,25 - 4,52
Glycin	4,84 ± 0,43 3,66 - 5,83	4,00 ± 0,48 2,93 - 5,17	4,35 ± 0,57 3,18 - 5,75	3,81 ± 0,44 3,13 - 4,58
Serin	5,36 ± 0,59 3,83 - 6,71	3,89 ± 0,67 2,53 - 5,76	4,48 ± 0,69 3,11 - 6,10	3,72 ± 0,55 3,11 - 4,73
Prolin	11,39 ± 1,40 8,08 - 15,11	7,97 ± 2,25 4,11 - 13,05	8,99 ± 1,87 5,51 - 13,07	8,54 ± 2,45 5,57 - 13,15
Asparagin	5,90 ± 0,49 4,57 - 7,35	6,69 ± 0,69 5,30 - 8,18	6,58 ± 0,85 4,99 - 8,17	5,56 ± 0,60 4,74 - 6,52
Glutamin	34,94 ± 4,51 22,75 - 46,67	19,91 ± 5,13 11,17 - 31,3	24,94 ± 5,51 14,6 - 36,95	19,29 ± 4,84 14,23 - 29,01

*n = 19, 25, und 18 für Winterroggen, Wintertriticale und Hafer

Tabelle 18: Aminosäuregehalte (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in g/kg TS) in Sommergetreide

	Sommerweizen <i>T. aestivum</i> L, 45	Sommergerste <i>H. vulgare</i> L, 66	Hafer <i>A. sativa</i> L, 105
Lysin	3,81 ± 0,26 3,18 - 4,16	4,14 ± 0,22 3,52 - 4,66	4,63 ± 0,46 3,57 - 5,69
Methionin	2,11 ± 0,19 1,71 - 2,55	1,82 ± 0,20 1,38 - 2,21	1,82 ± 0,19 1,42 - 2,28
Cystin	3,02 ± 0,30 2,37 - 3,59	2,45 ± 0,34 1,75 - 3,23	3,27 ± 0,31 2,59 - 4,02
Threonin	3,75 ± 0,32 3,06 - 4,30	3,28 ± 0,30 2,27 - 3,82	3,65 ± 0,37 2,94 - 4,59
Tryptophan*	1,42 ± 0,15 1,15 - 1,72	1,21 ± 0,11 0,88 - 1,53	1,48 ± 0,15 1,23 - 1,73
Isoleucin	4,18 ± 0,39 3,33 - 4,85	3,41 ± 0,28 2,68 - 4,16	3,76 ± 0,46 2,94 - 5,04
Leucin	8,39 ± 0,80 6,54 - 9,64	6,88 ± 0,54 5,39 - 8,34	7,48 ± 0,84 5,75 - 9,58
Valin	5,38 ± 0,45 4,30 - 6,09	4,88 ± 0,38 3,88 - 5,86	5,15 ± 0,59 4,14 - 6,63
Arginin	6,00 ± 0,51 4,76 - 6,76	5,07 ± 0,39 3,90 - 6,08	6,91 ± 0,79 5,23 - 8,88
Histidin	3,14 ± 0,47 1,98 - 4,00	2,35 ± 0,30 1,65 - 3,09	2,92 ± 0,38 2,18 - 3,96
Phenylalanin	5,85 ± 0,63 4,38 - 6,81	4,68 ± 0,47 3,39 - 5,78	5,15 ± 0,65 3,98 - 6,78
Tyrosin	3,63 ± 0,39 2,63 - 4,26	2,90 ± 0,24 2,63 - 4,26	3,44 ± 0,38 2,72 - 4,31
Alanin	4,51 ± 0,37 3,66 - 5,07	4,25 ± 0,25 3,64 - 4,85	5,01 ± 0,48 4,09 - 6,20
Glycin	5,19 ± 0,47 4,07 - 6,04	4,15 ± 0,25 3,45 - 4,70	5,21 ± 0,47 4,19 - 6,52
Serin	5,77 ± 0,70 4,32 - 7,11	4,14 ± 0,33 3,33 - 4,84	4,96 ± 0,53 3,97 - 6,35
Prolin	11,77 ± 1,42 8,44 - 14,45	9,01 ± 1,21 5,43 - 11,50	5,36 ± 0,56 4,18 - 6,79
Asparagin	6,49 ± 0,62 5,15 - 7,60	6,42 ± 0,41 5,39 - 7,23	8,57 ± 0,97 6,72 - 10,81
Glutamin	36,43 ± 4,84 26,57 - 44,76	21,01 ± 2,42 14,39 - 26,70	20,51 ± 2,47 15,78 - 26,13

*n = 19, 25, und 18 für Winterroggen, Wintertriticale und Hafer

Der Gehalt an Lys, Thr, Leucin (Leu), Isoleucin (Ile), His, Arg, Tyrosin (Tyr), Ser und Asp war im XP von Körnerleguminosen höher als im XP von Getreide. Während sich der Glycin (Gly)-Gehalt nicht unterschied, war der Gehalt an Met, Cys, Tryptophan (Trp), Valin (Val), Phe, Alanin (Ala), Pro und Glu im XP von Getreide höher als im XP von Körnerleguminosen (Tabelle 19). Der Glu-Gehalt im XP von Weizen war signifikant höher als bei den anderen Getreiden; Weizen hatte jedoch die niedrigsten Lys- und Thr-Gehalte im XP. Sommerweizen hatte im XP einen deutlich höheren Gehalt an Thr und Asp als Winterweizen. Das XP von Sommergerste enthielt deutlich höhere Mengen an Lys, Ile, Leu, Val, Arg und Asp im Vergleich zu Wintergerste, Weizen, Roggen und Triticale. Pro und Glu hatten einen hohen Anteil an allen anderen AS in Hafer. Die größte Variation des Lys-Gehalts im XP wurde bei Winterroggen beobachtet (CV = 13,2 %). Während der Variationskoeffizient für die meisten AS bei Getreide und Körnerleguminosen zwischen 4 - 8 % lag, war er in Weizen, Gerste,

Hafer, Futtererbsen und Blauen Lupinen für His, in Körnerleguminosen für Met und Cys, in Wintergetreide für Glu und Pro und in Sommerweizen und Winterroggen für Lys höher.

Tabelle 19: Aminosäuregehalte (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum in g/kg TS) in Körnerleguminosen

n	Futtererbse <i>P. sativum</i> L, 87	Ackerbohne <i>V. faba</i> L, 73	Blaue Lupine <i>L. angustifolius</i> L, 110
Lysin	17,33 ± 2,07 12,14 - 21,92	18,89 ± 1,05 16,81 - 21,20	16,36 ± 1,35 ^d 13,20 - 19,01
Methionin	2,16 ± 0,20 1,67 - 2,63	2,11 ± 0,18 1,70 - 2,66	2,13 ± 0,23 1,71 - 2,59
Cystin	3,25 ± 0,35 2,47 - 4,24	2,94 ± 0,45 1,77 - 3,61	4,43 ± 0,60 3,36 - 6,11
Threonin	8,37 ± 0,71 6,15 - 9,95	10,08 ± 0,71 8,11 - 11,68	11,43 ± 1,11 8,84 - 13,64
Tryptophan*	1,92 ± 0,24 1,25 - 2,71	2,35 ± 0,13 2,05 - 2,74	2,68 ± 0,24 2,21 - 3,28
Isoleucin	8,92 ± 0,86 6,55 - 10,82	11,33 ± 0,62 10,08 - 12,74	12,86 ± 1,36 9,76 - 15,66
Leucin	15,33 ± 1,55 10,72 - 18,15	20,89 ± 1,15 18,31 - 23,63	21,96 ± 1,95 17,31 - 25,81
Valin	10,04 ± 0,96 7,46 - 12,41	12,72 ± 0,71 11,24 - 14,29	12,59 ± 1,11 9,94 - 14,33
Arginin	16,33 ± 2,46 10,08 - 21,51	25,82 ± 2,52 20,42 - 30,72	33,62 ± 5,28 20,66 - 43,05
Histidin	6,81 ± 1,51 3,96 - 11,50	8,82 ± 0,65 7,12 - 10,04	12,40 ± 2,76 5,27 - 18,94
Phenylalanin	10,55 ± 1,17 7,55 - 13,85	12,25 ± 0,79 10,20 - 14,19	12,87 ± 1,41 9,01 - 15,47
Tyrosin	6,67 ± 0,70 4,89 - 8,58	8,70 ± 0,56 7,12 - 10,02	10,63 ± 1,20 7,75 - 13,03
Alanin	9,57 ± 0,81 7,03 - 11,04	11,60 ± 0,62 10,04 - 12,95	11,21 ± 0,91 9,27 - 12,90
Glycin	9,64 ± 0,89 6,96 - 11,79	12,18 ± 0,69 10,68 - 13,46	13,68 ± 1,34 10,36 - 15,68
Serin	10,10 ± 1,10 7,20 - 12,35	13,21 ± 0,83 11,34 - 15,16	15,59 ± 1,82 11,17 - 19,03
Prolin	9,07 ± 0,82 6,12 - 10,51	11,80 ± 0,67 10,22 - 13,44	13,62 ± 1,53 9,48 - 16,19
Asparagin	25,56 ± 2,72 17,86 - 31,72	31,25 ± 1,67 27,85 - 35,62	32,99 ± 3,42 25,35 - 39,27
Glutamin	35,43 ± 3,80 24,06 - 43,24	47,12 ± 2,66 41,13 - 53,95	68,97 ± 8,20 50,05 - 84,57

*n = 19, 25, und 18 für Winterroggen, Wintertriticale und Hafer

Das XP in Futtererbsen enthielt im Vergleich zu den anderen Körnerleguminosen hohe Mengen aller Aminosäuren (außer Arg und His). Aufgrund des hohen Lys-Gehalts in Futtererbsen war das Verhältnis von allen AS zu Lys jedoch niedriger als bei Blauen Lupinen und Getreide. Nur das Verhältnis von Met zu Lys-Gehalt war bei Futtererbsen höher als bei Ackerbohnen (Tabelle 19). Während sich das Aminosäureprofil im XP nicht zwischen Winter- und Sommerweizen unterschied, waren die Verhältnisse von Tyr und Gly zu Lys bei Wintergerste höher als bei Sommergerste. Insgesamt variierte das Verhältnis von AS zu Lys zwischen und innerhalb der Sorten sehr stark. Bei Getreide wurde der höchste Variationskoeffizient des Verhältnisses zu Lys für His und Cys im Winter- und Sommerweizen bestimmt (CV für His = 14,6 und 15,7 %, CV für Cys = 12,0 und 10,1 %),

für Pro, Glu und Phe im Winterroggen (CV = 22,5, 19,1 und 25,9 %), für Pro und Glu in Wintertriticale (CV = 11,0 und 12,4 %), für His in Hafer (CV = 9,5 %) und in Winter- und Sommergerste für Cys (CV = 10,5 und 11,9 %), Pro (CV = 17,0 und 11,1 %) und Glu (CV = 13,6 und 8,5 %). Im Allgemeinen wiesen Futtererbsen die größten Unterschiede im Verhältnis der AS zu Lys auf. Das Verhältnis von Arg und His zu Lys variierte bei Körnerleguminosen stark. Darüber hinaus war der Variationskoeffizient besonders hoch für das Verhältnis von Trp zu Lys bei Ackerbohnen (CV = 18,2 %), Cys zu Lys bei Futtererbsen (CV = 11,8 %) und Met und Cys zu Lys bei Blauen Lupinen (CV = 15,4 und 14,7 %).

In Getreide und Körnerleguminosen waren die Gehalte einiger AS (in g/16 N) mit dem XP-Gehalt korreliert (Tabelle 20). In allen Getreiden waren die Gehalte an Glu und Pro und in einigen Fällen an Phe (in g/16 g N) positiv mit dem XP-Gehalt korreliert. Im XP von Futtererbsen und Blauen Lupinen nahm der Gehalt an Arg und in Blauen Lupinen auch an His mit zunehmendem XP-Gehalt zu. In allen Kulturen nahm der Lys-, Met- und Thr-Gehalt, aber auch der Ala- und Gly-gehalt des XP mit steigendem XP-Gehalt ab.

Tabelle 20: Spearman Korrelationskoeffizienten der Aminosäuren (g/16 g N) zum Rohprotein (% TS)

	WW	SW	WR	WT	WG	SG	Ha	FE	AB	BL
n	328	93	145	138	50	123	126			
Lys	-0,70	-0,88	-0,90	-0,52	-0,92	-0,83	-0,53	-0,32	-0,49	-0,50
Met	-0,54	-0,77	-0,66	-0,86	-0,87	-0,45	-0,47	-0,62	-0,30	-0,57
Cys			-0,61	-0,40		-0,39	-0,70	-0,42		-0,58
Thr	-0,48	-0,84	-0,92	-0,77	-0,68	-0,39	-0,54	-0,77	-0,56	-0,48
Trp		-0,30	-0,35			-0,24	-0,55	-0,51	-0,55	-0,59
Ile	-0,59	-0,79	-0,78	-0,69		-0,38	-0,28	-0,59	-0,51	-0,30
Leu		-0,49	-0,54	-0,37				-0,55	-0,50	-0,55
Val	-0,48	-0,81	-0,21	-0,30		-0,25		-0,69	-0,61	-0,61
Arg		-0,58	-0,49		-0,41		-0,27	0,62		0,75
His	-0,58	-0,88	-0,58	-0,46	-0,70	-0,61			-0,26	0,74
Phe	0,64		0,50	0,49	0,73			-0,52	-0,47	
Tyr		-0,57	-0,50	0,20	-0,55		-0,43	-0,29	-0,50	
Ala	-0,49	-0,66	-0,92	-0,87	-0,77	-0,60	-0,65	-0,76	-0,59	-0,60
Gly	-0,65	-0,90	-0,90	-0,65	-0,59	-0,49	-0,71	-0,56	-0,55	-0,42
Ser	0,17		-0,90		0,35		-0,50	-0,38	-0,48	
Pro	0,63	0,59	0,80	0,79	0,84	0,59	0,64	-0,53	-0,44	-0,24
Asp	-0,47	-0,49	-0,90	-0,83		-0,50	-0,38	-0,76	-0,53	-0,27
Glu	0,66	0,42	0,77	0,82	0,89	0,59	0,71	-0,27	-0,43	0,23

WW = Winterweizen; SW = Sommerweizen; WR = Winterroggen; WT = Wintertriticale; WG = Wintergerste; SG = Sommergerste; Ha = Hafer; FE = Futtererbse; AB = Ackerbohne; BL = Blaue Lupine; Lys = Lysin; Thr = Threonin; Met = Methionin; Cys = Cystin; Trp = Tryptophan; Ile = Isoleucin; Leu = Leucin; Val = Valin; His = Histidin; Phe = Phenylalanin; Tyr = Tyrosin; Arg = Arginin; Ala = Alanin; Gly = Glycin; Ser = Serin; Pro = Prolin; Asp = Asparaginsäure; Glu = Glutaminsäure; alle Korrelationskoeffizienten sind signifikant (p<0.01)

4.1.3 B-Vitamine

Körnerleguminosen enthielten signifikant höhere Gehalte an Thiamin und Riboflavin als Getreide. Winterroggen und Winterweizen waren die Getreidekulturen mit den höchsten Gehalten an Thiamin bzw. Riboflavin (Tabelle 21). Hafer wies einen hohen Anteil an beiden B-Vitaminen auf, wohingegen Roggen den höchsten Gehalt an Riboflavin hatte. In Körnerleguminosen war der Thiamingehalt bei Futtererbsen signifikant höher als bei Ackerbohnen und Blauen Lupinen. Der Riboflavingehalt war bei Ackerbohnen signifikant höher als bei Blauen Lupinen und Futtererbsen.

Tabelle 21: Thiamin- und Riboflavingehalte [mg/kg TS] in Getreide und Körnerleguminosen

		n	Thiamin	Riboflavin
Getreide				
Winterweizen <i>T. aestivum</i> L,	Mittelwert Spannweite	106	2,31 ± 0,27 ^c 1,61 - 2,96	0,74 ± 0,06 ^a 0,62 - 0,89
Sommerweizen <i>T. aestivum</i> L,	Mittelwert Spannweite	45	2,22 ± 0,27 ^{bc} 1,58 - 2,80	0,85 ± 0,12 ^b 0,69 - 1,19
Winterroggen <i>S. cereale</i> L,	Mittelwert Spannweite	106	1,76 ± 0,3 ^a 1,16 - 2,35	1,06 ± 0,10 ^d 0,84 - 1,28
Wintertriticale <i>Triticosecale</i>	Mittelwert Spannweite	107	1,83 ± 0,24 ^a 1,27 - 2,38	0,91 ± 0,11 ^{bc} 0,65 - 1,17
Wintergerste <i>H. vulgare</i> L,	Mittelwert Spannweite	30	2,21 ± 0,30 ^{bc} 1,76 - 3,01	0,80 ± 0,11 ^{abc} 0,65 - 1,06
Sommergerste <i>H. vulgare</i> L,	Mittelwert Spannweite	66	2,05 ± 0,31 ^{ab} 1,27 - 2,64	0,94 ± 0,10 ^c 0,79 - 1,22
Hafer <i>A. sativa</i> L,	Mittelwert Spannweite	105	2,71 ± 0,39 ^d 1,87 - 3,53	1,00 ± 0,15 ^{cd} 0,71 - 1,54
Leguminosen				
Futtererbse <i>P. sativum</i> L,	Mittelwert Spannweite	87	5,82 ± 1,31 ^b 2,66 - 9,56	1,73 ± 0,22 ^a 1,00 - 2,28
Ackerbohne <i>V. faba</i> L,	Mittelwert Spannweite	73/82*	4,97 ± 1,19 ^a 2,55 - 7,37	2,75 ± 0,36 ^c 2,13 - 3,84
Blue lupin <i>L. angustifolius</i> L,	Mittelwert Spannweite	110	4,91 ± 1,00 ^a 2,81 - 8,97	2,39 ± 0,25 ^b 1,94 - 3,05

Der Gehalt an Thiamin und Riboflavin in einzelnen Proben von Nacktgerste, Wintererbsen, Winterackerbohnen und Gelben Lupinen lag im gleichen Bereich wie bei Gerste, Futtererbsen, Ackerbohnen und Blauen Lupinen, während Nackthafer einen sehr hohen Gehalt an beiden B-Vitaminen aufwies (Tabelle 22).

Tabelle 22: Thiamin- und Riboflavingehalte [mg/kg TS] in weiteren Kulturen

		Sorte	Thiamin	Riboflavin
Getreide				
Sommertriticale <i>Triticosecale</i>		Dublet	2,05	0,98
		Kulula	2,01	0,94
		Nagano	1,90	0,86
Nacktgerste <i>H. vulgare</i> L., var nudum		Nora	1,90	1,03
Nackthafer <i>A. sativa</i> L., var nuda		Nihao	3,51	1,58
Körnerleguminosen				
Wintererbse <i>P. sativum</i> L.		James	6,23	1,64
Winterackerbohne <i>V. faba</i> L.		Hiverna		2,42
Gelbe Lupine <i>L. luteus</i> L.		Mister (n=2) Taper (n=2)	6,67/7,76 6,21/6,97	2,55/2,70 2,68/2,76
Kleegrassilage				5,37 - 7,61

Die Spannweite der B-Vitamingehalte war vor allem bei den Körnerleguminosen groß. Der Thiamingehalt war in Blauen Lupinen ($R^2=0,48$, $n=110$, $p=1,051e^{-07}$) und Wintergerste ($R^2=0,44$, $n=30$, $p=0,016$) positiv mit dem Riboflavingehalt korreliert.

4.2 Nah-Infrarotspektroskopie

Auf Grundlage der Daten der Referenzanalytik wurden für Getreide und Körnerleguminosen Kalibrationen für die Rohnährstoffe einschließlich Stärke, für die 18 proteinogenen Aminosäuren

und für die *in vitro* Verdaulichkeit des Rohproteins entwickelt. Die einzelnen erhaltenen Kalibrationen wurden an einer unabhängigen Stichprobe validiert.

Die Ergebnisse der NIR-Kalibrationen werden im Folgenden anhand der statistischen Kennzahlen zur Beurteilung der Güte der Kalibrationen dargestellt.

4.2.1 Rohnährstoffe

Begonnen wurde bei der Kalibrationsentwicklung jeweils mit dem gesamten Datensatz der Getreide- bzw. Körnerleguminosenproben, für die Referenzwerte vorlagen mit dem Ziel, möglichst viele Kulturen mit einer Kalibration schätzen zu können. Dies war leider nicht für jeden Inhaltsstoff erfolgreich, wie aus Tabelle 23 ersichtlich wird. Für Rohprotein konnte eine perfekte Kalibration für alle Getreidearten gemeinsam erstellt werden (Abbildung 1). So lag der Fehler der Vorhersage mit 0,25 % im Bereich des erlaubten Fehlers der Referenzanalytik (0,2 %). Die Regressionskoeffizienten von Kalibration und Validation sind mit jeweils 0,99 nahezu ideal. Auch der Rohaschegehalt konnte für alle Getreidekulturen mit einer gemeinsamen Kalibration geschätzt werden und ist mit einem Regressionskoeffizienten von 0,93 für die Validation als zufriedenstellend einzuschätzen. Allerdings ist hier der Standardfehler mit 0,18 % im Verhältnis zu den Aschegehalten von 1,6 bis 2,4 % relativ hoch.

Tabelle 23: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Rohnährstoffe inkl. Stärke in Getreide und Körnerleguminosen

	Spannweite (% TS)	SEE	R _{Kal}	SEP	R _{Val}
Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer					
Rohprotein	6,1 – 15,4	0,26	0,99	0,25	0,99
Rohasche	1,6 – 2,4	0,18	0,95	0,18	0,93
Weizen, Gerste, Roggen, Triticale					
Rohfett	1,3 – 3,6	0,15	0,95	0,15	0,94
Rohfaser	2,0 – 6,8	0,26	0,97	0,34	0,92
Stärke	56,7 – 74,7	0,66	0,98	0,71	0,98
Hafer					
Rohfett	4,1 – 6,2	0,21	0,84	0,18	0,84
Stärke	36,3 – 53,7	1,0	0,97	1,0	0,97
Ackerbohnen, Futtererbsen, Blaue Lupinen					
Rohprotein	14,7 – 42,3	0,51	0,99	0,51	0,99
Rohfaser	5,0 – 18,0	0,51	0,99	0,51	0,99
Ackerbohnen, Futtererbsen					
Rohfett	1,2 – 2,6	0,10	0,87	0,10	0,86
Rohasche	2,3 – 5,1	0,21	0,92	0,21	0,92
Stärke	36,0 – 56,3	0,87	0,98	0,88	0,98
Blaue Lupinen					
Rohfett	5,1 – 8,0	0,10	0,99	0,14	0,95
Rohasche	3,4 – 5,7	0,15	0,94	0,14	0,92
Stärke	3,9 – 6,3	0,61	0,94	0,58	0,92

SEE = Standardfehler der Kalibration (Estimation); SEP = Standardfehler der Validierung (Prediction);

R_{Kal} = Regressionskoeffizient der Kalibrierung; R_{Val} = Regressionskoeffizient der Validierung

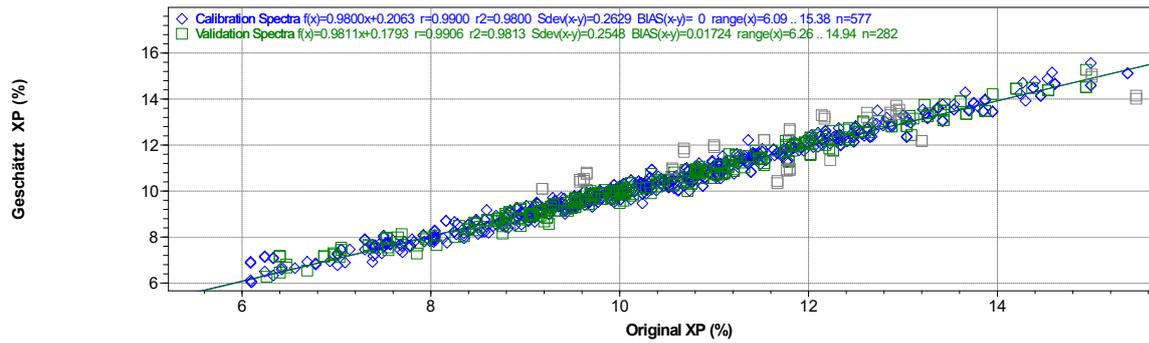


Abbildung 1: Kalibration von Rohprotein in Getreide – Original- und geschätzte XP-Gehalte aller Getreidearten in % TS

Für alle anderen Rohnährstoffe stellten sich die Kalibrationsentwicklungen schwieriger dar. So mussten für die Schätzung von XL und Stärke in Hafer eigenständige Kalibrationen erstellt werden. Dies lag darin begründet, dass die Gehalte dieser Inhaltsstoffe deutlich von denen der anderen Getreidearten abwichen und somit eine eigene Punktwolke im Diagramm darstellten, wie in Abbildung 2 für XL beispielhaft dargestellt.

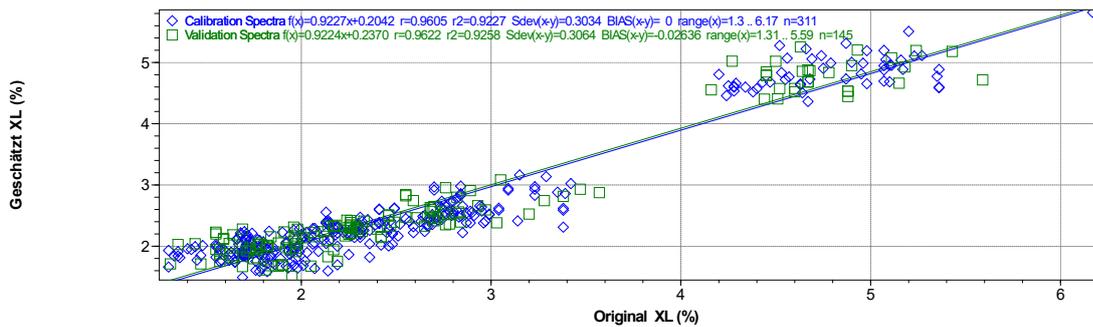


Abbildung 2: Kalibration von Rohfett in Getreide – Original- und geschätzte XL-Gehalte aller Getreidearten in % TS

Nach Abtrennung des Hafer-Datensatzes konnte für die Schätzung von XL in den Getreidearten Weizen, Gerste, Roggen und Triticale (Abbildung 3) eine Kalibration mit einer zufriedenstellenden Vorhersagegenauigkeit erstellt werden. Die Validation der XL-Kalibration zeigte, dass XL mit einem Fehler von 0,15 % in den Getreidearten Weizen, Gerste, Roggen und Triticale vorhergesagt werden konnte. Für Hafer selbst betrug der Fehler der Vorhersage 0,18 %, wobei auch der XL-Gehalt mit einer Spannweite von 4,1 bis 6,2 % deutlich höher ist als in den anderen betrachteten Getreidearten (Abbildung 4). Die Probenanzahl für diese Kalibration war allerdings auch mit 151 Proben stark eingeschränkt. Durch die Erweiterung mit Ernteproben weiterer Jahre könnte die Kalibration voraussichtlich verbessert werden.

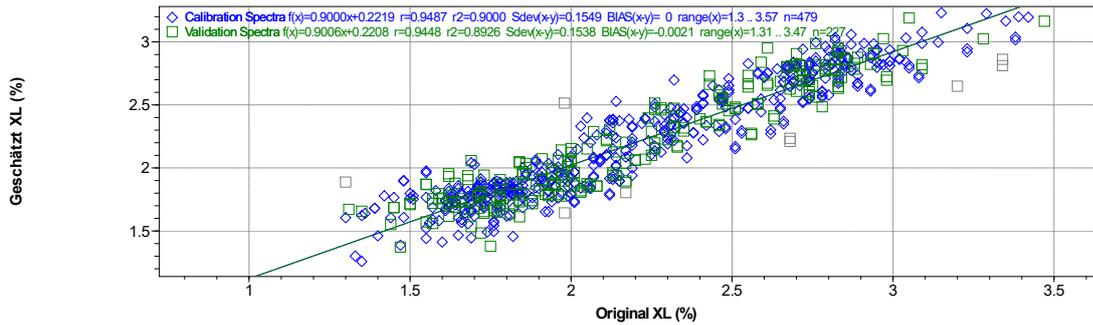


Abbildung 3: Kalibration von Rohfett in Getreide ohne Hafer – Original- und geschätzte XL-Gehalte in % TS

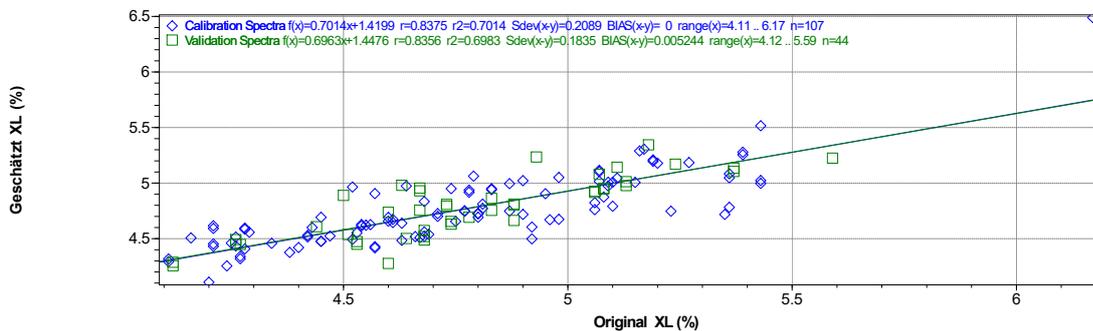


Abbildung 4: Kalibration von Rohfett in Hafer – Original- und geschätzte XL-Gehalte in % TS

Die Kalibration für die Vorhersage der Stärkegehalte in den Getreidearten Weizen, Gerste, Roggen und Triticale (Abbildung 5) ist als sehr gut einzuschätzen. Mit einem Schätzfehler von 0,71 % und Regressionskoeffizienten der Validierung von 0,98 können die Stärkegehalte sicher vorhergesagt werden. Auch in Hafer können die Stärkegehalte bei einem etwas höheren Schätzfehler von 1 % erfolgreich vorhergesagt werden (Abbildung 6).

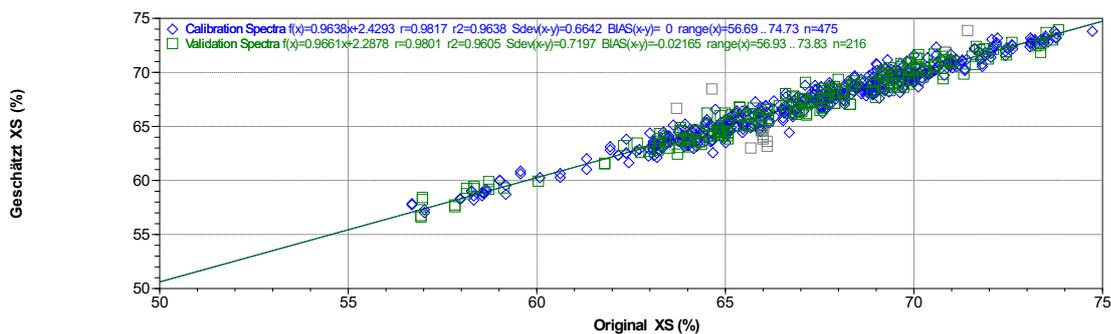


Abbildung 5: Kalibration von Stärke in Getreide ohne Hafer – Original- und geschätzte Stärke-Gehalte in % TS

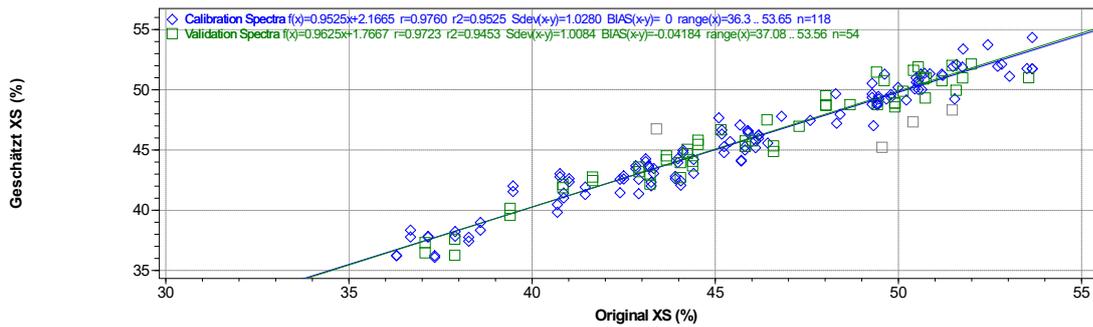


Abbildung 6: Kalibration von Stärke in Hafer – Original- und geschätzte Stärke-Gehalte in % TS

Für die Vorhersage von XF musste der Haferdatensatz ebenfalls entfernt werden, um eine akzeptable Kalibration zu erhalten. Rohfaser ist generell ein problematischer Parameter in der NIR, was auch hier deutlich wird. So ist es nicht gelungen, eine Kalibration für die Vorhersage der XF-Gehalte in Hafer zu entwickeln.

Der XP-Gehalt in Körnerleguminosen konnte ebenso wie in Getreide sehr erfolgreich mit einer für alle Arten entwickelten Kalibration geschätzt werden, die einen Schätzfehler von 0,51 % und Regressionskoeffizienten von 0,99 aufweist (Tabelle 23, Abbildung 7). Auch die Rohfaser konnte für alle Körnerleguminosen mit einer gemeinsamen Kalibration geschätzt werden. Für die Parameter XL, XA und Stärke war es aufgrund der stark differierenden Gehalte in den einzelnen Körnerleguminosenarten erforderlich, die Datensätze der Blauen Lupinen von denen der Ackerbohnen und Futtererbsen abzutrennen. Nach dieser getrennten Kalibrationsentwicklung wurden sehr gute Modelle für die Schätzung von Stärke in Ackerbohnen und Futtererbsen mit einem Fehler der Vorhersage von 0,88 % bei Gehalten von 36 bis 56,3 % erhalten. Die Regressionskoeffizienten von Kalibration und Validierung mit je 0,98 sind als sehr gut einzuschätzen. Die Kalibration für XA kann sowohl für die Ackerbohnen und Futtererbsen als auch für die Blauen Lupinen als zufriedenstellend eingeschätzt werden. Rohfett lässt sich in Blauen Lupinen sicherer vorhersagen als in Ackerbohnen und Futtererbsen, was zum Teil durch die höheren XL-Gehalte begründet ist.

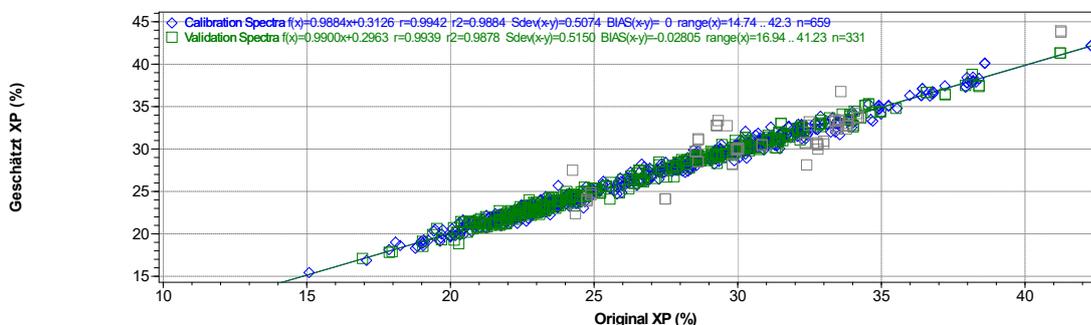


Abbildung 7: Kalibration von Rohprotein in Körnerleguminosen – Original- und geschätzte XP-Gehalte aller Körnerleguminosenarten in % TS

4.2.2 Aminosäuren

Die Kalibrationsentwicklung für die Vorhersage der Aminosäuren gestaltete sich vor allem für das Lysin in Getreide als schwierig. So wurden letztlich getrennte Modelle für jede Getreideart entwickelt, wobei das beste Ergebnis für Triticale (Abbildung 8) erhalten wurde mit einem Schätzfehler von 0,11 % und Regressionskoeffizienten der Vorhersage von 0,96. Aber auch die Kalibrationen des Lysins in den anderen Getreidearten können als zufriedenstellend eingeschätzt werden. Die Fehler der Vorhersage variieren zwischen 0,12 und 0,17 % je nach Getreideart. Für die Vorhersage aller anderen Aminosäuren konnten erfolgreich gemeinsame Kalibrationsmodelle für alle Getreidearten erstellt werden, wie die Tabelle 24 zeigt.

Tabelle 24: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Aminosäuren in Getreide

	Spannweite (g/kg TS)	SEE	R _{Kal}	SEP	R _{Val}
Lysin					
Triticale	2,9 – 4,9	0,11	0,97	0,13	0,96
Gerste	3,1 – 4,7	0,11	0,95	0,12	0,94
Weizen	2,5 – 4,2	0,11	0,94	0,13	0,89
Roggen	2,9 – 4,7	0,16	0,92	0,16	0,89
Hafer	3,6 – 5,7	0,15	0,95	0,17	0,93
Triticale, Gerste, Weizen, Roggen, Hafer					
Methionin	1,1 – 2,6	0,11	0,91	0,11	0,91
Cystein	1,5 – 4,1	0,18	0,94	0,19	0,93
Threonin	2,3 – 4,6	0,15	0,94	0,15	0,94
Tryptophan	0,8 – 1,7	0,06	0,96	0,07	0,94
Isoleucin	2,1 – 5,1	0,15	0,97	0,16	0,96
Leucin	3,9 – 9,7	0,31	0,97	0,32	0,97
Valin	2,9 – 6,4	0,17	0,97	0,18	0,97
Arginin	3,5 – 8,9	0,24	0,97	0,27	0,96
Histidin	1,5 – 4,1	0,20	0,92	0,20	0,92
Phenylalanin	2,6 – 6,8	0,20	0,97	0,22	0,97
Tyrosin	1,6 – 4,3	0,15	0,96	0,15	0,97
Alanin	3,1 – 6,2	0,20	0,93	0,22	0,92
Glycin	2,9 – 6,5	0,17	0,97	0,18	0,97
Serin	2,5 – 7,1	0,24	0,96	0,23	0,97
Prolin	4,1 – 15,1	0,60	0,97	0,61	0,97
Asparagin	4,6 – 10,8	0,42	0,93	0,44	0,92
Glutamin	11,2 – 46,7	1,1	0,99	1,1	0,99

SEE = Standardfehler der Kalibration (Estimation); SEP = Standardfehler der Validierung (Prediction);

R_{Kal} = Regressionskoeffizient der Kalibrierung; R_{Val} = Regressionskoeffizient der Validierung

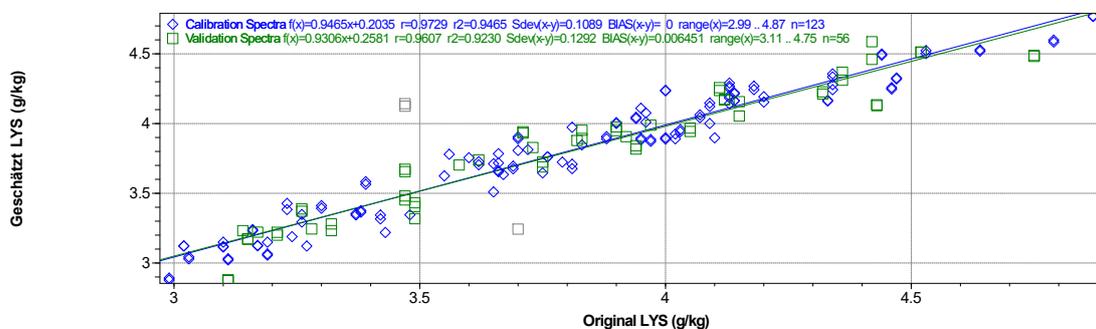


Abbildung 8: Kalibration von Lysin in Triticale – Original- und geschätzte Lysin-Gehalte in g/kg TS

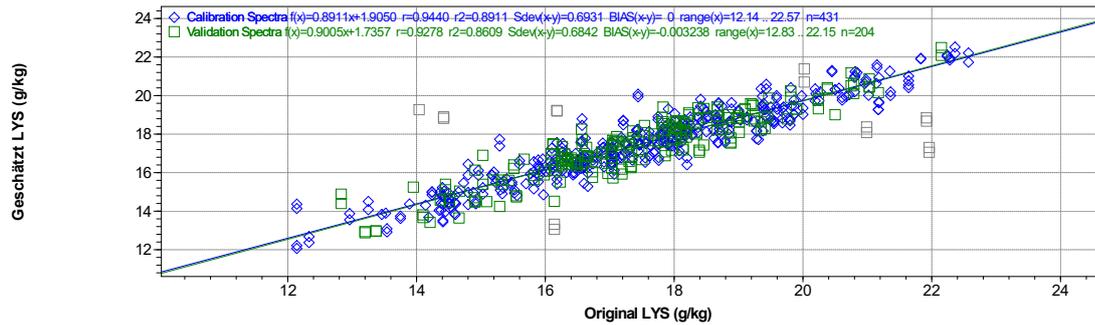


Abbildung 9: Kalibration von Lysin in Körnerleguminosen – Original- und geschätzte Lysin-Gehalte in g/kg TS

Für die Vorhersage der Aminosäuren in den Körnerleguminosen konnten gemeinsame Kalibrationsmodelle für alle Körnerleguminosenarten entwickelt werden (Tabelle 25). Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Kalibration für Lysin in den Körnerleguminosen, die mit einem Fehler von 0,7 % als gut eingeschätzt werden kann. Auch für alle anderen Aminosäuren wurden gute Kalibrationen erhalten. Die größten Probleme bereitet nach wie vor das Methionin, was aufgrund seiner extrem niedrigen Gehalte sehr schwer vorherzusagen ist.

Tabelle 25: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Schätzung der Aminosäuren in Körnerleguminosen

	Spannweite (g/kg TS)	SEE	R _{Kal}	SEP	R _{Val}
Ackerbohnen, Futtererbsen, Blaue Lupinen					
Lysin	12,1 – 22,6	0,7	0,94	0,7	0,93
Methionin	1,7 – 2,8	0,09	0,90	0,09	0,88
Cystein	1,8 – 7,6	0,21	0,96	0,23	0,95
Threonin	6,1 – 14,5	0,39	0,97	0,41	0,96
Tryptophan	1,2 – 3,3	0,11	0,96	0,12	0,95
Isoleucin	6,5 – 15,9	0,28	0,99	0,28	0,99
Leucin	10,7 – 29,4	0,51	0,99	0,52	0,99
Valin	7,5 – 14,9	0,33	0,98	0,32	0,98
Arginin	10,1 – 44,0	1,1	0,99	1,1	0,99
Histidin	3,9 – 18,9	0,84	0,96	0,84	0,96
Phenylalanin	7,6 -16,8	0,38	0,97	0,38	0,97
Tyrosin	4,9 – 13,0	0,27	0,98	0,33	0,98
Alanin	7,0 – 13,7	0,26	0,98	0,28	0,97
Glycin	6,9 – 16,6	0,32	0,99	0,32	0,99
Serin	7,2 – 20,0	0,49	0,98	0,50	0,98
Prolin	6,1 – 16,8	0,36	0,99	0,37	0,99
Asparagin	17,9 – 43,7	0,94	0,98	0,94	0,98
Glutamin	24,1 – 92,1	1,30	1,0	1,30	1,0

SEE= Standardfehler der Kalibration (Estimation); SEP = Standardfehler der Validierung (Prediction);

R_{Kal} = Regressionskoeffizient der Kalibrierung; R_{Val} = Regressionskoeffizient der Validierung

4.2.3 B-Vitamine

Eine Schätzung der B-Vitamine mittels NIRS war bisher nicht zufriedenstellend. Abbildung 10 zeigt beispielhaft die Kalibration für Vitamin B1 in Getreide. Mit einer Steigung der Kalibrationsgeraden von 0,5 ist es leider nicht möglich, eine erfolgreiche Kalibration zu entwickeln. Die Ursachen hierfür müssen noch geklärt werden.

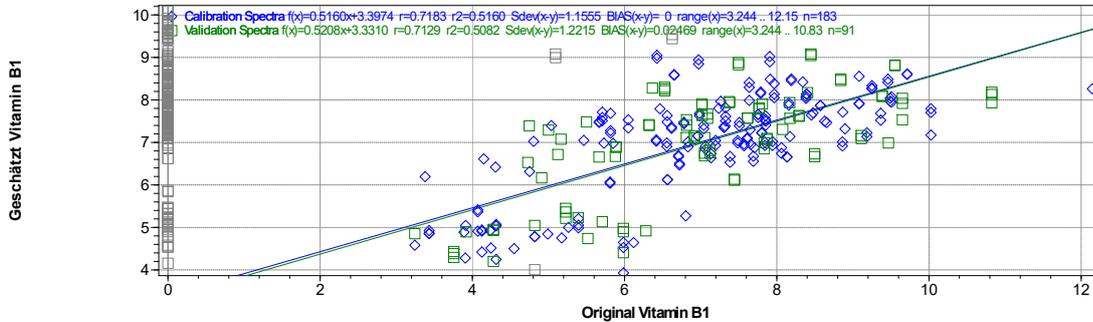


Abbildung 10: Kalibration von Vitamin B₁ in Getreide – Original- und geschätzte Vitamin B₁-Gehalte in mg/kg TS

4.2.4 In vitro Verdaulichkeit

Die mit Hilfe der *in vitro* Methode zur Bestimmung der Verdaulichkeit des XP ermittelten Verdaulichkeitskoeffizienten wurden in ein NIR-Kalibrationsmodell eingearbeitet. Abbildung 11 zeigt dies beispielhaft für alle Getreidearten.

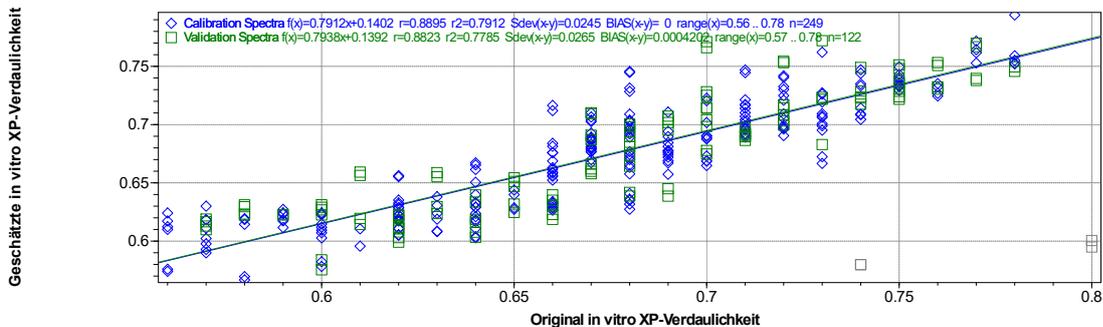


Abbildung 11: Kalibration der *in vitro* XP-Verdaulichkeit in Getreide – Original- und geschätzte *in vitro* XP-Verdaulichkeitskoeffizienten

Tabelle 26: Statistische Kennzahlen der NIRS-Kalibrationen zur Vorhersage der *in vitro* XP Verdaulichkeitskoeffizienten (DC) in Getreide und Körnerleguminosen

	Spannbreite	SEE	R _{Kal}	SEP	R _{Val}
Getreide					
<i>In vitro</i> XP-DC	0,56 – 0,78	0,024	0,89	0,026	0,88
Körnerleguminosen					
<i>In vitro</i> XP-DC	0,57 – 0,75	0,022	0,93	0,018	0,89

SEE = Standardfehler der Kalibration; SEP = Standardfehler der Validierung (Prediction); R_{Kal} = Korrelationskoeffizient der Kalibrierung; R_{Val} = Korrelationskoeffizient der Validierung

Die Qualitätsparameter zur Beurteilung der Güte der Kalibrationen für Getreide (Tabelle 26), aber auch für Körnerleguminosen sehen mit Regressionskoeffizienten von 0,88 und 0,89 vielversprechend aus. Hier bedarf es aber weiterer Untersuchungen, die bei der *in vitro* Methode ansetzen müssen und dann auch bei der NIR fortgeführt werden können.

4.3 Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren

4.3.1 *In vivo* Verdaulichkeit - Ackerbohne und Futtererbse

Die Regressionen zwischen aufgenommener und verdauter Menge des XP und der AS waren linear, wie am Beispiel von Lysin in der Abbildung 12 zu sehen.

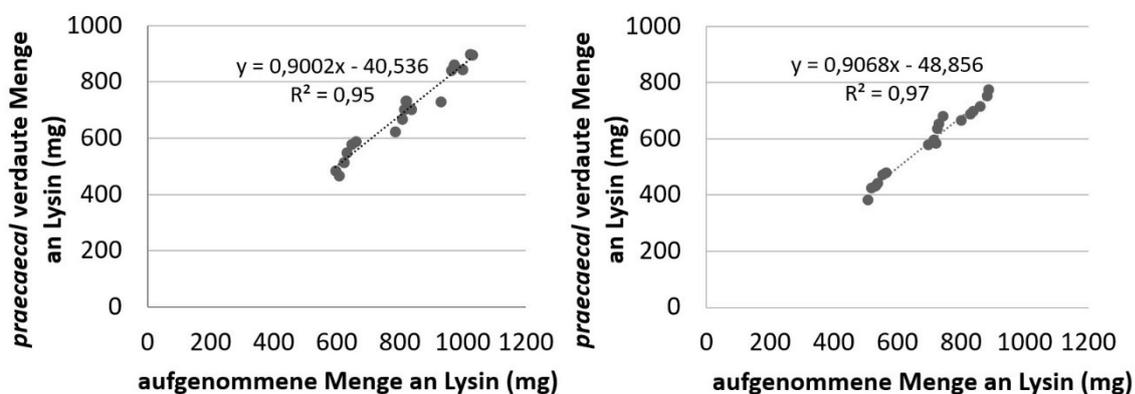


Abbildung 12: Bivariate Anpassung von verdauter Menge Lysin nach aufgenommener Menge Lysin aus Ackerbohnen und Futtererbsen pro Tag

Tabelle 27: *Praecaecale* Verdaulichkeitskoeffizienten (pcSDC) des XP und der AS von ökologisch erzeugten Ackerbohnen und Futtererbsen ermittelt mittels eines linearen Regressionsansatzes in 21 Tage alten Mastbroilern (modifiziert nach Witten *et al.* 2018)

	Ackerbohne			Futtererbse		
	pcSDC	SE	R ²	pcSDC	SE	R ²
XP	0,84	0,048	0,95	0,81	0,050	0,94
Lysin	0,90	0,050	0,95	0,91	0,042	0,97
Methionin	0,97	0,096	0,85	0,90	0,078	0,89
Cystin	0,80	0,099	0,81	0,70	0,053	0,91
Threonin	0,88	0,058	0,93	0,87	0,050	0,95
Tryptophan	0,81	0,081	0,86	0,78	0,071	0,88
Leucin	0,87	0,048	0,95	0,83	0,050	0,94
Isoleucin	0,86	0,050	0,95	0,82	0,050	0,94
Valin	0,86	0,051	0,95	0,81	0,054	0,93
Arginin	0,93	0,024	0,99	0,89	0,040	0,97
Histidin	0,93	0,034	0,98	0,90	0,039	0,97
Phenylalanin	0,87	0,048	0,95	0,82	0,043	0,96
Tyrosin	0,86	0,047	0,95	0,82	0,049	0,94
Alanin	0,86	0,050	0,95	0,82	0,057	0,92
Glycin	0,83	0,055	0,93	0,80	0,051	0,94
Serin	0,86	0,060	0,92	0,79	0,054	0,93
Prolin	0,89	0,041	0,97	0,86	0,045	0,96
Asparaginsäure	0,86	0,033	0,98	0,77	0,044	0,94
Glutaminsäure	0,92	0,029	0,99	0,89	0,036	0,97
Gesamtaminosäuren	0,90	0,042	0,97	0,84	0,045	0,95

Insgesamt konnte im Verdaulichkeitsversuch mit jungen Broilern eine hohe *praecaecale* Verdaulichkeit des XP und der AS festgestellt werden (Tabelle 27).

4.3.2 *In vitro* Verdaulichkeit

Es wurden große Unterschiede in der *in vitro* Verdaulichkeit aller Sorten beobachtet. Die *in vitro* Verdaulichkeit von Arginin und Methionin, die im Winterweizen als Futter für 21-tägige alte Masthühner (Tabelle 28) analysiert wurde, war hoch und erreichte für eine Probe 100 %.

Tabelle 28: Koeffizienten der *in vitro* XP- (XP) und AS-Verdaulichkeit* von ausgewählten Getreide- und Körnerleguminosenarten als Futtermittel für 21 Tage alte Broiler

	Winterweizen (43) <i>Triticum aestivum L.</i>	Winterroggen (50) <i>Secale cereale L.</i>	Wintertriticale (48) <i>Triticosecale</i>	Wintergerste (15) <i>Hordeum vulgare L.</i>	Sommergerste (39) <i>Hordeum vulgare L.</i>	Futtererbse (37) <i>Pisum sativum L.</i>	Ackerbohne (44) <i>Vicia faba L.</i>
XP	0,88 ± 0,02 ^e 0,82 - 0,92	0,83 ± 0,03 ^c 0,78 - 0,87	0,85 ± 0,02 ^d 0,82 - 0,91	0,80 ± 0,03 ^b 0,75 - 0,85	0,78 ± 0,02 ^a 0,74 - 0,84	0,84 ± 0,04 ^{cd} 0,76 - 0,90	0,77 ± 0,03 ^a 0,70 - 0,87
Lys	0,94 ± 0,03 0,86 - 0,99	0,86 ± 0,03 0,80 - 0,93	0,90 ± 0,03 0,85 - 0,98	0,83 ± 0,04 0,76 - 0,90	0,80 ± 0,03 0,75 - 0,88	0,89 ± 0,05 0,77 - 0,96	0,79 ± 0,04 0,70 - 0,92
Met	0,95 ± 0,03 0,88 - 1,00	0,88 ± 0,03 0,82 - 0,94	0,91 ± 0,02 0,87 - 0,99	0,85 ± 0,04 0,78 - 0,91	0,82 ± 0,03 0,77 - 0,90	0,90 ± 0,05 0,79 - 0,97	0,81 ± 0,03 0,72 - 0,94
Cys	0,86 ± 0,06 0,73 - 0,95	0,74 ± 0,06 0,62 - 0,85	0,80 ± 0,04 0,72 - 0,92	0,68 ± 0,07 0,56 - 0,79	0,63 ± 0,05 0,54 - 0,77	0,77 ± 0,09 0,58 - 0,90	0,62 ± 0,06 0,45 - 0,84
Thr	0,90 ± 0,03 0,84 - 0,93	0,84 ± 0,03 0,79 - 0,89	0,86 ± 0,02 0,83 - 0,92	0,81 ± 0,03 0,76 - 0,86	0,79 ± 0,02 0,75 - 0,85	0,85 ± 0,04 0,77 - 0,91	0,78 ± 0,03 0,71 - 0,88
Trp	0,88 ± 0,03 0,81 - 0,92	0,81 ± 0,03 0,75 - 0,87	0,84 ± 0,02 0,80 - 0,91	0,78 ± 0,04 0,71 - 0,84	0,75 ± 0,03 0,70 - 0,83	0,83 ± 0,19 0,72 - 0,90	0,75 ± 0,03 0,65 - 0,86
Ile	0,89 ± 0,02 0,85 - 0,91	0,85 ± 0,02 0,82 - 0,88	0,87 ± 0,01 0,85 - 0,90	0,83 ± 0,02 0,80 - 0,86	0,82 ± 0,02 0,80 - 0,86	0,86 ± 0,02 0,81 - 0,89	0,82 ± 0,02 0,77 - 0,88
Leu	0,89 ± 0,02 0,85 - 0,92	0,85 ± 0,02 0,82 - 0,89	0,87 ± 0,01 0,85 - 0,91	0,84 ± 0,02 0,80 - 0,87	0,82 ± 0,02 0,79 - 0,86	0,86 ± 0,03 0,81 - 0,90	0,82 ± 0,02 0,77 - 0,88
Val	0,89 ± 0,02 0,84 - 0,92	0,84 ± 0,02 0,81 - 0,88	0,86 ± 0,02 0,84 - 0,91	0,82 ± 0,02 0,78 - 0,86	0,81 ± 0,02 0,78 - 0,85	0,86 ± 0,03 0,79 - 0,90	0,80 ± 0,02 0,75 - 0,88
Arg	0,96 ± 0,03 0,88 - 1,00	0,88 ± 0,03 0,81 - 0,94	0,91 ± 0,03 0,87 - 0,99	0,85 ± 0,04 0,77 - 0,91	0,82 ± 0,03 0,76 - 0,90	0,90 ± 0,05 0,79 - 0,97	0,81 ± 0,04 0,71 - 0,94
His	0,93 ± 0,03 0,85 - 0,98	0,86 ± 0,03 0,79 - 0,92	0,89 ± 0,03 0,84 - 0,97	0,82 ± 0,04 0,75 - 0,89	0,79 ± 0,03 0,74 - 0,87	0,88 ± 0,05 0,76 - 0,95	0,78 ± 0,04 0,68 - 0,92
Phe	0,88 ± 0,03 0,82 - 0,92	0,83 ± 0,03 0,77 - 0,87	0,85 ± 0,02 0,82 - 0,91	0,80 ± 0,03 0,74 - 0,85	0,77 ± 0,03 0,73 - 0,84	0,84 ± 0,04 0,75 - 0,90	0,77 ± 0,03 0,69 - 0,87
Tyr	0,90 ± 0,02 0,85 - 0,94	0,85 ± 0,02 0,81 - 0,90	0,88 ± 0,02 0,85 - 0,93	0,83 ± 0,03 0,78 - 0,87	0,81 ± 0,02 0,77 - 0,87	0,87 ± 0,03 0,79 - 0,92	0,81 ± 0,02 0,74 - 0,89
Ala	0,88 ± 0,02 0,83 - 0,90	0,84 ± 0,02 0,80 - 0,87	0,85 ± 0,01 0,83 - 0,90	0,82 ± 0,02 0,78 - 0,85	0,80 ± 0,02 0,77 - 0,85	0,85 ± 0,03 0,78 - 0,89	0,80 ± 0,02 0,74 - 0,87
Gly	0,88 ± 0,03 0,81 - 0,92	0,81 ± 0,03 0,75 - 0,87	0,84 ± 0,02 0,80 - 0,91	0,78 ± 0,04 0,72 - 0,84	0,75 ± 0,03 0,71 - 0,83	0,83 ± 0,04 0,73 - 0,89	0,75 ± 0,03 0,66 - 0,86
Ser	0,89 ± 0,03 0,83 - 0,93	0,83 ± 0,03 0,78 - 0,88	0,86 ± 0,02 0,82 - 0,92	0,80 ± 0,03 0,75 - 0,85	0,78 ± 0,03 0,74 - 0,84	0,85 ± 0,04 0,76 - 0,90	0,77 ± 0,03 0,70 - 0,88
Pro	0,89 ± 0,02 0,84 - 0,92	0,84 ± 0,02 0,80 - 0,88	0,86 ± 0,02 0,83 - 0,91	0,82 ± 0,03 0,77 - 0,86	0,80 ± 0,02 0,76 - 0,85	0,86 ± 0,03 0,78 - 0,90	0,79 ± 0,02 0,73 - 0,88
Asp	0,89 ± 0,02 0,85 - 0,92	0,85 ± 0,02 0,82 - 0,88	0,87 ± 0,01 0,84 - 0,91	0,83 ± 0,02 0,79 - 0,87	0,82 ± 0,02 0,79 - 0,86	0,86 ± 0,03 0,80 - 0,90	0,81 ± 0,02 0,76 - 0,88
Glu	0,92 ± 0,03 0,85 - 0,97	0,85 ± 0,03 0,79 - 0,91	0,89 ± 0,02 0,84 - 0,96	0,82 ± 0,04 0,75 - 0,88	0,79 ± 0,03 0,74 - 0,87	0,83 ± 0,04 0,76 - 0,89	0,79 ± 0,03 0,70 - 0,91

*Mittelwerte und Standardabweichung sowie Spannweiten; Lys = Lysin; Thr = Threonin; Met = Methionin; Cys = Cystin; Trp = Tryptophan; Ile = Isoleucin; Leu = Leucin; Val = Valin; His = Histidin; Phe = Phenylalanin; Tyr = Tyrosin; Arg = Arginin; Ala = Alanin; Gly = Glycin; Ser = Serin; Pro = Prolin; Asp = Asparaginsäure; Glu = Glutaminsäure; Hochbuchstaben markieren signifikante Unterschiede zwischen Spalten (p<0.05) und sind analog zwischen XP und allen AS

Da die Gleichungen zur Schätzung der *in vitro* AS-Verdaulichkeit auf der XP-Verschwindensrate basierten, waren die Unterschiede aller AS-Verdaulichkeitskoeffizienten analog zu denen des *in vitro* XP-Verdaulichkeitskoeffizienten. Die *in vitro* Verdaulichkeitsgleichungen, die zur Vorhersage der *praecaecalen* Verdaulichkeit von XP und AS bei 21-tägigen Masthühnern verwendet wurden, ergaben höhere Verdaulichkeitskoeffizienten als die Gleichungen für 42-tägige Masthühner. So waren die Koeffizienten der *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeit in allen Kulturen für 42 Tage alte Masthähnchen niedriger als für 21 Tage alte Masthähnchen (Tabelle 29).

Tabelle 29: Koeffizienten der *in vitro* XP- (XP) und AS-Verdaulichkeit* von ausgewählten Getreide- und Körnerleguminosenarten als Futtermittel für 42 Tage alte Broiler

	Winterweizen (43) <i>Triticum aestivum L.</i>	Winterroggen (50) <i>Secale cereale L.</i>	Wintertriticale (48) <i>Triticosecale</i>	Wintergerste (15) <i>Hordeum vulgare L.</i>	Sommergerste (39) <i>Hordeum vulgare L.</i>	Futtererbse (37) <i>Pisum sativum L.</i>	Ackerbohne (44) <i>Vicia faba L.</i>
XP	0,86 ± 0,03 ^e 0,80 - 0,90	0,81 ± 0,03 ^c 0,75 - 0,85	0,83 ± 0,02 ^d 0,80 - 0,89	0,78 ± 0,03 ^b 0,72 - 0,83	0,76 ± 0,02 ^a 0,71 - 0,82	0,82 ± 0,04 ^{cd} 0,73 - 0,88	0,75 ± 0,03 ^a 0,68 - 0,85
Lys	0,87 ± 0,03 0,80 - 0,91	0,80 ± 0,03 0,75 - 0,86	0,83 ± 0,02 0,79 - 0,90	0,77 ± 0,04 0,71 - 0,83	0,75 ± 0,03 0,70 - 0,82	0,82 ± 0,04 0,72 - 0,88	0,74 ± 0,03 0,66 - 0,85
Met	0,93 ± 0,03 0,87 - 0,97	0,87 ± 0,03 0,81 - 0,92	0,90 ± 0,02 0,86 - 0,96	0,84 ± 0,03 0,78 - 0,89	0,82 ± 0,03 0,77 - 0,88	0,89 ± 0,04 0,79 - 0,95	0,81 ± 0,03 0,73 - 0,92
Cys	0,79 ± 0,04 0,70 - 0,84	0,71 ± 0,04 0,64 - 0,77	0,74 ± 0,03 0,69 - 0,82	0,67 ± 0,04 0,59 - 0,74	0,64 ± 0,03 0,58 - 0,72	0,73 ± 0,05 0,61 - 0,81	0,63 ± 0,04 0,53 - 0,77
Thr	0,83 ± 0,02 0,77 - 0,86	0,77 ± 0,02 0,72 - 0,82	0,80 ± 0,02 0,76 - 0,85	0,75 ± 0,03 0,70 - 0,79	0,73 ± 0,02 0,69 - 0,79	0,79 ± 0,04 0,71 - 0,84	0,72 ± 0,03 0,65 - 0,81
Trp	0,85 ± 0,04 0,77 - 0,90	0,77 ± 0,04 0,70 - 0,84	0,80 ± 0,03 0,76 - 0,88	0,73 ± 0,04 0,66 - 0,80	0,70 ± 0,03 0,65 - 0,79	0,79 ± 0,07 0,67 - 0,87	0,70 ± 0,04 0,59 - 0,83
Ile	0,84 ± 0,03 0,77 - 0,89	0,78 ± 0,03 0,72 - 0,83	0,81 ± 0,02 0,77 - 0,88	0,74 ± 0,04 0,68 - 0,80	0,72 ± 0,03 0,67 - 0,79	0,79 ± 0,05 0,69 - 0,86	0,71 ± 0,03 0,62 - 0,83
Leu	0,88 ± 0,02 0,83 - 0,91	0,83 ± 0,02 0,79 - 0,87	0,85 ± 0,02 0,82 - 0,90	0,81 ± 0,03 0,76 - 0,85	0,79 ± 0,02 0,75 - 0,84	0,84 ± 0,03 0,77 - 0,89	0,78 ± 0,02 0,72 - 0,87
Val	0,86 ± 0,03 0,80 - 0,90	0,81 ± 0,03 0,75 - 0,86	0,83 ± 0,02 0,80 - 0,89	0,78 ± 0,03 0,72 - 0,83	0,76 ± 0,02 0,71 - 0,82	0,82 ± 0,04 0,73 - 0,88	0,75 ± 0,03 0,68 - 0,85
Arg	0,88 ± 0,03 0,81 - 0,92	0,81 ± 0,03 0,75 - 0,87	0,84 ± 0,02 0,80 - 0,91	0,78 ± 0,04 0,71 - 0,84	0,75 ± 0,03 0,70 - 0,83	0,83 ± 0,05 0,72 - 0,90	0,74 ± 0,03 0,65 - 0,86
His	0,85 ± 0,04 0,75 - 0,91	0,76 ± 0,04 0,67 - 0,83	0,80 ± 0,03 0,74 - 0,89	0,71 ± 0,05 0,63 - 0,79	0,68 ± 0,04 0,61 - 0,78	0,78 ± 0,06 0,64 - 0,87	0,67 ± 0,04 0,55 - 0,83
Phe	0,86 ± 0,03 0,80 - 0,90	0,80 ± 0,03 0,75 - 0,86	0,83 ± 0,02 0,80 - 0,89	0,78 ± 0,03 0,72 - 0,83	0,75 ± 0,03 0,71 - 0,82	0,82 ± 0,04 0,73 - 0,88	0,75 ± 0,03 0,67 - 0,85
Tyr	0,85 ± 0,02 0,79 - 0,89	0,80 ± 0,03 0,75 - 0,84	0,82 ± 0,02 0,79 - 0,88	0,77 ± 0,03 0,72 - 0,82	0,75 ± 0,02 0,71 - 0,81	0,81 ± 0,04 0,73 - 0,87	0,74 ± 0,03 0,67 - 0,84
Ala	0,81 ± 0,01 0,78 - 0,84	0,78 ± 0,01 0,75 - 0,81	0,80 ± 0,01 0,78 - 0,83	0,77 ± 0,02 0,74 - 0,80	0,75 ± 0,01 0,73 - 0,79	0,79 ± 0,02 0,74 - 0,82	0,75 ± 0,02 0,71 - 0,81
Gly	0,81 ± 0,03 0,74 - 0,85	0,74 ± 0,03 0,68 - 0,80	0,77 ± 0,02 0,73 - 0,84	0,71 ± 0,04 0,65 - 0,77	0,68 ± 0,03 0,64 - 0,76	0,76 ± 0,05 0,66 - 0,82	0,68 ± 0,03 0,59 - 0,79
Ser	0,86 ± 0,02 0,80 - 0,89	0,80 ± 0,02 0,76 - 0,85	0,83 ± 0,02 0,80 - 0,88	0,78 ± 0,03 0,73 - 0,83	0,76 ± 0,02 0,72 - 0,82	0,82 ± 0,04 0,74 - 0,87	0,75 ± 0,03 0,68 - 0,85
Pro	0,88 ± 0,03 0,82 - 0,92	0,82 ± 0,03 0,77 - 0,87	0,85 ± 0,02 0,81 - 0,91	0,79 ± 0,03 0,73 - 0,84	0,77 ± 0,03 0,73 - 0,83	0,84 ± 0,04 0,74 - 0,90	0,76 ± 0,03 0,68 - 0,87
Asp	0,79 ± 0,02 0,75 - 0,81	0,75 ± 0,02 0,72 - 0,79	0,77 ± 0,01 0,75 - 0,81	0,74 ± 0,02 0,70 - 0,77	0,72 ± 0,02 0,70 - 0,76	0,76 ± 0,02 0,71 - 0,80	0,72 ± 0,02 0,68 - 0,78
Glu	0,90 ± 0,02 0,85 - 0,93	0,85 ± 0,02 0,80 - 0,89	0,87 ± 0,02 0,84 - 0,92	0,83 ± 0,03 0,78 - 0,87	0,81 ± 0,02 0,77 - 0,86	0,86 ± 0,03 0,79 - 0,91	0,80 ± 0,02 0,73 - 0,89

*Mittelwerte und Standardabweichung sowie Spannweiten; Lys = Lysin; Thr = Threonin; Met = Methionin; Cys = Cystin; Trp = Tryptophan; Ile = Isoleucin; Leu = Leucin; Val = Valin; His = Histidin; Phe = Phenylalanin; Tyr = Tyrosin; Arg = Arginin; Ala = Alanin; Gly = Glycin; Ser = Serin; Pro = Prolin; Asp = Asparaginsäure; Glu = Glutaminsäure; Hochbuchstaben markieren signifikante Unterschiede zwischen Spalten (p<0.05) und sind analog zwischen XP und allen AS

Die Unterschiede zwischen den Kulturen waren analog zu denen, die für 21-tägige Masthühner beschrieben wurden. Im Winterweizen und in der Wintertriticale waren XP und AS hochverdaulich. Winterroggen und Futtererbsen hatten auch eine hohe *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeit. Sie variierte jedoch etwas mehr und ihr Minimum war niedriger. Die *in vitro* Verdaulichkeit von XP und AS war bei Sommergerste und Ackerbohnen am geringsten (statistisch signifikant, $p < 0,05$). Darüber hinaus wurde die größte Variation bei den Ackerbohnen beobachtet (0,17).

4.4 Effekt von Sorte und Umweltbedingungen

4.4.1 Rohnährstoffe und Aminosäuren

Die Effekte von Sorten und Umweltbedingungen auf die Rohnährstoffe und die Aminosäuren werden im nachfolgenden Kapitel auf Grundlage der Ergebnisse der NIR-Schätzungen vorgenommen, da dadurch deutlich mehr Proben in die Auswertung einbezogen werden konnten als wenn nur mit den Referenzdaten gerechnet würde.

Tabelle 30: F-Werte der Faktoren, die den Gehalt an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren in ausgewählten Getreidesorten und Körnerleguminosen signifikant ($p < 0,05$) beeinflussen

Kultur	n	Faktor	df	Rohprotein	Lysin	Methionin	Cystein	Threonin	Tryptophan
Getreide									
Winterweizen	174	Sorte	15	66,16	50,03	48,42	61,55	48,58	64,1
		Standort	7	42,8	94,18	63,37	46,99	51,65	98,67
		Anbaujahr	2	128,73	530,77	356,66	603,44	266,66	404,13
Sommerweizen	71	Sorte	7		27,85	32,7	40,76		
		Standort	4	14,92	170,27	202,64	236,9	14,76	12,93
		Anbaujahr	2		150,27		34,02		
Winterroggen	117	Sorte	8	2,47	39,31	38,09	5,5	29,9	
		Standort	6	12,73	240,86	175,85	21,31	131,88	13,43
		Anbaujahr	2	31,97	242,66	864	101,34	224,13	26,53
Wintertriticale	102	Sorte	8			3,85	53,55		
		Standort	6	37,29	20,81	42,14	307,86	26,57	22,94
		Anbaujahr	2	18,33	62,736	33,72	282,1	22,78	29,57
Wintergerste	36	Sorte	6						
		Versuch	4	27,6	33,7	25,01	16,14	37,34	36,8
Sommergerste	56	Sorte	7	32,03					
		Standort	3	259,63	10,61	56,93	56,93	122,18	12,63
		Anbaujahr	2	26,59	25,93	732,07	732,07	39,37	
Hafer	96	Sorte	8	38,93	59,9	42,02	39,45	83,21	28,32
		Standort	5	658,43	824,18	534,7	221,532	762,74	521,05
		Anbaujahr	2	99,11	73,67		40,14	155,95	111,96
Körnerleguminosen									
Ackerbohne	51	Sorte	8	31,57	40,50	49,24		66,34	33,98
		Standort	3	256,61	71,99	64,55	47,90	164,98	87,95
		Anbaujahr	1		150,05	667,35	100,72	318,54	310,09
Futtererbse	74	Sorte	7	47,10	30,52				44,86
		Standort	4	325,08	138,06	299,4	70,06	19,63	270,98
		Anbaujahr	2	162,37	382,04	45,51	450,65	12,43	780,19
Blaue Lupine	31	Sorte	4	51,208				41,82	31,86
		Standort	3	251,68	68,96	27,59		256,25	240,03
		Anbaujahr	2			165,76	38,08		

Die Faktoren Sorte, Anbaujahr und Anbauort beeinflussten die Nährstoffzusammensetzung der Kulturen unterschiedlich (Tabelle 30). In Winterweizen beeinflussten alle drei Prüffaktoren die

Gehalte an Rohprotein, Lysin, Methionin, Cystein, Threonin und Tryptophan (Tabelle 31). Der geringste Rohproteingehalt wurde in der Sorte Hermann beobachtet. Wiwa hingegen enthielt im Mittel 3,3 % mehr Rohprotein in der Trockensubstanz. Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den Aminosäuregehalten wider. Zwischen den Standorten wurden nicht signifikante Unterschiede von bis zu 1,7 % Rohprotein in der Trockensubstanz beobachtet, während die Aminosäuregehalte signifikante Unterschiede aufwiesen.

Tabelle 31: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Winterweizen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein		Lysin		Methionin		Cystein		Threonin		Tryptophan	
Sorte												
Akteur	11,7	0,24 ^{bcegi}	3,5	0,05 ^{abc}	1,9	0,03 ^{abcdef}	2,9	0,05 ^{defghi}	3,4	0,06 ^{bcdef}	1,3	0,02 ^{bcef}
Arnold	13,0	0,33 ^{kl}	3,7	0,06 ^{def}	2,1	0,05 ^{gh}	3,0	0,09 ^{ij}	3,7	0,09 ^{gh}	1,5	0,04 ^{ij}
Butaro	12,4	0,21 ^{jk}	3,6	0,04 ^{cde}	2,0	0,03 ^{efg}	3,0	0,05 ^{ghi}	3,5	0,05 ^{dfg}	1,4	0,02 ^{hi}
Capo	12,1	0,26 ^{dffhk}	3,5	0,04 ^{abcde}	2,0	0,04 ^{cdefg}	2,9	0,06 ^{defghi}	3,5	0,07 ^{bcdefg}	1,4	0,03 ^{dghi}
Discus	10,9	0,16 ^b	3,4	0,04 ^a	1,8	0,02 ^a	2,5	0,06 ^{ac}	3,2	0,04 ^a	1,2	0,02 ^{abe}
Estevan	11,7	0,27 ^{bcdefghijk}	3,5	0,05 ^{abcde}	1,9	0,03 ^{bcdefg}	2,6	0,08 ^{abcdef}	3,4	0,05 ^{abcdefg}	1,3	0,02 ^{cdgghi}
Florian	11,5	0,27 ^{bcdefghij}	3,5	0,07 ^{abcd}	1,9	0,04 ^{abcde}	2,7	0,08 ^{bdefgh}	3,3	0,08 ^{abcd}	1,3	0,04 ^{bcdefgh}
Genius	11,7	0,16 ^{cdefghij}	3,5	0,03 ^{ab}	1,9	0,02 ^{bcdef}	2,8	0,07 ^{bdeg}	3,3	0,04 ^{abcdef}	1,3	0,02 ^{cdgghi}
Hermann	9,9	0,16 ^a	3,3	0,05 ^a	1,8	0,03 ^{abc}	2,5	0,06 ^{ab}	3,1	0,07 ^a	1,1	0,03 ^a
JB Asano	11,0	0,30 ^{bcdef}	3,3	0,06 ^a	1,8	0,05 ^{abcd}	2,6	0,07 ^{ab}	3,1	0,08 ^{abc}	1,2	0,04 ^{abcd}
Kerubino	11,6	0,49 ^{bcdefghijkl}	3,6	0,11 ^{abcdef}	1,9	0,08 ^{bcdefgh}	2,8	0,16 ^{bcdefghij}	3,4	0,14 ^{bcdefgh}	1,3	0,07 ^{efghij}
Lukullus	12,4	0,47 ^{cdefghijkl}	3,7	0,08 ^{ef}	2,1	0,06 ^{fgh}	3,1	0,10 ^{fhij}	3,6	0,12 ^{efgh}	1,4	0,05 ^{ghij}
Naturastar	11,5	0,23 ^{bcdfgh}	3,4	0,04 ^a	1,9	0,03 ^{ab}	2,7	0,06 ^{abd}	3,3	0,06 ^{abe}	1,3	0,02 ^{bcdefg}
Philip	12,4	0,55 ^{ghijkl}	3,6	0,12 ^{abcdef}	2,0	0,09 ^{bcdefgh}	3,1	0,14 ^{cefg hij}	3,6	0,15 ^{abcdefgh}	1,4	0,07 ^{efghij}
Scaro	12,4	0,25 ^{efijk}	3,6	0,05 ^{bcde}	2,0	0,04 ^{defg}	3,0	0,07 ^{efghi}	3,5	0,07 ^{cdfig}	1,4	0,03 ^{hi}
Wiwa	13,2	0,29 ^l	3,8	0,06 ^f	2,1	0,04 ^h	3,2	0,07 ^j	3,7	0,08 ^h	1,5	0,03 ^j
Standort												
1	11,6	0,58 ^a	3,6	0,12 ^{ab}	2,0	0,08 ^{ab}	2,8	0,15 ^{ab}	3,4	0,16 ^{ab}	1,3	0,06 ^{ab}
4	12,1	0,36 ^a	3,5	0,03 ^a	2,0	0,04 ^{ab}	2,9	0,08 ^{ab}	3,5	0,09 ^{ab}	1,3	0,03 ^a
7	11,8	0,71 ^a	3,5	0,14 ^{ab}	1,9	0,10 ^{ab}	2,9	0,08 ^{ab}	3,4	0,18 ^{ab}	1,3	0,08 ^{ab}
46	11,9	0,70 ^a	3,5	0,16 ^{ab}	2,0	0,11 ^{ab}	2,9	0,20 ^{ab}	3,4	0,20 ^{ab}	1,3	0,09 ^{ab}
48	12,8	0,27 ^a	3,8	0,04 ^b	2,1	0,02 ^b	3,1	0,06 ^b	3,7	0,05 ^b	1,5	0,02 ^b
51	11,1	0,58 ^a	3,2	0,16 ^{ab}	1,8	0,09 ^a	2,7	0,09 ^a	3,2	0,17 ^{ab}	1,2	0,08 ^a
53	11,2	0,42 ^a	3,5	0,07 ^{ab}	1,9	0,07 ^a	2,7	0,11 ^a	3,3	0,11 ^a	1,2	0,06 ^a
56	11,9	0,34 ^a	3,7	0,05 ^{ab}	2,0	0,05 ^{ab}	2,8	0,11 ^{ab}	3,5	0,10 ^{ab}	1,4	0,03 ^a
Anbaujahr												
2011	11,4	0,38 ^a	3,3	0,06 ^a	1,9	0,06 ^a	2,5	0,12 ^a	3,2	0,11 ^a	1,2	0,04 ^a
2012	11,5	0,37 ^a	3,5	0,06 ^b	1,9	0,05 ^a	2,8	0,07 ^b	3,4	0,10 ^{ab}	1,3	0,03 ^a
2013	12,4	0,36 ^a	3,8	0,08 ^c	2,1	0,05 ^b	3,1	0,07 ^c	3,6	0,09 ^b	1,5	0,04 ^b

Der Rohproteingehalt von Sommerweizen unterschied sich nur zwischen den geprüften Standorten. An zwei Standorten in Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern wurde Sommerweizen mit im Mittel 11,4 und 12,3 % Rohprotein in der Trockensubstanz geerntet, während an den übrigen Standorten in Niedersachsen und Schleswig-Holstein Sommerweizen mit höheren Rohproteingehalten geerntet wurde (Tabelle 32). Dennoch unterschieden sich die Sommerweizensorten hinsichtlich ihres Gehaltes an Lysin, Methionin und Cystein. CH Campala enthielt hohe Gehalte an Lysin und Methionin, aber geringe Gehalte an Cystein. Der Lysingehalt unterschied sich zudem signifikant zwischen den Jahren 2011 und 2012.

Tabelle 32: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Sommerweizen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	n	Rohprotein	Lysin	Methionin	Cystein	Threonin	Tryptophan					
Sorte												
CH Champala		4,0	0,04 ^c	2,3	0,03 ^d	2,8	0,05 ^a					
Eminent		3,8	0,05 ^{ab}	2,2	0,02 ^b	3,0	0,06 ^{ab}					
Epos		3,8	0,06 ^{abc}	2,1	0,02 ^{bcd}	3,3	0,07 ^b					
Granny		3,6	0,07 ^a	2,0	0,02 ^a	3,1	0,05 ^b					
Granus		3,9	0,09 ^{bc}	2,2	0,05 ^{bcd}	3,2	0,09 ^b					
KWS Chamsin		3,8	0,03 ^b	2,2	0,02 ^{bc}	3,1	0,05 ^b					
KWS Scirocco		3,9	0,03 ^b	2,2	0,02 ^{cd}	3,2	0,06 ^b					
Sonet		3,8	0,05 ^{ab}	2,2	0,05 ^{bcd}	3,1	0,06 ^b					
Standort												
6	14,4	0,21 ^c	4,0	0,05 ^c	2,3	0,02 ^c	3,4	0,03 ^c	4,0	0,05 ^b	1,6	0,01 ^b
7	12,3	0,66 ^{ab}	3,6	0,10 ^{ab}	2,1	0,08 ^{ab}	2,9	0,09 ^a	3,6	0,16 ^{ab}	1,4	0,08 ^{ab}
43	13,4	0,42 ^{bc}	3,9	0,04 ^{bc}	2,2	0,04 ^{bc}	3,2	0,03 ^b	3,8	0,07 ^b	1,5	0,04 ^b
46	11,4	0,20 ^a	3,6	0,05 ^a	2,0	0,03 ^a	2,7	0,08 ^a	3,4	0,04 ^a	1,3	0,02 ^a
54	14,0	0,61 ^{bc}	4,0	0,09 ^{bc}	2,3	0,05 ^{bc}	3,3	0,09 ^{bc}	3,9	0,12 ^b	1,5	0,04 ^b
Anbaujahr												
2011			4,0	0,05 ^b			3	3,0				
2012			3,7	0,06 ^a			3	3,2				
2013			3,8	0,06 ^{ab}			3	3,1				

Tabelle 33: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Winterroggen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein	Lysin	Methionin	Cystein	Threonin	Tryptophan						
Sorte												
Brasetto	8,3	0,42 ^{ab}	3,7	0,1 ^{ab}	1,5	0,05 ^{ab}	2,1	0,02 ^a	3,0	0,11 ^{ab}		
Conduct	9,0	0,22 ^{ab}	3,8	0,06 ^b	1,6	0,03 ^b	2,3	0,02 ^c	3,2	0,06 ^{ab}		
Dankowskie Diament	9,5	0,26 ^b	3,9	0,05 ^b	1,7	0,03 ^b	2,4	0,03 ^c	3,3	0,07 ^b		
Dukato	9,0	0,2 ^{ab}	3,8	0,04 ^b	1,6	0,02 ^b	2,3	0,04 ^{bc}	3,1	0,05 ^{ab}		
Elego	8,9	0,23 ^{ab}	3,8	0,05 ^b	1,6	0,03 ^b	2,3	0,03 ^c	3,1	0,05 ^{ab}		
Helltop	8,9	0,18 ^b	3,8	0,05 ^b	1,6	0,02 ^b	2,3	0,04 ^c	3,1	0,05 ^{ab}		
Likoro	9,3	0,3 ^b	3,9	0,06 ^b	1,6	0,03 ^b	2,3	0,03 ^c	3,2	0,07 ^b		
Palazzo	8,3	0,17 ^a	3,6	0,04 ^a	1,5	0,02 ^a	2,1	0,02 ^{ab}	3,0	0,04 ^a		
Recrut	8,2	0,46 ^{ab}	3,8	0,09 ^{ab}	1,5	0,06 ^{ab}	2,3	0,04 ^c	3,0	0,13 ^{ab}		
Standort												
1	8,3	0,27 ^{abc}	3,6	0,08 ^a	1,5	0,03 ^{ab}	2,2	0,02 ^{bc}	3,0	0,07 ^{abc}	1,0	0,04 ^{ab}
4	9,3	0,15 ^{cd}	3,9	0,03 ^b	1,6	0,02 ^c	2,4	0,03 ^{ef}	3,2	0,04 ^c	1,1	0,03 ^{cd}
5	10,3	0,23 ^e	4,2	0,06 ^d	1,8	0,03 ^d	2,5	0,03 ^f	3,5	0,05 ^d	1,2	0,02 ^d
7	8,4	0,13 ^{ab}	3,6	0,03 ^a	1,5	0,02 ^{ab}	2,1	0,02 ^b	3,0	0,03 ^b	1,0	0,02 ^b
45	7,8	0,2 ^a	3,5	0,05 ^a	1,4	0,02 ^a	2,0	0,02 ^a	2,8	0,05 ^a	0,9	0,02 ^a
46	8,6	0,2 ^{bc}	3,7	0,04 ^a	1,5	0,02 ^b	2,3	0,03 ^{cd}	3,1	0,05 ^{bc}	1,0	0,03 ^{ab}
53	9,5	0,16 ^d	4,0	0,03 ^c	1,6	0,02 ^c	2,4	0,03 ^{de}	3,2	0,04 ^c	1,1	0,02 ^c
Anbaujahr												
2011	9,7	0,36 ^c	4,0	0,09 ^b	1,8	0,04 ^c	2,6	0,04 ^c	3,3	0,09 ^c	1,1	0,04 ^b
2012	7,9	0,11 ^a	3,8	0,03 ^b	1,4	0,01 ^a	2,0	0,02 ^a	2,9	0,03 ^a	0,9	0,01 ^a
2013	9,0	0,12 ^b	3,6	0,03 ^a	1,6	0,01 ^b	2,2	0,02 ^b	3,1	0,03 ^b	10,8	0,01 ^b

In Winterroggen unterschieden sich die Sorten hinsichtlich ihres Gehaltes an Rohprotein und einigen Aminosäuren (Tabelle 33). Brasetto und Palazzo enthielten signifikant weniger Rohprotein, Lysin, Methionin, Cystein und Threonin als Likoro und Dankowskie Diament. Geringe Rohproteingehalte wurden in Proben von zwei Standorten in Mecklenburg-Vorpommern sowie einem Standort in Bayern gefunden. Während in Sachsen Winterroggen mit mittleren

Rohproteingehalten geerntet wurde, enthielten Proben von Standorten in Niedersachsen und Schleswig-Holstein im Mittel 9,3 % oder mehr Rohprotein in der Trockensubstanz. Zudem gab es Unterschiede zwischen den Anbaujahren und den Standorten der geernteten Winterroggenproben hinsichtlich der Gehalte aller geprüften Aminosäuren.

Der Rohproteingehalt von Wintertriticale unterschied sich zwischen Proben, die an verschiedenen Standorten oder in verschiedenen Jahren geerntet wurden (Tabelle 34). Im Jahr 2013 enthielt Wintertriticale signifikant höhere Gehalte an Rohprotein und den fünf geprüften Aminosäuren als im Jahr 2012. Geringe Rohproteingehalte wurden an Standorten in Sachsen, Bayern und Mecklenburg-Vorpommern beobachtet, während in Schleswig-Holstein und Niedersachsen wiederum höhere Gehalte gefunden wurden.

Tabelle 34: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Wintertriticale abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein	Lysin	Methionin	Cystein	Threonin	Tryptophan
Sorte						
Agostino			1,7 0,02 ^{bcd}	2,4 0,02 ^{bc}		
Amarillo			1,7 0,03 ^{abcd}	2,5 0,11 ^{abcd}		
Benetto			1,7 0,02 ^a	2,3 0,05 ^{ab}		
Cosinus			1,8 0,02 ^d	2,5 0,04 ^d		
KWS Aveo			1,7 0,02 ^{abc}	2,4 0,04 ^{abcd}		
Moderato			1,7 0,02 ^{abc}	2,3 0,07 ^{abcd}		
Sequenz			1,7 0,02 ^{ab}	2,2 0,03 ^a		
Tarzan			1,8 0,02 ^{cd}	2,5 0,04 ^{cd}		
Tulus			1,7 0,03 ^{ab}	2,3 0,04 ^{ab}		
Standort						
1	8,8 0,36 ^{ab}	3,5 0,1 ^a	1,6 0,04 ^{ab}	2,2 0,04 ^a	3,0 0,10 ^{ab}	1,0 0,06 ^{ab}
4	10,8 0,16 ^e	4,0 0,03 ^c	1,8 0,01 ^e	2,5 0,04 ^b	3,4 0,04 ^c	1,1 0,01 ^{bc}
7	9,2 0,35 ^{bc}	3,7 0,11 ^{abc}	1,6 0,04 ^{abc}	2,2 0,06 ^a	3,1 0,08 ^b	1,0 0,04 ^{abc}
45	8,2 0,16 ^a	3,5 0,1 ^{ab}	1,5 0,02 ^a	2,1 0,06 ^a	2,9 0,03 ^a	0,9 0,02 ^a
46	9,7 0,29 ^{bcd}	3,8 0,08 ^{abc}	1,7 0,04 ^{bcd}	2,4 0,05 ^b	3,2 0,07 ^{bc}	1,1 0,03 ^{bc}
53	11,5 0,53 ^{de}	4,3 0,19 ^c	1,9 0,06 ^{de}	2,8 0,07 ^c	3,6 0,11 ^c	1,2 0,06 ^c
54	10,5 0,50 ^{cd}	4,0 0,18 ^{bc}	1,8 0,07 ^{cd}	2,6 0,1 ^{bc}	3,5 0,14 ^{bc}	1,2 0,07 ^{bc}
Anbaujahr						
2011	9,9 0,22 ^{ab}	3,8 0,1 ^b	1,7 0,02 ^b	2,2 0,05 ^a	3,2 0,07 ^a	1,0 0,04 ^a
2012	9,3 0,21 ^a	3,5 0,07 ^a	1,6 0,03 ^a	2,4 0,03 ^b	3,2 0,05 ^a	1,0 0,03 ^a
2013	10,3 0,27 ^b	4,1 0,08 ^c	1,8 0,03 ^c	2,6 0,04 ^c	3,4 0,05 ^b	1,2 0,03 ^b

Die Gehalte an Rohprotein und allen geprüften Aminosäuren unterschieden sich zwischen den betrachteten Anbauversuchen der Wintergerste. Die Proben, die in den Versuchen im Jahr 2012 geerntet wurden, enthielten signifikant geringere Gehalte an Rohprotein und den geprüften Aminosäuren als die Proben, die im Jahr 2013 geerntet wurden. Obwohl die Sorte einen Einfluss auf den Rohproteingehalt in Sommergerste hatte, konnte kein Effekt auf die geprüften Aminosäuregehalte festgestellt werden (Tabelle 35). Zwischen den Anbaujahren unterschieden sich hingegen nur die Gehalte an Lysin, Methionin, Cystein und Threonin, die im Jahr 2011 am höchsten waren. Sommergerste, die an einem Ort in Niedersachsen und in Mecklenburg-Vorpommern geerntet wurde, hatte hohe Rohproteingehalte im Vergleich mit Sommergerste, die in Sachsen geerntet wurde. An einem Standort in Bayern wurde Sommergerste mit mittleren Gehalten von 9,8 % Rohprotein in der Trockensubstanz geerntet.

Tabelle 35: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Sommergerste abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein	Lysin	Methionin	Cystein	Threonin	Tryptophan
Sorte						
Catamaran	9,7 0,17 ^{abc}					
Eunova	10,5 0,17 ^d					
Grace	10,0 0,13 ^{cd}					
KWS Bambina	9,7 0,25 ^{abcd}					
Marthe	9,9 0,15 ^{bcd}					
Propino	9,9 0,11 ^{abc}					
Tesla	9,3 0,17 ^a					
Zeppelin	9,4 0,18 ^{ab}					
Standort						
7	10,0 0,10 ^b	4,1 0,02 ^a	1,8 0,01 ^a	2,4 0,03 ^{ab}	3,2 0,03 ^a	1,2 0,01 ^a
46	8,8 0,33 ^a	3,9 0,12 ^{ab}	1,7 0,06 ^a	2,4 0,04 ^a	3,0 0,10 ^a	1,1 0,04 ^a
54	10,6 0,13 ^c	4,3 0,06 ^b	1,9 0,02 ^b	2,6 0,05 ^b	3,5 0,04 ^b	1,3 0,01 ^b
56	9,8 0,27 ^{ab}	4,2 0,08 ^{ab}	1,8 0,05 ^{ab}	2,5 0,03 ^b	3,3 0,10 ^{ab}	1,2 0,04 ^{ab}
Anbaujahr						
2011		4,3 0,05 ^a	2,0 0,03 ^b	2,8 0,04 ^c	3,4 0,06 ^a	
2012		4,1 0,04 ^a	1,7 0,02 ^a	2,2 0,03 ^a	3,2 0,05 ^a	
2013		4,0 0,08 ^a	1,8 0,04 ^a	2,4 0,04 ^b	3,2 0,08 ^a	

Auch die Gehalte an Rohprotein und Aminosäuren in Hafer waren von der Sorte, dem Standort und dem Anbaujahr beeinflusst (Tabelle 36). Der maximale Unterschied im Rohproteingehalt zwischen zwei Sorten betrug 1 % in der Trockensubstanz. Zwischen zwei Jahren wurde ein maximaler Unterschied von 0,7 % beobachtet. Dabei verhielten sich die Unterschiede in den Aminosäuregehalten nicht analog zu denen in den Rohproteingehalten.

Tabelle 36: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Hafer abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein	Lysin	Methionin	Cystein	Threonin	Tryptophan
Sorte						
Flämingsgold	10,2 0,12 ^{ab}	4,5 0,06 ^{abcd}	1,8 0,02 ^a	3,2 0,05 ^{abc}	3,5 0,04 ^{ab}	1,4 0,03 ^a
Flämingsprofi	10,1 0,15 ^a	4,4 0,08 ^{ab}	1,8 0,02 ^{ab}	3,2 0,08 ^{abc}	3,5 0,04 ^{abc}	1,3 0,03 ^a
Flocke	10,4 0,10 ^a	4,6 0,04 ^{bcde}	1,8 0,03 ^{abc}	3,2 0,04 ^{ab}	3,6 0,03 ^{cd}	1,4 0,02 ^a
Gabriel	10,1 0,12 ^a	4,5 0,04 ^{abc}	1,8 0,04 ^{abc}	3,2 0,04 ^{ab}	3,5 0,03 ^a	1,4 0,01 ^a
Ivory	11,1 0,13 ^c	4,9 0,06 ^f	1,8 0,02 ^{abc}	3,4 0,05 ^c	3,9 0,05 ^e	1,5 0,02 ^b
Max	10,4 0,17 ^{ab}	4,6 0,05 ^{cd}	1,8 0,02 ^{bc}	3,3 0,04 ^{abc}	3,7 0,04 ^{bcd}	1,4 0,01 ^a
Oberon	10,2 0,2 ^{ab}	4,6 0,05 ^{de}	1,8 0,02 ^c	3,1 0,03 ^a	3,6 0,05 ^{abcd}	1,4 0,02 ^a
Scorpion	10,6 0,14 ^b	4,7 0,05 ^e	1,9 0,02 ^c	3,3 0,04 ^{bc}	3,7 0,05 ^d	1,4 0,02 ^a
Simon	10,3 0,14 ^{ab}	4,6 0,04 ^{bcd}	1,9 0,02 ^d	3,3 0,04 ^{bc}	3,6 0,02 ^d	1,4 0,02 ^a
Standort						
4	9,6 0,11 ^a	4,3 0,06 ^a	1,7 0,02 ^a	3,2 0,03 ^c	3,4 0,05 ^a	1,4 0,03 ^{ab}
6	11,0 0,09 ^c	4,8 0,06 ^b	1,9 0,03 ^{cd}	3,4 0,03 ^d	3,8 0,03 ^c	1,4 0,06 ^{ab}
7	9,5 0,37 ^a	4,3 0,08 ^a	1,7 0,07 ^{ab}	3,1 0,03 ^{ab}	3,4 0,1 ^a	1,4 0,01 ^b
45	12,0 0,26 ^d	5,3 0,09 ^c	2,1 0,04 ^d	3,5 0,05 ^d	4,1 0,05 ^d	1,6 0,04 ^c
46	9,4 0,4 ^a	4,3 0,18 ^{ab}	1,7 0,02 ^a	3,0 0,06 ^a	3,4 0,09 ^a	1,3 0,02 ^a
54	10,7 0,13 ^b	4,7 0,07 ^b	1,9 0,03 ^{bc}	3,3 0,08 ^{bcd}	3,7 0,04 ^b	1,4 0,03 ^{ab}
Anbaujahr						
2011	10,8 0,22 ^b	4,6 0,07 ^{ab}		3,2 0,03 ^a	3,7 0,04 ^b	1,4 0,02 ^a
2012	10,1 0,15 ^a	4,5 0,05 ^a		3,3 0,02 ^b	3,5 0,02 ^a	1,4 0,02 ^{ab}
2013	10,2 0,10 ^a	4,7 0,05 ^b		3,3 0,04 ^{ab}	3,7 0,03 ^b	1,4 0,02 ^b

Während vergleichsweise niedrige Gehalte an Rohprotein und Aminosäuren in Hafer von je einem Standort in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen gefunden wurden,

enthielten Haferproben von einem anderen Standort in Mecklenburg-Vorpommern und zwei Standorten in Niedersachsen höhere Rohprotein- und Aminosäuregehalte.

Auch die Rohprotein- und Aminosäuregehalte in Körnerleguminosen wurden durch Sorte, Standort und Anbaujahr beeinflusst. Futtererbsen aus dem Jahr 2013 enthielten weniger Rohprotein, Lysin, Threonin und Tryptophan, aber mehr Methionin als Futtererbsen aus dem Jahr 2012 (Tabelle 37). Die Sorten Abarth und Alvesta enthielten am wenigsten Rohprotein, Lysin und Tryptophan, während Casablanca und KWS La Manscha hohe Gehalte aufwiesen. Die stärksten Unterschiede wurden zwischen den Standorten beobachtet. An einem Standort in Bayern und zwei in Niedersachsen wurden Futtererbsen mit hohen Rohproteingehalten und vergleichsweise hohen Gehalten der geprüften Aminosäuren geerntet. An einem Standort in Schleswig-Holstein und einem in Mecklenburg-Vorpommern wiesen die Futtererbsen geringe Gehalte an Rohprotein und den geprüften Aminosäuren auf.

Tabelle 37: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Futtererbsen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein		Lysin		Methionin		Cystein		Threonin		Tryptophan	
Sorte												
Abarth	20,3	0,38 ^{ab}	16,5	0,22 ^a							1,9	0,02 ^{ab}
Alvesta	20,5	0,34 ^a	16,4	0,15 ^a							1,9	0,02 ^a
Auckland	21,2	0,43 ^{abc}	17,1	0,32 ^{ab}							1,9	0,03 ^{bc}
Casablanca	22,5	0,45 ^{cd}	17,7	0,36 ^{bc}							2,0	0,02 ^{bcd}
KWS La Manscha	22,5	0,30 ^d	18,2	0,16 ^c							2,0	0,02 ^d
Navarro	21,2	0,35 ^{abc}	17,5	0,29 ^{bc}							2,0	0,02 ^{bcd}
Protecta	22,2	0,61 ^{bcd}	17,2	0,38 ^{ab}							2,0	0,04 ^{abcd}
Salamanca	21,5	0,30 ^{cd}	17,3	0,22 ^b							2,0	0,02 ^{cd}
Standort												
1	23,8	0,28 ^c	17,6	0,51 ^{ab}	2,3	0,05 ^c	2,9	0,09 ^b	9,1	0,15 ^c	2,1	0,02 ^c
4	20,3	0,50 ^a	16,7	0,47 ^a	2,1	0,03 ^b	2,9	0,05 ^b	8,1	0,17 ^a	1,9	0,03 ^a
5	22,5	0,45 ^b	18,0	0,27 ^b	2,2	0,03 ^{bc}	3,0	0,04 ^b	8,7	0,13 ^b	1,9	0,03 ^a
7	18,3	1,00 ^a	15,5	1,09 ^{abc}	1,8	0,03 ^a	2,6	0,06 ^a	7,5	0,31 ^a	1,8	0,06 ^a
54	22,7	0,37 ^b	18,5	0,25 ^c	2,3	0,03 ^c	3,0	0,03 ^b	8,7	0,12 ^b	2,0	0,02 ^b
Anbaujahr												
2011	21,9	0,74 ^{ab}	16,8	0,6 ^{ab}	2,2	0,04 ^{ab}	2,5	0,07 ^a	8,6	0,26 ^{ab}	2,0	0,04 ^b
2012	22,1	0,36 ^b	18,6	0,36 ^b	2,1	0,02 ^a	3,1	0,04 ^b	8,6	0,08 ^b	2,0	0,02 ^b
2013	20,5	0,31 ^a	16,3	0,21 ^a	2,2	0,02 ^b	3,1	0,02 ^b	8,1	0,11 ^a	1,8	0,02 ^a

Auch in Ackerbohnen waren die Unterschiede der Rohprotein- und Aminosäuregehalte zwischen den Sorten geringer als die zwischen den Standorten (Tabelle 38). An je einem Standort in Bayern und Niedersachsen wurden Ackerbohnen mit einem Rohproteingehalt von über 31 % in der Trockensubstanz geerntet, während an einem weiteren Standort in Bayern sowie einem Standort in Schleswig-Holstein von 29,6 bzw. 28,9 % Rohprotein in der Trockensubstanz. Obwohl im Jahr 2012 ein signifikant höherer Rohprotein- und Tryptophangehalt gefunden wurde, waren die Gehalte an Methionin, Cystein und Threonin signifikant geringer.

Tabelle 38: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Ackerbohnen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein		Lysin		Methionin		Cystein		Threonin		Tryptophan	
Sorte												
Bioro	30,7	0,45 ^{ab}	18,5	0,43 ^{abc}	2,1	0,03 ^a			1,0	0,10 ^{bc}	2,4	0,03 ^{bc}
Divine	31,2	0,59 ^{ab}	19,2	0,22 ^{bc}	2,1	0,01 ^a			1,1	0,14 ^{bc}	2,4	0,04 ^{abc}
Fabelle	31,0	0,17 ^b	19,6	0,34 ^c	2,3	0,02 ^c			1,1	0,05 ^c	2,5	0,02 ^c
Fanfare	30,0	0,12 ^a	18,5	0,24 ^{ab}	2,1	0,05 ^{ab}			1,0	0,11 ^{ab}	2,4	0,01 ^{bc}
Fuego	29,6	0,29 ^a	17,9	0,25 ^a	2,1	0,04 ^a			1,0	0,07 ^a	2,3	0,02 ^a
Herzfreya	29,9	0,28 ^{ab}	18,8	0,23 ^{bc}	2,1	0,02 ^a			1,0	0,10 ^{ab}	2,4	0,04 ^{abc}
Isabell	30,4	0,18 ^{ab}	19,2	0,18 ^{bc}	2,3	0,03 ^{bc}			1,0	0,13 ^{abc}	2,4	0,03 ^{abc}
Julia	30,0	0,19 ^a	19,2	0,22 ^{bc}	2,2	0,06 ^{abc}			1,0	0,04 ^a	2,4	0,01 ^b
Pyramid	29,5	0,57 ^{ab}	18,5	0,41 ^{abc}	2,2	0,05 ^{abc}			1,0	0,09 ^{ab}	2,4	0,03 ^{ab}
Standort												
1	31,4	0,19 ^b	19,1	0,23 ^{ab}	2,2	0,04 ^b	3,4	0,04 ^b	1,0	0,05 ^b	2,4	0,01 ^b
4	28,9	0,22 ^a	18,4	0,36 ^{ab}	2,1	0,05 ^{ab}	3,5	0,08 ^{ab}	1,0	0,04 ^{bc}	2,4	0,01 ^b
5	31,1	0,41 ^b	19,5	0,26 ^b	2,1	0,02 ^a	3,2	0,06 ^a	1,1	0,12 ^c	2,4	0,04 ^b
56	29,6	0,23 ^a	18,3	0,28 ^a	2,1	0,01 ^a	3,3	0,05 ^{ab}	1,0	0,08 ^a	2,3	0,03 ^a
Anbaujahr												
2012			19,3	0,21 ^b	2,1	0,03 ^a	3,3	0,05 ^a	1,0	0,06 ^a	2,5	0,02 ^b
2013			18,4	0,14 ^a	2,3	0,02 ^b	3,4	0,04 ^b	1,1	0,06 ^b	2,3	0,02 ^a

Blaue Lupinen wurden an einem Standort in Schleswig-Holstein sowie zwei Standorten in Mecklenburg-Vorpommern angebaut. Die Rohprotein- und Threoningehalte unterschieden sich signifikant zwischen den drei Orten (Tabelle 39). Die Gehalte an Lysin und Tryptophan waren an einem Ort in Mecklenburg-Vorpommern signifikant geringer als an den anderen beiden Orten. Zwischen den drei geprüften Jahren unterschieden sich nur die Gehalte an Methionin und Cystein, die in 2012 am geringsten und in 2011 am höchsten waren. Es gab starke Sortenunterschiede bezüglich des Rohproteingehaltes. Die Sorte Probor enthielt im Mittel 33,8 % Rohprotein mit 1,2 g/kg Threonin und 2,7 % Tryptophan und wies damit die signifikant höchsten Gehalte auf. Boruta und Haags Blaue enthielten nur 28,8 % Rohprotein mit 1,0 g/kg Threonin und 2,4-2,5 g/kg Tryptophan.

Tabelle 39: Gehalt an Rohprotein (% TS) und ausgewählten Aminosäuren (g/kg TS) in Blauen Lupinen abhängig von Sorte, Anbauort und Anbaujahr

	Rohprotein		Lysin		Methionin		Cystein		Threonin		Tryptophan	
Sorte												
Boregine	29,8	0,81 ^a							1,1	0,19 ^{bc}	2,6	0,06 ^{ab}
Borlu	30,0	0,96 ^a							1,1	0,27 ^{ab}	2,5	0,05 ^a
Boruta	28,8	1,06 ^a							1,0	0,39 ^a	2,5	0,08 ^a
Haags Blaue	28,8	0,91 ^a							1,0	0,18 ^a	2,4	0,05 ^a
Probor	33,8	0,8 ^b							1,2	0,28 ^c	2,7	0,05 ^b
Standort												
7	30,6	0,78 ^b	16,0	0,42 ^b	2,1	0,05 ^a			1,1	0,24 ^b	2,6	0,07 ^b
45	26,2	0,74 ^a	14,8	0,24 ^a	2,0	0,03 ^a			1,0	0,37 ^a	2,3	0,06 ^a
59	33,9	0,41 ^c	17,0	0,40 ^b	2,2	0,07 ^a			1,2	0,30 ^c	2,8	0,04 ^b
Anbaujahr												
2011					2,3	0,03 ^c	5,2	0,09 ^c				
2012					1,9	0,06 ^a	4,0	0,14 ^a				
2013					2,1	0,04 ^b	4,4	0,05 ^b				

4.4.2 B-Vitamine

Die Sorte hatte bis auf einige Ausnahmen einen statistisch signifikanten Effekt auf die B-Vitamingehalte in Getreide und Körnerleguminosen (Tabelle 40). Der Thiamingehalt der geprüften Sorten von Gerste, Futtererbsen und Blauen Lupinen unterschied sich nicht. Der Riboflavingehalt von Wintergerste, Hafer und Blauen Lupinen wurde ebenfalls nicht durch die Sorte beeinflusst. Die Umweltbedingungen (Anbaujahr und –standort) hatten in allen Kulturen einen signifikanten Effekt. Weitere Informationen dazu sind bei Witten & Aulrich (2018) sowie den dazu gehörigen Supplementen zu finden.

Tabelle 40: F- und P-Werte (kursiv) der Hauptfaktoren der Modelle, die Sorten- und Umwelteinflüsse auf die Thiamin- und Riboflavingehalte beschreiben

		n	df ^o	Thiamin			Riboflavin		
				Sorte	Anbaujahr	Standort/Region	Sorte	Anbaujahr	Standort/Region
				F-Value	p-Value	F-Value	p-Value	F-Value	p-Value
Getreide									
Winterweizen	F-Value	70	25.02	5.02	3.71	4.50	12.29		
<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>p-Value</i>		<i>1.163e⁻⁰⁸</i>	<i>0.0096</i>	<i>0.0091</i>	<i>0.0148</i>	<i>2.963e⁻⁰⁵</i>		
Sommerweizen	F-Value	25	3.58	3.91		8.70	9.18		
<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>p-Value</i>		<i>0.0332</i>	<i>0.0378</i>		<i>0.0008</i>	<i>0.0016</i>		
Winterroggen	F-Value	81	13.77	9.68	10.21	3.67	65.74	4.56	
<i>Secale cereale</i> L.	<i>p-Value</i>		<i>2.830e⁻⁰⁸</i>	<i>0.0002</i>	<i>4.954e⁻⁰⁸</i>	<i>0.0092</i>	<i><2.2e⁻¹⁶</i>	<i>0.0006</i>	
Wintertriticale	F-Value	92	3.66		9.21	3.70	11.72	6.04	
<i>Triticosecale</i>	<i>p-Value</i>		<i>0.0049</i>		<i>3.382e⁻⁰⁶</i>	<i>0.0046</i>	<i>3.442e⁻⁰⁵</i>	<i>0.0003</i>	
Wintergerste	F-Value	15			20.81		17.96	17.96	
<i>Hordeum vulgare</i> L.	<i>p-Value</i>				<i>7.757e⁻⁰⁵</i>		<i>0.0002</i>	<i>0.0002</i>	
Springerste	F-Value	47		17.71		3.01	11.06	3.61	
<i>Hordeum vulgare</i> L.	<i>p-Value</i>			<i>2.28e⁻⁰⁶</i>		<i>0.0420</i>	<i>0.0002</i>	<i>0.0219</i>	
Hafer	F-Value	80	3.17	16.61	8.23	9.75	10.61	10.61	
<i>Avena sativa</i> L.	<i>p-Value</i>		<i>0.0085</i>	<i>1.436e⁻⁰⁶</i>	<i>4.346e⁻⁰⁶</i>	<i>0.0002</i>	<i>0.0002</i>	<i>1.168e⁻⁰⁷</i>	
Körnerleguminosen									
Futtererbse	F-Value	41		11.73	10.78	4.04	105.45	6.51	
<i>Pisum sativum</i> L.	<i>p-Value</i>			<i>0.0001</i>	<i>3.666e⁻⁰⁵</i>	<i>0.0060</i>	<i>2.686e⁻¹⁴</i>	<i>0.0020</i>	
Ackerbohne	F-Value	57/59*	11.31	256.60	12.50	48.99	13.75	13.75	
<i>Vicia faba</i> L.	<i>p-Value</i>		<i>3.070e⁻⁰⁷</i>	<i><2.2e⁻¹⁶</i>	<i>4.268e⁻⁰⁵</i>	<i><2.2e⁻¹⁶</i>	<i>1.677e⁻⁰⁵</i>	<i>1.677e⁻⁰⁵</i>	
Blaue Lupine	F-Value	31			24.16		3.04	11.05	
<i>Lupinus angustifolius</i> L.	<i>p-Value</i>				<i>8.001e⁻⁰⁷</i>		<i>0.0651</i>	<i>0.0003</i>	

*Thiamin/Riboflavin; ° Freiheitsgrade: Sorte;Anbaujahr;Standort/Region

Getreide

Bei Winterweizen, Sommerweizen, Winterroggen und Hafer wurden Sortenunterschiede im Thiamingehalt um etwa 0,4 mg/kg TS beobachtet (Abbildung 13). Die betrachteten Wintertriticalesorten unterschieden sich um etwa 0,2 mg Thiamin/kg TS. Obwohl die Sortenunterschiede im Riboflavingehalt mit 0,04 – 0,12 mg/kg TS bei Winterweizen, Winterroggen, Wintertriticale und Sommergerste gering waren, waren sie statistisch signifikant. Der Riboflavingehalt der Sommerweizensorte Granny war um 0,2 mg/kg TS höher als in den anderen geprüften Sorten.

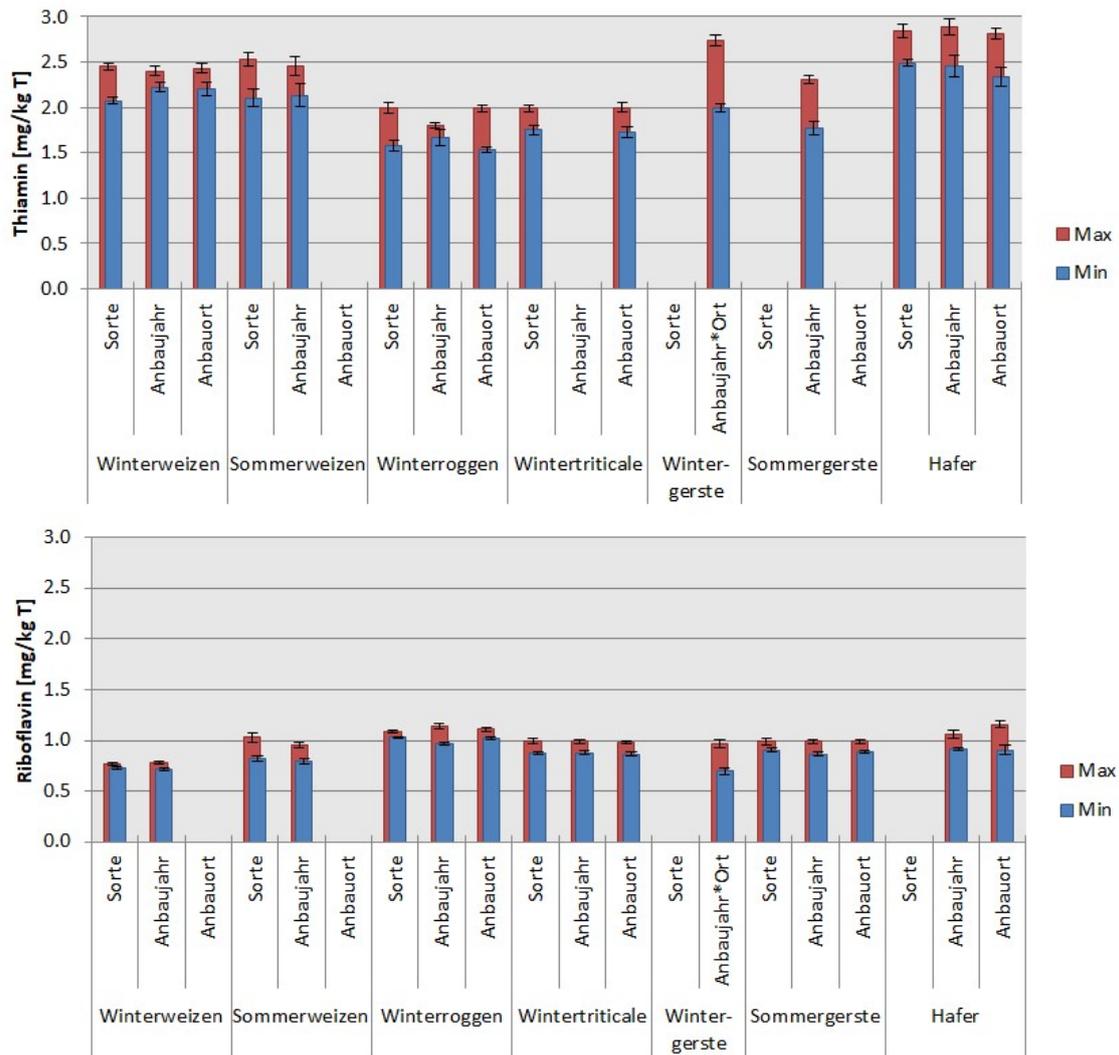


Abbildung 13: Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Getreidekörnern; Die Säulen illustrieren die Faktorausprägungen von Sorte, Anbaujahr und Anbauort/-region mit den minimalen bzw. maximalen Gehalten. Weiterführende Informationen sind in Witten (2019) zu finden

Der Thiamingehalt von Wintertriticale und Wintergerste unterschied sich nicht zwischen den geprüften Jahren. Es konnten jedoch maximale Unterschiede von 0,2 mg Thiamin pro kg TS in Winterweizen, Sommerweizen und Winterroggen, von 0,4 mg Thiamin pro kg TS in Hafer und von 0,5 mg Thiamin pro kg TS in Sommergerste festgestellt werden. Der Riboflavingehalt der Winterungen war am geringsten im Jahr 2012, während die Sommerungen im Jahr 2013 den geringsten Gehalt aufwiesen.

Der Thiamingehalt von Sommerweizen und Sommergerste wurde nicht von der Anbauregion beeinflusst. Bei Winterweizen und Wintertriticale gab es abhängig von der Anbauregion Unterschiede im Thiamingehalt um 0,2 bzw. 0,3 mg/kg TS. Der Standort beeinflusste die Thiamingehalte von Hafer. Die Anbauregion hatte keinen Einfluss auf den Riboflavingehalt von Weizen. Der Anbauort bzw. die Anbauregion beeinflusste den Riboflavingehalt aber in Wintertriticale, Sommergerste und Winterroggen (Unterschiede zwischen Faktorausprägungen von 0,1 mg/kg TS).

Körnerleguminosen

Die Thiamingehalte variierten stärker in Körnerleguminosen als in Getreide (Abbildung 14).

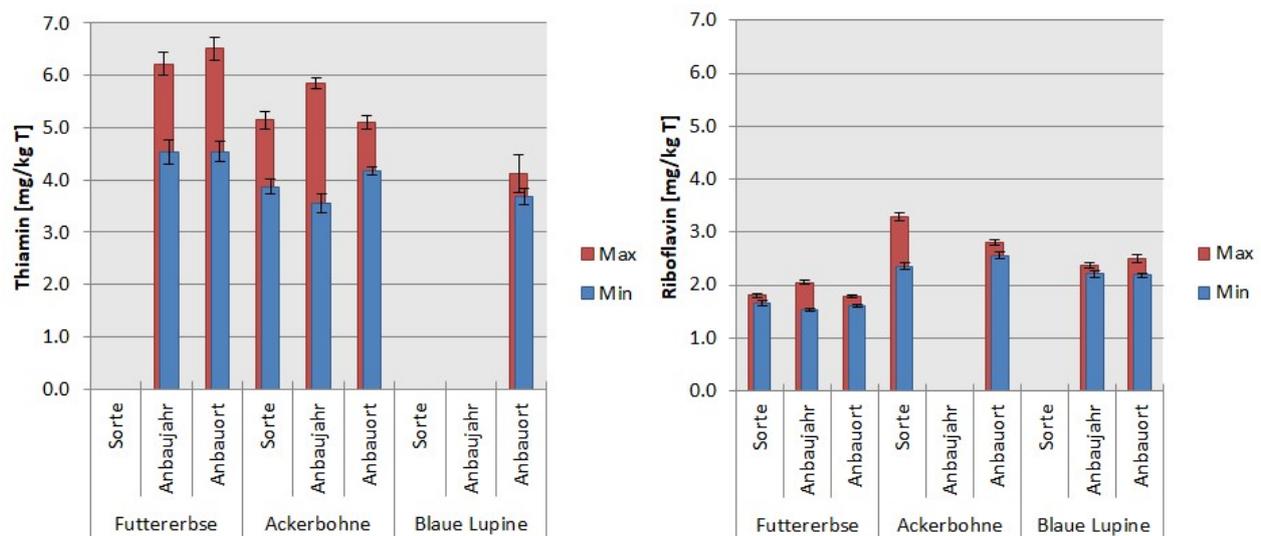


Abbildung 14: Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Körnerleguminosenkörnern; Die Säulen illustrieren die Faktorausprägungen von Sorte, Anbaujahr und Anbauort/-region mit den minimalen bzw. maximalen Gehalten. Weiterführende Informationen sind in Witten (2019) zu finden

Die geprüften Futtererbsen waren alle halbblattlos und weiß-blühend mit glatten gelben Samen. Ihr Thiamingehalt unterschied sich nicht zwischen den Sorten. Es gab jedoch Unterschiede im Riboflavingehalt von bis zu 0,1 mg Riboflavin pro kg TS zwischen den Sorten. Während der Sorteneffekt bei Ackerbohnen für beide B-Vitamine stark war, gab es keinen Sorteneffekt bei Blauen Lupinen. Die Sorte Alexia enthielt mit 3,3 mg/kg TS die höchsten Riboflavingehalte, während Divine mit 2,4 mg/kg TS geringe Riboflavingehalte aufwies.

Die Gehalte an Thiamin und Riboflavin in Futtererbsen unterschieden sich zwischen den Jahren um bis zu 1,7 bzw. 0,5 mg/kg TS. Der Thiamingehalt von Ackerbohnen war vor allem durch das Anbaujahr beeinflusst. Die Unterschiede des Thiamingehalts zwischen den Jahren betragen bis zu 2,3 mg/kg TS. Bei Blauen Lupinen war der Riboflavingehalt vom Anbaujahr beeinflusst, das aber keinen signifikanten Einfluss hatte, wenn ein Ausreißer entfernt wurde.

Während sich der Thiamingehalt von Futtererbsen und Ackerbohnen um bis zu 2,0 bzw. 0,9 mg/kg TS zwischen den Anbauorten unterschied, war der Riboflavingehalt um weniger als 0,2 mg/kg TS unterschiedlich. Der Faktor Ort hatte den stärksten Einfluss in Blauen Lupinen.

4.4.3 *In vitro* Verdaulichkeit

Die Sorte hatte ausschließlich im Winterroggen einen signifikanten Einfluss auf die *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeit. Der Faktor Anbauort oder -region beeinflusste jedoch die *in vitro* Verdaulichkeit

von XP und AS in allen Kulturen. Der Faktor Anbaujahr wurde in die glm für Winterweizen, Winterroggen, Sommergerste und Futtererbse einbezogen. Allerdings war der Effekt des Faktors Anbaujahr bei diesen Kulturen nicht immer signifikant (Tabelle 41). Die Effekte waren die gleichen für die *in vitro* Verdaulichkeit jeder AS. Sie unterschieden sich nur geringfügig durch ihre p- und F-Werte.

Tabelle 41: F- and p-Werte (kursiv) der Hauptfaktoren in Modellen, die den Einfluss von Sorte und Umweltbedingungen auf die *in vitro* Rohproteinverdaulichkeit ausgewählter Kulturen für 21- und 42-Tage alte Broiler beschreiben

		n	df*	21 Tage alt			42 Tage alt		
				Sorte	Jahr	Standort/Region	Sorte	Jahr	Standort/Region
Getreide									
Winterweizen	F-Wert	43	2;2;7		8.317	4.0652		8.229	4.096
<i>Triticum aestivum L.</i>	<i>p</i> -Wert				<i>0.003</i>	<i>0.007</i>		<i>0.002</i>	<i>0.007</i>
Winterroggen	F-Wert	50	4;2;3	3.183	44.234	3.0121	3.175	44.594	3.1184
<i>Secale cereale L.</i>	<i>p</i> -Wert			<i>0.023</i>	<i>0.001</i>	<i>0.041</i>	<i>0.234</i>	<i>0.001</i>	<i>0.037</i>
Wintertriticale	F-Wert	48	2;2;8			2.992			3.047
<i>Triticosecale</i>	<i>p</i> -Wert					<i>0.010</i>			<i>0.009</i>
Wintergerste	F-Wert	15	2;;4			8.313			8.283
<i>Hordeum vulgare L.</i>	<i>p</i> -Wert					<i>0.003</i>			<i>0.003</i>
Sommergerste	F-Wert	39	2;2;3		3.021	3.840		3.006	3.861
<i>Hordeum vulgare L.</i>	<i>p</i> -Wert				<i>0.062</i>	<i>0.018</i>		<i>0.063</i>	<i>0.018</i>
Körnerleguminosen									
Futtererbsen	F-Wert	37	3;2;4		6.182	14.528		3.1246	14.372
<i>Pisum sativum L.</i>	<i>p</i> -Wert				<i>0.056</i>	<i>0.001</i>		<i>0.058</i>	<i>0.001</i>
Ackerbohnen	F-Wert	44	3;1;2			4.433			4.396
<i>Vicia faba L.</i>	<i>p</i> -Wert					<i>0.018</i>			<i>0.019</i>

*Sorte;Jahr;Standort/Region

Ein statistisch signifikanter Einfluss des Anbauortes bzw. der Region auf die *in vitro*-Verdaulichkeitskoeffizienten von XP wurde für alle Sorten beobachtet (Abbildung 15). Obwohl Unterschiede in der *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeit zwischen den Anbaujahren (Winterweizen) und dem Anbauort oder der Region (alle Sorten) beobachtet wurden, gab es kein einheitliches Muster zwischen den Sorten.

Der *in vitro* XP-Verdaulichkeitskoeffizient von Sommergerste und Ackerbohnen unterschied sich statistisch signifikant zwischen den Regionen um bis zu 0,03. Eine große Variabilität des *in vitro* XP-Verdaulichkeitskoeffizienten von bis zu 0,09 zwischen zwei Standorten wurde bei Futtererbsen festgestellt. Bei Winterweizen, Wintertriticale und Wintergerste unterschied sich der *in vitro* XP-Verdaulichkeitskoeffizient um 0,05 - 0,07 zwischen zwei Standorten, die sich beide in derselben Region befanden. Die Unterschiede der *in vitro* Verdaulichkeit aller AS zwischen den Faktorausprägungen waren analog zu denen der *in vitro* XP-Verdaulichkeit.

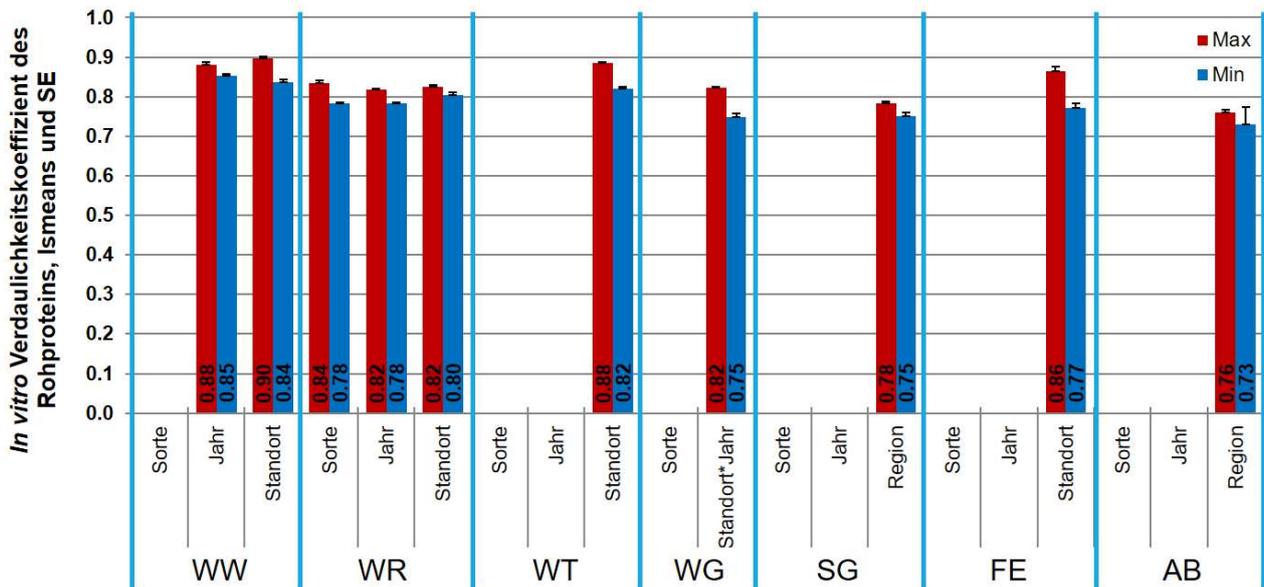


Abbildung 15: *In vitro* Rohproteinverdaulichkeit ausgewählter Getreide- und Körnerleguminosenarten in 42-Tage alten Broilern. Die Säulen illustrieren die Faktorausprägungen von Sorte, Anbaujahr und Anbauort/-region mit den minimalen bzw. maximalen Gehalten.

* die Faktorausprägungen unterscheiden sich mit einem Signifikanzlevel von $p = 0,05$.

4.5 Rationsgestaltung

4.5.1 Rohprotein und Aminosäuren

Im Folgenden werden beispielhaft Rationen vorgestellt.

Diäten für Schweine

Um beispielhaft darzustellen, welche Unterschiede in einer Ration auftreten können, wenn diese Ration aus Futtermitteln verschiedener Erntechargen eines Jahres (2012) aus einer Region zusammengesetzt wird, wurden Proben aus Futterkamp und Trenthorst/Wulmenau (Blaue Lupinen) genutzt (Tabelle 42). In derselben Ration für Schweine unterschied sich der Rohproteingehalt um bis zu 36 g/kg TS. Vor allem in Ration 25 für Mastschweine gab es auch Unterschiede zwischen den Gehalten ausgewählter Aminosäuren in der Ration, wenn andere Chargen derselben Futtermittel eingesetzt wurden.

Tabelle 42: Gehalte an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren (in g/kg TS) in Futterrationen für Schweine, die Getreide und Körnerleguminosen mit geringen und hohen Rohproteingehalten enthalten, die im Jahr 2012 an zwei Standorten in Schleswig-Holstein angebaut wurden

Ration		Rohprotein	Lysin	Methionin und Cystein	Threonin	Tryptophan
8	gering	164	9,9	5,2	6,1	1,9
	hoch	183	10,2	5,2	6,3	1,8
14	gering	142	8,5	4,6	5,3	1,5
	hoch	156	9,1	4,9	5,7	1,6
19	gering	138	7,6	5,0	5,2	1,6
	hoch	154	7,8	5,0	5,4	1,6
25	gering	175	10,4	4,8	6,5	1,7
	hoch	211	11,3	5,0	6,9	1,8

Diäten für Geflügel

Für die Berechnung der Rohprotein- und Aminosäuregehalte in den Beispielrationen in Tabelle 43 wurden ebenfalls Analysenergebnisse von Proben genutzt, die im Jahr 2012 in Futterkamp bzw. Trenthorst/Wulmenau (Blaue Lupinen) geerntet wurden. Der Rohproteingehalt der Ration 4 für Legehennen unterschied sich um bis zu 33 g/kg TS. In dieser Ration wurden auch große Unterschiede im Gehalt der betrachteten Aminosäuren beobachtet.

Tabelle 43: Gehalte an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren (in g/kg TS) in Futtrationen für Geflügel, die Getreide und Körnerleguminosen mit geringen und hohen Rohproteingehalten enthalten, die im Jahr 2012 an zwei Standorten in Schleswig-Holstein angebaut wurden

Ration		Rohprotein	Lysin	Methionin und Cystein	Threonin	Tryptophan
1	gering	234	9,1	8,8	8,2	1,9
	hoch	250	9,3	8,6	8,2	1,8
4	gering	152	6,9	4,7	5,0	1,2
	hoch	185	7,8	5,2	5,5	1,4
7	gering	196	8,2	7,0	7,0	1,8
	hoch	213	8,5	7,0	7,2	1,8

Deutlich größere Unterschiede konnten beobachtet werden, wenn die eingesetzten Futtermittel in ganz Deutschland in verschiedenen Jahren geerntet wurden (Tabelle 44). In diesem Fall konnten Unterschiede des Rohproteingehaltes von bis zu 119 g/kg TS beobachtet werden. Auch die Gehalte aller betrachteten Aminosäuren unterschieden sich zwischen den berechneten Rationen.

Tabelle 44: Gehalte an Rohprotein und ausgewählten Aminosäuren (in g/kg TS) in Futtrationen für Geflügel, die Getreide und Körnerleguminosen mit geringen und hohen Rohproteingehalten enthalten

Ration			Rohprotein	Lysin	Methionin und Cystein	Threonin	Tryptophan
1	gering	Brutto	216	7,9	8,5	7,6	1,7
		pcv*		6,4	6,8	6,1	1,4
	hoch	Brutto	335	16,4	9,2	11,5	2,4
		pcv*		12,6	7,2	9,0	1,9
4	gering	Brutto	148	6,8	4,6	5,0	1,2
		pcv*		2,7	2,7	1,8	0,5
	hoch	Brutto	183	7,9	5,6	5,8	1,5
		pcv*		3,1	3,3	2,3	0,7
7	gering	Brutto	189	7,7	6,9	6,7	1,7
		pcv*		5,8	5,1	5,1	1,2
	hoch	Brutto	283	13,9	7,7	9,7	2,3
		pcv*		10,2	5,5	7,2	1,6

**praeacaecal* verdaulich: berechnet mit Ergebnissen aus *in vitro* Untersuchungen

Die Gehalte an *praeacaecal* verdaulichen Aminosäuren unterschieden sich analog zu den Gehalten an Bruttoaminosäuren. Die Verdaulichkeit unterschied sich zwischen zwei Varianten einer Ration um bis zu 4 %.

4.5.2 B-Vitamine

Diäten für Schweine

Der Gesamtthiamingehalt in allen Beispieldiäten für Schweine lag über den Empfehlungen der GfE (2006) und des NRC (2012). Ohne die Thiaminmenge in Zusatzfuttermitteln zu berücksichtigen, entsprach die Thiaminmenge aus Getreide und Körnerleguminosen den NRC-Empfehlungen (2012) in allen Sauen- (Tabelle 45) und Mastschweinediäten (Tabelle 46) sowie in fünf von sechs Diäten

für Zuchtschweine (Tabelle 45) mit einer Körpermasse von mehr als 5 kg. Auch den GfE (2006)-Empfehlungen wurde in diesen Diäten entsprochen.

Die Riboflavin-Empfehlungen für Sauen und Mastschweine der GfE (2006) und des NRC (2012) sind vergleichbar. Für Zuchtschweine mit einem Gewicht von mehr als 10 kg empfiehlt das NRC (2012) jedoch niedrigere Mengen an Riboflavin, die mit zunehmendem Alter/Gewicht abnehmen. Aufgrund der hohen Anforderungen konnte keine Diät für trächtige und säugende Sauen die offiziellen Versorgungsempfehlungen für Riboflavin erfüllen (GfE 2006, NRC 2012). In den Diäten 6 und 7 für säugende Sauen führte jedoch der Zusatz von 100 g Milchpulver und entweder 50 g Grünmehl oder Sojabohnen pro kg TS zu einem deutlich höheren Riboflavingehalt als in den anderen Diäten für Sauen. Die Diäten 10, 12, 13 und 14 für wachsende Schweine, die Diäten 16, 17 und 19 für Vormastschweine und die Diäten 23, 25 und 26 für die Mastschweine enthielten neben Getreide und Körnerleguminosen nur Ölkuchen und konnten die Versorgungsempfehlungen ebenfalls nicht erfüllen. Gerade genug Riboflavin, um die Versorgungsempfehlungen zu decken, enthielten 50 g Grünmehl und 20 g Sojabohnen in den Diäten 22 und 27 für Mastschweine. Die Diäten 11 und 15 für wachsende Schweine, 18 für Vormastschweine und 20, 21 und 24 für Mastschweine entsprachen den offiziellen Versorgungsempfehlungen der GfE (2006) und des NRC (2012). Diese Diäten enthielten Milchprodukte, Grünmehl und/oder Sojabohnen. Nur die Diät 14 für wachsende Schweine konnte die Mindestempfehlung des NRC (2012) nicht erfüllen.

Der Austausch eines Teils der Diät durch Graskleesilage erhöhte die Riboflavinmenge. Bei Einbeziehung von 10 % Graskleesilage konnten die Diäten 6 und 7 für laktierende Sauen, die Diät 12 für Mastschweine mit einem Gewicht von mehr als 10 kg, die Diät 16 und 17 für Vormastschweine sowie die Diäten 23 und 25 für Mastschweine die Riboflavin-Versorgungsempfehlungen der GfE (2006) decken, wenn Einzelfuttermittel mit hohem nativem Riboflavingehalt verwendet wurden.

Tabelle 45: Versorgungsempfehlungen und Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Beispielrationen für Schweine im Ökolandbau [mg/kg TS]

	Trächtigkeit					Laktation					Wachstum				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Thiamin															
GfE (2006)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
NRC (2012)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,7 ¹ /1,1					
G&KL	1,4-3,4	1,6-3,5	1,7-4,1	1,5-3,9	1,3-5,6	1,5-5,7	1,4-6,2	1,6-4,1	1,5-6,0	1,1-2,8	1,2-2,9	0,9-1,7	1,4-5,8	1,5-6,1	1,2-3,1
Andere	0,3	0,5	0,0	1,3	1,5	0,6	0,6	0,5	0,4	1,2	1,2	1,3	0,7	0,4	1,0
Total	1,7-3,7	2,1-4,0	1,7-4,1	2,8-5,2	2,8-7,1	2,1-6,3	2,0-6,8	2,1-4,6	1,9-6,4	2,3-4,0	2,4-4,1	2,2-3,0	2,1-6,5	1,9-6,5	2,2-4,1
Riboflavin															
GfE (2006)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,4 ² /3,7					
NRC (2012)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3,3-4,4*	3,3-4,4*	3,3-4,4*	3,3-4,4*	3,3-4,4*	3,3-4,4*
G&KL	1,0-1,6	0,9-1,6	0,9-1,7	0,9-1,5	0,9-1,4	0,9-1,5	0,8-1,3	0,8-1,5	0,9-1,4	0,5-0,8	0,5-0,9	0,4-0,6	0,8-1,3	0,9-1,5	0,7-1,1
Andere	1,0	0,2	0,0	0,7	0,9	2,3	2,7	1,6	0,4	2,0	3,7	3,0	1,9	0,4	3,7
Total	2,0-2,6	1,1-1,8	0,9-1,7	1,6-2,2	1,8-2,3	3,2-3,8	3,5-4,0	2,4-3,1	1,3-1,9	2,5-2,8	4,2-4,6	3,4-3,6	2,7-3,2	1,3-1,9	4,4-4,8
+10 %KGS	2,3-3,1	1,5-2,4	1,3-2,3	1,9-2,7	2,2-2,9	3,5-4,2	3,7-4,4	2,8-3,5	1,7-2,4	2,7-3,3	4,3-4,8	3,6-4,0	3,0-3,6	1,7-2,4	4,5-5,1
Reference	a	a	a	b	c	a	a	a	c	a	a	a	d	d	e

G&KL = nur aus Getreide und Körnerleguminosen (berechnet mit eigenen Ergebnissen); Andere = Futtermittel außer Getreide und (Körner-)Leguminosen (berechnet mit Werten von Sauvant et al, (2004)); Total = Gesamtgehalt in der Diät (G&KL + Andere); + 10 % KGS = 10 % der Diät (TS) wurden durch Kleegrassilage ersetzt; ^aLindermayer et al, (2011); ^bStalljohann and Patzelt (2007); ^cWitten et al, (2014); ^dBaldinger et al, (2017); ^eStalljohann (2006); *steigend mit sinkender Lebendmasse; ¹bis 5 kg; ²bis 10 kg

Tabelle 46: Versorgungsempfehlungen und Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Beispielrationen für Schweine im Ökolandbau [mg/kg TS]

	Vormast					Mast						
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Thiamin												
GfE (2006)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
NRC (2012)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
G&KL	1,4-3,3	1,3-4,7	1,5-3,9	1,5-3,6	1,6-6,3	1,5-4,1	1,4-5,3	1,3-4,9	1,3-4,6	2,1-6,2	1,5-3,7	1,1-3,6
Andere	0,7	0,8	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	1,2	1,1	0,0	0,2	1,4
Total	2,1-4,0	2,1-5,5	2,1-4,5	1,8-3,9	1,9-6,6	1,9-4,5	1,8-5,7	2,5-6,1	2,4-5,7	2,1-6,2	1,7-3,9	2,5-5,0
Riboflavin												
GfE (2006)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
NRC (2012)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
G&KL	0,7-1,2	0,6-1,1	0,6-1,2	0,8-1,4	0,9-1,4	0,7-1,3	0,8-1,2	0,8-1,4	0,8-1,3	1,2-2,0	0,8-1,4	0,7-1,1
Andere	1,6	1,6	2,5	0,3	2,0	1,7	1,1	0,5	2,2	0,0	0,2	1,2
Total	2,3-2,8	2,2-2,7	3,1-3,7	1,1-1,7	2,9-3,4	2,4-3,0	1,9-2,3	1,3-1,9	3,0-3,5	1,2-2,0	1,0-1,6	1,9-2,3
+10 %KGS	2,6-3,2	2,5-3,1	3,4-4,1	1,5-2,3	3,1-3,8	2,7-3,4	2,2-2,9	1,7-2,5	3,3-4,0	1,6-2,6	1,4-2,2	2,2-2,8
Reference	a	a	a	c	a	a	a	a	a	c	c	c

G&KL = nur aus Getreide und Körnerleguminosen (berechnet mit eigenen Ergebnissen); Andere = Futtermittel außer Getreide und (Körner-)Leguminosen (berechnet mit Werten von Sauvant et al, (2004)); Total = Gesamtgehalt in der Diät (G&KL + Andere); + 10 % KGS = 10 % der Diät (TS) wurden durch Kleegrassilage ersetzt; ^aLindermayer et al, (2011); ^bWitten et al, (2014)

Diäten für Geflügel

Die Empfehlungen der GfE und des NRC für die Versorgung mit Thiamin über das Geflügelfutter unterscheiden sich, wobei die GfE-Empfehlungen höher sind als die des NRC. Während alle Geflügelfuttermittel den NRC-Empfehlungen entsprachen, entsprach der Mindestthiamingehalt der Diät 8 für Masthühner nicht den GfE-Empfehlungen, wenn nur Einzelfuttermittel mit minimalen Thiaminmengen verwendet wurden (Tabelle 47).

Wie auch in den Diäten für Schweine beobachtet, war Riboflavin in Diäten für Geflügel oft unzureichend. Die GfE (1999) und das NRC (1994) empfehlen ähnliche Mengen an Riboflavin. Nur die Diät 7 für Masthähnchen und die Diät 2 für Legehennen, die Bierhefe und Grünmehl enthielt, lieferten die empfohlene Menge an Riboflavin, wenn der Riboflavingehalt der einzelnen Futtermittel hoch war. Die anderen Diäten enthielten neben Getreide und Körnerleguminosen vor allem Mais- und Ölsamenmehle.

Die Einbeziehung von Kleegrassilage führte zu einer erhöhten Gesamtmenge an Riboflavin in allen Diäten. Die meisten Diäten enthielten jedoch immer noch nicht die empfohlene Menge an Riboflavin.

Tabelle 47: Versorgungsempfehlungen und tatsächlicher Gehalt an Thiamin und Riboflavin in Beispielrationen für Geflügel im Ökolandbau [mg/kg TS]

	Starter		Legehennen				Broiler	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Thiamin								
GfE (1999)	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,8	2,8
NRC (1994)		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	2,0	2,0
G&KL	1,5-3,9	1,4-3,4	1,5-3,7	1,2-3,1	1,3-3,1	1,2-3,0	1,4-3,4	1,1-2,6
Andere	1,8	2,0	0,3	1,1	0,8	1,1	3,0	1,4
Total	3,3-5,7	3,4-5,4	1,8-4,0	2,3-4,3	2,1-3,9	2,3-4,1	4,4-6,4	2,5-4,0
Riboflavin								
GfE (1999)	3,3	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,1-3,7*	3,1-3,7*
NRC (1994)		2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,0-3,6*	3,0-3,6*
G&KL	0,7-1,2	0,6-1,1	0,9-1,4	1,1-1,6	0,9-1,4	1,1-1,5	0,8-1,3	0,5-0,9
Andere	1,2	1,7	0,4	0,5	0,5	0,5	2,5	0,8
Total	1,9-2,4	2,3-2,8	1,3-1,8	1,6-2,1	1,4-1,9	1,6-2,0	3,3-3,8	1,3-1,7
+10 %KGS	2,2-2,9	2,6-3,3	1,7-2,3	2,0-2,7	1,8-2,5	2,0-2,6	3,4-4,2	1,7-2,3
Quelle	a	a	b	b	b	b	a	c

G&KL = nur aus Getreide und Körnerleguminosen (berechnet mit eigenen Ergebnissen); Andere = Futtermittel außer Getreide und (Körner-)Leguminosen (berechnet mit Werten von Sauvart *et al.* (2004)); Total = Gesamtgehalt in der Diät (G&KL + Andere); + 10 % KGS = 10 % der Diät (TS) wurden durch Kleegrassilage ersetzt; ^aDeerberg (2000); ^bSteinhöfel and Lippmann (2005); ^cBellof *et al.* (2005); *sinkend mit steigendem Alter

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Nah-Infrarotspektroskopie

Ein Ziel der vorliegenden Studie war es, die Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren in Futtermitteln aus einheimischem, ökologischem Anbau schnell und zuverlässig zu bestimmen. Dafür sollten NIR-Kalibrationen entwickelt und auf ihre Güte geprüft werden.

Wie bereits von anderen Autoren beschrieben (u.a. Miralbés 2004; González-Martín *et al.* 2006, Aulrich & Böhm 2012, Aulrich *et al.* 2010, 2011, 2015), konnten im Rahmen des Projektes erfolgreich Kalibrationen für die Bestimmung der Rohnährstoffe einschließlich Stärke in Getreidekulturen und Körnerleguminosen erstellt werden. Die einzige Ausnahme stellt bisher Rohfaser in Hafer dar, hier waren wir noch nicht erfolgreich. Der umfangreiche Datensatz (1400 Proben), der aus Proben der wichtigsten Getreidearten und aus Körnerleguminosen über drei Jahre aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands zusammengestellt wurde, war von großem Vorteil für das Projekt. So konnten auch für alle Aminosäuren, einschließlich der schwefelhaltigen AS, erstmals erfolgreiche Kalibrationsmodelle entwickelt werden, was auf die hohe Probenanzahl und die daraus resultierende Spannweite zurückzuführen ist. Es wurde auch versucht, für die B-Vitamine Thiamin und Riboflavin als auch für die Vorhersage der Rohproteinverdaulichkeit NIR-Kalibrationen zu erstellen. Dies hat bisher leider nicht zum Erfolg geführt und wird weiter bearbeitet.

Die mittels der NIR-Kalibrationen ermittelten Vorhersagewerte für alle Rohnährstoffe und die Aminosäuren in Getreiden und Körnerleguminosen wurden bereits im Rahmen dieser Studie für die Auswertung der Einflüsse von Sorten, Standort und Anbaujahr verwendet.

5.2 Rohnährstoffe und Aminosäuren

5.2.1 Gehalte, Korrelationen und Schätzggleichungen

In der vorliegenden Studie variierte der Gehalt aller analysierten Nährstoffe in allen Kulturen stark (Tabellen 14 bis 19). Für konventionell und ökologisch erzeugtes Getreide (DLG 2006-2010; Rodehutschord *et al.* 2016) und Körnerleguminosen (DLG 2006-2010; Jezierny *et al.* 2011; Kyntäjä *et al.* 2014) wurden bereits große Unterschiede des Rohnährstoff- und AS-Gehalts beschrieben. Sie sind aus verschiedenen Futterwerttabellen ersichtlich (z. B. AjinomotoAnimalNutritionGroup 2003-2013; DLG 2006-2010; Bryden *et al.* 2009; Agroscope 2011-2016; AjinomotoAnimalNutritionGroup 2014; DLG 2014; Kyntäjä *et al.* 2014; Evonik 2016; Blok & Dekker 2017; INRA-CIRAD-AFZ 2018). Je nach Herkunft und Umfang des Probensatzes können der mittlere Gehalt sowie der minimale und maximale Gehalt eines Nährstoffs zwischen den Futterwerttabellen variieren. In einem Gesamtvergleich lagen die in der vorliegenden Studie ermittelten Gehalte an XL, XA und XF im Bereich der vorhandenen Tabellenwerte. Die XP-Gehalte der Getreidearten lagen dagegen deutlich unter den in konventionellen Futtermitteln publizierten Werten, wohingegen die XP-Gehalte der Körnerleguminosen vergleichbar waren. In unserer Studie konnten wir feststellen, dass die Stärkegehalte sowohl der Getreidearten als auch der Körnerleguminosen über den in Futterwerttabellen veröffentlichten Werten lagen.

Mehrere Studien fanden einen Einfluss der Sorte und der Umweltbedingungen während des Anbaus und der Lagerung auf die Nährstoffzusammensetzung der Körner verschiedener Getreide- und Körnerleguminosenkulturen. Zu den Umweltbedingungen können auch Charakteristika des

Anbaus gehören, die je nach Anbaugebiet und -jahr stark variieren können. So berichtete Gronle (2014), dass sowohl der Bestand als auch die Anbautechnik einen Einfluss auf die Roh Nährstoffzusammensetzung von Futtererbsen hatten. Auch Klima- und Bodenverhältnisse können die Umweltauswirkungen verstärken. Nikolopoulou *et al.* (2007) kamen zu dem Schluss, dass diese beiden Faktoren der Hauptgrund für Unterschiede in der Nährstoffzusammensetzung von Futtererbsen sind. Die Sorte und der Standort können auch die NfE-Zusammensetzung von Weizen beeinflussen (Longstaff & McNab 1986; Shewry *et al.* 2010). Der Einfluss des Anbaujahres auf die Nährstoffzusammensetzung von Getreide und Körnerleguminosen war in der vorliegenden Studie stark ausgeprägt. Dies wurde auch von (Kim *et al.*, 2003) berichtet, die feststellten, dass die Nährstoffzusammensetzung von Weizen von der Sorte und dem Anbaujahr beeinflusst wird. Sie kamen zu dem Schluss, dass die jährliche Niederschlagsmenge einen großen Einfluss haben kann. Metayer *et al.* (1993) analysierten die Nährstoffzusammensetzung einer Auswahl von Getreide und fanden heraus, dass der Anbauort und das -jahr die Nährstoffzusammensetzung ihrer Getreide beeinflussten.

Auch die AS-Gehalte wurden durch die Sorte und die Umgebungsbedingungen beeinflusst. Der Einfluss der Umwelt, d. h. des Anbaumanagements und der Klimabedingungen, wurde in früheren Studien beschrieben. Die Stickstoffdüngung hat beispielsweise Auswirkungen auf die AS-Zusammensetzung verschiedener Gerstensorten (Jørgensen *et al.* 1999) und die AS-Zusammensetzung in Ackerbohnen kann nicht nur zwischen Anbaujahren, sondern auch zwischen Sorten variieren (Kotlarz *et al.* 2011). Die Wirkung der Sorte kann darauf zurückzuführen sein, dass eine hohe XP-Ausbeute ein wesentliches Zuchtziel ist. Sorten, die das Potenzial zu hohen XP-Erträgen haben, unterscheiden sich höchstwahrscheinlich in ihrer XP-Zusammensetzung von Sorten ohne diese Eigenschaft. Weizen, der für die menschliche bzw. tierische Ernährung gezüchtet wird, ist ein Beispiel für systematische Unterschiede zwischen den Zuchtlinien. Obwohl jede Weizensorte als Futtermittel verwendet werden kann, enthalten Sorten mit guten Backeigenschaften oft mehr Glutenin und weniger Albumin und Globulin, die in Sorten enthalten sind, die zur Tierernährung angebaut werden (Krejčířová *et al.* 2006; Krejčířová *et al.* 2007). Die in der vorliegenden Studie analysierten und verglichenen Wintersorten sind Weizensorten mit guter Backqualität. Sie unterschieden sich nicht in ihrem XP-Gehalt. Die A-Sorte Naturstar hatte jedoch deutlich niedrigere Gehalte an Lys, Thr, Leu, Arg, His, Tyr, Ala, Gly und Ser als die Elitesorten Butaro und Capo. Dieses Ergebnis entspricht im Wesentlichen den oben genannten Ergebnissen.

Im Vergleich zu AS-Konzentrationen im XP von ökologisch erzeugtem Getreide und Körnerleguminosen aus Deutschland, Großbritannien und Finnland (DLG 2006-2010, Kyntäjä *et al.* 2014) wurde deutlich, dass die Umweltbedingungen Auswirkungen auf das Produktionssystem haben.

Die berichtete genetische Variabilität hängt offensichtlich von der Sortenwahl und von den Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Umwelt ab. Die Auswirkungen des Anbaujahres und des Standortes sind höchstwahrscheinlich auf eine Kombination aus Wetterbedingungen, Bodenverhältnissen und Anbaumanagement zurückzuführen. Dies wurde auch in der vorliegenden Studie beobachtet. In den meisten Fällen schien das Auftreten von Unterschieden in der Nährstoffzusammensetzung zufällig zu sein. Das liegt zum einen am mangelndem Wissen über die zugrundeliegenden Anbaubedingungen und zum anderen daran, dass die Wechselwirkungen zwischen genetischen und ökologischen Faktoren oft schwer nachvollziehbar sind. Im Allgemeinen hatten die Umweltbedingungen einen stärkeren Einfluss auf den Nährstoffgehalt als die Sorte.

Allerdings wurden die XF-Gehalte von Weizen, Roggen, Triticale und XL-Gehalte von Hafer weitgehend von der Sorte beeinflusst. So hätte der Züchtungsfortschritt wirken und wahrscheinlich zu weiteren Veränderungen des Gehalts der genannten Nährstoffe führen können (Murphy *et al.* 2009).

Zur Schätzung der AS-Gehalte wurden Regressionsgleichungen abgeleitet. Die meisten dieser aus Regressionsanalysen abgeleiteten Gleichungen hatten ein hohes Bestimmtheitsmaß, das darauf hinweist, dass sie zur Vorhersage des AS-Gehalts auf der Grundlage des Ergebnisses der XP-Analyse verwendet werden können. Diese Praxis ist in Deutschland bereits in der praktischen Futterbewertung üblich. Die VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) berechnet die AS-Gehalte in verschiedenen Futtermitteln mit den verfügbaren Gleichungen der Evonik (2016). Trotz einiger Abweichungen waren die mit den derzeit verfügbaren Gleichungen (Evonik 2016) erzielten Ergebnisse im Allgemeinen mit den mit den aus dem vorliegenden Stichprobensatz abgeleiteten Gleichungen berechneten Werten vergleichbar (Beispiel in Abbildung 16). So sind Gleichungen wertvolle Werkzeuge, mit denen man AS-Gehalte aus den XP-Gehalten schätzen kann und somit sinnvoll für die Rationsgestaltung einsetzen kann.

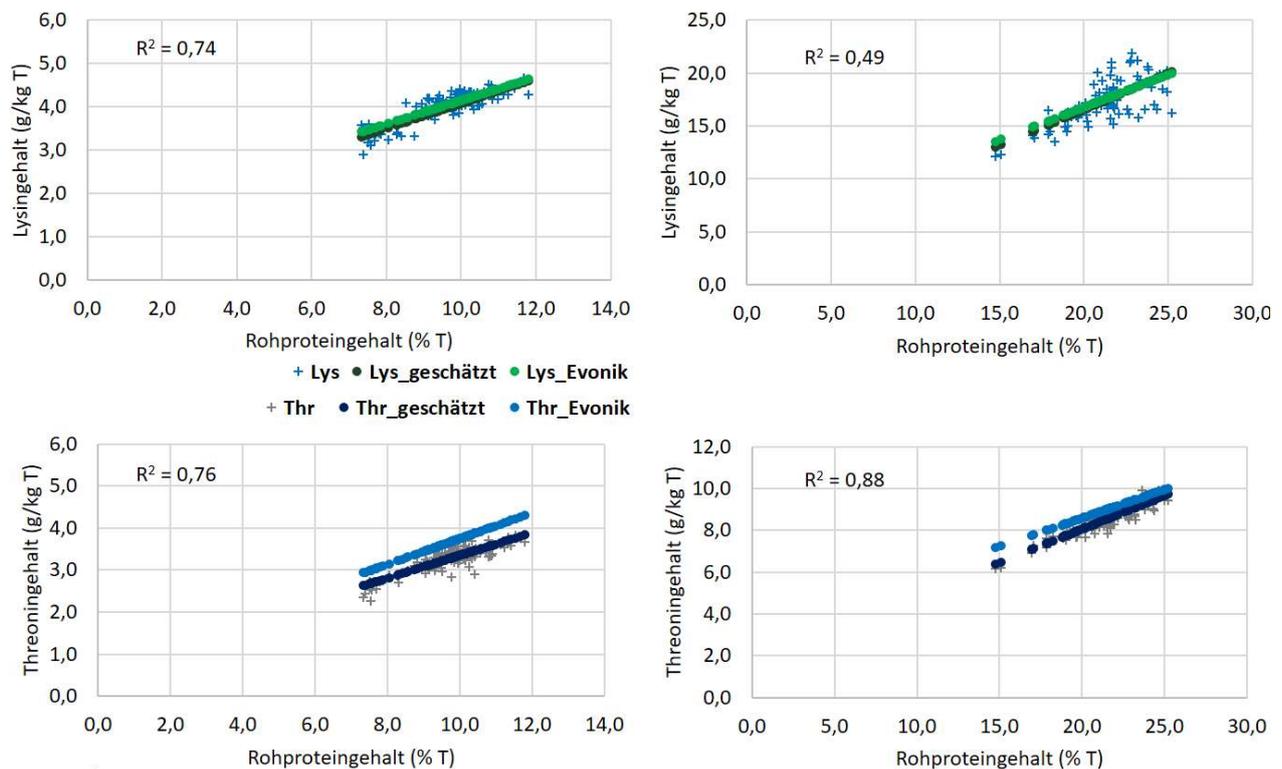


Abbildung 16: Lysin- und Threoninegehalte in Gerste (links) und Futtererbsen (rechts) bestimmt mit HPLC sowie geschätzt mit Gleichungen, die im Projekt entwickelt wurden (_geschätzt) oder in AminoDat 5.0 (_Evonik, Evonik 2016) zu finden sind

Die AS-Zusammensetzung von Ackerbohnen kann nicht mit den Gleichungen aus der vorliegenden Studie vorhergesagt werden. Die Gleichungen der Evonik (2016) lieferten jedoch zufriedenstellende Bestimmtheitsmaße (157 Proben) und können somit zur Vorhersage herangezogen werden. Die Menge an schwefelhaltigen AS in Blauen Lupinen, Ackerbohnen und Futtererbsen können noch nicht zufriedenstellend vorhergesagt werden. Eine weniger genaue Vorhersage von Lys, wie in Weizen, Futtererbsen und Roggen in der vorliegenden Studie, kann

Folgen für die Rationsgestaltung, wenn das Konzept des idealen AS-Verhältnisses mit Lys als Referenz AS angewendet wird. Da die schwefelhaltigen AS in gängigen Öko-Rationen oft limitierend sind (Sundrum 2001; Blair 2008), sollte auch deren Vorhersage verbessert werden. Die verminderte Vorhersagbarkeit könnte auf größere Schwankungen in den Kulturen oder auf weniger genaue Analyseergebnisse für die schwefelhaltigen AS zurückzuführen sein (Rubio *et al.* 2013).

Der Gehalt an Rohnährstoffen und AS in ökologisch erzeugtem Getreide und Körnerleguminosen differiert stark und hängt von der Sorte und den Umweltbedingungen ab. Bei der Betrachtung von Tabellenwerten, die die Nährstoffzusammensetzung von Futtermitteln beschreiben, wird deutlich, dass ein Vergleich der Mittelwerte und somit auch die Verwendung von Tabellenwerten in der Tierernährung irreführend sind. Viele Tabellen enthalten die Mindest- und Höchstwerte für den Nährstoffgehalt. Diese Praxis ermöglicht eine allgemeine Charakterisierung von Futtermitteln. Es ist jedoch nicht möglich, die Menge an Rohnährstoffen in Futtermitteln vorherzusagen, auch wenn die Sorte, der Anbauort und das Anbaujahr bekannt sind. Da Schwankungen der Rohnährstoff- und AS-Zusammensetzung bei der Rationsgestaltung berücksichtigt werden müssen, wird empfohlen, die Rohnährstoffzusammensetzung jeder Charge eines Futtermittels zu analysieren.

Änderungen des XP-Gehalts von Getreide und Körnerleguminosen gehen mit einem veränderten AS-Profil einher. Der Gehalt an Glu, Pro und Phe in Getreide und Arg in Körnerleguminosen steigt mit steigendem XP-Gehalt. Die Vorhersage des AS-Gehalts aus dem XP-Gehalt gilt als geeignete Technik und kann in der praktischen Rationsgestaltung angewendet werden.

5.2.2 Verdaulichkeit

In vivo

Vor allem die Futtererbse enthielt im Vergleich zu Literaturwerten geringe Mengen an XP und AS (Partanen *et al.* 2001; Kluth *et al.* 2005). Die XP- und AS-Konzentrationen lagen jedoch im Rahmen früherer Berichte über ökologisch erzeugte Ackerbohnen und Futtererbsen (Kyntäjä *et al.* 2014). Der Methioningehalt war in beiden Testfuttermitteln hoch, aber ähnlich den Tabellenwerten (Kyntäjä *et al.* 2014).

Hohe Anteile von Körnerleguminosen in der Ration können bei Geflügel schädlich sein. Doch Masey O'Neill *et al.* (2012) und Gabriel *et al.* (2008) formulierten Diäten, die mehr als 70 % Futtererbsen oder Ackerbohnen enthielten, um die Nährstoffverdaulichkeit zu bestimmen. In unserer Studie führten hohe Anteile an Körnerleguminosen nicht zu gesundheitlichen Problemen oder Futterverweigerung. Diese Beobachtung war wahrscheinlich auf die kurze Fütterungszeit der Testrationen oder auf niedrige Konzentrationen von anti-nutritiven Faktoren (ANF) der ausgewählten Sorten der Testfuttermittel zurückzuführen.

Die *praecaecalen* Verdaulichkeitskoeffizienten des XP und AS von Ackerbohnen und Futtererbsen der vorliegenden Studie waren entweder vergleichbar mit oder höher als die in der Literatur angegebenen Werte (Simon 2004; Kluth *et al.* 2005; Masey O'Neill *et al.* 2012; Blok & Dekker 2017). Arginin, Glutaminsäure, Methionin und Lysin von Futtererbsen waren hochverdaulich, während Cystin und Tryptophan weniger verdaulich waren. Im Gegensatz zu Literaturergebnissen war Histidin von Ackerbohnen und Futtererbsen in unserer Studie hochverdaulich. Die Ergebnisse für

die Futtererbsensorte Alvesta waren vergleichbar mit den Ergebnissen von Kluth et al. (2005a). Niedrige ANF-Gehalte könnten für die hohen *praecaecalen* Verdaulichkeitskoeffizienten der AS verantwortlich sein (Brufau et al. 1998; Crépon et al. 2010). ANF-Gehalte wurden jedoch nicht analysiert.

Wir konnten zeigen, dass die *pc* Verdaulichkeit von XP und AS von Bio-Futtererbsen und Ackerbohnen nicht geringer ist als die von nicht-ökologisch angebauten, die in anderen Studien getestet wurden. Ackerbohnen- und Futtererbsensorten sind wertvolle Quellen für XP und AS in der Masthühnerfütterung während der Starterperiode. Darüber hinaus kann die Verwendung dieser Körnerleguminosen das Defizit an AS in ökologisch erzeugtem Masthähnchenfutter reduzieren. Ein Einsatz dieser Futtermittel für (junge) Broiler erscheint daher sinnvoll (Witten et al. 2018).

In vitro

Im Vergleich zu den Angaben in Futterwerttabellen (Ajinomoto Animal Nutrition Group 2003-2013, Agroscope 2011-2016, Evonik 2016, INRA-CIRAD-AFZ 2018) war die Rangfolge der XP-Verdaulichkeit zwischen den Kulturen wie erwartet. Die *in vitro*-Verdaulichkeitskoeffizienten variierten in jeder Kultur und insbesondere in den Körnerleguminosen stark. Dies ist wahrscheinlich auf eine große Anzahl von Proben mit verschiedenen Eigenschaften (Sorten, Anbauorte und Anbaujahre) und unterschiedlichen Nährstoffkonzentrationen und möglicherweise auch antinutritiven Faktoren (Guillamón et al. 2008) zurückzuführen. Allerdings können auch innerhalb und zwischen den Tabellenwerten und verschiedenen Studien große Unterschiede in der *pc* Verdaulichkeit des XP und der AS beobachtet werden.

Wenn die Gleichungen verwendet wurden, die die standardisierte *pc* Verdaulichkeit von XP und AS für 21 Tage alte Masthühner vorhersagen, waren die *in vitro*-Verdaulichkeitskoeffizienten sehr hoch. Die Vorhersage der standardisierten *pc* Verdaulichkeit von XP und AS bei 42 Tage alten Masthühnern war im Vergleich zu Tabellenwerten realistischer. So wird die *in vitro* Verdaulichkeit von XP und AS für 42 Tage alte Masthühner hier weiter diskutiert.

Weizen zeigte die höchsten Verdaulichkeitskoeffizienten, gefolgt von Triticale. Die meisten *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeitskoeffizienten für diese Kulturen waren vergleichbar mit den Verdaulichkeitskoeffizienten von Lemme et al. (2004), Bandegan et al. (2011), AjinomotoAnimalNutritionGroup (2003-2013), Evonik (2016) und INRA-CIRAD-AFZ (2018). Dennoch könnte die *pc* Verdaulichkeit einiger AS, einschließlich Lys und Arg, in Weizen und Triticale durch die *in vitro* Analyse überschätzt werden. Die Variabilität war hoch zwischen den 43 Weizenproben, die in der vorliegenden Studie verwendet wurden. Owens et al. (2009), die 61 Weizenproben untersuchten, und Bryden et al. (2009), die 27 Weizenproben untersuchten, berichteten jedoch über noch größere Unterschiede in der scheinbaren *pc* Verdaulichkeit von XP. Die scheinbaren *pc* Verdaulichkeitskoeffizienten von Met unterschieden sich um bis zu 0,22 in Weizenproben, die von Bryden et al. (2009) beschrieben wurden.

Die *in vitro* XP- und Lys-Verdaulichkeit von Gerste entsprach der standardisierten *pc* Verdaulichkeit von XP und AS von fünf Gerstenproben aus einer Studie von Bandegan et al. (2011). Darüber hinaus war die *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeit vergleichbar mit den angegebenen Verdaulichkeitskoeffizienten der Ajinomoto Animal Nutrition Group (2003-2013), jedoch niedriger als die von Evonik (2016) und INRA-CIRAD-AFZ (2018) angegebene standardisierte *pc*

Verdaulichkeit von AS von Gerste. Da es keine Informationen über den Unterschied zwischen Winterungen und Sommerungen hinsichtlich ihrer XP- und AS-Verdaulichkeit gibt, kann der statistisch signifikante Unterschied zwischen Winter- und Sommergerste nicht ausführlich diskutiert werden. Es ist überraschend, dass die *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeitskoeffizienten von Wintergerste höher waren, da auch der Rohfasergehalt in Wintergerste signifikant höher war und Rohfaser einen negativen Einfluss auf die Nährstoffverdaulichkeit hat (Jørgensen *et al.* 1996). Getreideproteine bestehen jedoch aus verschiedenen Proteinfractionen, von denen einige weniger verdaulich sind als andere (Carbonaro *et al.* 2000; Rubio *et al.* 2013). Deutlich geringere Mengen an Arg, Asp, Lys, Leu, Ile und Val im XP von Wintergerste im Vergleich zu Sommergerste (siehe Kapitel I) deuten auf eine veränderte Proteinzusammensetzung hin, die die *in vitro* XP-Verdaulichkeit beeinträchtigt haben könnte. Büchmann (1979) beobachtete gemäß den Ergebnissen der vorliegenden Studie bei 321 Sommergerste-Linien große Schwankungen der *in vitro*-Verdaulichkeit, die von der Düngung und in geringerem Maße von genetischen und umweltbedingten Faktoren abhingen.

Über die *pc* Verdaulichkeit von Roggen gibt es nur wenige Informationen. Die standardisierte *pc* Verdaulichkeit des in Evonik (2016) berichteten essentiellen AS von Winterroggen entsprach der *in vitro*-Verdaulichkeit der essentiellen AS. Blok & Dekker (2017) berichteten jedoch von einer geringeren *pc* Verdaulichkeit aller AS mit Ausnahme von Met in Winterroggen (n = 2) als in der vorliegenden Studie mit Hilfe der *in vitro* Methode geschätzt. Auch Zuber *et al.* (2016) fanden die sehr geringer scheinbare *pc* Verdaulichkeiten der AS von Roggen bei Hühnern. Dies könnte auf Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) und Pentosane zurückzuführen sein, die die Nährstoffaufnahme durch einen viskosen Chymus negativ beeinflussen können (Almirall *et al.* 1995). Die *in vitro*-Verschwindensrate würde jedoch nicht unbedingt durch diese Verbindungen beeinflusst werden (Moughan 1999). Die Roggenprobe, für die die *pc* XP- und AS-Verdaulichkeit bekannt war, konnte bei der Kalibrierung der *in vitro*-Methode nicht verwendet werden. Die Methode kann noch nicht für die Verwendung mit Roggenproben empfohlen werden. Der *in vitro* Verdaulichkeitskoeffizient kann jedoch verwendet werden, um Winterroggenproben nach ihrem möglicherweise verdaulichen XP und AS am terminalen Ileum zu bewerten. Die Methode könnte weiter angepasst werden, wenn mehr Roggenproben mit bekannter *in vivo* *pc* Verdaulichkeit des XP und der AS verfügbar sind.

Die für die Kalibrierung der *in vitro* Methode verwendete Ackerbohnenprobe hatte überraschenderweise höhere verdauliche XP- und AS-Gehalte als die Futtererbsenprobe. Umgekehrt zeigten die Mittelwerte der Analysenergebnisse, wie erwartet (Masey O'Neill *et al.* 2012; Koivunen *et al.* 2016), dass die Ackerbohnen einen geringeren Anteil an *in vitro* verdaulichem XP und AS enthielten als die Ackerbohnen. Dies zeigt das Potenzial der *in vitro* Methode für die Vorhersage der *pc* XP und AS Verdaulichkeit von Körnerleguminosen. Mit Ausnahme von Lys und Arg (und His in Futtererbsen) waren die *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeitskoeffizienten von Ackerbohnen und Futtererbsen jedoch vergleichbar mit den *pc* Verdaulichkeitskoeffizienten von sieben Ackerbohnen und sechs Futtererbsensorten, die von Masey O'Neill *et al.* (2012) untersucht wurden, obwohl sie etwas geringere Schwankungen beobachteten. Dennoch wurden auch in der Literatur Schwankungen der Verdaulichkeitskoeffizienten von XP und Lys um bis zu 0,16 bzw. 0,20 angegeben (Bryden *et al.* 2009). Es ist möglich, dass die Stichprobenauswahl und die Anzahl der Proben diese Unterschiede beeinflussen. Dies erschwert den Vergleich mit Mittelwerten. Im Vergleich zu den Mittelwerten der vorliegenden Studie lassen sich positive und negative

Abweichungen vom Mittelwert der *in vitro* AS-Verdaulichkeitskoeffizienten für die *pc* Verdaulichkeit der AS von Ackerbohnen und Futtererbsen nach Evonik (2016) feststellen. Ajinomoto Animal Nutrition Group (2003-2013) und INRA-CIRAD-AFZ (2018) berichteten von höheren Verdaulichkeitskoeffizienten für die AS mit Ausnahme von Met.

Unterschiede der XP- und AS-Verdaulichkeit bei Schweinen und Geflügel zwischen den Genotypen von Getreide sind bekannt (Crépon *et al.* 2010; Rosenfelder *et al.* 2015; Spindler *et al.* 2016; Zuber *et al.* 2016; Zuber & Rodehutschord 2016). In der Stichprobe der vorliegenden Studie war Winterroggen die einzige Kultur, bei der die *in vitro* Verdaulichkeit des XP und der AS von der Sorte beeinflusst wurde. Der Probesatz von Winterroggen enthielt jedoch auch die größte Anzahl verschiedener Sorten, war stärker balanciert und die Proben wurden nur an vier verschiedenen Anbauorten angebaut. Diese Eigenschaften des Probensatzes könnten die Ursache für das Auftreten von Einflüssen aller drei getesteten Faktoren sein. Masey O'Neill *et al.* (2012) beobachteten, dass die Sorte die standardisierte *pc* Verdaulichkeit von Leu in Ackerbohnen und von XP in Ackerbohnen beeinflusste. Koivunen *et al.* (2016) fanden auch nur vereinzelte Sortenunterschiede.

Dies führt zu der Annahme, dass die Auswahl und die Anzahl der Sorten der Grund für das Fehlen eines Sorteneinflusses bei den meisten untersuchten Kulturen waren. Die Testsorten waren in ihren Charakteristika bezüglich Anbau und Fütterung gleichwertig. Folglich waren die Unterschiede gering. Ein Test mit mehr Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften kann einen Effekt dieses Faktors zeigen. Darüber hinaus könnten sich die Umweltbedingungen mit den Unterschieden zwischen den Sorten überschneiden. Das Anbauumfeld und das Management können die Nährstoffzusammensetzung von Nutzpflanzen weitgehend beeinflussen (Longstaff & McNab 1986; Zebarth *et al.* 1992; Metayer *et al.* 1993; Witten & Aulrich 2018). Es ist beispielsweise möglich, dass Bodenverhältnisse oder Wetter sowie das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten während des Wachstums die Kornzusammensetzung von Pflanzen beeinflussen (Shewfelt 1990; Gutiérrez-Alamo *et al.* 2008). So ist es plausibel, dass die Verdaulichkeit auch durch Umweltbedingungen beeinflusst werden kann. Studien zu diesem Thema sind jedoch selten. Gehring *et al.* (2012) und Ravindran *et al.* (2014) berichteten, dass die Herkunft von Mais bzw. Sojamehl ein wichtiger Einflussfaktor auf die Verdaulichkeit der *ilealen* Nährstoffe ist. Simon (2004) untersuchte die Auswirkungen von zwei Standorten und zwei Sorten von Ackerbohnen und Blauen Lupinen auf die *pc* XP- und AS-Verdaulichkeit und fand große Unterschiede (bis zu 0,07). Es wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede der *pc* XP- und AS-Verdaulichkeit zwischen Sorten oder Standorten bei Ackerbohnen beobachtet, während statistisch signifikante Unterschiede zwischen Lupinensorten festgestellt wurden. In anderen Studien wird der Anbauort nicht erwähnt. So könnte beispielsweise die große Variation der *pc* XP-Verdaulichkeit sowie der Einfluss der Sorte auf die *pc* XP-Verdaulichkeit von drei Weizensorten (0,78-0,88, Kluth *et al.* 2009) durch Umweltbedingungen beeinflusst worden sein. Die Umweltbedingungen, einschließlich Schädlingsvorkommen und Krankheitsbefall, während der Reifung der Pflanzen, haben Einfluss auf die Bildung von pflanzlichen Inhaltsstoffen. In der vorliegenden Studie hatte der Anbauort oder -bereich einen noch stärkeren Einfluss auf die *in vitro* XP- und AS-Verdaulichkeit als das Anbaujahr. Darüber hinaus unterschied sich die *in vitro*-Verdaulichkeit zwischen den Anbauorten, auch wenn diese sich in der gleichen Region mit homogenen klimatischen Bedingungen befanden. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Merkmale des Standortes, einschließlich des Anbaumanagements, nicht nur die Nährstoffzusammensetzung, sondern auch die XP- und AS-Verdaulichkeit von Getreide und

Körnerleguminosen beeinflussen. Da sich die Sorten an die Produktionssysteme anpassen können (Murphy *et al.* 2007), ist es möglich, dass sich solche Effekte im Ökologischen Landbau verstärkt zeigen.

Diese Studie bestätigt, dass die Verdaulichkeit von XP und AS stark variiert und von der Kultur, der Sorte und den Umweltbedingungen beeinflusst wird. Da die Leistung und Gesundheit der Tiere durch diese großen Unterschiede beeinträchtigt werden kann, können valide Vorhersagen über die *praecaecale* Verdaulichkeit von Vorteil sein. Der modifizierte Multi-Enzym-Assay zur Schätzung der *praecaecalen* XP- und AS-Verdaulichkeit von Futtermitteln für junge Masthähnchen führte in vielen Fällen zu plausiblen Ergebnissen. Es wird jedoch empfohlen, die Validität des Multi-Enzym-Assays für die Vorhersage der *praecaecalen* Verdaulichkeit von XP und insbesondere von AS durch kombinierte *In-vitro*- und *In-vivo*-Studien weiter zu verbessern.

5.2.3 Rationen

Die beispielhaft berechneten Rationen für Schweine und Geflügel mit hohen bzw. niedrigen Gehalten an XP und den in die Rationsgestaltung einfließenden AS Lysin, Methionin, Cystein, Threonin und Tryptophan, die tatsächlich durch Sorten- und Umweltabhängigkeiten entstehen können, zeigen auf, dass große Unterschiede in der Versorgung mit den entsprechenden Nährstoffen in der Ration auftreten können. Dies kommt besonders zum Tragen, wenn die Ration hohe Anteile an Körnerleguminosen enthält, wie zum Beispiel Ration 25 für Mastschweine (Tabelle 12), die zu 52 % aus Körnerleguminosen besteht. Durch die Schwankungen der Rohproteingehalte in den Rationskomponenten kann es zu Unterschieden in der Rohproteinversorgung um bis zu 36 g/kg TS kommen. Da die größten Schwankungen bei Blauen Lupinen beobachtet wurden, sind Rationen, die diese enthalten, besonders sorgsam zu betrachten. Dies zeigt sich auch in der Ration für Geflügel (Tabelle 13), die 20 % Blaue Lupinen enthält. Die Schwankungen im XP-Gehalt, die vor allem aus den Blauen Lupinen resultieren, gehen mit großen Schwankungen der AS-Gehalte in der Ration einher.

Die Untersuchungen bestätigen den starken Einfluss von Chargenunterschieden in der Rationsgestaltung. Vor allem, wenn wenige Komponenten eingesetzt werden, ist es notwendig, deren Zusammensetzung zu kennen. Die durchschnittliche Verdaulichkeit der Aminosäuren unterschied sich um bis zu 4 % zwischen gleichen Rationen. Die Analyse der Rationskomponenten bei Einsatz neuer Chargen von Rationskomponenten wird dringend empfohlen. Auch eine weitere Betrachtung schneller Analysemöglichkeiten erscheint sinnvoll.

5.3 Thiamin- und Riboflavin

5.3.1 Gehalte

Aufgrund mangelnder Kenntnisse über die Herkunft der Proben zur Gewinnung von Tabellenwerten von B-Vitaminen sowie der verwendeten Zubereitungs- und Analyseverfahren können Vergleiche unserer Ergebnisse mit Tabellenwerten irreführend sein. Unterschiede zwischen den analysierten B-Vitamingehalten können durch viele Faktoren wie Sorteneffekte oder Umwelteinflüsse (Shewry *et al.* 2011) sowie durch unterschiedliche Analysemethoden entstehen (Hollman *et al.* 1993). Die gebräuchlichsten Analysemethoden für B-Vitamine sind mikrobiologische Assays und HPLC-Methoden. Mit Ausnahme von Winterroggen wurden etwas niedrigere Thiamingehalte in Getreidekörnern gefunden als von Buchholz *et al.* (2012)

beschrieben, die selbst vergleichsweise niedrige Thiaminwerte in Getreide fanden. Sauvant *et al.* (2004) sammelten Tabellenwerte für Futtermittel und meldeten einen höheren Gehalt an beiden B-Vitaminen in Getreide. Die Thiamingehalte der drei Körnerleguminosen und die Riboflavingehalte der Futtererbsen und Ackerbohnen entsprachen jedoch unseren Ergebnissen (Tabelle 21). In den Lebensmitteltabellen des USDA (2016) werden meist größere Mengen beider B-Vitamine in Getreidekörnern angegeben als unsere Ergebnisse vermuten lassen. Nur der Thiamingehalt von Körnerleguminosen sowie der Riboflavingehalt von Ackerbohnen und Hafer wurden in der aktuellen Studie bestätigt. Obwohl die Tabellenwerte von Sauvant *et al.* (2004) für Blaue Lupinen höher waren, entsprach der analysierte Riboflavingehalt den Ergebnissen von Olkowski (2008), der 2,24 mg/kg TS fand. Piironen *et al.* (2009) untersuchten noch größere Variationen von B-Vitaminen in Weizenkörnern. Insgesamt fanden wir relativ niedrige mittlere Mengen an beiden B-Vitaminen in Getreidekörnern und Körnerleguminosen. Allerdings haben wir unsere Thiamin-Ergebnisse als Thiamin angegeben. Wir wissen nicht, ob andere Autoren ihre Ergebnisse als Thiaminchloridhydrochlorid, als Thiaminchlorid (Thiaminchloridhydrochlorid * 0,892) oder auch als Thiamin (Thiaminchloridhydrochlorid * 0,787) angegeben haben. Daher ist es möglich, dass unsere Ergebnisse im Vergleich zur überprüften Literatur unterschätzt werden.

Die Sorte und die Umweltbedingungen beeinflussten sowohl den B-Vitamingehalt in Getreide als auch in Körnerleguminosen. Die Unterschiede zwischen den Faktorausprägungen waren oft eher gering und hatten daher keine praktische Bedeutung. Die Ergebnisse sind jedoch abhängig von den ausgewählten Sorten und Umgebungen. Darüber hinaus sind Wechselwirkungen der Faktoren durchaus möglich. Leider konnten wir die Interaktionen innerhalb unserer Daten nicht testen.

Wir konnten die Ergebnisse von O'Donnell (1943) sowie Nordgren & Andrews (1941) bestätigen, die feststellten, dass Sorte und Umwelt den Thiamingehalt im Weizen beeinflussen. Ähnlich wie bei Conner & Straub (1941) beobachteten wir, dass die Umgebung einen geringeren Einfluss auf den Riboflavingehalt im Weizen hatte als auf seinen Thiamingehalt. Obwohl die absoluten Ergebnisse sehr unterschiedlich waren, stimmen unsere Erkenntnisse über den Einfluss von Sorte und Umwelt auf Weizenkörner auch mit Shewry *et al.* (2011) überein. Sie fanden eine größere genotypische Varianz von Thiamin als von Riboflavin in Weizenlinien.

Ein Einfluss des Anbaujahres auf den B-Vitamingehalt in Weizen und Roggen wurde bereits von Bognar & Kellermann (1993) festgestellt. Dieser Effekt konnte für die Stichprobe aus den Jahren 2011-2013 bestätigt werden. Da sich im Roggen hohe Gehalte an Thiamin und Riboflavin im Keim befinden (Ihde & Schuette 1941), können sortenbedingte Schwankungen des Tausendkorngewichts (TKG), also der Korngröße, die Menge an B-Vitaminen beeinflusst haben. Wir fanden heraus, dass die Roggensorte Helltop, die ein sehr hohes TKG hat, auch einen sehr hohen Thiamingehalt hat, während ihr Riboflavingehalt mit anderen Sorten vergleichbar ist.

Im Gegensatz zu Michela & Lorenz (1976) wurde beobachtet, dass der B-Vitamin-Gehalt von Wintertriticale nur annähernd vergleichbar mit Weizen und Roggen ist. Die analysierten Ergebnisse zeigten jedoch eine sehr große Variation. Unterschiede im B-Vitamingehalt zwischen Standorten in der gleichen Region, wie sie bei Hafer gefunden wurden, können von lokalen Einflüssen wie Anbaumanagement oder Wetter abhängen. Da bekannt ist, dass der Thiamingehalt mit zunehmender Reife abnimmt (Buchholz *et al.* 2012), kann die Erntezeit einer der Einflussfaktoren sein. Darüber hinaus ist bekannt, dass Mineralstoffmangel den Riboflavingehalt in den Blättern und Spitzen unreifer Haferpflanzen verringert (Watson & Noggle 1947). So kann vermutet werden, dass

die Mineralstoffversorgung auch die Menge an Riboflavin im Hafer und vielleicht sogar in anderen Getreidekörnern beeinflusst.

Untersuchungen zu sortenspezifischen Unterschieden des B-Vitamin-Gehalts in Körnerleguminosen sind selten. Wir haben keine relevanten Informationen über Ackerbohnen, Futtererbsen und Blaue Lupinen gefunden. Burkholder & McVeigh (1945) fanden jedoch Sortenunterschiede bei Soja und Mungobohnen. In der geprüften Stichprobe konnte festgestellt werden, dass die Sorte den Thiamingehalt in Ackerbohnen beeinflusst. Sehr große Unterschiede zwischen den Thiamingehalten von Ackerbohnenarten lassen vermuten, dass die Züchtung diese verändern könnte.

Bei Blauen Lupinen hatte der Wachstumstyp (determiniert vs. unbestimmt) keinen Einfluss auf den B-Vitamingehalt. Schwankungen des Thiamin- und Riboflavingehalts zwischen den Anbauorten können in erster Linie auf die Unterschiede in Boden und Wetter zurückzuführen sein.

Im Vergleich zu Lebens- und Futtermitteltabellenwerten wurden vor allem bei Getreidekörnern eher niedrige Thiamin- und Riboflavingehalte festgestellt. Es könnte von Interesse sein zu beurteilen, ob der Thiamingehalt in Getreidekörnern im Allgemeinen niedriger ist als erwartet. Wir beobachteten einen Einfluss von Sorte, Anbaujahr und Anbauort bzw. -region auf Thiamin- und Riboflavingehalte in Getreide und Körnerleguminosen. Aufgrund der großen Unterschiede ist es schwierig, die Mengen an beiden B-Vitaminen in Getreideproben und Körnerleguminosen zu schätzen. Die Verwendung von Mittelwerten kann daher irreführend sein. Es wird empfohlen, Tabellenwerte mit Minima und Maxima unter Angabe der Anzahl der zugrunde liegenden Proben auszudrücken und weitere Analysen durchzuführen. Unsere Daten können zur Aktualisierung bestehender Lebens- und Futtermitteltabellen verwendet werden.

5.3.2 Rationen

Die Empfehlungen für die Zufuhr von Thiamin und Riboflavin sind nicht eindeutig, und Forschung auf diesem Gebiet ist notwendig. Es gibt nur wenige Untersuchungen zu diesem Thema und die meisten wurden bereits vor Jahrzehnten durchgeführt (GfE 2006; McDowell & Ward 2008; de Lange 2013). Neuere Untersuchungen empfehlen tendenziell höhere Mengen an Thiamin und Riboflavin für die Geflügelfütterung (zusammengefasst in (Jeroch *et al.* 2011; Jeroch *et al.* 2012). Darüber hinaus hängen die Anforderungen von der Leistung des Tieres ab. Im Ökologischen Landbau ist die Tierhaltung in der Regel weniger intensiv (Hovi *et al.* 2003) und insbesondere bei Geflügel werden häufig Stämme mit weniger schnellem Wachstum verwendet (Blair 2008). Haltungssysteme einschließlich Weide- und Auslaufflächen beeinflussen die Leistung der Tiere und den Energiebedarf (Edwards 2003). Da Thiamin und Riboflavin im Energiestoffwechsel benötigt werden, könnte auch der Bedarf an B-Vitamin von monogastrischen Tieren im Ökologischen Landbau von dem unter konventionellen Haltungsbedingungen abweichen. So kann beispielsweise die Umgebungstemperatur die tägliche Gewichtszunahme und Futteraufnahme und damit auch den Thiaminbedarf von Schweinen beeinflussen (Peng & Heitman 1974). Anhand offizieller deutscher und amerikanischer Versorgungsempfehlungen wurde geprüft, ob der native Thiamin- und Riboflavingehalt des Mischfutters für Schweine und Hühner ausreichend ist.

Thiamin

Da unsere Ergebnisse darauf hindeuten, dass die Zufuhr von nativem Thiamin in Getreidearten für monogastrische Tiere im Ökologischen Landbau in der Regel ausreichend ist, erscheint eine Thiamin-Supplementierung zunächst nicht notwendig. Allerdings kann eine Supplementierung erforderlich sein, wenn die Verfügbarkeit von Thiamin schlecht ist. Thiamin kann von Antagonisten gehemmt oder durch Hitze zerstört werden (McDowell & Ward 2008). So kann die Wärmebehandlung und Pelletierung die Bioverfügbarkeit reduzieren.

Riboflavin

Skinner *et al.* (1992) fütterten eine Diät auf Mais- und Sojamehl-Basis mit 50 g/kg Fischmehl-Analogen als Proteinquelle ohne B-Vitamin-Supplementierung an Masthühner und fanden keinen Einfluss auf Gesundheit oder Leistung. Diese Rationszusammensetzung ist jedoch kaum mit den gängigen europäischen getreidebasierten Diäten vergleichbar. In den meisten unserer getreidebasierten Praxisdiäten waren die Riboflavinmengen niedriger als empfohlen. Nur die Einbeziehung anderer Futtermittel könnte möglicherweise zu einer ausreichenden Versorgung führen. Es sollte auch berücksichtigt werden, dass Riboflavin unter der Einwirkung von Licht (McDowell & Ward (2008) nicht stabil ist und seine Verfügbarkeit berücksichtigt werden muss. Getreidebasierte Diäten im Ökologischen Landbau sollten daher zusätzliche Futtermittel mit hohem Riboflavinanteil enthalten (Oehen *et al.* 2011). Da keine eigenen Analyseergebnisse für diese Futtermittel vorliegen, wurde der Gesamtgehalt an Thiamin und Riboflavin in den exemplarischen Diäten anhand von Tabellenwerten berechnet. Diese Werte können jedoch nicht die Variabilität der Zusammensetzung anzeigen. Sojabohnen sollen etwa 11 mg Riboflavin/kg TS enthalten (Sauvant *et al.* 2004). Sie könnten daher zur Versorgung mit Riboflavin beitragen. Da wir jedoch große Unterschiede im Riboflavingehalt in heimischen Körnerleguminosen festgestellt haben, ist es durchaus möglich, dass es auch große Unterschiede im Riboflavingehalt in Sojabohnen gibt. Milchprodukte enthalten einen hohen Riboflavinanteil (Marconi & Panfili 1998; USDA 2016). Molkepulver oder Milchpulver werden häufig in der Ernährung von Ferkeln und laktierenden Sauen verwendet, sind aber in der Ernährung anderer erwachsener Schweine oder von Geflügel nicht sehr verbreitet. Bierhefe enthält bekanntlich einen hohen Anteil an B-Vitaminen, darunter Thiamin mit 91 mg/kg TS und Riboflavin mit 43 mg/kg TS (Sauvant *et al.* 2004), sowie weitere günstige Bestandteile (Yamada & Sgarbieri 2005). So hat die Aufnahme kleiner Mengen an Bierhefe die B-Vitaminversorgung unserer Beispieldiäten stark erhöht. Sofern die Bierhefe für die Futtermittelproduktion gewonnen werden kann, kann ihre Verwendung empfohlen werden.

Vom Grünland bzw. aus dem Ackerfutterbau gewonnene Futtermittel, wie Grünmehl aus Gras, Luzerne und/oder Klee können auch die Riboflavinversorgung verbessern. Umfangreiche Daten über die Nährstoffzusammensetzung sind jedoch nicht verfügbar. Darüber hinaus können Raufutterangebot und Weidegang, die bereits Bestandteil des Ökologischen Landbaus sind (Crawley 2015b; a), zur Versorgung mit B-Vitaminen beitragen. Kleeegrassilage hat sich als vielversprechend erwiesen, um die Zufuhr von Riboflavin zu erhöhen. In unserer Studie wurden 10 % Kleeegrassilage in die Diät aufgenommen. Es ist davon auszugehen, dass Schweine über ihre normale Futteraufnahme hinaus noch mehr Silage aufnehmen würden (Carlson *et al.* 1999).

Neben der Verwendung dieser Futtermittel könnte es möglich sein, den Riboflavingehalt von Getreide und Körnerleguminosen zu verbessern. Da bekannt ist, dass die Keimung von Getreidekörnern aus Getreide und Körnerleguminosen den Riboflavingehalt erhöht (Prodanov *et*

al. 1997; Sierra & Vidal-Valverde 1999; Flamme *et al.* 2003), könnte die Keimung dieser Körner auch helfen, die Lücke in der Riboflavinversorgung zu schließen. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema würden jedoch helfen, den Nutzen zu bewerten.

Schwankungen von Thiamin und Riboflavin in einzelnen Futtermitteln beeinflussen deren Gehalt in exemplarischen Diäten für monogastrische Tiere stark. Die durchschnittliche Diät auf Getreidebasis übersteigt meist den Thiaminbedarf von monogastrischen Nutztieren. Somit wurde keine Lücke zwischen der empfohlenen und der tatsächlichen nativen Versorgung festgestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass die Thiaminverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden konnte. Die Menge an Riboflavin hingegen erwies sich in den meisten unserer exemplarischen Diäten als unzureichend. Daher wird eine Ergänzung empfohlen. Das Ausmaß des Mangels hängt von der Menge an Getreide und Körnerleguminosen in der Nahrung, der Tierleistung und den verwendeten Empfehlungen ab. In unserem Beispiel ist das Ausmaß des Mangels am größten bei der Trächtigkeit von Sauen mit bis zu 3,3 mg Riboflavin/kg TS in einer Ernährung, die nur aus Getreide und heimischen Körnerleguminosen besteht, und bei Masthühnern mit bis zu 2,4 mg/kg TS. Die Zugabe von alternativen Futtermitteln zur Deckung des Riboflavinbedarfs in der Monogastrierfütterung kann den Ergänzungsbedarf reduzieren und somit zu einer 100 %-Biofütterung beitragen. Weitere Untersuchungen zu Produkten aus Grünland oder anderen alternativen Produkten, wie gekeimtem Saatgut, als Lieferanten von Riboflavin sind erforderlich. Darüber hinaus sollten die Empfehlungen für Thiamin und Riboflavin unter Berücksichtigung der Fortschritte in der Tierproduktion für den konventionellen und ökologischen Landbau überprüft werden.

5.4 Schlussfolgerung, Fazit

Die Schwankungen des XP und der AS sind beachtlich und können bei Nutzung von Tabellenwerten dazu führen, dass die Tiere nicht adäquat versorgt werden.

NIRS eignet sich sehr gut zur schnellen und kostengünstigen Bestimmung der Inhaltsstoffe. Ein Einsatz vor der Rationsgestaltung ist sinnvoll, da Schwankungen der Inhaltsstoffgehalte in Einzelkomponenten Auswirkungen auf die Nährstoffzusammensetzung der Ration haben. Der Einsatz von Schätzggleichungen zur Bestimmung der Aminosäuregehalte ist eine weitere Lösung, um bei bekannten Rohproteingehalten auf Tabellenwerte verzichten zu können und somit besser angepasste Rationen zu füttern.

Thiamin ist in der Regel in Rationen für monogastrische Nutztiere in ausreichender Menge enthalten. Hinzu kommen im Auslauf aufgenommene Mengen. Es ist daher unwahrscheinlich, dass ein Thiaminmangel auftritt. In unseren Rechnungen wäre eine Ration nur dann defizitär an Thiamin, wenn alle genutzten Einzelfuttermittel sehr geringe Gehalte hätten. Umgekehrt wäre eine bedarfsgerechte Versorgung mit Riboflavin nur dann für einige Tiere möglich, wenn alle Futtermittel hohe Gehalte an Vitamin B₂ hätten. In den meisten Fällen wäre Riboflavin defizitär und müsste ergänzt werden, um Mangelsituationen zu verhindern.

Die entwickelte *in vitro* Methode zur Schätzung der *praecaecalen* Verdaulichkeit hat Potential, um Werte für die Rationsgestaltung zu liefern und somit die Futtereffizienz zu steigern.

6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes bestätigen, dass alle überprüften Inhaltsstoffe der Kulturen, abhängig von umweltbedingten und genetischen Faktoren, stark schwanken können. Für die Praxis bedeutet dies, dass klassische Tabellenwerte nicht für eine bedarfsgerechte Rationsoptimierung nutzbar sind. Je nach Art der Fütterung sollten Einzelfuttermittel und/oder fertige Mischfuttermittel einer Analyse unterzogen werden. Die NIRS eignet sich mit einigen Ausnahmen für diesen Zweck sehr gut. Bei einer sinnvollen Futterzusammensetzung ist eine 100 %-Biofütterung mit eigenbetrieblichen Futtermitteln gut möglich. Auch auf den synthetischen Zusatz von Thiamin kann in vielen Fällen verzichtet werden, wenn die nativen Gehalte der Futtermittel Beachtung finden. Der Zusatz von Riboflavin ist in der Regel notwendig. Die Ergebnisse der Studie können als Grundlage für Folgestudien genutzt werden und liefern auch wichtige aktuelle Informationen über die Gehalte an Thiamin und Riboflavin, nicht nur in ökologisch erzeugten Futtermitteln.

Um die Ergebnisse für die Praxis nutzbar zu machen, sind Veröffentlichungen in für Landwirte oft zugänglichen Medien (TopAgrar, Bauernblatt, Verbandszeitungen, u.a.) notwendig. Landwirte könnten mit diesem Wissen ihre Rationen aufwerten, den Zusatz synthetischer B-Vitamine verringern und den Stoffwechsel ihrer Tiere sowie die Umwelt schonen.

Die Weiterentwicklung bzw. fortlaufende Pflege der Kalibrationen für valide und reliable Schätzungen der Gehalte an Rohnährstoffen, AS und Vitaminen ist notwendig. Des Weiteren ist es sinnvoll, zu überprüfen, ob antinutritive Inhaltsstoffe (wie Tannine, Lektine, Phytat-Phosphor und andere) oder Verunreinigungen mit Hilfe der NIRS schätzbar sind. Bereits jetzt könnten aber die erstellten NIR-Kalibrationen anderen Nutzerkreisen zur Verfügung gestellt werden. Ein Modell dafür wäre die Bereitstellung von Proben aus Projekten, die NIR vermessen und geschätzt werden könnten. Eine geringe Stichprobe jedes Probensatzes müsste referenzanalytisch untersucht werden und diese Ergebnisse würden zur Verbesserung der Robustheit der Kalibrationen verwendet. Gleichzeitig könnten den Projekten damit zeitnah die Ergebnisse der NIR-Schätzungen bereitgestellt werden. So könnte eine langfristige Pflege und der Erhalt der NIR-Datenbanken erreicht werden und gleichzeitig könnten sie sinnvoll genutzt werden.

Ein großes Interesse gilt zudem weiterhin den Gehalten an B-Vitaminen. Nicht nur, weil die Datengrundlage zu Gehalten unzureichend ist, sondern auch, weil wir auf einen Einfluss der Genetik, der Lagerung, der Probenvorbereitung sowie auch der Analyseverfahren aufmerksam geworden sind, sollte diese Fragestellung dringend weiter bearbeitet werden. Futtermittel mit erhöhten Riboflavingehalten (z. B. Grünfutter, gekeimte Körner, fermentierte oder tierische Produkte) sind von großem Interesse in Forschung und praktischer Fütterung.

Die Ergebnisse der Verdaulichkeitsuntersuchungen implizieren, dass kein Unterschied zwischen konventionell und ökologisch gehaltenen Tieren vorausgesetzt werden muss. Die *in vitro* Methode sollte noch weiter kalibriert werden. Sie kann eingesetzt werden, um die *praecaecale* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren abzuschätzen und die Anzahl notwendiger Tierversuche zu reduzieren.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten und tatsächlich erreichten Ziele

Geplante Ziele	Erreichte Ziele
Analyse von 811 Proben mittels Referenzanalytik	Analyse von 855 Proben
Entwicklung von NIRS-Kalibrationen für Rohnährstoffe, Aminosäuren und B-Vitamine	Entwicklung von NIRS-Kalibrationen für Rohnährstoffe, Aminosäuren erfolgreich
Bestimmung der <i>praecaecalen</i> Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit einer Futtererbse und einer Ackerbohne	Bestimmung der <i>praecaecalen</i> Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit einer Futtererbse und einer Ackerbohne
Anpassung einer <i>in vitro</i> Methode zur Bestimmung der <i>praecaecalen</i> Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit verschiedener Futtermittel beim Broiler	Anpassung einer <i>in vitro</i> Methode zur Bestimmung der <i>praecaecalen</i> Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit verschiedener Futtermittel beim Broiler
Bestimmung der <i>in vitro</i> Rohproteinverdaulichkeit in 316 Proben	Bestimmung der <i>in vitro</i> Rohproteinverdaulichkeit in 292 Proben
Bestimmung der <i>in vitro</i> Aminosäurenverdaulichkeit in 76 Proben	Bestimmung der <i>in vitro</i> Aminosäurenverdaulichkeit in 292 Proben
Gründliche Auswertung und Beurteilung der Analysenergebnisse	Bestimmung des Einflusses von Sorte, Standort und Anbaujahr auf Rohnährstoff-, Aminosäuren- und B-Vitamingehalte sowie auf die <i>in vitro</i> -Verdaulichkeit; Rechnen von Beispielrationen anhand der ermittelten Gehalte
Futterwerttabellen	Erscheint nicht sinnvoll
Kommunikation der Ergebnisse auf Fachtagungen	Kommunikation der Ergebnisse auf Fachtagungen (z.B. Jahrestagungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Int. Leguminosenkonferenz, Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Int. Lupinentagung) Vorstellung der Ergebnisse auf Feldtagen
Veröffentlichungen in einschlägigen Mitteilungsorganen und wissenschaftlichen Fachzeitschriften	Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften, siehe Veröffentlichungsliste
Langfristige Pflege der Datenbasis wünschenswert	Hierzu müssen Absprachen mit der BLE erfolgen

8 Zusammenfassung

Das Wissen über die Nährstoffzusammensetzung von Futtermitteln für die Rationsgestaltung im Ökologischen Landbau ist von großer Bedeutung für die Umsetzung der 100 %-Biofütterung. Vor allem die Gehalte an verschiedenen B-Vitaminen sind unzureichend bekannt. Zudem spielt die schnelle Analyse der Rohnährstoff- und Aminosäuregehalte vor der Optimierung einzelner Rationen eine Rolle, um Schwankungen, die bei präferiert genutzten eigenbetrieblich oder regional erzeugten Futtermitteln auftreten, einbeziehen zu können. Da nur ein Teil der aufgenommenen Nährstoffe vom Tier absorbiert werden und somit potentiell im Stoffwechsel genutzt werden kann, ist auch das Wissen über die Verdaulichkeit von Interesse.

Aus diesem Grund sollte im Projekt die Datenbasis zu den Gehalten an Rohnährstoffen, Aminosäuren, Thiamin und Riboflavin verbessert werden. Zudem sollte eine *in vitro* Methode etabliert werden, mit der die *praecaecale* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren für junge Broiler trotz des weitgehenden Verzichts auf Tierversuche bestimmt werden kann. Um sowohl die Rohnährstoff-, Aminosäuren-, Thiamin- und Riboflavingehalte als auch die Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit schnell und kostengünstig bestimmen zu können, sollten NIRS-Kalibrationen entwickelt werden.

Es standen 1400 Getreide- und Körnerleguminosenproben zur Verfügung. Die Proben wurden in Sortenversuchen der Landwirtschaftskammer und Landesversuchsanstalten genommen und an das Thünen-Institut für Ökologischen Landbau versandt. Von den Proben wurden 845 auf ihre Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren, Thiamin und Riboflavin untersucht. Weitere 292 Proben wurden mit der im Projekt adaptierten *in vitro* Multienzymmethode auf ihre *in vitro* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren untersucht. Die Anpassung der Analysemethode fand unter Zuhilfenahme von Ergebnissen aus Verdaulichkeitsversuchen mit jungen Broilern statt. NIRS-Kalibrationen für alle Inhaltsstoffe sowie für die *in vitro* Verschwindensrate des Rohproteins wurden erstellt, um die Gehalte bzw. die *in vitro* Verdaulichkeit zukünftig zuverlässig schätzen zu können. Zudem wurden der Einfluss von Sorte und Umweltbedingungen auf die Analyseergebnisse mit Hilfe von generalisierten linearen Modellen geprüft. Berechnungen von Beispielrationen dienten zur Illustration der Auswirkungen von gefundenen Unterschieden in den Rohnährstoff-, Aminosäuren- und B-Vitamingehalten sowie in den *in vitro* Verdaulichkeiten.

Es konnten stabile NIRS-Kalibrationen (insgesamt 56) für die für die Rationsgestaltung interessanten Rohnährstoff- (15) und Aminosäuregehalte (41) entwickelt werden. Starke Schwankungen aller Inhaltsstoffe und der Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit in Getreide und Körnerleguminosen wurden beobachtet. Diese Schwankungen resultieren aus Sorten- und Umweltabhängigkeiten der Inhaltsstoffe. Es ist jedoch nicht möglich, die Menge an Rohnährstoffen in Futtermitteln vorherzusagen, auch wenn die Sorte, der Anbauort und das Anbaujahr bekannt sind. Da Schwankungen der Rohnährstoff- und AS-Zusammensetzung bei der Rationsgestaltung berücksichtigt werden müssen, wird empfohlen, die Rohnährstoff-zusammensetzung jeder Charge eines Futtermittels zu analysieren.

Änderungen des XP-Gehalts von Getreide und Körnerleguminosen gehen mit einem veränderten AS-Profil einher, wobei beachtet werden muss, dass positive und negative Korrelationen des XP-Gehaltes mit den AS-Gehalten auftreten. Die Vorhersage des AS-Gehalts aus dem XP-Gehalt gilt als geeignete Technik und kann in der praktischen Rationsgestaltung angewendet werden.

Wir konnten zeigen, dass die *pc* Verdaulichkeit von XP und AS von Bio-Futtererbsen und Ackerbohnen nicht geringer ist als die von nicht-ökologisch angebauten. Ackerbohnen- und Futtererbsen sind wertvolle Quellen für XP und AS in der Masthühnerfütterung während der Starterperiode und können das Defizit an AS in ökologisch erzeugtem Masthähnchenfutter reduzieren. Ein Einsatz dieser Futtermittel für (junge) Broiler erscheint daher sinnvoll.

Diese Studie bestätigt, dass die Verdaulichkeit von XP und AS stark variiert und von der Kultur, der Sorte und den Umweltbedingungen beeinflusst wird. Da die Leistung und Gesundheit der Tiere durch diese großen Unterschiede beeinträchtigt werden kann, können valide Vorhersagen über die *praecaecale* Verdaulichkeit von Vorteil sein. Der modifizierte Multi-Enzym-Assay zur Schätzung der *praecaecalen* XP- und AS-Verdaulichkeit von Futtermitteln für junge Masthähnchen führte in vielen Fällen zu plausiblen Ergebnissen. Es wird jedoch empfohlen, die Validität des Multi-Enzym-Assays für die Vorhersage der *praecaecalen* Verdaulichkeit von XP und insbesondere von AS durch kombinierte *in-vitro*- und *in-vivo*-Studien weiter zu verbessern.

Die Untersuchungen bestätigen den starken Einfluss von Chargenunterschieden in der Rationsgestaltung. Vor allem, wenn wenige Komponenten eingesetzt werden, ist es notwendig, deren Zusammensetzung zu kennen. Die durchschnittliche Verdaulichkeit der Aminosäuren unterschied sich um bis zu 4 % zwischen gleichen Rationen. Die Analyse der Rationskomponenten bei Einsatz neuer Chargen von Rationskomponenten wird dringend empfohlen.

Bei Getreidekörnern wurden eher niedrige Thiamin- und Riboflavingehalte und ein Einfluss von Sorte, Anbaujahr und Anbauort bzw. -region festgestellt. Aufgrund der großen Unterschiede ist es schwierig, die Mengen an beiden B-Vitaminen zu schätzen. Die Verwendung von Mittelwerten kann daher irreführend sein. Es wird empfohlen, Tabellenwerte mit Minima und Maxima unter Angabe der Anzahl der zugrunde liegenden Proben auszudrücken und weitere Analysen durchzuführen. Unsere Daten können zur Aktualisierung bestehender Lebens- und Futtermitteltabellen verwendet werden.

Schwankungen von Thiamin und Riboflavin in einzelnen Futtermitteln beeinflussen deren Gehalt in exemplarischen Diäten für monogastrische Tiere stark. Die durchschnittliche Diät auf Getreidebasis übersteigt meist den Thiaminbedarf von monogastrischen Nutztieren. Somit wurde keine Lücke zwischen der empfohlenen und der tatsächlichen nativen Versorgung festgestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass die Thiaminverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden konnte. Die Menge an Riboflavin hingegen erwies sich in den meisten unserer exemplarischen Diäten als unzureichend. Daher wird eine Ergänzung empfohlen. Das Ausmaß des Mangels hängt von der Menge an Getreide und Körnerleguminosen in der Ration, der Tierleistung und den verwendeten Empfehlungen ab. In unserem Beispiel ist das Ausmaß des Mangels am größten bei der Trächtigkeit von Sauen mit bis zu 3,3 mg Riboflavin/kg TS in einer Ernährung, die nur aus Getreide und heimischen Körnerleguminosen besteht, und bei Masthühnern mit bis zu 2,4 mg/kg TS. Die Zugabe von alternativen Futtermitteln zur Deckung des Riboflavinbedarfs in der Monogastrierfütterung kann den Ergänzungsbedarf reduzieren und somit zu einer 100 %-Biofütterung beitragen. Weitere Untersuchungen zu Produkten aus Grünland oder anderen alternativen Produkten, wie gekeimtem Saatgut, als Lieferanten von Riboflavin sind erforderlich. Darüber hinaus sollten die Empfehlungen für Thiamin und Riboflavin unter Berücksichtigung der Fortschritte in der Tierproduktion für den konventionellen und ökologischen Landbau überprüft werden.

9 Literaturverzeichnis

- AarhusUniversity, 2015. personal communication of Prof. Jan Vaerum Norgaard, Department of Animal Science - Animal nutrition and physiology, Aarhus University, Denmark.
- Abdel-Maksoud, A., Yan, F., Cerrato, S., Coto, C., Wang, Z.L., Waldroup, P.W., 2010. Effect of Dietary Crude Protein, Lysine Level and Amino Acid Balance on Performance of Broilers 0 to 18 Days of Age. *Int J Poult Sci* 9, 21-27.
- Abel, H., Gerken, M., 2004. Ackerbohnen als Futterkomponente des ökologischen Landbaus für Masthühner-Elterntiere und verschiedene Mastbroilerherkünfte, Georg-August-Universität Göttingen, Forschungs- und Studienzentrums für Landwirtschaft und Umwelt.
- Adedokun, S.A., Jaynes, P., El-Hack, M.E.A., Payne, R.L., Applegate, T.J., 2014. Standardized ileal amino acid digestibility of meat and bone meal and soybean meal in laying hens and broilers. *Poult Sci* 93, 420-428.
- Agroscope, 2011-2016. Feedbase - The Swiss Feed Database, <https://www.feedbase.ch/>, University of Zurich, Agroscope. Last access 25th of June 2018.
- AjinomotoAnimalNutritionGroup, 2003-2013. AJINOMOTO Heartland (since April 2018 Ajinomoto Animal Nutrition North America) Amino Acid Database, <http://aaa.lysine.com/>, last access 25th June 2018.
- AjinomotoAnimalNutritionGroup, 2014. AJINOMOTO EUROLYSINE S.A.S. laboratory analysis database, <http://ajinomoto-eurolysine.com/feedstuffs-amino-acid-database.html>, last access 25th of June 2018.
- Almirall, M., Francesch, M., Perez-Vendrell, A.M., Brufau, J., Esteve-Garcia, E., 1995. The Differences in Intestinal Viscosity Produced by Barley and β -Glucanase Alter Digesta Enzyme Activities and Ileal Nutrient Digestibilities More in Broiler Chicks than in Cocks. *Journal Nutr* 125, 947-955.
- Aulrich, K., 2008. Qualitätsuntersuchungen an ökologisch erzeugten Produkten, Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, pp. 81 - 90.
- Aulrich, K., 2011a. Schlussbericht: Schwankungen der Inhaltsstoffe in Ökofuttermitteln: schnelle Bestimmung der Inhaltsstoffe zum sicheren Umgang mit dem Problem.
- Aulrich, K., 2011b. Schwankungen der Inhaltsstoffe in Öko-Futtermitteln: schnelle Bestimmung der Inhaltsstoffe zum sicheren Umgang mit dem Problem, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Standort Trenthorst, Institut für Ökologischen Landbau.
- Aulrich, K., Böhm, H., 2007a. Bewertung ökologisch erzeugter Futtermittel mittels Nahinfrarotspektroskopie, Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, pp. 69 - 73.
- Aulrich, K., Böhm, H., 2007b. Raps im ökologischen Landbau - Qualitätsbewertung mit Hilfe der Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS), 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
- Aulrich, K., Böhm, H., 2012. Quality of organic legumes – prediction of main ingredients and amino acids by Near-Infrared Spectroscopy, Tackling the Future Challenges of Organic Animal Husbandry, OAH, Rahmann, G.Godinho, D., Hamburg/Trenthorst, pp. 388-390.
- Aulrich, K., Böhm, H., Jürgens, H.-U., 2011. Schnelle Bestimmung der Futterqualität und der Aminosäuren von Erbsen mittels Nah-Infrarotspektroskopie, 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
- Aulrich, K., Jürgens, H.-U., Böhm, H., 2010. Bestimmung der Futterqualität und der Aminosäuren von Erbsen mittels Nah-Infrarotspektroskopie, Ressortforschung für den Ökologischen Landbau - Landbauforschung vTI agriculture and forestry research – Sonderheft, pp. 33-40.
- Baldinger, L., Bussemas, R., Höinghaus, K., Renger, A., Weißmann, F., 2017. Effect of six 100 % organic feeding strategies differing in external input demand on animal performance and production costs of piglets before and after weaning. *Org Agr* 7, 267-279.
- Balk, L., Hägerroth, P.-Å., Gustavsson, H., Sigg, L., Åkerman, G., Ruiz Muñoz, Y., Honeyfield, D.C., Tjærnlund, U., Oliveira, K., Ström, K., McCormick, S.D., Karlsson, S., Ström, M., van Manen, M., Berg, A.-L., Halldórsson, H.P., Strömquist, J., Collier, T.K., Börjeson, H., Mörner, T., Hansson, T., 2016. Widespread episodic thiamine deficiency in Northern Hemisphere wildlife. *Sci Rep-Uk* 6, 38821.
- Bandegan, A., Golian, A., Kiarie, E., Payne, R.L., Crow, G.H., Guenter, W., Nyachoti, C.M., 2011. Standardized ileal amino acid digestibility in wheat, barley, pea and flaxseed for broiler chickens. *Can J Anim Sci* 91, 103-111.
- Batal, A.B., Parsons, C.M., 2002. Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets. *Poult Sci* 81, 400-407.
- Bayfield, E.G., O'Donnell, W.W., 1945. Observations on thiamin content of stored wheat. *J Food Sci* 10, 485-488.

- Bellof, G., Schmidt, E., Ristic, M., 2005. Einfluss abgestufter Aminosäuren-Energie-Verhältnisse im Futter auf die Mastleistung und den Schlachtkörperwert einer langsam wachsenden Herkunft in der ökologischen Broilermast [Effect of graded essential amino acids to energy ratios in diets for organic chicken production on fattening performance and carcass yield]. Arch Geflügelkd 69, 252-260.
- Blair, R., 2008. Nutrition and Feeding of Organic Poultry. CABI.
- Blair, R., Newsome, F., 1985. Involvement of Water-Soluble Vitamins in Diseases of Swine. Anim Sci 60, 1508-1517.
- Blok, M.C., Dekker, R.A., 2017. Table 'Standardized ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for poultry'. Wageningen Livestock Research.
- Bognar, A., Kellermann, C., 1993. Vergleichende Untersuchungen über den Gehalt an Vitaminen in Dinkel, Weizen und Roggen [Comparative investigations on the content of vitamins in spelt, wheat, and rye]. Ernährungsforschung 38, 149-170.
- Böhm, H., Aulrich, K., 2009. Anbau der Blauen Lupine (*Lupinus angustifolius*) mit unterschiedlichen Reihenabständen und Bewertung der Futterqualität mittels NIRS, Tagungsband der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, pp. 127-130.
- Böhm, H., Aulrich, K., 2011. Effects of different row distances and seed densities on yield and quality of blue lupin (*L. angustifolius*) in organic farming. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand.
- Böhm, H., Aulrich, K., Berk, A., 2007. Rohprotein- und Aminosäuregehalte in Körnerleguminosen und Getreide [Crude protein and amino acid contents on grain legumes and cereals], In: Zikeli, S., Claupein, W., Dabbert, S., Kaufmann, B., Müller, T., Valle Zárate, A. (Eds.), 9. Wissenschaftliche Jahrestagung Ökologischer Landbau, Hohenheim.
- Böhm, H., Berk, A., 2006. Bewertung ausgewählter Leguminosen- und Leguminosen-Getreide-Gemenge im Ökologischen Landbau hinsichtlich der Ertragsleistung und des Futterwertes, Mitt Ges Pflanzenbauwissenschaften, pp. 266 - 267.
- Böhm, H., Bramm, A., Aulrich, K., Rühl, G., 2008. Yield and predicted feed quality of different german cultivars of blue lupins (*lupinus angustifolius*), In: Palta, J.A., Berger, J.B. (Eds.), Lupins for Health and Wealth, International Lupin Conference, International Lupin Association, Western Australia, pp. 118 - 122.
- Boisen, S., 2007. *In vitro* analyses for predicting standardised ileal digestibility of protein and amino acids in actual batches of feedstuffs and diets for pigs. Livest Sci 109, 182-185.
- Boisen, S., Eggum, B.O., 1991. Critical Evaluation of in Vitro Methods for Estimating Digestibility in Simple-Stomach Animals. Nutr Res Reviews 4, 141-162.
- Boisen, S., Fernández, J.A., 1995. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. Anim Feed Sci Tech 51, 29-43.
- Boisen, S., Fernández, J.A., 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by in vitro analyses. Anim Feed Sci Tech 68, 277-286.
- Bramm, A., Böhm, H., 2005. Erzeugung von proteinreichem Futter auf Basis von Körnerleguminosen in Reinsaat und Mischbau mit Sommergetreidearten. UFOP-Schriften 29, 191-194.
- Bramm, A., Böhm, H., Pahlow, G., Berk, A., 2005. Alternatives for the production of forage protein, In: van Santen, E., Hill, G.D. (Eds.), Where old and new world lupins meet. International Lupin Conference, International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, pp. 209 - 2013.
- Brandt, M., Allam, S., 1987. Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluß [ANALYSIS OF TIO₂ IN INTESTINAL-CONTENTS AND DUNG, USING KJELDAHL'S METHOD]. Arch Anim Nutr 37, 453-454.
- Brufau, J., Boros, D., Marquardt, R.R., 1998. Influence of growing season, tannin content and autoclave treatment on the nutritive value of near-isogenic lines of faba beans (*Vicia faba* L.) when fed to leghorn chicks. Br Poult Sci 39, 97-105.
- Bryden, W.L., Li, X., Ravindran, G., Hew, L.I., Ravindran, V., 2009. Ileal Digestible Amino Acid Values in Feedstuffs for Poultry. Rural Industries Research and Development Corporation.
- Buchholz, M., Drotleff, A.M., Ternes, W., 2012. Thiamin (vitamin B1) and thiamin phosphate esters in five cereal grains during maturation. J Cereal Sci 56, 109-114.
- Büchmann, N.B., 1979. Variation in in vitro digestibility of barley protein. J Sci Food Agr 30, 590-596.
- Burkholder, P.R., McVeigh, I., 1945. Vitamin content of some mature and germinated legume seeds. Plant Physiol 20, 301-306.
- Calcagno, V., 2013. glmulti: Model selection and multimodel inference made easy. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=glmulti>.

- Carbonaro, M., Grant, G., Cappelloni, M., Puzstai, A., 2000. Perspectives into factors limiting in vivo digestion of legume proteins: Antinutritional compounds or storage proteins? *J Agric Food Chem* 48, 742-749.
- Carlson, D., Lærke, H.N., Poulsen, H.D., Jørgensen, H., 1999. Roughages for Growing Pigs, with Emphasis on Chemical Composition, Ingestion and Faecal Digestibility. *Acta Agric Scan, Sect A — Anim Sci* 49, 129-136.
- Casey, R., Sharman, J.E., Wright, D.J., Bacon, J.R., Guldager, P., 1982. Quantitative variability in Pisum seed globulins: its assessment and significance. *Plant Food Hum Nutr* 31, 333-346.
- Casey, R., Short, M.N., 1981. Variation in amino acid composition of legumin from Pisum. *Phytochemistry* 20, 21-23.
- Cohen, S.A., Michaud, D.P., 1993. Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid chromatography. *Anal Biochem* 211, 279-287.
- Conner, R.T., Straub, G.J., 1941. The thiamin and riboflavin contents of wheat and corn. *Cereal Chem* 18, 671-677.
- Crawley, K., 2015a. Fulfilling 100 % organic pig diets: Roughage and foraging from the range, In: Smith, J., Gerrard, C.L., Sumption, P. (Eds.), ICOPP Technical Note, Organic Research Center UK.
- Crawley, K., 2015b. Fulfilling 100 % organic poultry diets: Roughage and foraging from the range, In: Smith, J., Gerrard, C.L., Sumption, P. (Eds.), ICOPP Technical Note, Organic Research Center UK.
- Cremers, S., 2002. Untersuchungen zur scheinbaren und wahren ilealen Protein- und Aminosäurenverdaulichkeit von Fleisch-Knochen-Mehlen beim wachsenden Huhn und Methodenvergleich zur Bestimmung der endogenen Aminosäurenverluste, University of Gießen.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., Duc, G., 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crop Res* 115, 329-339.
- Dangour, A.D., Dodhia, S.K., Hayter, A., Allen, E., Lock, K., Uauy, R., 2009. Nutritional quality of organic foods: a systematic review. *Am J Clin Nutr* 90, 680-685.
- de Coca-Sinova, A., Valencia, D.G., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R., Mateos, G.G., 2008. Apparent ileal digestibility of energy, nitrogen, and amino acids of soybean meals of different origin in broilers. *Poult Sci* 87, 2613-2623.
- de Lange, C.F., 2013. New NRC (2012) Nutrient Requirements of Swine. *Advances in Pork Production* 24, 17-28.
- Deerberg, F., 2000. Geflügelfütterung im ökologischen Landbau [Poultry feeding in organic farming]. *Gäa-Journal* 4.
- Derbyshire, E., Wright, D.J., Boulter, D., 1976. Legumin and vicilin, storage proteins of legume seeds. *Phytochemistry* 15, 3-24.
- DLG, 2006-2010. DLG-Datenbank Futtermittel [DLG-database for feedstuffs], Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. <http://datenbank.futtermittel.net>, last access 11th July 2018.
- DLG, 2014. DLG-Futterwerttabellen Schwein [DLG-feed value tables for swine]. DLG-Verlag.
- Doeschate, R.A.H.M.T., Scheele, C.W., Schreurs, V.V.A.M., Van Der Klis, J.D., 1993. Digestibility studies in broiler chickens: Influence of genotype, age, sex and method of determination. *Br Poult Sci* 34, 131-146.
- Donkoh, A., Moughan, P.J., 1999. Endogenous ileal nitrogen and amino acid flows in the growing pig receiving a protein-free diet and diets containing enzymically hydrolysed casein or graded levels of meat and bone meal. *Anim Sci* 68, 511-518.
- Draper, S.R., 1973. Amino acid profiles of chemical and anatomical fractions of oat grains. *J Sci Food Agr* 24, 1241-1250.
- Edwards, S.A., 2003. Intake of nutrients from pasture by pigs. *Proc Nutr Soc* 62, 257-265.
- EG, 1998. Richtlinie 98/64/EG: Zur Festlegung gemeinschaftlicher Analysemethoden für die Bestimmung von Aminosäuren, Rohfetten und Olaquinox in Futtermitteln und zur Änderung der Richtlinie 71/393/EWG, Aufgehoben durch 32009R0152 Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 257/14, Germany.
- EG, 2007. Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, BMELV.
- EG, 2008. VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008 DER KOMMISSION vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle, ABl. Nr. L 250 vom 18.09.2008, S. 1, BMELV.
- EN14122, 2014. DIN EN 14122:2014. Foodstuffs – Determination of vitamin B1 by high performance liquid chromatography (German version).
- EN14152, 2014. DIN EN 14152:2014. Foodstuffs – Determination of vitamin B2 by high performance liquid chromatography (German version).

- Evonik, 2016. Evonik Nutrition & Care GmbH. AminoDat 5.0, Version 1.03.
- Finglas, P.M., 2003. Vitamins, In: Caballero, B., Finglas, P. M., Trugo, L. C. (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, pp. 6046-6053.
- Flamme, W., Kurpjun, C., Seddig, S., Jansen, G., Jürgens, H.-U., 2003. Gekeimte Samen als Futtermittel - Analytik [Germinated seeds as feedstuffs - analytics], Julius Kühn-Institute (JKI), Sanitz, Germany.
- Fontaine, J., Hörr, J., Schirmer, B., 2001. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy Enables the Fast and Accurate Prediction of the Essential Amino Acid Contents in Soy, Rapeseed Meal, Sunflower Meal, Peas, Fishmeal, Meat Meal Products, and Poultry Meal. *J Agr Food Chem* 49, 57-66.
- Fontaine, J., Hörr, J., Schirmer, B., 2004. Amino Acid Contents in Raw Materials Can Be Precisely Analyzed in a Global Network of Near-Infrared Spectrometers: Collaborative Trials Prove the Positive Effects of Instrument Standardization and Repeatability Files. *J Agr Food Chem* 52, 701-708.
- Fontaine, J., Schirmer, B., Horr, J., 2002. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) enables the fast and accurate prediction of essential amino acid contents. 2. Results for wheat, barley, corn, triticale, wheat bran/middlings, rice bran, and sorghum. *J Agr Food Chem* 50, 3902-3911.
- Gabriel, I., Lessire, M., Juin, H., Burstin, J., Duc, G., Quillien, L., Thibault, J.N., Leconte, M., Hallouis, J.M., Ganier, P., Mézière, N., Sève, B., 2008. Variation in seed protein digestion of different pea (*Pisum sativum* L.) genotypes by cecectomized broiler chickens: 1. Endogenous amino acid losses, true digestibility and in vitro hydrolysis of proteins. *Livest Sci* 113, 251-261.
- Gehring, C.K., Bedford, M.R., Cowieson, A.J., Dozier, W.A., 2012. Effects of corn source on the relationship between in vitro assays and ileal nutrient digestibility. *Poult Sci* 91, 1908-1914.
- GfE, 1999. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler) [Recommendations for the energy and nutrient supply for layers and broilers]. DLG Verlag, Frankfurt a. M., Germany.
- GfE, 2006. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen [Recommendations for the energy and nutrient supply for swine]. DLG Verlag, Frankfurt a. M., Germany.
- Gołda, A., Szyniarowski, P., Ostrowska, K., Kozik, A., Rapała-Kozik, M., 2004. Thiamine binding and metabolism in germinating seeds of selected cereals and legumes. *Plant Physiol Biochem* 42, 187-195.
- González-Martín, I., Álvarez-García, N., Hernández-Andaluz, J.L., 2006. Instantaneous determination of crude proteins, fat and fibre in animal feeds using near infrared reflectance spectroscopy technology and a remote reflectance fibre-optic probe. *Anim Feed Sci Tech* 128, 165-171.
- Gotor, A.A., Farkas, E., Berger, M., Labalette, F., Centis, S., Daydé, J., Calmon, A., 2007. Determination of tocopherols and phytosterols in sunflower seeds by NIR spectrometry. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109, 525-530.
- Gronle, A., 2014. Agronomic aspects of intercropping spring or winter peas and cereals as influenced by ploughing system. Dissertation, University of Kassel.
- Gueguen, J., Barbot, J., 1988. Quantitative and qualitative variability of pea (*Pisum sativum* L.) protein composition. *J Sci Food Agr* 42, 209-224.
- Guillamón, E., Pedrosa, M.M., Burbano, C., Cuadrado, C., de Cortes Sánchez, M., Muzquiz, M., 2008. The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. *Food Chem* 107, 68-74.
- Gutiérrez-Alamo, A., Pérez De Ayala, P., Verstegen, M.W.A., Den Hartog, L.A., Villamide, M.J., 2008. Variability in wheat: factors affecting its nutritional value. *World Poult Sci J* 64, 20-39.
- Hanell, U., L-baekström, G., Svensson, G., 2004. Quality studies on wheat grown in different cropping systems: a holistic perspective. *Acta Agric Scand, Sec B — Soil & Plant Sci* 54, 254-263.
- Hollman, P.C.H., Slangen, J.H., Wagstaffe, P.J., Faure, U., Southgate, D.A.T., Finglas, P.M., 1993. Intercomparison of methods for the determination of vitamins in foods. Part 2. Water-soluble vitamins. *Analyst* 118, 481-488.
- Hothorn, T., Bretz, F., Westfall, P., 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biom J* 50, 346-363.
- Hovi, M., Sundrum, A., Thamsborg, S.M., 2003. Animal health and welfare in organic livestock production in Europe: current state and future challenges. *Livest Prod Sci* 80, 41-53.
- Hughes, R.K., Desforges, N., Selwood, C., Smith, R., Speirs, C.I., Sinnaeve, G., Gorton, P.G., Wiseman, J., Jumel, K., Harding, S.E., Hill, S.E., Street, V., Wang, T.L., Hedley, C.L., 2001. Genes affecting starch biosynthesis exert pleiotropic effects on the protein content and composition of pea seeds. *J Sci Food Agr* 81, 877-882.
- Ihde, A.J., Schuette, H.A., 1941. Thiamine, nicotinic acid, riboflavin and pantothenic acid in rye and its milled products. *J Nutr* 22, 527-533.

- INRA-CIRAD-AFZ, 2018. INRA-CIRAD-AFZ Feed tables - Composition and nutritive values of feeds for cattle, sheep, goats, pigs, poultry, rabbits, horses and salmonids, <https://feedtables.com/>, last access 1st August 2018.
- Jackson, P., Boulter, D., Thurman, D.A., 1969. A COMPARISON OF SOME PROPERTIES OF VICILIN AND LEGUMIN ISOLATED FROM SEEDS OF PISUM SATIVUM, VICIA FABA AND CICER ARIETINUM. *New Phytologist* 68, 25-33.
- Jansman, A.J.M., Smink, W., van Leeuwen, P., Rademacher, M., 2002. Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Anim Feed Sci Tech* 98, 49-60.
- Jeroch, H., Kozłowski, K., Jankowski, J., 2011. Versorgung des Geflügels mit Energie und Nährstoffen aus der Sicht nationaler und internationaler Empfehlungen [National and international recommendations for the energy and nutrient supply of poultry]. *Arch Geflügelk* 75, 217-225.
- Jeroch, H., Simon, A., Zentek, J., 2012. Geflügelernährung [Poultry Nutrition]. Ulmer.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Sauer, N., Eklund, M., 2010. In vitro prediction of standardised ileal crude protein and amino acid digestibilities in grain legumes for growing pigs. *Animal* 4, 1987-1996.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Sauer, N., Roth, S., Piepho, H.P., Rademacher, M., Eklund, M., 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livest Sci* 138, 229-243.
- JKI, 2018. Julius-Kühn-Institute, Geoportal, <http://geoportal.julius-kuehn.de/map?app=oeko>. Last Access: 1st of August 2018.
- Johns, D.C., Low, C.K., James, K.A.C., 1986. Comparison of amino acid digestibility using the ileal digesta from growing chickens and cannulated adult cockerels. *Br Poult Sci* 27, 679-685.
- Jørgensen, H., Gabert, V.M., Fernández, J.A., 1999. Influence of nitrogen fertilization on the nutritional value of high-lysine barley determined in growing pigs. *Anim Feed Sci Tech* 79, 79-91.
- Jørgensen, H., Zhao, X.-Q., Knudsen, K.E.B., Eggum, B.O., 1996. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *Br J Nutr* 75, 379-395.
- Kadim, I.T., Moughan, P.J., 1997. Development of an ileal amino acid digestibility assay for the growing chicken—effects of time after feeding and site of sampling. *Br Poult Sci* 38, 89-95.
- Kadim, I.T., Moughan, P.J., Ravindran, V., 2002. Ileal amino acid digestibility assay for the growing meat chicken—comparison of ileal and excreta amino acid digestibility in the chicken. *Br Poult Sci* 43, 588-597.
- Karakas, P., Versteegh, H.A.J., van der Honing, Y., Kogut, J., Jongbloed, A.W., 2001. Nutritive value of the meat and bone meals from cattle or pigs in broiler diets. *Poult Sci* 80, 1180-1189.
- Kim, E.J., Utterback, P.L., Applegate, T.J., Parsons, C.M., 2011. Comparison of amino acid digestibility of feedstuffs determined with the precision-fed cecectomized rooster assay and the standardized ileal amino acid digestibility assay. *Poult Sci* 90, 2511-2519.
- Kim, J.C., Mullan, B.P., Simmins, P.H., Pluske, J.R., 2003. Variation in the chemical composition of wheats grown in Western Australia as influenced by variety, growing region, season, and post-harvest storage. *Aust J Agr Res* 54, 541-550.
- Kluth, H., Fricke, M., Rodehutschord, M., 2009. Precaecal amino acid digestibility of different wheat cultivars in broilers. *Arch Geflügelk* 73, 80-86.
- Kluth, H., Mantei, M., Elwert, C., Rodehutschord, M., 2005. Variation in precaecal amino acid and energy digestibility between pea (*Pisum sativum*) cultivars determined using a linear regression approach. *Br Poult Sci* 46, 325-332.
- Koivunen, E., Partanen, K., Perttilä, S., Palander, S., Tuunainen, P., Valaja, J., 2016. Digestibility and energy value of pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.) and blue lupin (narrow-leaf) (*Lupinus angustifolius*) seeds in broilers. *Anim Feed Sci Tech* 218, 120-127.
- Kotlarz, A., Sujak, A., Strobel, W., Grzesiak, W., 2011. Chemical composition and nutritive value of protein of the pea seeds - effect of harvesting year and variety. *Veg Crop Res Bul* 75, 57-69.
- Krejčířová, L., Capouchová, I., Petr, J., Bicanová, E., Faměra, O., 2007. The effect of organic and conventional growing systems on quality and storage protein composition of winter wheat. *Plant Soil Environ* 53, 499-505.
- Krejčířová, L., Capouchová, I., Petr, J., Bicanová, E., Kvapil, R., 2006. Protein composition of winter wheat from organic and conventional farming. *Zemdirbyste* 93, 285-296.
- Kyntäjä, A., Partanen, K., Siljander-Rasi, H., Jalava, T., 2014. Tables of composition and nutritional values of organically produced feed materials for pigs and poultry. .

- Lebiedzińska, A., Szefer, P., 2006. Vitamins B in grain and cereal–grain food, soy-products and seeds. *Food Chem* 95, 116-122.
- Lemme, A., Ravindran, G., Bryden, W.L., 2004. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World Poult Sci J* 60, 423-438.
- Lenth, R.V., 2016. Least-Squares Means: The R Package lsmmeans. *J Stat Softw* 69, 1-33.
- Lindermayer, H., Probstmeier, G., Preißinger, W., Pieringer, E., 2011. *Fütterungsfibel Ökologische Schweinehaltung [Handbook for organic pig feeding]*, 3rd Edition, Bavarian State Research Institute for Agriculture (LfL), Freising.
- Longstaff, M., McNab, J.M., 1986. Influence of site and variety on starch, hemicellulose and cellulose composition of wheats and their digestibilities by adult cockerels. *Br Poult Sci* 27, 435-449.
- Marconi, E., Panfili, G., 1998. Chemical Composition and Nutritional Properties of Commercial Products of Mare Milk Powder. *J Food Comp Anal* 11, 178-187.
- Masey O'Neill, H.V., Rademacher, M., Mueller-Harvey, I., Stringano, E., Kightley, S., Wiseman, J., 2012. Standardised ileal digestibility of crude protein and amino acids of UK-grown peas and faba beans by broilers. *Anim Feed Sci Tech* 175, 158-167.
- McDowell, L.R., Ward, N.E., 2008. Optimum vitamin nutrition for poultry. *Intern Poult Prod* 16, 27-34.
- Metayer, J.P., Grosjean, F., Castaing, J., 1993. Study of variability in French cereals. *Anim Feed Sci Tech* 43, 87-108.
- Michela, P., Lorenz, K., 1976. The vitamins of triticale, wheat, and rye. *Cereal Chem* 53, 853-861.
- Miralbés, C., 2004. Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy. *Food Chem* 88, 621-628.
- Moore, S., 1963. On the determination of cystine as cysteic acid. *Anal Chem* 35, 9.
- Moughan, P.J., 1999. In vitro techniques for the assessment of the nutritive value of feed grains for pigs: a review. *Aust J Agr Res* 50, 871-879.
- Murphy, K.M., Campbell, K.G., Lyon, S.R., Jones, S.S., 2007. Evidence of varietal adaptation to organic farming systems. *Field Crops Res* 102, 172-177.
- Murphy, K.M., Hoagland, L.A., Reeves, P.G., Baik, B.-K., Jones, S.S., 2009. Nutritional and quality characteristics expressed in 31 perennial wheat breeding lines. *Renew Agr Food Syst* 24, 285-292.
- Naumann, C., Bassler, R., 2012. *VDLUFA-Methodenbuch Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Gesamtwerk (Grundwerk einschl. 1.-8. Ergänzungslieferung)*, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Nikolopoulou, D., Grigorakis, K., Stasini, M., Alexis, M.N., Iliadis, K., 2007. Differences in chemical composition of field pea (*Pisum sativum*) cultivars: Effects of cultivation area and year. *Food Chem* 103, 847-852.
- Nordgren, R., Andrews, J.S., 1941. The thiamin content of cereal grains. *Cereal Chem* 18, 802-811.
- NRC, 1994. (National Research Council) *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th revised Edition, In: Nutrition, S.o.P., Nutrition, C.o.A., Council, N.R. (Eds.), National Academie Press, Washington DC, Washington D.C.
- NRC, 2012. (National Research Council) *Nutrient Requirements of Swine*, 11th revised Edition. The National Academies Press, Washington DC.
- O'Donnell, W.W., 1943. Effect of weather, variety, and location upon the vitamin B1 content of some Kansas grown wheats. Master's Thesis, Kansas State College of Agriculture and Applied Science.
- O'Kane, F.E., Vereijken, J.M., Gruppen, H., Boekel, M.A.J.S., 2006. Gelation Behavior of Protein Isolates Extracted from 5 Cultivars of *Pisum sativum* L. *J Food Sci* 70, C132-C137.
- Oehen, B., Früh, B., Schneider, C., 2011. Alternatives for the substitution of synthetic vitamin B2 or vitamin B2 produced from GMOs. *Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), CH Frick*.
- Olkowski, B.I., 2008. Riboflavin content in lupine seeds and blood plasma riboflavin status in broilers fed diets containing high levels of lupine seeds. *J Sci Food Agr* 88, 2474-2478.
- Owens, B., McCann, M.E.E., McCracken, K.J., Park, R.S., 2009. Prediction of wheat chemical and physical characteristics and nutritive value by near-infrared reflectance spectroscopy. *Br Poult Sci* 50, 103-122.
- Parsons, C.M., 1985. Influence of caecectomy on digestibility of amino acids by roosters fed distillers' dried grains with solubles. *J Agric Sci* 104, 469-472.
- Partanen, K., Valaja, J., Jalava, T., Siljander-Rasi, H., 2001. Composition, ileal amino acid digestibility and nutritive value of organically grown legume seeds and conventional rapeseed cakes for pigs. *Agric Food Sci Finl* 10, 309-322.
- Peng, C.L., Heitman, H., 1974. The effect of ambient temperature on the thiamin requirement of growing-finishing pigs. *Br J Nutr* 32, 1-9.

- Peterson, B.G., Carl, P., 2014. PerformanceAnalytics: Econometric tools for performance and risk analysis. R package version 1.4.3541.
- Piironen, V., Lampi, A.-M., Ekholm, P., Salmenkallio-Marttila, M., Liukkonen, K.-H., 2009. CHAPTER 7: Micronutrients and Phytochemicals in Wheat Grain, WHEAT: Chemistry and Technology, AACC International, Inc., pp. 179-222.
- Pires, F.F., Lemos, M.C., Petersen, J.C., Kessler, A.M., 2001. Use of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy to Analyze Vitamin Content¹. The Journal of Applied Poultry Research 10, 412-418.
- Prodanov, M., Sierra, I., Vidal-Valverde, C., 1997. Effect of germination on the thiamine, riboflavin and niacin contents in legumes. Z Lebensm Unters F A 205, 48 - 52.
- Qiao, Y., Lin, X., Odle, J., Whittaker, A., van Kempen, T., 2004. Refining in vitro digestibility assays: Fractionation of digestible and indigestible peptides. Anim Sci 82, 1669-1677.
- Qiao, Y., van Kempen, T.A.T.G., 2004. Technical note: Comparison of Raman, mid, and near infrared spectroscopy for predicting the amino acid content in animal meals¹². Anim Sci 82, 2596-2600.
- Ravindran, V., Abdollahi, M.R., Bootwalla, S.M., 2014. Nutrient analysis, metabolizable energy, and digestible amino acids of soybean meals of different origins for broilers. Poult Sci 93, 2567-2577.
- Ravindran, V., Bryden, W.L., 1999. Amino acid availability in poultry - in vitro and in vivo measurements. Aust J Agr Res 50, 889-908.
- Ravindran, V., Hendriks, W.H., 2004. Recovery and composition of endogenous protein collected at the terminal ileum as influenced by the age of broiler chickens. Aust J Agric Res 55, 705-709.
- RCoreTeam, 2017. R: A language and environment for statistical computing, Version 3.4.0. <http://www.R-project.org/>, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Revuelta, J.L., Buey, R.M., Ledesma-Amaro, R., Vandamme, E.J., 2016. Microbial biotechnology for the synthesis of (pro)vitamins, biopigments and antioxidants: challenges and opportunities. Microb Biotechnol 9, 564-567.
- Revuelta, J.L., Ledesma-Amaro, R., Lozano-Martinez, P., Díaz-Fernández, D., Buey, R.M., Jiménez, A., 2017. Bioproduction of riboflavin: a bright yellow history. J Ind Microbiol Biot 44, 659-665.
- Ritteser, C., 2015. Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energie- und Proteinfuttermittel für die Bio-Hühnermast [Estimation of ileal nutrient digestibility of native energy and protein feeding stuffs for organic broilers]. Dissertation, University of Hohenheim.
- Ritteser, C., Grashorn, M., 2015. Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energiefuttermittel für die Hühnermast.
- Rodehutscord, M., Kapocius, M., Timmler, R., Dieckmann, A., 2004. Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. Br Poult Sci 45, 85-92.
- Rodehutscord, M., Rückert, C., Maurer, H.P., Schenkel, H., Schipprack, W., Bach Knudsen, K.E., Schollenberger, M., Laux, M., Eklund, M., Siegert, W., Mosenthin, R., 2016. Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes. Arch Anim Nutr 70, 87-107.
- Rosenfelder, P., Mosenthin, R., Spindler, H.K., Jørgensen, H., Bach Knudsen, K.E., Sauer, N., Htoo, J.K., Eklund, M., 2015. Standardized ileal digestibility of amino acids in eight genotypes of soft winter wheat fed to growing pigs. Anim Sci 93, 1133-1144.
- Rubio, L.A., Pérez, A., Ruiz, R., Guzmán, M.Á., Aranda-Olmedo, I., Clemente, A., 2013. Characterization of pea (*Pisum sativum*) seed protein fractions. J Sci Food Agr 94, 280-287.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., Bontems, V., Chapoutot, P., Doreau, B., Jeondreville, C., Kaushik, S.J., Lessire, M., Martin-Rosset, W., Meschy, F., Noblet, J., Peyraud, J.-L., Rulquin, H., Sève, B., 2004. Tables Of Composition And Nutritional Value Of Feed Materials: Pigs, Poultry, Cattle, Sheep, Goats, Rabbits, Horses and Fish. Wageningen Academic Publishers, INRA, Wageningen & Paris.
- Schwechheimer, S.K., Park, E.Y., Revuelta, J.L., Becker, J., Wittmann, C., 2016. Biotechnology of riboflavin. Appl Microbiol Biot 100, 2107-2119.
- Shewfelt, R.L., 1990. Sources of variation in the nutrient content of agricultural commodities from the farm to the costumer. J Food Qual 13, 37-54.
- Shewry, P.R., 2007. Improving the protein content and composition of cereal grain. J Cereal Sci 46, 239-250.
- Shewry, P.R., Halford, N.G., 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. J Exp Bot 53, 947-958.
- Shewry, P.R., Piironen, V., Lampi, A.-M., Edelmann, M., Kariluoto, S., Nurmi, T., Fernandez-Orozco, R., Andersson, A.A.M., Åman, P., Fraś, A., Boros, D., Gebruers, K., Dornez, E., Courtin, C.M., Delcour, J.A., Ravel, C., Charmet, G., Rakszegi, M., Bedo, Z., Ward, J.L., 2010. Effects of Genotype and Environment on the Content and Composition

- of Phytochemicals and Dietary Fiber Components in Rye in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *J Agric Food Chem* 58, 9372-9383.
- Shewry, P.R., Van Schaik, F., Ravel, C., Charmet, G., Rakszegi, M., Bedo, Z., Ward, J.L., 2011. Genotype and environment effects on the contents of vitamins B1, B2, B3, and B6 in wheat grain. *J Agr Food Chem* 59, 10564-10571.
- Short, F.J., Wiseman, J., Boorman, K.N., 1999. Application of a method to determine ileal digestibility in broilers of amino acids in wheat. *Anim Feed Sci Tech* 79, 195-209.
- Sierra, I., Vidal-Valverde, C., 1999. Kinetics of free and glycosylated B6 vitamers, thiamin and riboflavin during germination of pea seeds. *J Sci Food Agric* 79, 307-310.
- Simon, A., 2004. Praecaecale Aminosäurenverdaulichkeit von Ackerbohnen und Blauen Lupinen bei Broilern [precaecal amino acid digestibility of field beans and blue lupins in broiler chicken], http://www.ufop.de/files/3013/3922/7331/Praecaecale_Verdaulichk.pdf, last access 4th of June 2018, UFOP Reports, Humboldt-Universität Berlin, Berlin.
- Simpson, D.J., 2001. Proteolytic degradation of cereal prolamins—the problem with proline. *Plant Science* 161, 825-838.
- Siriwan, P., Bryden, W.L., Mollah, Y., Annison, E.F., 1993. Measurement of endogenous amino acid losses in poultry. *Br Poult Sci* 34, 939-949.
- Skinner, J.T., Waldroup, A.L., Waldroup, P.W., 1992. Effects of Removal of Vitamin and Trace Mineral Supplements from Grower and Finisher Diets on Live Performance and Carcass Composition of Broilers. *J Appl Poult Res* 1, 280-286.
- Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H., 2008. Food Composition and Nutrition Tables, 7th Edition. MedPharm Scientific Publishers.
- Spindler, H.K., Mosenthin, R., Rosenfelder, P., Jørgensen, H., Bach Knudsen, K.E., Sauer, N., Htoo, J.K., Eklund, M., 2016. Standardized ileal digestibility of amino acids in eight genotypes of barley fed to growing pigs. *Animal* 10, 1931-1940.
- Stalljohann, G., 2006. Untersuchungen zu Fütterungsstrategien für eine erfolgreiche Aufzucht ökologisch gehaltener Ferkel [Analysing Feeding Strategies for a Successful Rearing of Ecologically Fed Piglets]. Dissertation, Ludwig-Maximilians-University Munich.
- Stalljohann, G., Patzelt, S., 2007. Report: Vorläufige Versuchsergebnisse bei 100 % Öko-Ferkelfütterung im Landwirtschaftszentrum (LZ) Haus Düsse [Preliminary results of a trial regarding 100 % organic feeding for piglets], LWK NRW, Landwirtschaftszentrum (LZ) Haus Düsse.
- Steinhöfel, O., Lippmann, I., 2005. Futterrationsbeispiele für Ökobetriebe [Exemplary diets for organic farms], Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Futterrationsbeispiele_OEKO.pdf, last access 30th of January 2018.
- Sundrum, A., 2001. Managing amino acids in organic pig diets, Proceedings of the 4th NAHWOA-Workshop, 24–27.03.2001, Wageningen, NL (2001), pp. 181-191.
- USDA, 2016. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28, Version Current: September 2015, slightly revised May 2016, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory.
- Watson, S.A., Noggle, G.R., 1947. Effect of Mineral Deficiencies upon the Synthesis of Riboflavin and Ascorbic Acid by the Oat Plant. *Plant Physiol* 22, 228-243.
- Wecke, C., Liebert, F., 2013. Umweltverträgliche Protein- und Aminosäuren-versorgung von Geflügel und Schwein nach dem Konzept des Idealproteins [Environmentally compatible protein and amino acid supply of poultry and pigs according to the concept of the ideal protein], In: Ebertseder, P.D.T., Danier, J., Killermann, D.B., Nätscher, D.L., Severin, D.K., Südekum, P.D.K.-H., Trenkle, D.A., Wiesler, P.D.F. (Eds.), VDLUFA-Schriftenreihe Band 69/2014, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, ISBN 978-3-941273-15-3, Berlin, p. 695.
- Weltin, J., Carrasco, A., Luz, S., Berger, U., Bellof, G., 2014. Alfalfa-silage after suitable preparation in organic poultry and pig feeding, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Final Report BÖLN 28110E077.
- Witten, S., Aulrich, K., 2018. Effect of variety and environment on the amount of thiamine and riboflavin in cereals and grain legumes. *Anim Feed Sci Tech* 238, 39-46.
- Witten, S., Grashorn, M.A., Aulrich, K., 2018. Short Communication: Precaecal digestibility of crude protein and amino acids of a field bean (*Vicia faba* L.) and a field pea (*Pisum sativum* L.) variety for broilers. *Anim Feed Sci Tech* 243, 35-40.

- Witten, S., Paulsen, H.-M., Weißmann, F., Bussemas, R., 2014. Praxisbefragung zur Aminosäurelücke und praktische Möglichkeiten zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Monogastrier in der Fütterung im Ökologischen Landbau [Survey on practice of the use and availability of protein sources to close amino acid gaps in feeding monogastric animals in organic farming]. Thünen Working Paper 23.
- Witten, S., Paulsen, H.M., 2014. Recherche zum Praxisstand der Versorgung mit Eiweißfuttermitteln zur Deckung von Aminosäurelücken in der Fütterung der Monogastrier im Ökologischen Landbau (Praxisbefragung zur Aminosäurelücke) [Survey on practice of the use and availability of protein sources to close amino acid gaps in feeding monogastric animals in organic farming], Praxisbefragung zur Aminosäurelücke und praktische Möglichkeiten zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Monogastrier in der Fütterung im Ökologischen Landbau, Thünen Working Paper 23.
- Xiao, X., Hou, Y., Du, J., Sun, D., Bai, G., Luo, G., 2012. Determination of vitamins B2, B3, B6 and B7 in corn steep liquor by NIR and PLSR. Transactions of Tianjin University 18, 372-377.
- Yamada, E.A., Sgarbieri, V.C., 2005. Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) Protein Concentrate: Preparation, Chemical Composition, and Nutritional and Functional Properties. J Agr Food Chem 53, 3931-3936.
- Zebarth, B.J., Warren, C.J., Sheard, R.W., 1992. Influence of the Rate of Nitrogen Fertilization on the Mineral Content of Winter Wheat in Ontario. J Agric Food Chem 40, 1528-1530.
- Zeileis, A., 2004. Econometric Computing with HC and HAC Covariance Matrix Estimators. J Stat Softw 11, 1-17.
- Zollitsch, W., 2007. Challenges in the nutrition of organic pigs. J Sci Food Agr 87, 2747-2750.
- Zuber, T., Miedaner, T., Rosenfelder, P., Rodehutscord, M., 2016. Amino acid digestibility of different rye genotypes in caeectomised laying hens. Arch Anim Nutr 70, 470-487.
- Zuber, T., Rodehutscord, M., 2016. Variability in amino acid digestibility of wheat grains from diverse genotypes examined in caeectomised laying hens. Europ Poult Sci 80.

10 Verbreitung der Ergebnisse

10.1 Veröffentlichungen

- (1) Witten, S. (2019): Characterisation of organic cereals and grain legumes as feedstuffs for monogastric animals: Effects of variety and environmental conditions on the contents of crude nutrients, amino acids, thiamine, riboflavin, and *in vitro* digestibility of crude protein and amino acids. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- (2) Witten, S., Grashorn, M., Aulrich, K. (2018): Short communication: Precaecal digestibility of crude protein and amino acids of a field bean (*Vicia faba* L.) and a field pea (*Pisum sativum* L.) variety for broilers. *Animal Feed Science and Technology* 243, 35-40. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.07.001
- (3) Witten S., Aulrich K. (2018): Effect of variety and environment on the amount of thiamine and riboflavin in cereals and grain legumes. *Animal Feed Science and Technology* 238, 39-46.
- (4) Witten S., Aulrich K. (2018). Exemplary calculations of native thiamine (vitamin B1) and riboflavin (vitamin B2) contents in common cereal-based diets for monogastric animals. *Org Agr online first*. DOI:10.1007/s13165-018-0219-9
- (5) Witten, S., Böhm, H., Aulrich, K. (2015): Effect of variety and environment on the contents of crude nutrients, lysine, methionine and cysteine in organically produced field peas (*Pisum sativum* L.) and field beans (*Vicia faba* L.). *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 65 (3/4), 205-216. DOI:10.3220/LBF1447765843000
- (6) Witten, S., Aulrich, K. (2018): Investigations on the amounts of crude protein and amino acids of organically cultivated winter cereals (wheat, rye, and triticale). In: *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 27, Pg. 56.
- (7) Witten, S., Aulrich, K. (2018): Investigations on thiamine contents of organically produced cereals and grain legumes for poultry diets. In: *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 27, Pg. 138.
- (8) Witten, S., Aulrich, K. (2017): Investigations on vitamin B₂ and B₆ contents in organically produced cereal and grain legume varieties. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 26 (116), 36
- (9) Witten, S., Aulrich, K. (2017): Untersuchungen zu B-Vitaminen in Getreide und Körnerleguminosen aus ökologischem Anbau. In: *Tagungsband der 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*

- (10) Witten, S., Tripke, N., Mattiesch, L., Aulrich, K. (2017): Qualität von Eigenmischungen in der Schweinefütterung – Eignet sich die Nahinfrarotspektroskopie zur Bewertung? In: Tagungsband der 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau
- (11) Witten, S., Böhm, H., Aulrich, K. (2016): Sortenspezifische Futterbewertung von Körnerleguminosen, Postervorstellung 07.07.2016 Feldtag – Ökologischer Pflanzenbau in Trenthorst/Wulmenau
- (12) Witten, S., Aulrich, K. (2016): Steigerung der XP-Gehalte in Futtererbsen und Ackerbohnen: automatische Verbesserung der Versorgung mit limitierenden AS? In: Tagungsband : Kongress "Hülsenfrüchte - Wegweiser für eine nachhaltigere Landwirtschaft" ; 3. und 4. November 2016 in Berlin. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, pp 114-117
- (13) Aulrich, K., Böhm, H., Witten, S. (2016): Investigations on crude protein and amino acids in organically produced field pea (*Pisum sativum* L.) varieties. Proceedings of the Second International Legume Conference, Troía, Portugal
- (14) Witten, S., Aulrich, K., Böhm, H. (2016): Effect of sulfur fertilization and variety on yield and contents of crude protein and amino acids of organically produced blue lupins (*Lupinus angustifolius* L.). Proceedings of the Second International Legume Conference, Troía, Portugal
- (15) Witten, S., Bokemeyer, J., Aulrich, K. (2016): Investigations on the nitrogen-to-protein conversion factor in organically produced crops. In: Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 25 (10), 26
- (16) Böhm, H., Witten, S., Aulrich, K. (2015): Influence of variety and sulfur fertilization on the contents of crude protein, and selected amino acids in blue lupins (*Lupinus angustifolius* L.). In: Proceedings of the Annual Lupin Congress, Milano
- (17) Aulrich, K., Böhm, H., Witten, S. (2015): Protein quality of *Lupinus angustifolius* – prediction of amino acids and crude protein with near infrared spectroscopy. In: Proceedings of the Annual Lupin Congress, Milano
- (18) Witten, S., Böhm, H., Aulrich, K. (2015): Beziehungen zwischen XP- und AS-Gehalten in ökologisch erzeugten Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). In: Tagungsband der 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau
- (19) Witten, S., Böhm, H., Aulrich, K. (2015): Einflüsse auf die Zusammensetzung wertgebender Inhaltsstoffe ökologisch erzeugter Futtererbsen (*Pisum sativum* L.). In: Tagungsband der 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau

- (20) Witten, S., Paulsen, H.-M., Weißmann, F., Bussemas, R. (2015): Eiweiß- und AS-Versorgung in der Fütterung der Monogastrier im Ökologischen Landbau. In: Tagungsband der 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau
- (21) Witten, S., Aulrich, K. (2015): Relations between the crude protein content and the amino acid profile of organically produced field beans (*Vicia faba* L.) and field peas (*Pisum sativum* L.). In: Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 24 (148), 166
- (22) Witten, S., Aulrich, K. (2014): Investigations on the contents of crude protein and essential amino acids in various organically produced pea cultivars (*Pisum sativum* L.). In: Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 23 (75), 101

10.2 Geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

- (23) Witten, S., Ritteser, C., Grashorn, M. A., Aulrich, K. (2019): Application of an *in vitro* multi-enzyme assay to estimate the precaecal digestibility of crude protein and amino acids in broiler chicken. In: Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 28 (148), 166
- (24) Witten, S., Aulrich, K. (2019): *In vitro* XP-Verdaulichkeit ökologisch erzeugter Ackerbohnen und Futtererbsen für Broiler. In: Tagungsband der 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau
- (25) Witten, S., Grashorn, M. A., Aulrich, K. (2019): *Praecaecale* XP- und AS-Verdaulichkeit einer Öko-Ackerbohne und einer Öko-Futtererbse bei jungen Broilern. In: Tagungsband der 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau
- (26) Thünen Report mit Futterwerttabellen, die Ergebnisse aus der Rohnährstoff,- AS- und Vitaminanalytik enthalten, ist in Bearbeitung
- (27) Artikel in wissenschaftlicher Zeitschrift geplant: Short Communication zur *in vitro* Methode in Animal Feed Science and Technology
- (28) Artikel in wissenschaftlicher Zeitschrift geplant: zu den NIRS-Ergebnissen
- (29) Artikel in wissenschaftlicher Zeitschrift geplant: Short Communication zu Rohprotein- und Aminosäuregehalten in ökologisch erzeugten Getreide- und Körnerleguminosenkulturen in Organic Agriculture
- (30) Nutzung und Pflege der NIR-Kalibrationen wäre wünschenswert

Anhang: Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms

Das Vorhaben leistet einen Beitrag zum thematischen Förderschwerpunkt „Förderung der nachhaltigen und einheimischen Eiweißversorgung in der Monogastrierernährung“, der mit der Bekanntmachung Nr. 03/11/51 adressiert wurde.

2. Wissenschaftliche und technische Ergebnisse des Vorhabens

Es wurden Rohnährstoff- und Aminosäuregehalte von ca. 1500 Getreide- und Körnerleguminosenproben verschiedener Sorten, Standorte und Anbaujahre bestimmt. Weiterhin wurden die Gehalte der B-Vitamine Thiamin und Riboflavin in Getreiden und Körnerleguminosen analysiert. Damit wurde eine umfangreiche Datenbasis zu Gehalten wichtiger Nährstoffe in ökologisch angebauten Futtermitteln geschaffen.

Weiterhin wurde eine *in vitro* Methode zur Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren beim wachsenden Broiler entwickelt und anhand von *in vivo* Ergebnissen kalibriert.

NIR-Kalibrationen zur Schätzung der Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren in Getreiden und Körnerleguminosen wurden erfolgreich entwickelt und im Projektverlauf zur Bestimmung von Sorten- und Umwelteinflüssen auf die entsprechenden Gehalte eingesetzt.

Die Schwankungen in ökologisch erzeugten Futtermitteln sind stark von der verwendeten Sorte und der Anbauumwelt abhängig und nicht vorherzusagen. Diese Schwankungen, die nicht nur in den Inhaltsstoffen sondern auch in den Verdaulichkeiten gemessen wurden, wirken sich stark auf die Rationsgestaltung aus. Daher ist die Kenntnis über die Inhaltsstoffe vor der Rationsgestaltung dringend erforderlich.

Die Versorgung mit Vitamin B₁ in praxisüblichen, getreidebasierten Rationen für Monogastrierer scheint auch ohne Supplementierung auszureichen. Die adäquate Versorgung mit Vitamin B₂ dagegen ist nicht gegeben.

Mit den NIR-Kalibrationen und der *in vitro* Methode stehen künftig zwei Tools zur Verfügung, die die optimierte Rationsgestaltung maßgeblich unterstützen können.

Es konnten bereits während der Projektlaufzeit Ergebnisse in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert werden, aber auch auf Fachtagungen und Feldtagen präsentiert werden.

3. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Weitere Ergebnisse, die bisher nicht in die schon erfolgten Publikationen eingeflossen sind, werden zeitnah publiziert. Ein Thünen-Report der Daten soll als Tabellenwerk erarbeitet werden.

Die NIR-Kalibrationen könnten für andere Projekte sinnvoll genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine weitere Unterstützung durch das BÖLN.

Die *in vitro* Methode zur Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit kann auch von anderen Forschergruppen eingesetzt werden.

4. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase

Die *in vitro* Methode zur Bestimmung der *praecaecalen* Verdaulichkeit sollte durch Erweiterung des Datensatzes stabiler gemacht und validiert werden. Nur so kann sie letztlich dazu beitragen, die Anzahl von Tierversuchen zur Verdaulichkeitsbestimmung zu reduzieren und einen Beitrag zur verbesserten Rationsgestaltung leisten.

Die NIR-Kalibrationen sollten für die Parameter, die bisher noch nicht zufriedenstellend sind, weiter entwickelt werden. Dies betrifft vor allem die Vorhersage der Verdaulichkeit von Rohprotein und der Aminosäuren.

Die weitere Anwendung der erstellten NIR-Kalibrationen scheint vor dem bisher investierten finanziellen Volumen dringend geboten. Für Projekte des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau wird dies bereits erfolgreich praktiziert – z.B. im Projekt 2811OE038 „Einsatz von behandelten Saatwickenkörnern (*Vicia sativa* L.) als eiweißreiches Futtermittel für Monogastrier im ökologischen Landbau“. Denkbar wäre die Nutzung auch für andere BÖLN-geförderte Projekte. Ihnen könnten nach Einsendung ihrer Proben gezielt die mittels NIR erhaltenen Daten für ihre Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Unsererseits könnte mit den Proben die Datenbasis erweitert werden, die NIR weiter validiert werden und so langfristig zum Nutzen aller bereit stehen. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine weitere Unterstützung durch die BLE, da dies aus Haushaltsmitteln des Instituts nicht möglich ist. Vorstellbar wäre die Finanzierung einer Projektstelle, die mit geringfügigen Sachmitteln für Untersuchungen von Stichproben aus jedem eingesendeten Probensatz ausgestattet wird.

5. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die Zeit- und Ausgabenplanung wurde während der Projektlaufzeit mehrfach über Änderungsanträge angepasst und ist mit der Abgabe des Schlussberichtes zum 31.12.2018 eingehalten.