

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Studiengang Ökotrophologie

**Einsatz laboranalytischer Methoden zur Qualitätssicherung bei
der Herstellung von Mischfuttermitteln im Rahmen einer
100 % - Biofütterung von Monogastriern**

Bachelorarbeit

Tag der Abgabe: *23. Mai 2016*

Vorgelegt von: *Nadine Tripke*

Matrikelnummer: *2092785*

Erstgutachterin: *Prof. Dr. med. vet. Katharina Riehn*

Zweitgutachterin: *Dr. rer. nat. Karen Aulrich*

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Ökologische Fütterung monogastrischer Nutztiere	2
2.1 Rechtliche Grundlagen.....	2
2.1.1 EU Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007.....	3
2.1.2 Durchführungsverordnungen (EG) Nr. 889/2008 bzw. 836/2014.....	4
2.2 Rationsgestaltung.....	6
2.2.1 Geflügelernährung.....	11
2.2.2 Schweineernährung.....	13
2.2.3 100 % - Biofütterung – Herausforderungen und Möglichkeiten.....	15
3 Zielstellung	19
4 Material & Methoden	20
4.1 Probenmaterial.....	20
4.2 Laboranalytik.....	22
4.2.1 Weender Rohnährstoffe, Stärke, Zucker und Aminosäuren.....	22
4.2.2 Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS).....	31
4.3 Statistische Auswertung.....	31
5 Ergebnisse & Diskussion	33
5.1 Übereinstimmung der berechneten Rationen mit den Laborergebnissen der Endrationen.....	33
5.2 Einsatz der NIRS zur Inhaltsstoffkontrolle von Mischfuttermitteln.....	47
6 Schlussbetrachtung	51
Zusammenfassung	52
Literatur	V
Rechtsquellen	VIII
Anhang	X

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
Art.	Artikel
AS	Aminosäure
AW	Auswaage
Basis-VO	Verordnung (EG) Nr. 178/2002
DE	verdauliche Energie
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
EU-Öko-VO	Rechtspaket der EU-Öko-Verordnung
EW	Einwaage
FuttMV	Futtermittelverordnung
GE	Bruttoenergie
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
ggf.	gegebenenfalls
GU	Grundumsatz
HPLC	high performance liquid chromatography
Ist/Ist-Wert	nach Futtermittelherstellung analysierter/berechneter Gehalt an Inhaltsstoffen/ME
LFGB	Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch
LG	Leergewicht
lit.	littera (lat.)
Lys	Lysin
ME	umsetzbare Energie
Met/Cys	Methionin und Cystein
MJ	Megajoule
NE	Nettoenergie
NIRS	Nah-Infrarotspektroskopie
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
PG	Probengewicht
Soll/Soll-Wert	bei der Rationsgestaltung berechneter Gehalt an Inhaltsstoffen/ME
sublit.	sublittera (lat.)
Tab.	Tabelle
Thr	Threonin
TierSchNutztV	Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung
TierZG	Tierzuchtgesetz
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VO	Verordnung
o.g.	oben genannt
WPSA	World's Poultry Science Association
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Stärke
XZ	Zucker

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung des Bedarfs von Schweinen verschiedener Nutzungsrichtung.....	11
Tabelle 2: Zusammensetzung des Leistungsbedarfs von Schweinen verschiedener Nutzungsrichtung	13
Tabelle 3: Übersicht der analysierten Proben.....	20
Tabelle 4: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Rohprotein in g/100g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel	33
Tabelle 5: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohprotein-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	34
Tabelle 6: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Rohfett in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel.....	35
Tabelle 7: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohfett-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	36
Tabelle 8: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Rohfaser in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel	37
Tabelle 9: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohfaser-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	38
Tabelle 10: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Rohasche in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel	39
Tabelle 11 Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohasche-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	39
Tabelle 12: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Energie in MJ/kg sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel.....	41
Tabelle 13: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Energie-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	41
Tabelle 14: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Lysin in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine.....	44

Tabelle 15: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine enthaltenen Lysin -Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	44
Tabelle 16: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Methionin und Cystein in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel.....	45
Tabelle 17: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine enthaltenen Methionin und Cystein-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	45
Tabelle 18: Bei der Rationsoptimierung berechnete und nach der Futtermittelherstellung analysierte Gehalte an Threonin in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel	46
Tabelle 19: Minimum, Maximum und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine enthaltenen Threonin-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung	46
Tabelle 20: Spannweite und statistische Kennzahlen der NIR-Schätzung für Trockensubstanz in % des Futtermittels, umsetzbare Energie Schwein und ME Geflügel % TS.....	47
Tabelle 21: Spannweite und statistische Kennzahlen der NIR-Schätzung für Rohprotein, Rohfett und Stärke in % TS.....	48
Tabelle 22: Spannweite und statistische Kennzahlen der NIR-Schätzung für Zucker, Rohfaser und Rohasche in % TS	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammensetzung des Energiebedarfs	6
Abbildung 2: Energiestufen eines Futtermittels.....	7
Abbildung 3: Verschiedene Lösungsstrategien zur Umsetzung einer 100 % - Biofütterung	16
Abbildung 4: Übersicht der Weender Analyse	22
Abbildung 5: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Rohprotein in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine, Rinder und Geflügel	33
Abbildung 6: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Rohfett in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine, Rinder und Geflügel	35
Abbildung 7: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Rohfaser in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine, Rinder und Geflügel	37
Abbildung 8: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Rohasche in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine, Rinder und Geflügel	38
Abbildung 9: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der mittels Energieberechnungsformel, auf Basis analysierter Gehalte, berechneten Werte an Energie in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine und Geflügel.....	40
Abbildung 10: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Lysin in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine.....	43
Abbildung 11: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Methionin und Cystein in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine	44
Abbildung 12: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten und der nach der Futtermittelherstellung analysierten Gehalte an Threonin in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine	45

1 Einleitung

In der EU wird eine 100 %-Biofütterung der ökologisch gehaltenen Nutztiere angestrebt. Diese ist nach mehreren Verlängerungen ab 2018 auch für Monogastrier verpflichtend (VO (EG) Nr. 836/2014, Artikel (Art.) 1).

Da proteinreiche Futtermittel mit einem optimalen Aminosäurenmuster nicht in ausreichender Menge verfügbar sind, gibt es eine Ausnahmegenehmigung, die den begrenzten Einsatz von nicht-ökologischen Futtermitteln für Monogastrier zulässt. Aktuell ist eine Zugabe von 5 % nichtökologischer Eiweißfuttermittel landwirtschaftlichen Ursprungs pro Jahr möglich, sofern der Landwirt nicht in der Lage ist, sich mit Eiweißfuttermitteln aus ausschließlich ökologischer Erzeugung zu versorgen. (VO (EG) Nr. 889/2008, Art. 43) Die verfügbaren Futtermittel eignen sich zur Deckung des Aminosäurebedarfs der Tiere nur bedingt, sodass die bedarfsgerechte Versorgung mit Aminosäuren (AS) oft durch einen Überschuss an Protein gewährleistet wird (Schumacher et al., 2011, S. 9). Diese Überversorgung erfordert zum einen einen hohen Einsatz an Ressourcen und belastet die Wirtschaftlichkeit. Zum anderen stellt die erhöhte Stickstoffausscheidung, die durch die überschüssige Menge an Protein entsteht, für das Tier und die Umwelt eine Belastung dar (Schumacher et al., 2011, S. 9).

Monogastrier stellen aufgrund ihres verhältnismäßig kurzen Verdauungstraktes sehr hohe Ansprüche an die Futtermittelqualität. Zudem wurden größere Schwankungen der Nährstoffzusammensetzung von Rohstoffen aus ökologischem Anbau im Vergleich zu konventionellen Erzeugnissen beobachtet (Böhm, Aulrich, Berk, 2007; Strobel et al., 2001). Daher sind Futterwerttabellen nur bedingt für die Rationsgestaltung geeignet (Aulrich, 2011, S. 3).

Um die Herausforderung einer bedarfsgerechten 100 % - Biofütterung von Monogastriern zu meistern, sind geeignete Einzelkomponenten ökologischer Herkunft und verschiedene Kontrollpunkte erforderlich. Die berechnete Ration sollte auf der Basis von Analysen zur Kontrolle der Inhaltsstoffe optimiert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde mittels klassischer, nasschemischer Analytik ein Soll-/Ist-Vergleich zwischen den in der Rationsoptimierung ermittelten Inhaltsstoffen (Soll-Werte) und den tatsächlich enthaltenen Nährstoffmengen (Ist-Werte) in Mischfuttermitteln aus ökologischer Erzeugung durchgeführt. Somit wurde die Qualität des Endproduktes nach Zerkleinerung, Vermischung und beispielsweise Pelletierung hinsichtlich der enthaltenen Inhaltsstoffe bewertet.

Zusätzlich sollte geprüft werden ob der Einsatz der Nah-Infrarotspektroskopie (NIRS) zur Schätzung der Nährstoffzusammensetzung von Mischfuttermitteln möglich ist.

2 Ökologische Fütterung monogastrischer Nutztiere

Die ökologische Tierproduktion im Sinne der EU-Öko-Verordnung (EU-Öko-VO) erfolgt nach dem Prinzip der flächengebundenen Tierhaltung (VO (EG) Nr. 834/2007, Art. 4, littera (lit.) a, sublittera (sublit.) ii)). Demnach ist eine ausschließliche Wirtschaftsweise basierend auf Tierproduktion nicht zulässig. Der Landwirt oder ein regionaler Kooperationspartner hat zusätzlich Acker- und Weideland zu bewirtschaften, um Futtermittel für die Ernährung der Tiere zu produzieren (VO (EG) Nr. 834/2007, Art. 14, Absatz (Abs.) 1, lit. d), sublit. i)). Die Gülle der Tiere wird zur Düngung des Bodens genutzt (VO (EG) Nr. 889/2008, Art. 3, Abs. 2, 3), somit entsteht ein geschlossener Kreislauf zwischen Boden, Pflanze und Tier. Die Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere unter den Bedingungen der ökologischen Tierhaltung ist primär auf Tiergesundheit und Erzeugung qualitativ hochwertiger Produkte gerichtet, nicht auf Höchstleistung (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 541).

2.1 Rechtliche Grundlagen

Die ökologische Tierhaltung unterscheidet sich von der konventionellen, intensiven Tierhaltung. Die bedarfsgerechte Versorgung der Tiere ist trotz der verschiedenen Regulierungen der EU-Öko-VO in jedem Fall zu gewährleisten.

Wie in der konventionellen Tierhaltung und Fütterung sind auch im Ökologischen Landbau Regelungen wie das Tierzuchtgesetz (TierZG), die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzV) und das Futtermittelrecht zu beachten. Das TierZG und die TierSchNutzV zählen zu den Regelungen des Bundes. Das Futtermittelrecht gliedert sich in die nationalen Bestimmungen des Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuches (LFGB) und die Futtermittelverordnung (FuttMV) sowie die europäischen Regelungen zu den Futtermitteln, welche in der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 (Basis-VO) verankert sind (Soravia, Steiling, 2015, S. 2,3,5). Das LFGB und die Basis-VO verfolgen das Ziel einer lückenlosen Rückverfolgbarkeit „vom Erzeuger bis zum Verbraucher“ (Soravia, Steiling, 2015, S. 3) und soll gemäß Art. 5 Abs. 1 der Basis-VO dem Schutz der Gesundheit von Mensch und Tier dienen (Bernsmann, 2011, S. 102). Des Weiteren soll eine einwandfreie Futtermittelhygiene entsprechend der VO (EG) Nr. 183/2005 gewährleistet werden. Die Grundsätze und Regelungen der Nutztierhaltung im Ökologischen Landbau sind in der EU-Öko-VO geregelt. Die Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007, die Durchführungsbestimmungen (EG) Nr. 889/2008 bzw. 836/2014 sowie die Durchführungsbestimmungen für Drittlandimporte (EG) Nr. 1235/2008 bilden das Rechtspaket der EU-Öko-VO.

Im Folgenden wird auf die relevanten Bestimmungen der Basis-VO und der Durchführungsbestimmungen zur Fütterung von Monogastriern eingegangen.

2.1.1 EU Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007

Die VO (EG) Nr. 834/2007 bildet das Grundgerüst der EU-Öko-VO. Durch die VO ist Folgendes geregelt:

- Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen
- Ziele und Grundsätze der ökologischen Produktion
- **Produktionsvorschriften**
- Kennzeichnung
- Kontrollen
- Handel mit Drittländern
- Übergangs- und Schlussbestimmungen

In Titel III, den „**Produktionsvorschriften**“, ist in Kapitel 2 die „**Landwirtschaftliche Erzeugung**“ und in Kapitel 3 die „**Herstellung verarbeiteter Futtermittel**“ geregelt.

Art. 14 beschreibt die „Vorschriften für die tierische Erzeugung“. Durch lit. d) sind die Bestimmungen bezüglich der Futtermittel geregelt. Durch das Grundprinzip der flächengebundenen Tierhaltung, bewirtschaftet der Betrieb selbst oder ein Kooperationsbetrieb eine bestimmte Fläche Land. Die darauf wachsenden Pflanzen sollen die Grundlage des Futters für die Tiere bilden. (sublit. i)) Die angebotenen Futtermittel müssen aus ökologischer Landwirtschaft stammen und den ernährungsphysiologischen Bedarf der Tiere decken (sublit. ii)). Die Zugabe von nichtökologischen Futtermittelausgangserzeugnissen pflanzlichen Ursprungs, Futtermittelausgangserzeugnissen tierischen und mineralischen Ursprungs, Futtermittelzusatzstoffen, bestimmten Erzeugnissen für die Tierernährung und Verarbeitungshilfsstoffen zu den Futtermitteln, erfordert die Zulassung nach Art. 16 der VO (EG) Nr. 834/2007 (sublit. iv)). Wachstumsförderer sowie synthetische AS sind verboten (sublit. v)).

Art. 16 regelt die im Landbau verwendeten Erzeugnisse und Stoffe sowie die Kriterien für ihre Zulassung. In Abs. 1 sind zulassungsbedürftige Erzeugnisse und Stoffe aufgelistet wie z.B. unter lit. c) nichtökologische Futtermittelausgangserzeugnisse pflanzlichen Ursprungs, Futtermittelausgangserzeugnisse tierischen und mineralischen Ursprungs, bestimmte Erzeugnisse für die Tierernährung und unter lit. d) Futtermittelzusatzstoffe und Verarbeitungshilfsstoffe. Die Zulassung dieser Stoffe ist in Abs. 2 geregelt. Sie unterliegt den Zielen und Grundsätzen der ökologischen Produktion sowie der Bewertung nach verschiedenen Kriterien. Durch lit. e), sublit. i), gilt für die oben genannten Stoffe/Erzeugnisse, dass diese für die Erhaltung der Tiergesundheit, des Wohls sowie der Vitalität der Tiere erforderlich sind und zu einer angemessenen Ernährung beitragen (...) oder, dass ohne diese Stoffe die Herstellung solcher Futtermittel nicht möglich ist (...). Sublit. ii) regelt die Voraussetzung für die Zulassung chemischer Stoffe.

Art. 18 in Kapitel 3 beschreibt die Vorschriften für die „**Herstellung verarbeiteter Futtermittel**“. In Abs. 3 ist geregelt, dass Futtermittelausgangserzeugnisse (...) nicht unter Einsatz chemisch-synthetischer Lösungsmittel hergestellt werden dürfen.

Der in Kapitel 5 zur „**Flexibilität**“ eingegliederte **Art. 22** beschreibt die „Ausnahmen von den Produktionsvorschriften“. Abs. 2 besagt, dass Ausnahmen auf ein Mindestmaß zu beschränken und gegebenenfalls (ggf.) zeitlich zu begrenzen sind. Ausnahmen dürfen gemäß lit. b) nur gewährt werden, wenn sie zur Versorgung mit Futtermitteln (...) erforderlich sind, soweit diese nicht als ökologische Erzeugnisse auf dem Markt erhältlich sind.

2.1.2 Durchführungsverordnungen (EG) Nr. 889/2008 bzw. 836/2014

Die Durchführungsverordnung regelt im Wesentlichen die Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle von ökologischen Erzeugnissen. Sie gliedert sich in:

- Einleitende Bestimmungen
- **Vorschriften für die Produktion, Verarbeitung, Verpackung, Beförderung und Lagerung von Erzeugnissen**
- Kennzeichnung
- Kontrolle
- Mitteilungen an die Kommission, Übergangs- und Schlussbestimmungen.

Die Durchführungs-VO regelt die Umsetzungsweise der Bestimmungen der Basis-VO.

Im Titel II, den „**Vorschriften für die Produktion, Verarbeitung, Verpackung, Beförderung und Lagerung von Erzeugnissen**“, sind unter Kapitel 2 die Bestimmungen der „**Tierischen Erzeugung**“ geregelt.

Abschnitt 3 beinhaltet die „**Regelungen zu den Futtermitteln**“. Laut **Art. 19**, Abs. 2 müssen bei der Ernährung von Schweinen mindestens 20 % der Futtermittel aus der Betriebseinheit bzw. von regionalen Kooperationspartnern stammen. **Art. 20**, Abs. 3 besagt, dass der Tagesration von Schweinen und Geflügel frisches, getrocknetes Raufutter beizugeben ist.

Art. 22 beinhaltet die Regelung der Verwendung von nichtökologischen Futtermittelausgangserzeugnissen pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, sofern diese ohne chemische Lösungsmittel produziert oder aufbereitet wurden und die in **Art. 43** bzw. bei Katastrophenfällen in **Art. 47**, lit. c) festgelegten Beschränkungen eingehalten werden.

Kapitel 6 beinhaltet die „**Ausnahmen von den Produktionsvorschriften**“. Abschnitt 2 regelt die „**Nichtverfügbarkeit ökologischer Betriebsmittel**“, hier ist **Art. 43** eingebettet.

Art. 43 bezieht sich auf die bereits im Zusammenhang mit **Art. 22** erwähnte Regelung der Verwendung nichtökologischer Futtermittelausgangserzeugnisse. **Art. 43** regelt die „Verwendung von

nichtökologischen Eiweißfuttermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs für die Tierhaltung“. Der Einsatz einer begrenzten Menge nichtökologischer Eiweißfuttermittel für Schweine und Geflügel ist zulässig, sofern die Landwirte nicht in der Lage sind, sich mit Eiweißfuttermitteln aus ausschließlich ökologischer Erzeugung zu versorgen (entsprechend Art. 22, Abs. 2, lit. b) der VO (EG) Nr. 834/2007). Diese Ausnahmeregelung wurde durch die Europäische Kommission verlängert und ist nun bis zum 31. Dezember 2017 gültig (VO (EG) Nr. 836/2014, Art. 1). Bis dahin ist unter den oben genannten (o.g.) Voraussetzungen eine Zugabe von 5 % nichtökologischer Eiweißfuttermittel, bezogen auf die Trockensubstanz (TS) der Futtermittel landwirtschaftlichen Ursprungs pro Jahr, zulässig.

2.2 Rationsgestaltung

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, sowie aus Sicht des Tierwohls, ist die Rationsgestaltung von besonderer Bedeutung. Sie bildet die Grundlage für eine bedarfsgerechte Fütterung der Tiere. Die Berechnung und Mischung der Ration kann vom Landwirt selbst oder von einem Mischfuttermittelhersteller erfolgen. Jedoch ist dabei das Wissen über den Bedarf der Tiere, sowie die Kenntnis über die vorhandenen Futtermittel und deren Inhaltsstoffe notwendig.

Nährstoff- und Energiebedarf

Für die Planung einer bedarfsgerechten Ration ist im ersten Schritt die Ermittlung des Energie- und Nährstoffbedarfs der zu fütternden Tiere erforderlich. Laut Kirchgeßner et al. (2011, S. 238) ist die tierische Leistung das Produkt aus Erbanlage und Umwelt. Daraus ergibt sich die Abhängigkeit des Bedarfs von verschiedenen Faktoren zu denen beispielsweise Tierart, Rasse, Alter und Nutzungsgrad bzw. körperliche Belastung zählen. Der Energiebedarf wird in der Einheit Megajoule (MJ) pro Tag angegeben. Der Gesamtenergiebedarf setzt sich folgendermaßen zusammen:

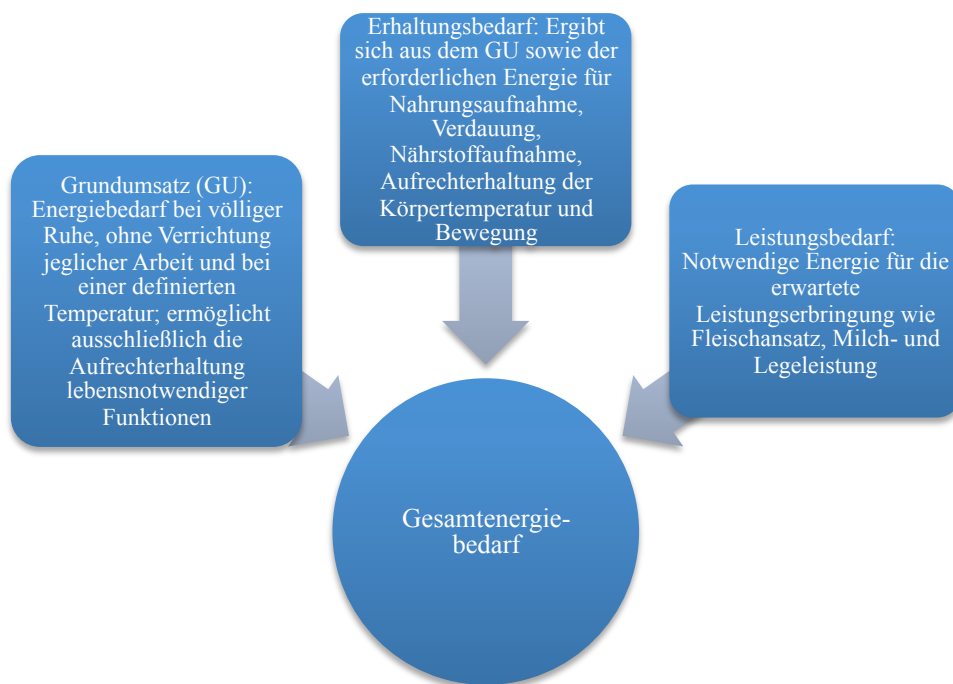


Abbildung 1: Zusammensetzung des Energiebedarfs, (Eigene Darstellung nach Töpfer, 2011, S. 204-207)

Einflussgrößen auf die Futterverwertung

Die Nährstoffaufnahme und Energieverwertung infolge der Aufnahme eines Futtermittels ist aufgrund individueller Stoffwechselbedingungen vom Tier selbst abhängig. Die Verdaulichkeit eines Futtermittels lässt sich anhand eines Tierversuches bestimmen. (Töpfer, 2011, S. 204-207) Da der Tierversuch in der Praxis einen sehr hohen Aufwand darstellt, wurden In-vitro- und Schätzmethoden zur Bestimmung des energetischen Futterwertes entwickelt (Kirchgeßner et al., 2011, S. 169; Töpfer, 2011, S. 203). Die jeweilige Schätzformel ist Kapitel 4.2.1, S. 22 zu entnehmen.

Das Futtermittel selbst hat ebenfalls einen Einfluss auf die Versorgung des Tieres. Die Qualität eines Futtermittels wird als Futterwert ausgedrückt. Der Futterwert wird bestimmt durch die Verwertung des Futtermittels im Tierkörper, durch dessen Energie- und Nährstoffgehalt, die Verzehrsbestimmenden Eigenschaften (Textur, Struktur, Rohfasergehalt), sowie von antinutritiven Inhaltsstoffen. (Schulz-Schroeder, 2011, S. 8)

Zur Bewertung eines Futtermittels sind folgende Energiestufen zu nennen:

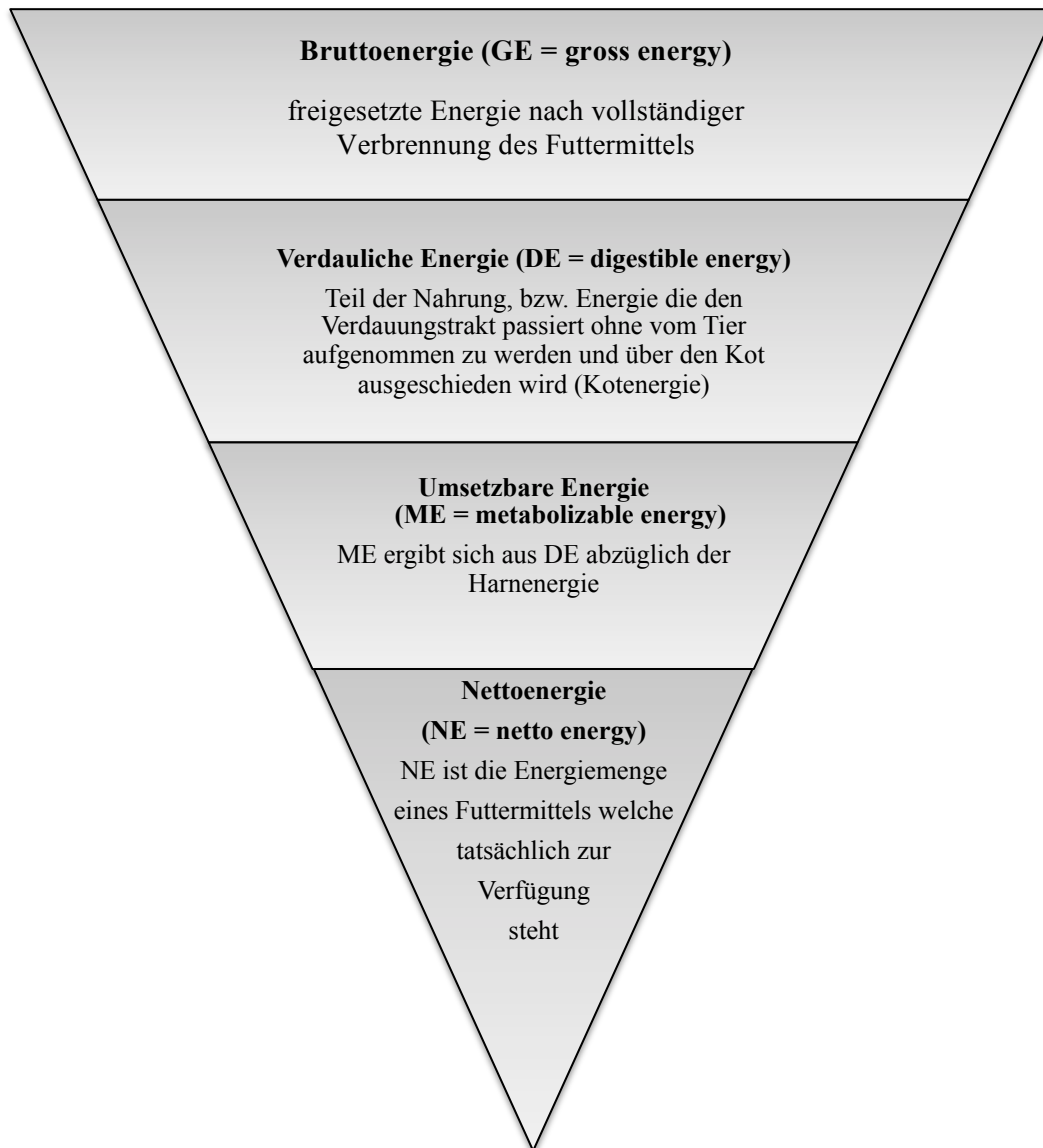


Abbildung 2: Energiestufen eines Futtermittels (Eigene Darstellung nach Töpfer, 2011, S. 204)

Zudem sind die Futtermittelzusammensetzung sowie die Qualität der einzelnen Nährstoffe zu bewerten. Höchste Priorität stellt neben der Energiezufuhr und einer ausgewogenen Zusammensetzung an Nährstoffen auch die bedarfsgerechte Versorgung des Tieres mit essentiellen Nährstoffen dar. Essentielle Nährstoffe sind diejenigen, die vom Organismus nicht selbst gebildet und deshalb über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Hierzu zählen beispielsweise einige AS, ver-

schiedene Vitamine und Mineralstoffe. (Schulz-Schroeder, 2001, S. 7-9) Die essentiellen AS sind Histidin, Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin. Zudem müssen die semiessentiellen AS Aginin, Cystein, Glutamin, Glycin und Tyrosin teilweise über die Nahrung zugeführt werden, da sie für manche Tiere essentiell sind oder aus essentiellen AS gebildet werden. (Kamphues et al., 2014, S. 28) Ob die jeweilige AS für das Tier essentiell ist, hängt von Tierart und Alter ab. Die AS, welche bei nicht ausreichender Zufuhr die stärksten Mangelerscheinungen auslöst, wird als erstlimitierende AS bezeichnet. (Töpfer, 2011, S. 187, 192) Die Güte eines Proteins wird nach der AS-Zusammensetzung und ihrer (*praecaecalen*) Verdaulichkeit bewertet (Jeroch, Flachowsky, Weißbach, 1993, S. 61). Beispielsweise kann die „Biologische Wertigkeit“ als Bewertungsmaßstab für Proteine dienen. Diese gibt die Umsetzbarkeit von absorbiertem Futterprotein zu Körperprotein in Prozent an (Nehring, 1972, S. 269; Püschner, Simon, 1977, S. 375).

Neben den erforderlichen Nährstoffen gibt es Futtermittelinhaltsstoffe die aufgrund bestimmter Eigenschaften einen begrenzenden Faktor darstellen. Hierzu zählen verzehrsbestimmende Eigenschaften sowie antinutritive Inhaltsstoffe. Verzehrsbestimmende Eigenschaften sind z.B. die Struktur bzw. die Textur eines Futtermittels, die das Kauverhalten beeinflussen, sowie der Gehalt an Rohfaser (XF), die zu den Gerüstsubstanzen zählt. XF ist für Monogastrier nur bedingt, bzw. nicht verdaulich und beeinflusst die Verdaulichkeit eines Futtermittels maßgeblich. Aus diesem Grund stellt XF einen begrenzenden Faktor dar. Bei antinutritiven Substanzen handelt es sich um den Futterwert mindernde sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe. Durch die Aufnahme kommt es zu negativen Effekten beim Tier, wie z.B. einer verringerten Futteraufnahme, einer Veränderung der Verdaulichkeit oder Stoffwechselstörungen, welche die Gesundheit des Tieres beeinträchtigen. Teilweise führt eine Behandlung des Futtermittels zu einer Verringerung oder Beseitigung dieser Wirkung. (Schulz-Schroeder, 2011, S. 17) Beispielsweise werden Sojabohnen vor der Verfütterung hydrothermisch behandelt um die negative Wirkung der enthaltenen Trypsininhibitoren zu verhindern (Schulz-Schroeder, 2011, S. 44).

Je nach Tierart sind weitere spezifische Restriktionen zu berücksichtigen. Auf die jeweiligen Bedürfnisse von Geflügel und Schweinen wird in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 eingegangen.

Planung einer Ration

Die Berechnung einer Ration erfolgt computerbasiert. Je nach den Anforderungen des Tieres und dessen Bedarf, der verfügbaren und zulässigen Einzelkomponenten, sowie deren Kosten wird die entsprechende Ration zusammengestellt (Schulz-Schroeder, 2011, S. 11). Bei den Programmen zur Berechnung der Ration ist darauf zu achten, dass die Eintragung des zu erfüllenden Futterwertes, des ermittelten Bedarfs, sowie der einzuhaltenden Restriktionen für jede Ration individuell vorgenommen werden kann (Steinhöfel, Lippmann, 2005, S. 5).

Einzelfuttermittel

Einzelfuttermittel im Sinne der VO (EG) Nr. 767/2009 Art. 3, lit. g), sind Erzeugnisse pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die der Ernährung der Tiere dienen. Hierzu zählen beispielsweise verschiedene Getreidearten, Körnerleguminosen aber auch Nebenprodukte der Lebensmittelverarbeitung, wie Ölschrote (Schulz-Schroeder, 2011, S. 12). Beim Einsatz der Einzelfuttermittel sind unter anderem die bereits in Kapitel 2.1 erläuterten Anforderungen der EU-Öko-VO zu beachten (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 541).

Um die Rationen je nach Bedarf des Tieres zusammenzustellen, sind Kenntnisse über die Rohstoffe (Futtermittelausgangserzeugnisse) erforderlich. In Futtermitteln aus dem Ökologischen Landbau wurden im Vergleich zu konventionellen Rohstoffen höhere Schwankungen der Inhaltsstoffe und ihrer Zusammensetzung beobachtet (Böhm, Aulrich, Berk, 2007; Strobel et al. 2001). Diese werden maßgeblich von Standort, Witterung und Sorte (Böhm, Berk, 2006, S. 266, 267) sowie durch die unterschiedlichen Düngungsformen beeinflusst (Böhm, Aulrich, Berk, 2007). Aus diesem Grund ist eine Analyse der Rohstoffe notwendig, da der Energiegehalt, sowie die Nährstoffzusammensetzung nicht der Literatur, also den verfügbaren Futterwerttabellen zu entnehmen sind (Aulrich, 2011, S. 3).

Je nach Rohstoff ist eine Bearbeitung der Einzelkomponenten notwendig. Hierzu zählt der Trocknungsvorgang, die Reinigung durch Trennen von Schmutz und Fremdbestandteilen sowie das Zerkleinern oder Vermahlen. Wie bereits erwähnt, ist bei bestimmten Rohstoffen, wie Soja eine thermische Behandlung zur Hemmung der antinutritiven Substanzen erforderlich. (Bernsmann, 2011, S. 133-148) Des Weiteren ist auf eine optimale Lagerung, eine saubere, hygienische Arbeitsweise sowie eine lückenlose Dokumentation zu achten.

Mischfuttermittel

Mischfuttermittel bestehen aus 2 oder mehreren Einzelfuttermitteln (VO (EG) Nr. 767/2009 Art. 3, lit. h)). Das Produkt kann als Allein- oder als Ergänzungsfuttermittel dienen und variiert je nach Fütterungsziel. Ein Alleinfuttermittel soll den ernährungsphysiologischen Bedarf der Tiere vollständig decken (VO (EG) Nr. 767/2009 Art. 3, lit i)). Nur Mischfuttermittel können bei alleiniger Fütterung den Bedarf eines Tieres vollständig decken und kommen daher ausschließlich als Alleinfuttermittel in Betracht (Weiß et al., 2005, S. 256). Ein weiterer Vorteil von Mischfuttermitteln ist die mögliche Berücksichtigung verschiedener Restriktionen durch Kombination von Einzelkomponenten (Jeroch, Flachowsky, Weißbach, 1993, S. 406). In der Ernährung von Monogastriern stellen Mischfuttermittel meist ein Alleinfuttermittel dar. Die Zugabe von frischem, getrocknetem oder siliertem Raufutter in der Tagesration, wie es in der Durchführungsverordnung Nr. 889/2008 Art. 20, Abs. 3 vorgeschrieben ist, hat für die Tiere primär einen Beschäftigungswert (Jeroch,

Drochner, Simon, 2008, S. 332, 333), da diese bei der Rationsberechnung meist nicht berücksichtigt werden.

Zusammenstellung der berechneten Ration

Bei der Mischfuttermittelherstellung nach der berechneten Rezeptur ist auf einen möglichst homogenen Vermischungsgrad zu achten, welcher maßgeblich von der Dauer des Vermischungsvorgangs abhängig ist (Bernsmann, 2011, S. 175). Des Weiteren müssen die Rohstoffe sowie die fertige Mischung zum Schutz der Inhaltsstoffe und zur Sicherung der Qualität optimal gelagert werden (Bernsmann, 2011, S. 125, 175). Ggf. kann eine Weiterverarbeitung der fertigen Mischung erfolgen, beispielsweise durch Pelletieren. Hierbei wird die Mischung durch Warmkonditionierung vorbehandelt und anschließend durch Pressen zu Pellets geformt. Als Produkt liegt eine einheitliche und stabile Mischung vor. Das Pelletieren bietet verschiedene Vorteile. Durch die thermische Vorbehandlung wird die Haltbarkeit des Futtermittels verlängert. Die Versorgung des Tieres wird infolge einer verbesserten Verdaulichkeit optimiert. (Bernsmann, 2011, S. 151-155) Das Pressen der Mischung verhindert eine selektive Futteraufnahme (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 486). Jedoch kann die harte Struktur der Pellets zu Verletzungen der Speiseröhre führen (Bernsmann, 2011, S. 155). Bei einigen Mischfuttermittelherstellern wird eine stichprobenartige Kontrolle des Endproduktes durchgeführt. Die Analysen erfolgen z.B. durch den Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (o.A., S. 1) und kontrollieren die Qualität des Endproduktes. Diese Untersuchungen zeigen eine gute Übereinstimmung der kalkulierten Inhaltsstoffe mit denen des Endproduktes. Allerdings ist hinzuzufügen, dass es sich hierbei um spezialisierte Betriebe handelt. Außerdem erfolgt die Futtermittelkontrolle in Mischbetrieben durch staatliche Überwachung sowie private Audits (Qualitätssicherungssysteme), ebenfalls stichprobenartig (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 259).

Im Folgenden wird allgemein auf tierspezifische Besonderheiten und Restriktionen eingegangen. Eine Unterteilung nach der Leistungsrichtung würde an dieser Stelle zu weit führen, ist jedoch in der Praxis notwendig.

2.2.1 Geflügelernährung

Zu der landwirtschaftlichen Nutzung von Geflügel zählen verschiedene Vogelarten wie Hühner, Puten, Enten und Gänse. Im Folgenden wird ausschließlich auf die Ernährung von Hühnern Bezug genommen.

Empfehlungen zu Energie- und Nährstoffversorgung für Lege- und Masthühner (Broiler) stellt der Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) zur Verfügung (GfE, 1999). Die folgende Tabelle (Tab. 1) gibt eine Übersicht über die verschiedenen Leistungen je nach Nutzungsrichtung des Tieres.

Tabelle 1: Zusammensetzung des Bedarfs von Schweinen verschiedener Nutzungsrichtung (nach Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 488; Töpper, 2011, S. 243)

Nutzungsrichtung des Tieres	Zu erbringende Leistung
Legehennen	<ul style="list-style-type: none">• Legeleistung pro Tag unter Einbeziehung des Eigewichtes und der Eiqualität• Lebendmassezunahme
Mastgeflügel	<ul style="list-style-type: none">• Lebensmassezuwachs unterteilt in Wachstum und Fleischansatz in Form von Protein und Fett

Beim Geflügel ist der erforderliche Protein- bzw. Energiezuschlag für die Aufrechterhaltung des Federkleides, sowie für die erhöhte Aktivität im Rahmen der Freilandhaltung zu berücksichtigen (Töpper, 2011, S. 245; Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 490).

Energetische Futterbewertung

Kapitel 4.2.1 ist die Formel der World's Poultry Science Association (WPSA) zur energetischen Bewertung von Geflügelfutter zu entnehmen. Diese erfolgt aufgrund der gemeinsamen Ausscheidung von Kot und Harn auf Grundlage der ME. Des Weiteren ist diese Angabe der ME auf eine ± 0 -Stickstoff-Bilanz korrigiert, um sie für wachsende und ausgewachsene Tiere anwenden zu können. Dies ist nötig, da die Energieverwertung je nach Wachstumsabschnitt, aufgrund des unterschiedlichen Fettansatzes, verschieden ist. (Kirchgeßner et al, 2011, S. 168)

Verdauung

Hühner bzw. Geflügel besitzen einen Magen und zählen deshalb zu der Gruppe der Monogastrier. Der Magen des Geflügels ist zweihöhlig und besteht aus einem Drüsen- sowie einem Muskelmagen. (Püschner, Simon, 1977, S. 187).

Die Futteraufnahme erfolgt über den Schnabel. Im nachfolgenden Kropf wird die aufgenommene Nahrung durch den Speichel aufgeweicht. Die aufgeweichte Nahrung gelangt anschließend in den Drüsenmagen. Hier beginnt die enzymatische Eiweißverdauung. Im nachfolgenden Muskelmagen wird die Nahrung durch das Zusammenspiel der Muskelkontraktion und kleinen Steinchen (Grit) zerkleinert. Anschließend gelangt der zerkleinerte Nahrungsbrei in den Dünndarm, den Hauptort

der enzymatischen Verdauung und der Absorption der Nährstoffe. Der aufgeschlossene Nahrungsbrei wird zu den beiden Blinddärmen weiter geleitet, dem Hauptort der mikrobiellen Verdauung. Es folgen der Dickdarm sowie die Kloake. (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 110, 487, 488; Kirchgeßner et al., 2011, S. 566)

Bedarfsgerechte Fütterung und zu berücksichtigende Restriktionen

Die Ration ist unter Berücksichtigung der tierspezifischen Faktoren wie der Verdauung, dem Bedarf und bestimmten Vorlieben, welche die Futteraufnahme beeinflussen, zusammenzustellen.

Der verhältnismäßig kurze Verdauungstrakt führt zu einer begrenzten Futteraufnahmekapazität. Infolge der kurzen Passagezeit sind eine hohe Nährstoffdichte sowie eine gute Verdaulichkeit des Futters notwendig. Demnach sind Futtermittel mit einem geringen Wasser- und XF-Gehalt in der Originalsubstanz zu verwenden. Außerdem sind Restriktionen infolge fehlender Lactase und einer geringen Saccharaseaktivität zu berücksichtigen. Des Weiteren führen verschiedene gelbildende Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) zu einem Viskositätsanstieg im Verdauungstrakt, was letztlich zu einer verringerten Nährstoffabsorption führt. Zudem ist auf eine ausreichende Versorgung an B-Vitaminen zu achten. (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 487, 488) Zu den essentiellen AS für das Geflügel zählen u.a. Lysin (Lys), Methionin (Met), Threonin (Thr) und Tryptophan. In der Mast ist Met und bei Legehennen Lys die erstlimitierende AS (Berk, 2008, S. 141). Der Bedarf an Met wird häufig als Methionin und Cystein (Met/Cys) angegeben. Cystein (Cys) kann vom Organismus synthetisiert werden und zählt demnach nicht zu den essentiellen. Da zur Bildung der semiessentiellen AS Cys, Met benötigt wird, wirkt sich eine ausreichende Versorgung mit Cys über das Futter positiv auf den Met-Vorrat aus. (Weiß et al., 2005, S. 17)

Der Energiegehalt des Futters hat einen wesentlichen Einfluss auf die Futteraufnahme der Tiere. Die Futterauswahl erfolgt maßgeblich nach der Konsistenz, Größe, Form und der Farbe des Futters. (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 486, 487) Das Futter sollte für eine Verfütterung in loser Form höchstens grob geschrotet sein, da es bei einer feingemahlenden, mehligem Konsistenz zu einer Verklebung des Kropfes kommen kann (Herman, Plakolm, 1993, S. 368).

2.2.2 Schweineernährung

Wie auch beim Geflügel muss zur Planung einer bedarfsgerechten Ration im ersten Schritt die Ermittlung des Gesamtenergiebedarfes je nach der zu erbringenden Leistung erfolgen (Tab. 2). Empfehlungen der Bedarfswerte für Schweine stehen von dem Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie zur Verfügung (GfE, 2006).

Tabelle 2: Zusammensetzung des Leistungsbedarfs von Schweinen verschiedener Nutzungsrichtung (nach Töpfer, 2011, S. 226, 233)

Nutzungsrichtung des Tieres	Zu erbringende Leistung
Mast -Schweine und Börgen -selten Eber	<ul style="list-style-type: none">• Lebendmassewachs• Schlachtkörperzusammensetzung
Zuchtsauen -Fruchtbarkeit mit Konzeption -Trächtigkeit -Laktation	<ul style="list-style-type: none">• Trächtigkeit: Anzahl der Ferkel, Häufigkeit pro Jahr und Lebensdauer• Abferkeln• Laktation• Erhalt der Körpersubstanz

Energetische Futterbewertung

Kapitel 4.2.1 ist die Formel der GfE zur energetischen Futterbewertung von Schweinefutter zu entnehmen. Dabei handelt es sich um eine Schätzgleichung zur Berechnung der ME.

Verdauung

Die Verdauung von Schweinen gleicht im Wesentlichen der des Menschen. Bereits in der Mundhöhle beginnt die Verdauung durch die Zerkleinerung und das Anfeuchten der Nahrung sowie dem ersten Schritt des Stärkeabbaus durch enzymatische Spaltung (Menke, Huss, 1987, S. 60, 61; Püschner, Simon, 1977, S. 185). Im Magen erfolgt eine Absenkung des pH-Wertes, die unerwünschte Gärprozesse verhindert und vorhandene Bakterien abtötet (Töpfer, 2011, S. 244). Außerdem beginnt hier die enzymatische Verdauung der weiteren Nährstoffe (Püschner, Simon, 1977, S. 189). Im nachfolgenden Dünndarm erfolgt die vollständige Hydrolyse der verdaubaren Nährstoffe zu absorbierbaren Spaltprodukten sowie deren Absorption über die Dünndarmschleimhaut (Püschner, Simon, 1977, S. 206). Die beschriebene enzymatische Verdauung im Magen-Dünndarm Bereich wird als *praecaecale* Verdauung bezeichnet. Die *praecaecale* Verdauung ist von besonderer Bedeutung für die Verdauung von Nährstoffen bei Schweinen, da die aufgenommenen Nährstoffe effektiv genutzt werden und für verschiedene Stoffwechsellvorgänge zur Verfügung stehen. (Töpfer, 2011, S. 224)

Bedarfsgerechte Fütterung und zu berücksichtigende Restriktionen

Beim Schwein stehen, anders als beim Geflügel, der Geschmack und der Geruch des Futters bei der Futterauswahl und der Futteraufnahme im Vordergrund. Beispielsweise wirkt sich ein süßlicher Geschmack des Futters positiv auf die Futteraufnahme aus. Die Beschaffenheit des Futters hat

ebenso einen Einfluss auf die Futteraufnahme. Futtermittel mit Struktur und Festigkeit werden quellenden, klebenden Komponenten vorgezogen. Bezüglich der Verdaulichkeit ist fein vermahlendes Futter zu empfehlen, jedoch belastet es die Atemwege der Schweine durch starke Staubbildung. Sehr grob strukturiertes Futter wird ungenügend zerkleinert, was sich negativ auf die Verdaulichkeit auswirkt. Dies spricht für die Pelletierung von vermahlenden Futtermischungen. Die Struktur der Pellets entspricht den Vorlieben der Tiere. Außerdem kann durch Zugabe von Öl die Staubbildung stark verringert werden. (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 332, 333)

Wie auch das Geflügel haben Schweine ein begrenztes Magenvolumen, weshalb eine hohe Nährstoffkonzentration des Futters, sowie eine gute Verdaulichkeit notwendig sind. Dies spricht für einen möglichst geringen XF-Gehalt, da dieser die Energiedichte verringert. Jedoch wirkt sich eine bestimmte Menge an XF, wie auch beim Menschen, positiv auf den Organismus aus. Beispielsweise führt die Aufnahme von XF in Verbindung mit Wasser zu einer verkürzten Passagezeit und beugt somit Verstopfungen vor. Außerdem befriedigt das Angebot von XF-reichem Futter wie Stroh und Heu zum Teil das Bedürfnis nach Aktivität und Beschäftigung. (Jeroch, Drochner, Simon, 2008, S. 332, 333) Bei der Fütterung der Schweine ist besonders auf die bedarfsgerechte Versorgung an essentiellen AS zu achten. Die erforderliche Menge einer AS wird anteilig zur erstliminierenden AS berechnet. Des Weiteren ist, wie beim Geflügel, auf die ausreichende Versorgung an B-Vitaminen, aufgrund der unzureichenden bakteriellen Syntheseleistung, zu achten. (Kirchgeßner et al, 2011, S. 238)

In Anbetracht der verschiedenen Aspekte, die bei der Ernährung von landwirtschaftlichen Nutztieren zu beachten sind, wird deutlich, welche Bedeutung einer verlässlichen Ration auf Basis von Analysewerten zukommt.

2.2.3 100 % - Biofütterung – Herausforderungen und Möglichkeiten

Eine ausschließliche Fütterung von Monogastriern mit Futtermitteln aus Ökologischem Landbau wird nach jetzigem Stand durch die EU-Öko-VO ab dem Jahr 2018 verpflichtend sein (VO (EG) Nr. 836/2014, Art. 1). Einige Betriebe setzen diese Forderung bereits aus Überzeugung um.

Die Problematik einer 100 % Biofütterung von Monogastriern liegt in einer bedarfsgerechten Versorgung an essentiellen AS. Dabei stellt besonders die bedarfsgerechte Fütterung von Jungtieren eine Herausforderung dar (Witten et al., 2014, S. 4). In der Ökologischen Tierhaltung ist die Zugabe synthetischer AS zum Futter nicht zulässig (VO (EG) Nr. 834/2007, Art. 14, lit. d), sublit. v)), somit muss der Nährstoffbedarf mit natürlichen Futterkomponenten gedeckt werden. Aktuell wird die Zufuhr an essentiellen AS für Monogastrier im Rahmen einer ökologischen Tierhaltung durch die noch zulässige Zugabe von 5 % nichtökologischer Futtermittel mit einem sehr guten AS-Muster gesichert. Dabei werden zur Aufwertung der Rationen von Hühnern hauptsächlich Maiskleber (Witten et al., 2014, S. 3, 19) und für Schweine Kartoffeleiweiß eingesetzt (Witten et al., 2014, S. 19). Es stellt sich die Frage, wie die Versorgung der Tiere, nach Auslauf dieser Übergangslösung gesichert werden soll. Die sogenannte AS-Lücke, die bei einer nicht ausreichenden Versorgung an essentiellen AS entsteht, führt zu einer Unterversorgung des Tieres. Durch eine Mangelversorgung kann es zu Entwicklungsstörungen und Gesundheitsproblemen, wie viskosem Kot und dadurch vermehrt zu Fußballenproblemen (Witten et al., 2014, S. 4; Bellof, 2014, S. 26) sowie zu Klauen- und Gelenkproblemen (Schumacher et al., 2011, S. 23) kommen. Außerdem können daraus verhaltensspezifische Störungen in Form von kannibalistischen Äußerungen, Federpicken und Schwanzbeißen (Witten et al., 2014, S. 4), sowie eine erhöhte Verlustrate infolge eines geschwächten Immunsystems (Schumacher et al., 2011, S. 17) resultieren. Eine Unterversorgung gefährdet somit das Wohl der Tiere und ist aus diesem Grund ethisch bedenklich.

Im Rahmen einer 100 % Biofütterung wird der Bedarf an essentiellen AS meist durch eine erhöhte Proteinzufuhr sichergestellt, indem vermehrt proteinreiche Futtermittel mit einem ungenügenden AS-Profil eingesetzt werden. Die hohe Proteinaufnahme führt zu einer erhöhten Stickstoff-Ausscheidung und somit zu einer Belastung von Tier und Umwelt. (Schumacher et al., 2011, S. 9) Ein weiteres grundlegendes Problem sind die unter Kapitel 2.2 erwähnten höheren Schwankungen der Nährstoffzusammensetzung von ökologisch erzeugten Rohstoffen (Böhm, Aulrich, Berk, 2007; Strobel et al. 2001). Diese sind maßgeblich bedingt durch die jeweilige Sorte, Witterung sowie Standortfaktoren (Böhm, Berk, 2006, S. 266, 267). Inhaltsstoffschwankungen erschweren eine bedarfsgerechte Fütterung bei einer 100 % - Biofütterung und sind zu kontrollieren, da die Nährwertangaben aus Futterwerttabellen teilweise stark abweichen. Somit sollte die Rationsgestaltung bzw. -optimierung auf der Basis von Analysewerten erfolgen. (Aulrich, 2011, S. 3)

Zur Umsetzung einer 100 % - Biofütterung für Monogastrier gibt es vielfältige Lösungsmöglichkeiten, welche unterschiedliche Probleme mit sich bringen. Die folgende Abbildung (Abb. 3) zeigt die im Weiteren erläuterten Lösungsstrategien auf.

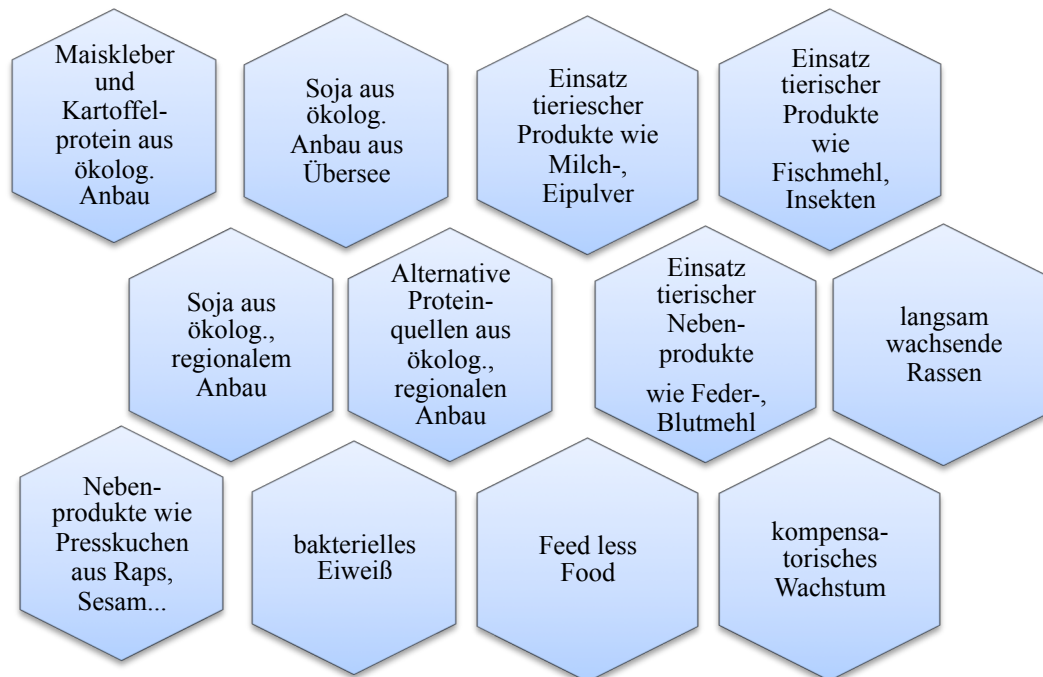


Abbildung 3: Verschiedene Lösungsstrategien zur Umsetzung einer 100 % - Biofütterung (Eigene Darstellung)

Die strikte Umstellung der Ration auf 100 % Bio ohne eine Veränderung der Rezeptur, d.h. unter Verwendung von **Maiskleber** und **Kartoffeleiweiß** ökologischer Herkunft ist laut Witten et al. (2014, S. 3) aufgrund von Verfügbarkeitsproblemen nicht möglich.

Soja und Sojaerzeugnisse bzw. –nebenerzeugnisse wie Sojakuchen stellen aufgrund ihres hohen Proteingehaltes (Witten et al., 2014, S. 4), des günstigen AS-Profiles und der guten Verdaulichkeit (Griese et al., 2014, S. 14, 19) ein hochwertiges Futtermittel dar. Eine Vorbehandlung zur Inaktivierung der antinutritiven Substanzen ist eine Voraussetzung für die Fütterung (Steiner, Bellof, 2009, S. 3). Der Sojaanbau in Deutschland und Europa nimmt zu, reicht jedoch nicht zur Deckung der hohen Nachfrage aus (Griese et al., 2014, S. 18). Wird vermehrt auf Importware zurückgegriffen, steht dies im Konflikt mit dem Grundsätzen einer regionalen Landwirtschaft sowie dem Ziel eines geschlossenen Betriebskreislaufes, also einem Low-External-Input-System (Weißmann, 1990).

Dieses Ziel würde durch den Einsatz heimischer **Körnerleguminosen** wie Ackerbohnen, Erbsen oder Lupinen erfüllt werden. Des Weiteren verfügen diese über einen hohen Proteingehalt. Jedoch ist ihr AS-Profil, im Vergleich zu beispielsweise Soja, aufgrund ihres geringen Met-Gehaltes als ungünstig zu bewerten. Zudem gibt es Anbauschwierigkeiten die zu Schwankungen in der Qualität und Quantität führen. Wie auch bei Soja ist eine Vorbehandlung aufgrund der enthaltenen antinutritiven Stoffe notwendig. (Griese et al., 2014, S. 13)

Verschiedene **Presskuchen** als Nebenprodukte der Bio-Speiseölproduktion stellen aufgrund der enthaltenen AS und deren Zusammensetzung ein hochwertiges Futtermittel dar. Hier sind beispielsweise Sonnenblumenkern-, Rapskern-, Sesam- und Kürbiskernpresskuchen zu nennen. Bei sehr geeigneten Presskuchen, wie z.B. aus Kürbiskernen, gibt es aufgrund der geringen Nachfrage nach dem Öl, das das Hauptvermarktungsprodukt ist, Verfügbarkeitsprobleme. Der Anbau von Bio-Raps stellt eine Herausforderung dar, was ebenso zu Verfügbarkeitsproblemen führt (Griese et al., 2014, S. 28). (Witten et al., 2014, S. 4) Sonnenblumenkernpresskuchen ist ein geeignetes Futtermittel und zumindest aus europäischem Anbau verfügbar (Griese et al., 2014, S. 28, 29). Ein negativer Aspekt der anderen Rohstoffe ist der erforderliche Import (Griese et al., 2014, S. 28, 30, 31).

Der Einsatz verschiedener **tierischer Produkte** wie Insekten oder Fischmehl, **tierischer Erzeugnisse** wie Ei- und Milchpulver und **tierischer Nebenprodukte** wie Blut-, Knochen- oder Feder- mehl wäre zur Deckung des AS-Bedarfs sinnvoll. Für die Verfütterung von **Insekten** und **tierischen Nebenprodukten** ist eine Zulassung erforderlich. (Witten et al., 2014, S. 5) Der Einsatz von **Fischmehl**, **Ei-** und **Milchpulver** ist teuer, zudem aus Nachhaltigkeitsaspekten (Überfischung), sowie aus dem ethischen Grund, dass sie auch der menschliche Ernährung dienen könnten (Witten et al., 2014, S. 19), zu überdenken. Der Einsatz **tierischer Nebenprodukte** wäre z.B. nur zulässig, sofern es sich um Material der Kategorie III handelt, also von als genusstauglich bewerteten Tierkörpern (VO (EG) Nr. 1069/2009, Art. 10) sowie unter Berücksichtigung des Verbots der Verfütterung von Schlachtteilen innerhalb derselben Tierart, z.B. kein Geflügelmehl in Geflügelfutter bzw. Schweinemehl in Schweinefutter (VO (EG) Nr. 1069/2009, Art. 11, Abs. 1, lit. a)). In Futtermitteln für Wiederkäuer dürfen keine Reste von Tiermehlen zu finden sein (BSE). Der Einsatz tierischer Produkte bei der Herstellung von Mischfuttermitteln im Futtermittelwerk kann problematisch sein, da in der Anlage folglich kein Futter für Wiederkäuer produziert werden kann (Schumacher et al., 2011, S. 20) und wie o.g. das Intra-Spezies-Verfütterungsverbot beachtet werden muss. Des Weiteren wird die Gefahr der Übertragung von Salmonellen (Kamphues et al., 2014, S. 122), sowie eine mangelnde Verbraucherakzeptanz befürchtet. (Witten et al., 2014, S. 4)

Es werden Untersuchungen mit **Bakterienprotein** durchgeführt, das prinzipiell als „biologische“ Alternative zu den chemisch, synthetischen, freien AS fungieren soll und somit beispielsweise den Bedarf an Met auf der Basis von Komponenten ökologischer und regionaler Herkunft decken. Im Rahmen der Untersuchungen von Willke et al. (2010) wurde ein Met-Gehalt von 10 %, sowie hohe Gehalte an weiteren essentielle AS im Trockenprodukt erreicht. Für den Einsatz ist weitere Forschung sowie eine Zulassung durch die EU erforderlich. (Griese et al., 2014, S. 36, 37) Aktuell werden im Rahmen des Projektes „CORYNE Methioninproduktion“, die Met-Produktion auf Basis eines nicht gentechnisch veränderten Bakterienstammes (*Corynebacterium glutamicum*), die Zulassung im Rahmen der EU-Öko-VO, die Met-Analytik sowie die Futterwertbestimmung und praktische Fütterung erforscht.

Eine weitere Möglichkeit zur Deckung des AS Bedarfs der Tiere stellt der Einsatz **langsam wachsender Rassen** dar. Hierbei werden Rassen verwendet, welche den Haltungsbedingungen des Ökologischen Landbaus entsprechen und somit geringere Nährstoffansprüche im Vergleich zu den gängigen Hochleistungsrassen der konventionellen Landwirtschaft haben (Witten et al., 2014; S. 5; Damme, 2004). Eine alternative Fütterungspraktik ist „**Feed less food**“, also die Fütterung einer energiereduzierten Diät mit dem Ziel, die Versorgung an essentiellen AS durch eine gesteigerte Futteraufnahme aufgrund der Absenkung der Energiezufuhr zu sichern. In Fütterungsversuchen wurde die Einsatzmöglichkeit einer energiereduzierten Diät bei Mastgeflügel (Bellof, Schmidt, 2007) und Legehennen (Deerberg, o.A.) als möglich bewertet. Schließlich ist die Ausnutzung des **kompensatorischen Wachstums** bei Schweinen zu nennen, bei dem eine „marginale Lysinversorgung in der Anfangsmast durch eine moderate Überversorgung in der Endmast“ (Berk, Weißmann, 2012) kompensiert werden soll.

Zur Realisierung einer 100 % - Biofütterung ist im ersten Schritt das Erarbeiten individueller Lösungsmöglichkeiten durch Kombination verschiedener Fütterungsoptionen erforderlich. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Nährstoffzusammensetzung zur Kontrolle von Inhaltsstoffschwankungen und ggf. Optimierung der Ration. Letztlich setzen alle der genannten Lösungsmöglichkeiten voraus, dass die kalkulierten Inhaltsstoffe einer Ration auch tatsächlich im Endprodukt enthalten sind. Somit stellt der Arbeitsschritt der Herstellung der Ration neben allen vorausgegangenen Arbeitsschritten, von Anbau und Lagerung, über die Inhaltsstoffkontrolle der Rohstoffe, bis zur optimierten Rationsgestaltung einen wichtigen Schritt für eine optimale Fütterung dar. Deshalb soll die Übereinstimmung der kalkulierten Inhaltsstoffe (Soll-Werte) mit den tatsächlich enthaltenen Inhaltsstoffen (Ist-Werte) untersucht werden.

3 Zielstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Auswirkung des Herstellungsprozesses bei der betrieblichen Mischfuttermittelherstellung zu überprüfen. Dadurch sollen die Rationsgestaltung für Monogastrier im Rahmen einer 100 % - Biofütterung verbessert, die Versorgung der Tiere optimiert und Nährstoffüberschüsse vermieden werden. Hierfür wurden zwischen dem Arbeitsschritt der Rationsgestaltung, also der planmäßigen Zusammenstellung einer Ration zur bedarfsgerechten Fütterung der Tiere, und der praktischen Zusammenstellung dieser Ration zu einem Mischfuttermittel verschiedene Inhaltsstoffe mengenmäßig verglichen. Ein Soll-/Ist-Vergleich sollte das Ausmaß der Unterschiede zwischen Futteroptimierung und Futtermittel aufzeigen.

Dafür wurden 51 verschiedene Modell- und Praxisfuttermischungen für Schweine und Geflügel untersucht. Alle Proben wurden mittels nasschemischer Methoden analysiert. Es wurden die Trockensubstanz (TS), Rohasche (XA), Rohfett (XL), Rohprotein (XP), Rohfaser (XF), Zucker (XZ), Stärke (XS) und die Aminosäuren (AS) Lysin (Lys), Methionin und Cystein (Met/ Cys) sowie Threonin (Thr) quantitativ bestimmt.

Des Weiteren sollte die Eignung der NIRS zur quantitativen Bestimmung von Nährstoffgehalten in Mischungen unterschiedlicher Zusammensetzung geprüft werden, um eine schnelle, kostengünstige und umweltfreundliche Methode als Alternative zu der arbeits-, kosten- und zeitintensiven klassischen Laboranalytik zu evaluieren. Die Ergebnisse der nasschemischen Methoden dienten zudem als Referenzdatensatz für die Schätzung der verschiedenen Inhaltsstoffmengen mittels NIRS.

4 Material & Methoden

Die im Folgenden aufgeführten Analysen wurden im Labor des Thünen Instituts in Trenthorst durchgeführt. Für die Untersuchungen wurden verschiedene Futtermischungen auf ihre Gehalte an Rohnährstoffen und einigen AS analysiert.

4.1 Probenmaterial

Es wurden insgesamt 51 verschiedene Praxis- und Modellfuttermischungen für Monogastrier (Tab. 3).

Tab. 3: Übersicht der analysierten Proben

Tierart	Schweine	Geflügel
Anzahl	30	21
Verwendete Einzelkomponenten	<p>Probe 1-30:</p> <p>Weizen, Gerste, Triticale Ackerbohne, Erbse Rapskuchen, Sojakuchen Sonnenblumenkuchen, Stärke Mineralfutter, Weizenkleie Citronensäure Magermilchpulver Pflanzenöl</p>	<p>Probe 33 (Praxis):</p> <p>Weizen, Mais, Sojakuchen Sonnenblumenkuchen Erbse, Reiskleber Luzernegrünmehl, Bierhefe Monocalciumphosphat CaCO₃, NaCl, MgO</p> <p>Probe 34-53 (Modell):</p> <p>Weizen, Sommergerste Triticale, Weizenkleie Ackerbohne, Futtererbse Rapskuchen, Sojakuchen Wintergerste</p>

Zusätzlich wurden 2 Praxisfuttermischungen für Rinder (Probe 31, 32) quantitativ analysiert. Auf die beiden Proben wird aufgrund der kleinen Gruppengröße im Weiteren kein Bezug genommen. Bei den Praxisfuttermischungen für die Monogastrier handelt es sich um pelletierte Futtermittel des Versuchsbetriebes des TI für Ökologischen Landbau in Wulmenau. Die 20 Modellfuttermischungen wurden mit dem Futtermittelrechner für Geflügel, Version 3.0 von Sebastian Hilbert zusammengestellt. Als Orientierungswerte für die Rationsberechnung wurden folgende Werte angesetzt: ME: 10,9 MJ, XP: 16,5 %, XF: mindestens 3 % und für die AS Met: 0,25 %, Met/Cys: 0,44 %, Lys: 0,65 %, Thr: 0,43 % und Tryptophan 0,14 %. Für die Zusammenstellung der Rationen stand nur eine begrenzte Auswahl an Einzelfuttermitteln zur Verfügung. Bei den Einzelfuttermitteln handelte es sich um betriebseigene Rohstoffe des TI zu denen bereits Laborwerte der Inhaltsstoffe zur

Verfügung standen. Die kalkulierten Rationen sollten nicht tatsächlich verfüttert werden und wurden ausschließlich als Vergleichsgrundlage für die Analysen zur Beantwortung der Forschungsfrage genutzt. Die beiden Rinderfuttermischungen lagen in pelletierter Form vor. Sie wurden in der Auswertung mit abgebildet, sind jedoch für die Fragestellung der 100 % - Biofütterung nicht von Relevanz, da die 100 % - Biofütterung für Wiederkäuer in der Ökologischen Tierhaltung bereits verpflichtend ist.

Die genaue Zusammensetzung der einzelnen Mischungen ist den Tabellen im Anhang (Kapitel A., Seite X-XII) zu entnehmen.

Probenvorbereitung

Die pelletierten Futtermischungen wurden zunächst schonend bei 60°C im Trockenschrank getrocknet. Dann wurden die Pellets NIR-spektroskopisch vermessen. Im Anschluss erfolgte das Vermahlen der Pellets auf 1 mm mit der Mühle „CYCLOTEC 1093 Sample mill“ der Firma Foss. Sowie das Vermahlen auf 0,5 mm für die Analyse der AS.

Für die Herstellung der Modellfuttermischungen wurden die Einzelkomponenten durch einen Trennvorgang in einem Windsichter mit Siebvorrichtung gereinigt. Das gereinigte Material wurde ebenso wie die pelletierten Futtermischungen getrocknet und vermahlen. Nach dem Mahlvorgang wurden die Modellfuttermischungen entsprechend der zuvor erfolgten Rationsberechnung zusammengestellt. Dazu wurden die Einzelkomponenten auf 0,1 mg genau gewogen, mit einem Pinsel vollständig in verschließbares Gefäß überführt und mit einem Glasstab sowie durch Schütteln des geschlossenen Gefäßes vermischt.

Alle Proben wurden im vermahlenden Zustand im Kühlhaus bei 8°C gelagert.

4.2 Laboranalytik

4.2.1 Weender Rohnährstoffe, Stärke, Zucker und Aminosäuren

Es wurden im Rahmen der Weender-Analyse die TS, XA, XF, XL und XP bestimmt. Zusätzlich wurden die Analysen zur Bestimmung der Gehalte an XS und XZ durchgeführt. Für die Schweinefutterproben wurden die AS-Gehalte von Lys, Met/Cys und Thr analytisch bestimmt. Die analysierten AS (ausgenommen Cys) zählen zu den essentiellen AS. XS und XZ sowie die löslichen Anteile an Gerüstsubstanzen bilden die Gruppe der stickstofffreien Extraktstoffe (NfE) (Abb. 4).

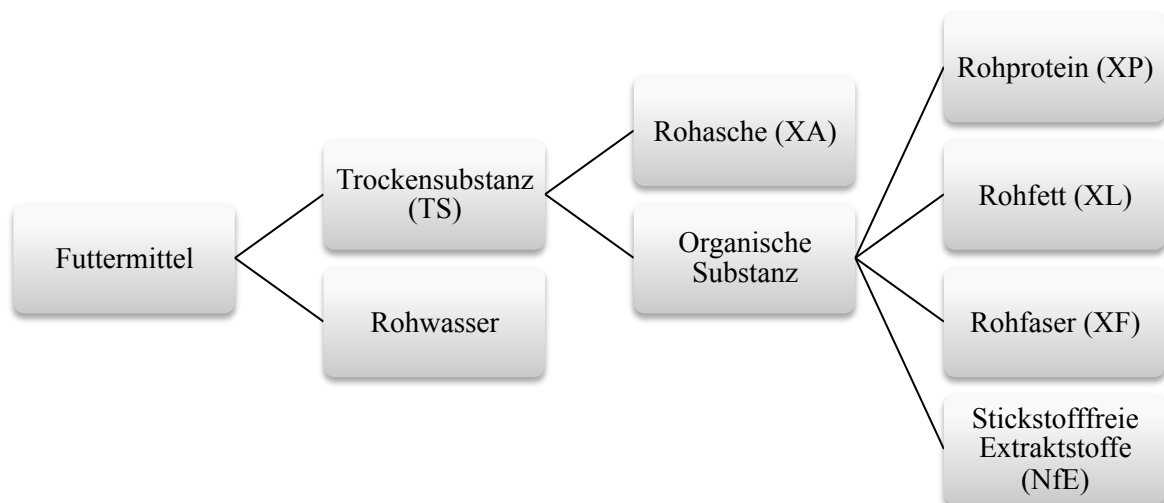


Abbildung 4: Übersicht der Weender Analyse (Eigene Darstellung nach Töpfer, 2011, S. 194)

Die ME wurde mit den Schätzformeln zur energetischen Futterbewertung für Schweine von der GfE und für Geflügel von der WPSA berechnet.

Schätzformel für Schweinemischfutter:

$$ME (MJ/kg) = (0,021503 \times XP + 0,032497 \times XL - 0,021071 \times XF + 0,016309 \times XS + 0,014701 \times OR)$$

Rohnährstoffe in g/kg

$$Organischer\ Rest\ (OR) = TS - (XA + XP + XL + XS + XF)$$

(GfE, 2008)

Schätzformel für Geflügelfutter:

$$ME (MJ/kg) = (0,01551 \times XP + 0,03431 \times XL + 0,01669 \times XS + 0,01301 \times XZ)$$

Rohnährstoffe in g/kg

(WPSA, 1984)

Die berechneten Energiegehalte der Futtermischungen sind der Tab. im Anhang (Kapitel C., Seite XVI) zu entnehmen.

Die Analysen erfolgten nach den Methoden des VDLUFA aus dem Methodenbuch Band III (Naumann et al., 1997). Jede Probe wurde, wenn im Weiteren nicht anderes beschrieben, zweifach analysiert. In regelmäßigen Abständen wurden Referenzanalysen mit einem Hausstandard oder einer Reinsubstanz zur Kontrolle durchgeführt. Das Labor des TI in Trenthorst nimmt an Ringversuchen des VDLUFA teil, um eine gleichbleibend hohe Qualität zu gewährleisten. Vor jedem Einwiegen muss das Probenmaterial auf Raumtemperatur erwärmt, gut vermischt und homogen vorliegen. Im Folgenden werden die durchgeführten Analysen genauer beschrieben.

Für die Analysen zur Bestimmung der Rohnährstoffe wurde das Probenmaterial vermahlen auf 1mm verwendet.

Trockensubstanz (TS)

Den TS-Gehalt einer Probe erhält man durch die Differenz zwischen eingewogenem Material und der Auswaage (AW) nach vollständiger Trocknung. Der ermittelte Nährstoffgehalt wird immer auf Basis des TS-Gehaltes berechnet, da der Feuchtigkeitsgehalt der Proben unterschiedlich sein und sich z.B. während der Lagerung verändern kann.

Verwendete Geräte: Waage (Mettler-Toledo, PB303, d=1 mg), Trockenschrank (Memmert, Universalschrank UN160), Exsikkator mit perforierter Porzellanplatte und geeigneten Trockenmittel

Versuchsablauf: Zunächst wurden 2,5 g der Probe in einen sauberen, trockenen Aschetiegel oder in einem Glasschälchen eingewogen. Leergewicht (LG) des Gefäßes sowie das Probengewicht (PG), wurden notiert. Die Probe wurde dann bis zur Gewichtskonstanz für mindestens 4 Stunden bei 105°C in einem geeigneten Trockenschrank getrocknet. Danach wurde die Probe entnommen, in einem Exsikkator abgekühlt und auf der für das Einwiegen verwendeten Waage ausgewogen.

Werte: LG, Einwaage (EW), AW

Berechnungsformel:
$$\frac{(LG-AW)*100}{EW}$$

Mit den Werten der EW und der getrockneten Probe im Aschetiegel konnte anschließend die Bestimmung des Aschegehaltes erfolgen.

Rohasche (XA)

Wie in Abb. 4 dargestellt, ist XA der verbleibende anorganische Rest, also die Mineralstoffe in einer Probe, die nach dem vollständigen verglühen aller organischen Bestandteile zurückbleiben.

Verwendete Geräte: Waage (Mettler-Toledo, PB303, d=1 mg), Mikrowellenschnellverascher (CEM, Phoenix), Exsikkator

Versuchsablauf: Wurde die Veraschung im Anschluss an die Bestimmung von TS durchgeführt, so konnte das LG und die EW aus der Bestimmung von TS für die spätere Berechnung des Aschegehaltes verwendet werden. Es musste zur Bestimmung von XA somit nur noch die AW ermittelt werden. Hierfür wurde die Probe bei 550°C für 2,5 Stunden verascht, in einem Exsikkator abgekühlt und schließlich ausgewogen.

Werte: LG und EW ggf. aus der TS Bestimmung, AW

Berechnungsformel:
$$\frac{(LG - AW) * 100}{EW}$$

Die Aschetiegel wurden nach jeder Benutzung gereinigt, im Mikrowellengerät ausgeglüht und anschließend in einem Exsikkator abgekühlt und gelagert.

Rohfaser (XF)

Zu XF zählen die pflanzlichen Gerüstsubstanzen, zu deren Einzelstoffen unter anderem Cellulose, Pentosane, Cutin und Lignin zählen. Der Gehalt an XF entspricht dem nach einem Kochvorgang in schwacher Schwefelsäure und schwacher Kalilauge verbleibende aschefreie Rest der Probensubstanz. (Martissek, Steiner, Fischer, 2014, S. 184; Kirchgeßner et al., 2011, S. 24)

Verwendete Geräte: Waage (Mettler-Toledo, PB303, d=1 mg), Magnetrührer (IKA, RH basic 2), Wasserkocher, Koch- und Filtriergerät zur Bestimmung der XF (Foss, Fibertec 1020) mit Vakuumpumpe und Kühler, Auffangbehälter zum Anschließen an das Gerät, Trockenschrank (Memmert, Universalschrank UN160), Mikrowellenschnellverascher (CEM, Phoenix), Exsikkator

Chemikalien: Schwefelsäure 0,13 mol/l, Kalilauge 0,23 mol/l, n-Octanol, Aceton

Versuchsablauf: Jede Probe wurde 3-fach bestimmt. Zuerst wurden die Fritten mit Celite als Filtrationshilfsmittel bestückt. Darauf wurden 1,5 g Probe eingewogen. Ausschließlich wurde das PG notiert.

Im ersten Schritt wurde die Probe in ca. 100 ml Schwefelsäure mit 3 Tropfen Octanol als Antischaummittel für 30 Minuten gekocht. Anschließend wurde die Schwefelsäure abgesaugt und die Probe mit ca. 100 ml heißem, destilliertem Wasser gespült. Im zweiten Schritt wurde die Probe in ca. 100 ml erhitzter Kalilauge ebenfalls mit 3 Tropfen Octanol gekocht und wie im ersten Schritt fortgeföhren. Zum Schluss wurde die Probe mit 30 ml Aceton gespült. Die Probe wurde dann bei

105°C im Trockenschrank 12 Stunden getrocknet, anschließend im Exsikkator abgekühlt und eingewogen. Im letzten Schritt wurde die Probe im Mikrowellengerät bei 500°C für eine Stunde verascht, im Exsikkator abgekühlt und schließlich ausgewogen.

Werte: PG, EW, AW

Berechnungsformel:
$$\frac{(EW - AW) * 100}{PG}$$

Rohfett (XL)

Die Fettbestimmung nach Weibull-Stold ist unterteilt in Hydrolyse und Extraktion. Bei der Hydrolyse wird die Probe in Salzsäure gekocht und somit aufgeschlossen. Anschließend wird das Fett, unter Zugabe eines Lösungsmittels, nach Soxhlet extrahiert. Das aus der Probe herausgelöste Fett wird in einem Becherglas aufgefangen, getrocknet und ausgewogen. Durch den Säureaufschluss kann das an Proteine und Kohlenhydrate gebundene Fett zusätzlich zum frei vorliegenden Fett extrahiert werden. Somit wird das Gesamtfett analysiert. (Martissek, Steiner, Fischer, 2014, S. 191-196)

Verwendete Geräte: Waage (Mettler-Toledo, PB303, d=1 mg), Hydrolysegerät (Büchi, Hydrolysis Unit E-416 und B-411) mit Kühler, Vakuumpumpe und Auffangbehälter, Extraktionsgerät (Büchi, Extraction Unit E-816 und Büchi, Extraction System B-811) mit Kühler, Trockenschrank, Exsikkator

Chemikalien: HCL 4 mol/l, Petrolether

Versuchsablauf:

- *Hydrolyse:* Zunächst erfolgte die EW von 5 g Probe in ein Becherglas und das Notieren des Probengewichts. Dann wurden die Fritten mit der Probennummer beschriftet, mit Quarzsand und Celite als Filtermittel befüllt und der Reihe nach in das Hydrolysegerät eingesetzt. In die Kolben wurden Celite, die Probe und 100 ml Salzsäurelösung gegeben. Die Kolben wurden ebenfalls in das Hydrolysegerät eingesetzt. Dann wurde alles verschlossen. Die Probe wurde 30 Minuten in der Salzsäurelösung gekocht. Nach Ablauf der Zeit wurde die Probe aus dem Kolben gesaugt und in der Fritte gesammelt. Anschließend mit ca. 300 ml heißem destilliertem Wasser gespült und bei 60°C, 2 Tage in einem Trockenschrank getrocknet.
- *Soxhlet-Extraktion:* Nach der Trocknung wurde die Probe mit einem Glasstab aufgelockert und mit Quarzsand bedeckt, um ein Aufwirbeln bei der Zugabe von Petrolether zu verhindern. Die mit der Probennummer versehenen Auffanggläser wurden, wenn nötig, mit Siedesteinchen bestückt und eingewogen. Dann konnten die Fritten und die gewogenen Gläser in das Gerät eingesetzt, Petrolether zugegeben und das Programm gestartet werden. Dabei

wurde das Fett aus der Probe durch den Petrolether während mehrerer Durchläufe vollständig gelöst und in den Glasbehälter überführt. Zum Schluss wurde die Probe bei 60°C für 12 Stunden getrocknet, im Exsikkator abgekühlt und schließlich ausgewogen.

Werte: PG, EW (LG des Gefäßes), AW

Berechnungsformel:
$$\frac{(EW - AW) * 100}{PG}$$

Rohproteil (XP)

Der Proteingehalt einer Probe wird nach der Bestimmung des Stickstoffgehaltes berechnet. Bei der Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl wird die Probe zunächst mit einem Katalysator zur Erhöhung der Siedetemperatur in Schwefelsäure aufgeschlossen. Hierbei erfolgt eine Umwandlung des Stickstoffs zu Ammoniumsulfat. Anschließend folgt die Wasserdampfdestillation. Dabei wird durch Zugabe einer starken NaOH der pH Wert erhöht und Ammoniak in eine Vorlage aus Borsäure mit einem pH-Wert von 4,65 geleitet. In diese Vorlage wird schließlich eine Maßlösung Schwefelsäure titriert, bis die Vorlage einen pH Wert von 4,65 erreicht hat. Das benötigte Volumen der Maßlösung wird dann umgerechnet, um den Stickstoffgehalt der Probe zu erhalten. Der Stickstoffgehalt wiederum wird mit dem Faktor 6,25 multipliziert um den Proteingehalt zu bestimmen.

Verwendete Geräte: Waage (Mettler-Toledo, PB303, d=1 mg), Aufschlussgerät (Büchi, Digestion Unit K-435) mit Scrubber (Büchi, Scrubber B-414) und Kühler, Destillationsgerät mit Titrierfunktion (Büchi, KjellMaster K-375)

Chemikalien: NaOH 10 % mit Farbindikator für die Neutralisation der Schwefeldämpfe, Schwefelsäure (95-96 %), Kjeldahltabletten, NaOH 32 %, Borsäure 2 %, Schwefelsäure 0,1mol/L

Versuchsablauf:

- *Aufschluss:* Zunächst wurden die Kolben beschriftet, ca. 1 g, bei proteinreichem Probenmaterial 0,5 g der Probe eingewogen und der genaue Wert der EW notiert. Außerdem wurde bei jedem Versuchsdurchlauf eine Blindprobe bestimmt. Hierfür wurde 1 g Saccharose (stickstofffrei) eingewogen. Die im Blindwert gefundene Stickstoffmenge wurde später von der Probe abgezogen. Dann wurden in jeden Kolben 2 Kjeldahl Tabletten und 25 ml Schwefelsäure (95-98 %) gegeben. Die Kolben wurden in das Aufschlussgerät eingesetzt, alles gut verschlossen, Gerät und Scrubber angestellt und das Kühlwasser aufgedreht. Die Probe wurde langsam erhitzt und ca. 5 Stunden in der Schwefelsäure gekocht.
- *Destillation:* Im ersten Schritt erfolgte die Reinigung des Destillationsgerätes und die Kalibrierung der pH Elektrode mit einem Puffer (pH 4 und pH 7). Dann wurde eine Probenliste mit dem PG erstellt. Anschließend konnten die Kolben in der jeweiligen Reihenfolge in das Gerät eingesetzt werden. Nach dem oben genannten Prinzip wurde das freigesetzte Ammo-

niak in die Borsäurevorlage destilliert und das Titrationsvolumen zur Berechnung des Stickstoff- bzw. des Proteingehaltes genutzt.

Werte: EW, Titrationsvolumen Blindwert (V_0), Titrationsvolumen der jeweiligen Probe (V_1), c (Konzentration in mol/L der verbrauchten NaOH), m (Masse der Probe in g), 14,0057=Atommasse Stickstoff

Berechnungsformel Stickstoff:
$$\frac{(V_0 - V_1) \cdot c \cdot 14,0067}{m}$$

Der Stickstoffwert multipliziert mit dem Faktor 6,25 ergibt den Proteingehalt.

Stärke (XS)

Stärke zählt zu der Gruppe der Polysaccharide. Aufgrund ihrer optischen Aktivität infolge der Hydrolyse mit Salzsäure, kann der XS-Gehalt in einer Probe durch polarimetrische Messung sowie der spezifischen Drehung berechnet werden. Bei der Bestimmung von XS nach EWERS erfolgt zunächst ein hydrolytischer Säureaufschluss der Probe mit Salzsäure. Parallel zu der Probe wird eine Blindprobe in Ethanol gekocht, um die Stärke zu entfernen und die verbleibenden optisch aktiven Substanzen zu messen. Nach Klärung und Filtration werden Probe und Blindwert polarimetrisch gemessen. Der Wert des Blindwertes wird in der späteren Berechnung vom Hauptwert abgezogen.

Verwendete Geräte: Waage (Mettler-Toledo, PB303, $d=1$ mg), Wasserbad (GFL) für Blindproben, Wasserbad (Köttermann) mit Rückflusskühler, Polarimeter (Krüss, P3002 RS) mit Pumpe und Auffangbehälter

Chemikalien: HCL 25 % und 1,128 %, Ethanol 40 %, Carrez I (21,9 g Zinkacetat + 3 g Eisensig/100 ml), Carrez II (10,6 g Kaliumhexacyanoferrat (II)/100 ml)

Versuchsablauf: Jede Probe wurde 3-fach bestimmt. Zunächst wurden 100 ml Messkolben mit Deckel vorbereitet und mit einem wasserfesten Stift beschriftet. Mit Hilfe eines Trichters wurden 5 g des Probenmaterials für die Blindprobe und 2 g für die Probe auf 1 mg genau eingewogen

- *Blindprobe:* In jeden Messkolben wurden mit Hilfe eines Messzylinders 80 ml Ethanol gegeben und durch starkes schütteln mit der Probe vermischt. Für 1 Stunde verweilte die Probe in Ethanol. Währenddessen wurden die Kolben innerhalb der Stunde verteilt 4x geschüttelt und der Aufbau für die Analyse vorbereitet. Am Ende der Stunde wurde der Kolben bis zur Markierung mit Ethanol aufgefüllt. Der Inhalt durch einen Faltenfilter in einen 100 ml Erlenmeyerkolben filtriert. 50 ml des Filtrates, sowie 2,1 ml Salzsäure (25 %) wurden in einen 250 ml Rundkolben pipettiert und sofort für exakt 15 Minuten im Wasserbad unter Rückfluss gekocht. Nach Ablauf der Zeit wurde die Probe vollständig mithilfe eines Trichters in einen 100 ml Messkolben überführt und sofort im Eisbad abgekühlt. Sobald die Flüssigkeit Zimmertemperatur erreicht hatte, wurde sie mit Carrez geklärt. Zugabe von

Carrez I, gefolgt von starkem schütteln für eine Minute und Carrez II ebenfalls mit starkem schütteln für eine Minute und anschließend filtriert.

- *Probe:* Zu der Probe wurde zunächst 50 ml Salzsäure (1,128 %) pipettiert und vermischt. Dann wurde die Probe für exakt 15 Minuten gekocht. Nach Ablauf der Zeit, wurden die Kolben sofort aus dem Wasserbad genommen, die heiße Probe mit ca. 30 ml Eiswasser abgeschreckt und im Eisbad auf Zimmertemperatur abgekühlt. Zum Schluss wurde die Probe, wie auch die Blindprobe, mit Carrez I und II geklärt und filtriert.
- *Polarimetrische Messung:* Zunächst wurde die Lampe des Polarimeters auf Temperatur gebracht, alle Applikationen befestigt und mit destilliertem Wasser gespült. Dann wurde jeweils eine Probe durch den Trichter in das Polarimeter gegeben. Dabei fiel polarisiertes Licht auf die Probe. Je nach Brechung des Lichtstrahls ergibt sich ein Drehwinkel mit positivem oder negativem Wert. Dieser Wert wurde für die Berechnung notiert.

Werte: EW, Drehwinkel der Probe ($\alpha(P)$), Drehwinkel der Blindmessung ($\alpha(B)$), $(\alpha)_D^{20^\circ}$ =spezifische optische Drehung von Stärkegemischen in Mischfuttermitteln

Berechnungsformel:
$$\frac{10000 \cdot \alpha(P) - \alpha(B)}{\frac{(\alpha)_D^{20^\circ}}{EW}}$$

Zucker (XZ)

Mit der Analyse des Zuckers ist die Bestimmung des Gesamtzuckers (Saccharose), durch die Ermittlung von Glucose, Invertzucker, Lactose und Maltose gemeint. Die Bestimmung von XZ ist unterteilt in die Herstellung der Analysenlösung und anschließender Fehling-Reaktion. Zunächst wird die Probe mit Wasser vermischt, geklärt und filtriert. Das Filtrat wird mit Salzsäure erwärmt und mit Natronlauge neutralisiert. Im nächsten Schritt wird die invertierte Lösung mit Fehling I und II und Wasser gekocht. Das entstehende Kupfer(I)-oxid fällt aus und wird für die Berechnung des XZ-Gehaltes gewogen.

Verwendete Geräte: Analysewaage (Sartorius Extend, ED224D-0CE, d=0,1 mg), Schüttler (GFL Kreis-Schüttler 3019), Wasserbad (GFL, 1083), Rühr Tisch mit Kochfunktion (IKA, RH basic 2), Vakuumpumpe, Trockenschrank (Mettler, Universalschrank UN160)

Chemikalien: HCL 19 %, Carrez I (150 g Kaliumhexacyanoferrat (II)/1000 l), Carrez II (250 g Zinkacetat/1000 l), NaOH 28 %, Phenolphthalein, Fehling I (34,36 g reines krist. Kupfersulfat/500 ml), Fehling II (173 g Kaliumnatriumtartrat + 50 g Natriumhydroxid/500 ml), Aceton

Versuchsablauf:

- *Inversion:* Für die Analyse wurden 20 g Probe in einen 500 ml Messkolben eingewogen. Die Probe wurde mit ca. 350 ml destilliertem Wasser 30 Minuten auf einem Schütteltisch vermischt. Anschließend erfolgte die Klärung mit Carrez, indem die Probe nach Zugabe von Carrez I und II jeweils eine Minute stark geschüttelt und das Gemisch filtriert wurde. Dem Filtrat wurde Salzsäure zugegeben und die Lösung im Wasserbad auf 67-70°C erwärmt und für genau 5 Minuten bei dieser Temperatur gehalten. Die abgekühlte Lösung wurde mit Natronlauge gegen Phenolphthalein neutralisiert und anschließend filtriert.
- *Fehling Reaktion:* Im nächsten Schritt wurden 25 ml der invertierten Lösung mit je 25 ml Fehling I, Fehling II und Wasser gekocht. Dabei kam es zu einer Redox Reaktion. Das Kupfersulfat (Fehling II) wurde zu Kupfer(I)-oxid reduziert und fiel aus. Das Gemisch wurde mit einem Glasfildertigel G4 filtriert und mit Aceton gespült. Das Kupfer(I)-oxid wurde bei 105°C, 30 Minuten getrocknet, im Exsikkator abgekühlt und auf 0,1 mg genau ausgewogen. Das Gewicht des Kupfer(I)-oxides wurde für die Berechnung des Zuckerghaltes verwendet.

Werte: (a) gefundene Menge Invertzucker in g, entnommen aus der „Tabelle zur Ermittlung von Glucose, Invertzucker, Lactose und Maltose in mg“ im Methodenbuch III, Kapitel 7.1.3, S. 3, des VDLUFA, $f=0,9215$ Produkt aus Umrechnungsfaktor für Saccharose und Korrelationsfaktor für die Substanzmenge in der Endlösung bei einer EW von 20 g, b = Substanzmenge in der Endlösung

Berechnungsformel: $\% \text{ Saccharose} = \frac{a \cdot 100 \cdot f}{b}$

Aminosäuren (AS)

Die AS wurden mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (high performance liquid chromatography-HPLC) bestimmt. Hierfür wird die Probe aufbereitet und ein interner Standard zugegeben, um schließlich die zu analysierenden AS mit einem HPLC Gerät quantitativ zu bestimmen.

Verwendete Geräte: Analysewaage (Sartorius Extend, ED224D-0CE, $d=0,1$ mg), Trockenschrank (Thermo Scientific, Heraeus vacutherm), Magnetrührer mit Heizfunktion (yellowline, yellow MAG-HS 7), pH-Meter (WTW, Microprocessor pH Meter-pH 539), Reagenzschüttler (Heidolph, REAX top), HPLC-Gerät (Agilent, 1260 Infinitely)

Chemikalien: Wasserstoffperoxid 30 %, Phenol, Ameisensäure 98-100 %, Salzsäure 32 %, 2-Aminobuttersäure, Borsäure, Di(N-Succinimidyl)-carbonat (DSC), 6-Aminoquinolin (AMQ), Acetonitril, HBr 48 %, NaOH (50 %, 25 %, 0,1 mol/L), Kaliumchlorid, Phosphorsäure 85 %, Triethylamin, Natriumacetat, EDTA

Versuchsablauf:

- *Probenvorbereitung:* Für die AS-Analyse wurde das Probenmaterial auf 0,5 mm vermahlen. Je 40 mg ($\pm 0,1$ mg) Probenmaterial wurden in Schott Glasfläschchen eingewogen. Für die Bestimmung von Met/Cys wurde die Probe mit einer Mischung aus Wasserstoffperoxid und phenolhaltiger Ameisensäurelösung während eines 16 Stündigen Kühlprozesses bei 4°C oxidiert. Durch die Zugabe von Bromwasserstoff wurde anschließend das überschüssige Oxidationsreagenz zersetzt. Für die Bestimmung der anderen AS ist keine Oxidation erforderlich. Somit sind die weiteren Analyseschritte für alle Proben gleich.
Durch Zugabe einer Mischung aus Salzsäure und Phenol und anschließendem Erhitzungsprozess bei 110°C für 23 Stunden wurden die Proben hydrolysiert. Nachdem die Probe abgekühlt war, wurde ein interner Standard zugegeben, um später die einzelnen AS quantifizieren zu können. Danach erfolgte eine Erhöhung des pH-Wertes durch die Zugabe von Natronlauge. Das Gemisch wurde dann durch einen 0,20 µl HPLC Filter gepresst. 10 µl des Filtrats wurden schließlich zusammen mit einer Puffersubstanz und einem Derivatisierungsreagenz in ein Vial gefüllt.
- *Messung:* Die Vials wurden in das HPLC Gerät eingesetzt um die verschiedenen Proben nacheinander zu bestimmen. Dabei wurde die mobile Phase, bestehend aus Eluent A und B, in die Säule (stationäre Phase) des Gerätes, gepumpt. Dies erfolgte mittels Gradientenelution, demnach verändert sich die Zusammensetzung der mobilen Phase. Die zu bestimmende Probe wurde dann in den Eluentenstrom injiziert. Mit Hilfe der mobilen und der stationären Phase wurden die AS getrennt. Die einzelnen AS wurden mit einem Fluoreszenzdetektor registriert. Zur quantitativen Bestimmung der AS erfolgte parallel eine Kalibrierung durch die Bestimmung einer Standardsubstanz. Dadurch konnten die Peakflächen der verschiedenen AS für die Umrechnung des jeweiligen AS Gehaltes genutzt werden.
- *Berechnung:* Der AS Gehalt wurde anhand der verwendeten Standardsubstanz berechnet. Aufgrund der Kenntnis der enthaltenen Menge einer bestimmten AS in der Standardsubstanz lässt sich durch den Vergleich der Peakfläche der Standardsubstanz mit der Peakfläche der Probe die im Vial enthaltene Konzentration der jeweiligen AS berechnen. Unter Berücksichtigung der Einwaagemenge pro 10 µl kann dann die Konzentration der AS in der Probe bestimmt werden.

4.2.2 Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS)

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die im Kapitel 4.1 beschriebenen Proben mittels FT-NIR-Spektroskopie gemessen. Verwendet wurde das FT-NIR Spektrometer, NIRFlex N-500 der Firma Büchi. Die Messung erfolgte im Spektralbereich von $12500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ (800-2500 nm) in diffuser Reflexion. Dafür wurde das im Kühlhaus gelagerte Probenmaterial zunächst über Nacht auf Raumtemperatur erwärmt bzw. die durch den Trocknungsprozess erwärmten Pellets abgekühlt. Vor der Messung wurde das Spektrometer angestellt um die erforderliche Betriebstemperatur zu erreichen. Anschließend konnte die Messung erfolgen. Dazu wurde das Probenmaterial zu einer homogenen Masse vermischt, in die dafür vorgesehene Petrischale gefüllt und in das Spektrometer eingesetzt. Jede Probe wurde zweifach gescannt und der Mittelwert gebildet. Die Auswertung erfolgte chemometrisch, mit der Software „NIRCal“ der Firma Büchi. Dabei wurden die Referenzwerte der in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Analysen für die Kalibrierung und Validierung verwendet. 2/3 der Referenzwerte wurden für die Kalibrierung (C-Set) und 1/3 für die Validation (V-Set) verwendet. Als statistische Kennzahlen zur Überprüfung der Kalibrierung sind folgende Werte zu nennen:

- SEE: Standardabweichung der Kalibrierung
- R_K : Regressionskoeffizient der Kalibrierung
- SEP: Standardabweichung der Validierung
- R_V : Regressionskoeffizient der Validierung
- V-Set-Bias: Informationen zur durchschnittlichen Abweichung von Soll und Ist
- Q-Wert: Qualitätsfaktor

(NIRCal Software Kurzanleitung, Version A, Büchi)

4.3 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der Laboranalysen (Ist-Werte) wurden in MS Excel tabellarisch den jeweiligen Soll-Werten gegenübergestellt. Bewertet wurden die ME, welche maßgeblich von den energiereichen Komponenten XL, XP, XZ und XS beeinflusst wird, sowie die Nährstoffe XP, XL, XA, XF und die AS Lys, Met/Cys und Thr.

Hierfür wurden die Differenzen aus dem Soll- und dem Ist-Wert der verschiedenen Stoffgruppen gegenübergestellt. Für den Soll-/Ist Vergleich wurde der Mittelwert sowie die Standardabweichung (SD) aus den einzelnen Futtermittelgruppen Schweine- (Probe 1-30) und Geflügelfutter (33-53) gebildet, um diese zu vergleichen. Mithilfe eines zweiseitigen t-Tests für abhängige Stichproben wurden in MS Excel signifikante Unterschiede zwischen den Soll- und Ist-Werten ermittelt. Die gewählte Fehlerwahrscheinlichkeit α betrug 0,01. Zusätzlich wurden die absoluten und relativen Abweichungen zwischen dem Soll- und dem Ist-Wert berechnet. Hierfür wurde zunächst der ein-

zelne Soll-Wert vom Ist-Wert subtrahiert (Ist-Soll=absolute Abweichung). Anschließend wurde für die relative Abweichung, die absolute Abweichung durch den Ist-Wert dividiert (absolute Abweichung/Ist-Wert=relative Abweichung). Aus den Abweichungen wurden ebenfalls Mittelwert und SD, wieder für die Schweine- und die Geflügelfuttergruppe, gebildet. Zur Bestimmung von Extremwerten wurde das Maximum (X_{\max}) und das Minimum (X_{\min}) der jeweiligen Gruppe sowie deren Spannweite ($X_{\max}-X_{\min}$) gebildet.

Auf die Gruppe der Rinderfutterproben wurde aufgrund des geringen Probenumfangs nicht eingegangen. Bei den Schweinefutterproben standen teilweise keine Soll-Werte zur Verfügung (XA und Probe 1). Die fehlenden Werte wurden anhand der Zusammensetzung mit Hilfe der DLG Futterwerttabelle (Staudacher, Potthast, 2014) für Schweine berechnet. Ist dies der Fall wird an der jeweiligen Stelle Bezug auf die fehlenden Werte genommen. Die Berechnung dieser Werte ist der beiliegenden CD zu entnehmen.

Für die NIRS-Auswertung wurden die Daten der Referenzanalyse für Kalibrierung und Validierung der Messdaten verwendet. Anschließend konnten die Rohnährstoffe (inkl. Stärke und Zucker) sowie ME und TS der gemessenen Proben geschätzt werden. Als Vergleichswert wurde die Spannweite der Schätzwerte dargestellt. Der Standardfehler der Kalibrierung (SEE) und der Validierung (SEP), der Regressionskoeffizient der Kalibrierung (R_K) und der Validierung (R_V), der V-Set-Bias und der Q-Wert wurden zur Bewertung hinzugezogen. SEE und SEP sollen möglichst klein sein, können jedoch nicht kleiner sein, als der Fehler der Referenz. R_K und R_V liegen bestenfalls dicht an „1“. Der V-Set-Bias sollte möglichst nahe an „0“ liegen. Ein Q-Wert von „1“ steht für eine „ideale Kalibrierung“. Anhand dieser Parameter wurde die Güte der Kalibrierung und somit der Eignung des NIR-Einsatzes zur Bestimmung der Inhaltsstoffe bewertet. (NIRCal Software Kurzanleitung, Version A, Büchi)

5 Ergebnisse & Diskussion

Zur Überprüfung der Notwendigkeit einer Inhaltsstoffkontrolle für den letzten Schritt der Futtermittelherstellung, der praktischen Zusammenstellung eines Mischfuttermittels, werden zunächst die Ergebnisse des Soll-/Ist-Vergleichs dargestellt und diskutiert. Im Anschluss wird die Eignung der NIRS als schnelles, kostengünstiges Bestimmungsverfahren zur Überprüfung verschiedener Inhaltsstoffe in den unterschiedlichen Mischungen untersucht.

5.1 Übereinstimmung der berechneten Rationen mit den Laborergebnissen der Endrationen

Rohprotein (XP)

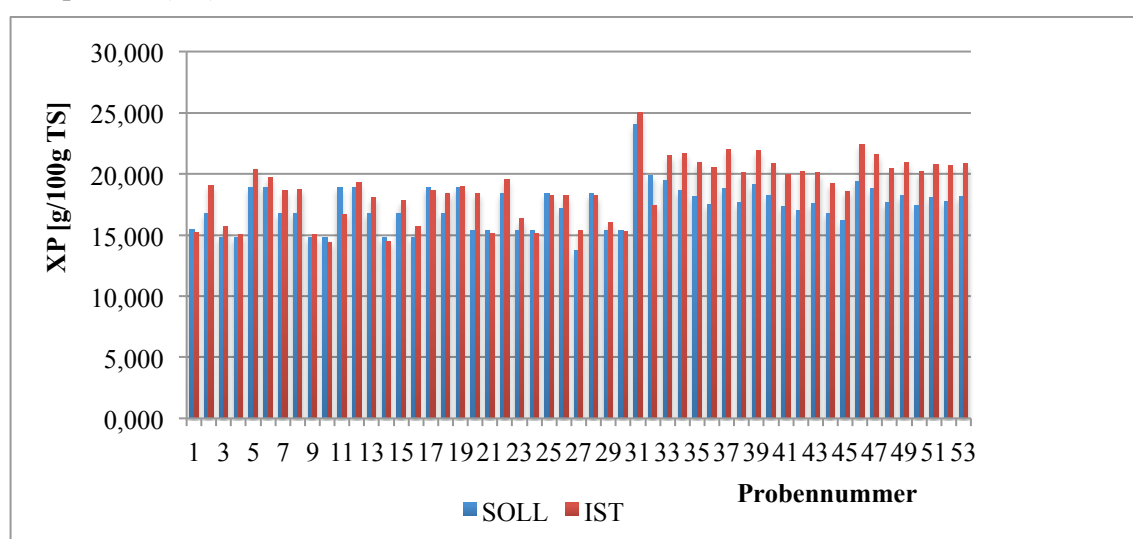


Abbildung 5: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Rohprotein (XP) in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine (Probe 1-30), Rinder (31 und 32) und Geflügel (Probe 33-53)

Der XP-Gehalt des Geflügelfutters unterliegt, im Vergleich zum XP-Gehalt der Schweinefutterproben, stärkeren Abweichungen (Abb. 5). Bei den Geflügelfutterproben erscheint die Abweichung zudem homogener. Der Ist-Wert liegt bei allen 20 Geflügelfutterproben deutlich über dem Soll. Für die Probe 1 wurde der Soll-Wert rechnerisch ermittelt.

Tabelle 4: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Rohprotein (XP) in g/100g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

	Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
Schwein	16,57±1,66	17,20±1,83	0,63±1,04	3,44±0,06
Geflügel	17,99±0,85	20,73±0,92	2,74±0,28	13,22±0,01

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Bei beiden Futtermittelgruppen liegt der durchschnittliche Soll-Wert unter dem Ist-Wert (Tab. 4). Beim Schweinefutter liegt im Mittel eine geringe absolute Abweichung von 0,63 g/100 g TS vor, die relativ 3,44 % des Ist-Wertes ausmacht. Beim Geflügelfutter ist die durchschnittliche Abwei-

chung deutlich größer. Absolut beträgt der durchschnittliche Überschuss 2,74 g/100 g TS, relativ sind es über 13 % des Ist-Wertes. Bei den Geflügelfutterproben sowie bei den Schweinefutterproben konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Soll und Ist nachgewiesen werden. Durch mehrere positive (bis 16,43 %) und negative (bis -13,07 %) Abweichungen, die eine Spanne von fast 30 % ergeben, hat die relative Abweichung des Ist-Wertes vom Soll-Wert eine hohe SD (Tab. 5).

Tabelle 5: Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohprotein (XP)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

Schwein	%	Geflügel	%
X_{\min}	-13,07	X_{\min}	9,48
X_{\max}	16,43	X_{\max}	15,91
Spanne	29,50	Spanne	25,39

Der X_{\min} der relativen Abweichung des Rohproteingehaltes im Geflügelfutter ist mit 9,48 % deutlich vom Mittelwert verschieden. Bei den Geflügelfutterproben besteht ein durchschnittlicher relativer Überschuss von über 13 % mit einer sehr geringen SD (Tab. 4).

Fazit XP

Bei den Schweinefutterproben ist die Abweichung des XP-Gehaltes zwischen den Soll- und Ist-Werten gering, beim Geflügelfutter hingegen deutlich größer. Trotz dem Unterschied wurde bei beiden Gruppen ein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen. Die Gehalte in allen Geflügelfutterproben liegen deutlich über dem Soll-Wert. Besonders bei XP sollte jedoch eine starke Abweichung vom Soll-Wert vermieden werden. Die Abweichungen des XP-Gehaltes im Geflügelfutter sind homogen. Das lässt darauf schließen, dass eine einzelne Fehlerquelle zum größten Teil der Abweichungen beigetragen hat. Dabei kann es sich darum handeln, dass Einzelfuttermittel, von denen keine Analysen vorlagen, unterschätzt wurden. Sojakuchen, Weizenkleie oder auch Rapskuchen, der jedoch nur in geringen Mengen eingesetzt wurde, könnten höhere XP-Gehalte haben als angenommen und dadurch die erhöhten XP-Gehalte in der Ration bedingen.

Rohfett (XL)

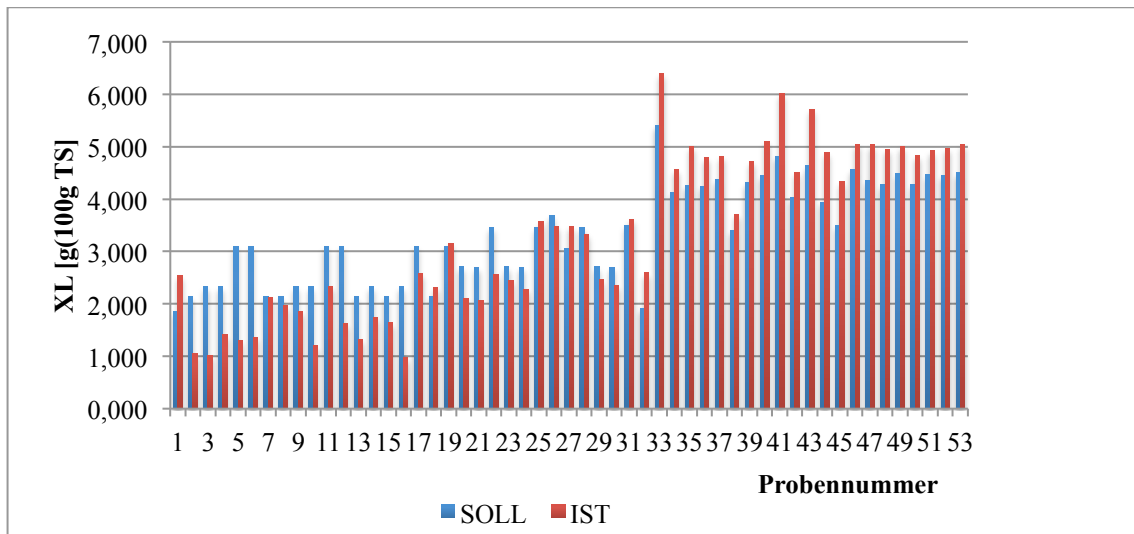


Abbildung 6: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Rohfett (XL) in Praxis- und Modellfutmischungen für Schweine (Probe 1-30), Rinder (31 und 32) und Geflügel (Probe 33-53)

Wie auch bei XP musste der Soll-Wert für Probe 1 berechnet werden. Durch Abb. 6 wird ersichtlich, dass bei den Schweinefutterproben die Soll-Werte regelmäßig (bei 25 von 30 Proben) über den Ist-Werten liegen. Ausschließlich bei Probe 1, 18, 19, 25 und 27 liegt ein Überschuss vor. Beim Geflügelfutter liegen wiederholt alle Ist-Werte über dem Soll.

Tabelle 6: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Rohfett (XL) in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

	Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
Schwein	2,69±0,49	2,12±0,76	-0,57±0,61	-40,32±0,48
Geflügel	4,33±0,42	4,97±0,56	0,64±0,24	12,76±0,04

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Die beobachteten Abweichungen werden durch die durchschnittliche negative bzw. positive Differenz zwischen Soll- und Ist-Werten der Schweinefutter- und Geflügelfutterproben bestätigt (Tab. 6). Bei den Futtermittelgruppen liegt ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Soll und Ist vor.

Die absolute Abweichung liegt bei beiden Gruppen um 0,6 g/100g TS (Schwein negativ, Geflügel positiv). Beim XL-Gehalt des Schweinefutters sind sehr hohe relative Abweichungen zu beobachten (ca. 40 %), die stark schwanken (Tab. 7).

Tabelle 7: Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohfett (XL)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

Schwein	%	Geflügel	%
X_{\min}	-140,45	X_{\min}	8,11
X_{\max}	26,70	X_{\max}	19,96
Spanne	167,16	Spanne	28,06

Die relative Abweichung ist beim Geflügelfutter trotz ähnlicher absoluter Abweichung geringer, da die Zielwerte deutlich höher sind. Die Abweichungen des XL-Gehaltes des Geflügelfutters haben eine geringe SD und sind daher, wie bei XP, homogener verteilt als die des Schweinefutters (Tab.6). Probe 1 stellt hier einen Extremwert dar (X_{\max}). Ohne die Probe 1 wäre $X_{\max}=12,31\%$. Die Spannweite der XL-Gehalte der Schweinefutterproben beträgt fast 170 % (Tab. 7), ohne Probe 1 ca. 150 %. Die Spannweite der relativen Abweichung des Rohfettgehaltes der Geflügelfutterproben ist deutlich geringer (Tab. 7).

Fazit XL

Beim Schweinefutter liegt im Mittel ein erhebliches relatives Defizit von über 40 % vor. Beim Geflügelfutter ist ein Überschuss von durchschnittlich ca. 12 % zu finden. Die Abweichung der Ist-Werte vom Soll verteilen sich bei den Geflügelfutterproben erneut homogener. Für die Rationsgestaltung wurden methodisch bedingt (z.B. aufgrund zeitlich unterschiedlicher Berechnung durch verschiedene Personen) unterschiedliche Rohnährstoffgehalte der Futterkomponenten zugrunde gelegt. Es ist möglich, dass Schwankungen im Rohfettgehalt der Komponente Weizenkleie und vor allem im Restölgehalt der Presskuchen von Soja und Raps zu den beobachteten Abweichungen geführt haben. Eine erhöhte Fettzufuhr ist individuell nach Tierart und Leistungsstadium zu beurteilen. Sie kann bei erhöhter Zufuhr zu einer Minderung der Schlachtkörperqualität führen. Eine negative Abweichung kann zu einem Mangel an essentiellen Fettsäuren führen.

Rohfaser (XF)

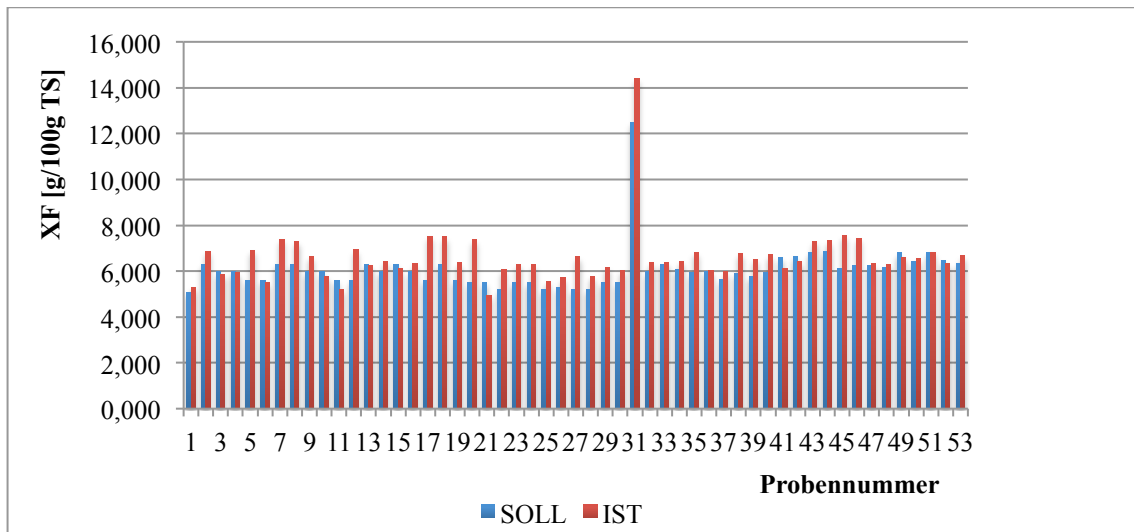


Abbildung 7: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Rohfaser (XF) in Praxis- und Modellfutmischungen für Schweine (Probe 1-30), Rinder (31 und 32) und Geflügel (Probe 33-53)

Auch für XF wurde der Soll-Wert für Probe 1 berechnet. Das Diagramm in Abb. 7 zeigt leichte Abweichungen zwischen Soll und Ist. Dabei sind die Ist-Werte zumeist höher als die Soll-Werte. Ist der Ist-Wert kleiner als das Soll, fällt die Abweichung geringer aus. Diese Beobachtung wird ebenso durch die positive durchschnittliche Abweichung in Tab. 8 deutlich; demnach liegen die Ist-Werte beider Gruppen im Mittel über dem Soll.

Tabelle 8: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Rohfaser (XF) in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

	Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
Schwein	5,72±0,40	6,30±0,70	0,58±0,64	8,39±0,09
Geflügel	6,29±0,37	6,64±0,45	0,35±0,50	4,97±0,07

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Der Unterschied zwischen Soll und Ist ist bei beiden Gruppen statistisch signifikant. Die durchschnittliche absolute und relative Abweichung ist beim Schweinefutter (abs.=0,58 g/100 g TS; rel.=8,39 %) etwas größer als beim Geflügelfutter (abs.=0,35 g/100 g TS; rel.=4,97 %). Im Gegensatz zu den bereits bewerteten Inhaltsstoffen ist die durchschnittliche relative Abweichung des XF-Gehaltes des Geflügelfutters am geringsten. Die SD ist bei beiden Gruppen relativ gering. Die Abweichungen bei den Geflügelfutterproben weisen erneut die stärkste Homogenität auf (Tab. 8).

Tabelle 9: Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohfaser (XF)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

Schwein	%	Geflügel	%
X_{\min}	-11,16	X_{\min}	-7,92
X_{\max}	25,55	X_{\max}	19,00
Spanne	36,71	Spanne	11,07

Die SD (Tab. 8) fällt beim Geflügelfutter etwas, die Spannweite (Tab. 9) deutlich geringer aus als beim Schweinefutter. Probe 1 stellt hier keinen Extremwert dar.

Fazit XF

Die Abweichungen sind homogen verteilt. Insgesamt liegt ein leichter durchschnittlicher Überschuss vor. Dieser Überschuss der Ist-Werte kann durch die hohe Fehlerwahrscheinlichkeit der Rohfaseranalyse bedingt sein. Um diese zu minimieren wurde jede Probe dreifach bestimmt. Trotzdem kann es beim Ergebnis zu leichten Abweichungen kommen. Der XF-Gehalt stellt einen begrenzenden Faktor in der Monogastrierfütterung dar (siehe Kapitel 2.2, S. 8) und sollte daher nicht höher sein als in der Rationsgestaltung berechnet. Zudem ist zu beachten, dass durch Freilandhaltung sowie durch die verpflichtende Zugabe von Raufutter bereits XF von den Tieren aufgenommen wird, welches bei der Rationsgestaltung nicht berücksichtigt wurde. Ein durchschnittlicher Überschuss von 7 %, wie er hier gefunden wurde, ist allerdings gering. Wenn keine Auffälligkeiten am Tier auftreten, bedarf dieser Überschuss aus oben genannten Gründen zunächst keiner besonderen Beachtung.

Rohasche (XA)

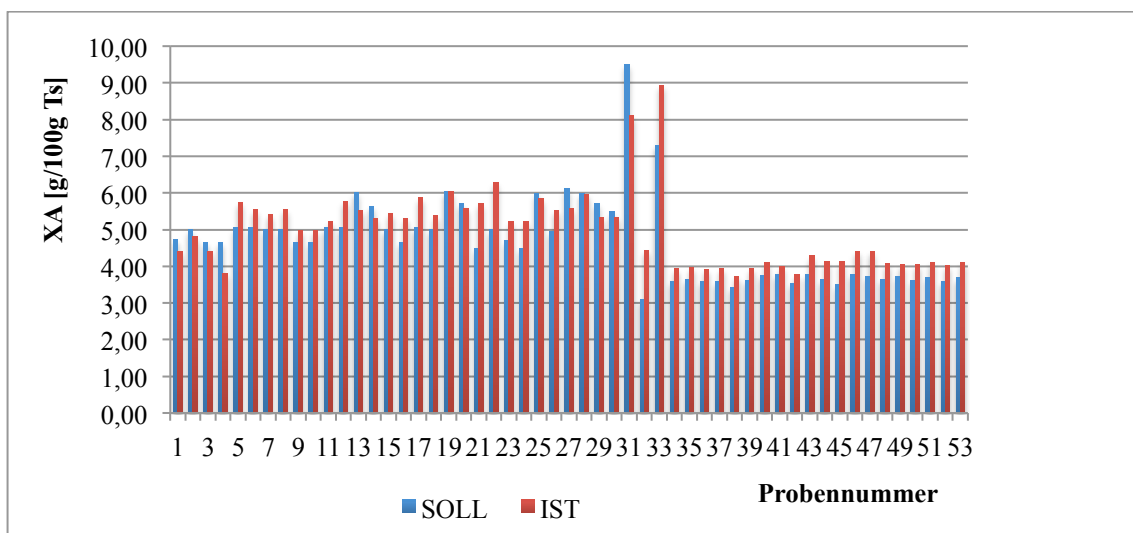


Abbildung 8: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Rohasche (XA) in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine (Probe 1-30), Rinder (31 und 32) und Geflügel (Probe 33-53)

Für XA standen keine Soll-Werte für die Schweinefutterproben zur Verfügung. Somit mussten für Probe 1-30 die Werte berechnet werden. Abb. 8 zeigt, dass ungefähr bei der Hälfte der Schweine-

futterproben der Ist-Wert über dem Soll liegt. Die Abweichungen, bei denen der Soll-Wert über dem Ist-Wert liegt, fallen etwas geringer aus. Beim Geflügelfutter liegen die Ist-Werte etwas über den Soll-Werten. Zudem erscheint die Verteilung der Abweichung für XA beim Geflügelfutter sehr homogen (Tab. 10).

Tabelle 10: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Rohasche (XA) in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

	Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
Schwein	5,51±0,51	5,37±0,52	0,22±0,53	3,60±0,10
Geflügel	3,82±0,80	4,28±1,08	0,47±0,29	10,41±0,03

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Beim XA-Gehalt des Schweinefutters liegt der durchschnittliche Ist-Wert unter, beim Geflügelfutter über dem durchschnittlichen Soll-Wert. Der Unterschied der Soll- und Ist-Werte des XA-Gehaltes des Schweinefutters ist nicht statistisch signifikant. Beim Geflügelfutter liegt hingegen ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Soll- und Ist-Werten des XA-Gehaltes vor. Die durchschnittliche Abweichung fällt beim Schweinefutter (abs.=0,22 g/100 g TS; rel.=3,60%) geringer aus als beim Geflügelfutter (abs.=0,47 g/100 g TS). Die geringe mittlere Abweichung beim Schweinefutter ergibt sich aus den o.g. positiven und negativen Abweichungen, die sich nahezu die Waage halten. Allerdings entsteht dadurch eine größere SD. Die Abweichungen der Geflügelfutterproben sind somit wieder homogener verteilt als die des Schweinefutters.

Tab. 11 zeigt, dass die Spanne der relativen Abweichung der XA-Gehalte bei den Schweinefutterproben fast doppelt so groß ist wie bei den Geflügelfutterproben. Die große Spannweite der relativen Abweichung des XA-Gehaltes ist allerdings durch wenige starke Abweichungen bedingt. Dies erkennt man bereits an der geringen SD der relativen Abweichung. Die Spannweite würde sich auf ca. 31 % verringern, wenn man das Minimum ($X_{\min}=-21,78\%$) entfernen würde

Tabelle 11 Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Rohasche (XA)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

Schwein	%	Geflügel	%
X_{\min}	-21,78	X_{\min}	5,82
X_{\max}	21,64	X_{\max}	18,33
Spanne	43,42	Spanne	24,15

Fazit XA

Die Abweichungen bei den Schweinefutterproben sind im Mittel gering, verteilen sich allerdings wenig homogen. Wie erwähnt ist ein Wert, der durch die Berechnung auf Basis der Futterwerttabellen erfolgte, differenziert zu betrachten, da die Tabellen meist nicht den Nährstoffmengen in Rohstoffen aus Ökologischem Landbau entsprechen (siehe Kapitel 2.2.3, S. 14, 15). Die Unter-

schiede zwischen den Soll- und den Ist-Werten könnten daher auf die Berechnung der Soll-Werte mithilfe dieser Tabellen zurückzuführen sein. Es konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Beim Geflügelfutter sollte die Abweichung von ca. +10 % nochmals betrachtet und ggf. korrigiert werden. Da die Abweichungen sehr homogen sind könnten Verunreinigungen der Grund für die erhöhten XA-Gehalte sein. Denn bei der Bestimmung der Rohasche wird neben dem XA-Gehalt des Futtermittels auch der XA-Gehalt möglicher Fremdbestandteile und Verunreinigungen wie z.B. Sand und Erde ermittelt (Schneider, 1967, S. 55). Mit erhöhten XA-Gehalten könnte dann ein Mangel an essentiellen Nährstoffen einhergehen, wenn die Einzelkomponenten nicht ausreichend gereinigt wurden und so unerwünschte Fremdbestandteile in die Ration gelangen. Dadurch wird die XA-Masse erhöht und der Anteil der wertgebenden, essentiellen Inhaltsstoffe verringert. Es ist aber ebenso möglich, dass die fehlenden Analysewerte der in den Geflügelfuttermischungen enthaltenen Einzelkomponenten, Weizenkleie und Sojakuchen, zurückzuführen sind.

Umsetzbare Energie (ME)

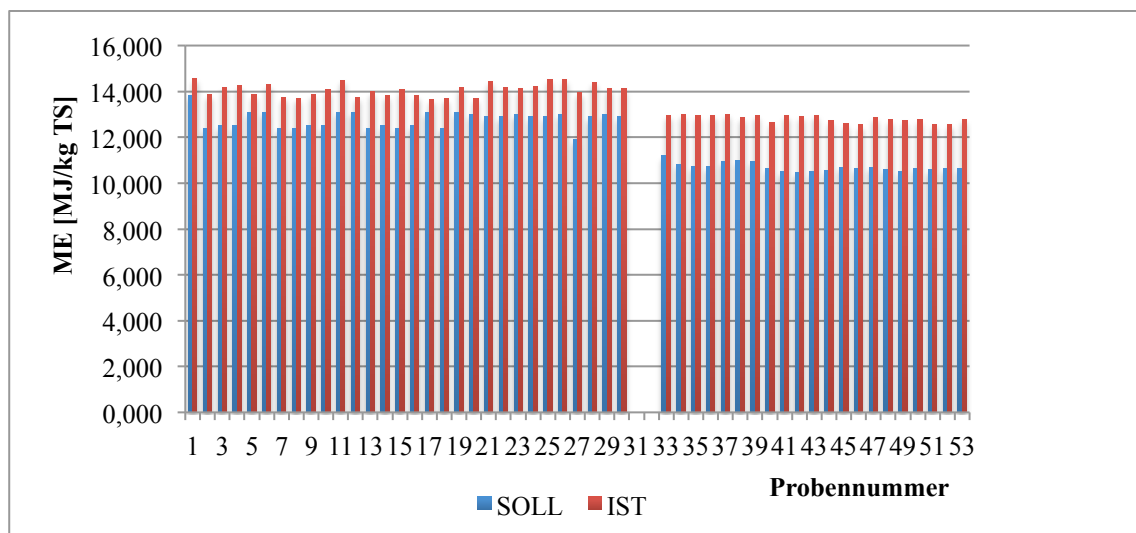


Abbildung 9: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der mittels Energieberechnungsformel, auf Basis analysierter Gehalte, berechneten (Ist) Werte an Energie (ME) in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine (Probe 1-30) und Geflügel (Probe 33-53)

Für die Probe 1 wurde der Soll-Wert mit der Energieberechnungsformel für Schweine (siehe Kapitel 4.2.1, S. 21) berechnet. Das Rinderfutter ist aufgrund fehlender Werte nicht abgebildet. Abb. 9 zeigt über die gesamte Stichprobe weitestgehend homogene Abweichungen der Ist-Werte von den Soll-Werten. Die Abweichungen des ME-Gehaltes erscheinen bei den Schweinefutterproben etwas weniger homogen als die des Geflügelfutters. Allerdings fallen die Abweichungen des Geflügelfutters etwas größer aus, als die Schweinefutterproben. Beide Beobachtungen werden in Tab. 12 bestätigt.

Tabelle 12: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Energie (ME) in MJ/kg sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

	Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
Schwein	12,77±0,38	14,07±0,28	1,30±0,35	9,24±0,02
Geflügel	10,70±0,19	12,82±0,16	2,12±0,20	16,52±0,01

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Der durchschnittliche Ist-Wert des ME-Gehaltes liegt bei beiden Gruppen über dem durchschnittlichen Soll. Der Unterschied zwischen den Soll- und den Ist-Energiegehalten ist bei beiden Gruppen statistisch signifikant. Wie in Abb. 9 ersichtlich, fällt die Abweichung bei den Schweinefutterproben (abs.=1,30 g/100 g TS; rel.=9,24 %) geringer aus als bei den Geflügelfutterproben (ab.=2,12 g/100 g TS; rel.=16,52 %). Die geringe SD sowie die Spannweite von lediglich 5,6 % (Tab. 13) bestätigen die Homogenität der Abweichung beim Geflügelfutter.

Tabelle 13: Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine und Geflügel enthaltenen Energie (ME)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

Schwein	%	Geflügel	%
X_{\min}	4,04	X_{\min}	13,51
X_{\max}	14,73	X_{\max}	19,11
Spanne	10,69	Spanne	5,60

Die Spannweite der relativen Abweichung des ME-Gehaltes der Schweinefutterproben ist fast doppelt so groß wie die der Geflügelfutterproben.

Fazit ME

Die Abweichungen der Schweinefutterproben sind im Vergleich zum Geflügelfutter etwas weniger homogen. Allerdings fällt die relative Abweichung zwischen den Soll- und Ist-Werten des ME-Gehaltes bei den Geflügelfutterproben deutlich größer aus. Bei Betrachtung der durchschnittlichen absoluten Abweichung unter Einbeziehung der SD (Tab. 12) bei den Schweinefutterproben, erscheint ein Überschuss an ME bei einer Futteraufnahme von z.B. 2,5 kg/Tag tolerierbar. Ein Überschuss an Energie von fast 15 % (X_{\max}) beim Schweinefutter und ca. 19 % (X_{\max}) beim Geflügelfutter sollte allerdings überprüft und ggf. korrigiert werden. Eine einfache Verringerung der Futtermenge um den Überschuss an Energie auszugleichen ist nicht möglich, da dies zu einem Mangel an essentiellen Nährstoffen führen könnte. Beim Schweinefutter können zwei Gründe primär verantwortlich für die Schwankungen sein.

Zum einen wurde der ME-Gehalt für die Ist-Werte mittels Formel und im Rationsoptimierungsprogramm auf Basis der Energiegehalte der Einzelfuttermittel berechnet. Dabei wurden die Energiegehalte der Einzelfuttermittel anteilig aufsummiert. Zum anderen wurde, wie schon erwähnt, bei den Schweinefuttermitteln mit verschiedenen Futterchargen anhand derselben Rationsberechnung das Futter gemischt, sodass Chargenunterschiede zu den Abweichungen beigetragen haben können.

Im Vergleich zum Schweinefutter fallen die Abweichungen beim Geflügelfutter erheblich aus. Die Homogenität der Abweichung deutet bei allen Geflügelfutterproben auf dieselbe Fehlerquelle hin. Diese liegt wahrscheinlich, wie auch beim Schweinefutter, an der unterschiedlichen Energieberechnung während der Rationsgestaltung und nach der Futtermittelherstellung und zudem an den Abweichungen der Roh Nährstoffgehalte. Der Soll-Wert für die Geflügelfutterproben wurde ebenfalls im Rationsoptimierungsprogramm auf Basis der Energiegehalte der Einzelfuttermittel berechnet. Im Gegensatz dazu wurde jeder Ist-Wert mit der Energieberechnungsformel für Mischfuttermittel gebildet. Dadurch werden bei den Ist-Werten die analysierten Gehalte an energiereichen Nährstoffen (XS, XZ, XL, XP) berücksichtigt. Die Ist-Werte der energiereichen Nährstoffe XP und XL liegen ca. 13 % über den Soll-Werten und führen daher zu einem höheren Energiegehalt. Um die Differenz zwischen Soll und Ist auszugleichen, sollte für alle Einzelkomponenten ein Analysewert für die Roh Nährstoffe inkl. Zucker und Stärke vorliegen und die Energieberechnung im Programm dahingehend angepasst werden.

Fazit ME und Roh Nährstoffe

Zusammenfassend ist zu sagen, dass ausschließlich bei XA für die Schweinefutterproben die Ist-Werte dem Soll entsprechen, da kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden konnte. Bei den anderen Nährstoffen und der ME ist der Unterschied zwischen Soll- und Ist-Wert statistisch signifikant. An dieser Stelle ist noch einmal zu erwähnen, dass die Schweinefutterproben maschinell zusammengestellt und pelletiert wurden, was zu einem sehr guten Vermischungsgrad der Ration führt.

Das Geflügelfutter wurde nur in kleinen Mengen gereinigt, vermahlen und ohne die Anwendung automatisierter Mischtechnologie zusammengestellt (siehe Kapitel 4.1, S. 20). Hier kann es z.B. durch einen unzureichenden Vermischungsgrad zu Abweichungen gekommen sein. Des Weiteren wurden die Proben nicht pelletiert, sodass auch eine Entmischung möglich war. Bei den Geflügelfutterproben ist der Unterschied zwischen den Soll- und Ist-Werten bei allen Roh Nährstoffen und der umsetzbaren Energie statistisch signifikant. Zudem bildet die Gruppe in allen Gegenüberstellungen die Stichprobe mit den homogeneren Abweichungen ab. Beim Soll-/Ist-Vergleich war bei den Stoffen, die in kleineren Anteilen im Futtermittel enthalten sind, wie XL und XF, die Abweichung der Geflügelfutterproben kleiner als bei den Schweinefutterproben. Bei XP, XA und der ME liegen die durchschnittlichen Abweichungen des Geflügelfutters über denen des Schweinefutters. An dieser Stelle ist noch einmal hervorzuheben, dass die Soll-Werte für XA beim Schweinefutter nicht vorlagen und berechnet wurden. Ohne die Berechnung dieser Werte wäre aufgrund fehlender Soll-Werte kein Vergleich möglich gewesen. Obwohl sich die Berechnung von Ökorationen auf Basis der Futterwerttabellen nur bedingt eignet (siehe Kapitel 2.2.3, S. 14), konnte kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden und die Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Werte führte zu einer guten Übereinstimmung der Werte.

Auch wenn die durchschnittlichen Abweichungen teilweise als tolerierbar einzustufen sind, liegen starke Abweichungen einzelner Proben vor, die in der Praxis vermieden bzw. entdeckt und korrigiert werden sollten. Dafür ist eine Kontrolle des Endproduktes notwendig. Wie sich zeigt, vor allem bei den Futtermischungen, die der Landwirt selbst, ohne Anwendung automatisierter, hochtechnologischer Prozesse, zusammenstellt (siehe Überschuss Geflügelfutterproben). Eine Kontrolle der Endrationen ist jedoch nur mit Hilfe eines schnellen und kostengünstigen Analyseverfahrens praktikabel.

Aminosäuren (AS)

Im Folgenden werden die AS Lys, Met/Cys und Thr genauer betrachtet. Die AS Analyse wurde nur für die Schweinefutterproben (Probe 1-30) durchgeführt, da diese auch praktisch verfüttert wurden. Für reine Modellfuttermischungen kam eine Aminosäurenanalytik aus Kostengründen nicht in Frage. Met/Cys werden zusammen betrachtet, da die nichtessentielle AS Cys aus Met synthetisiert wird (siehe Kapitel 2.2.1). Zudem standen für Probe 1 erneut keine Soll-Werte zur Verfügung, weshalb diese berechnet. Da es sich bei der Stichprobe um einen geringeren Umfang von 30 Proben, sowie ausschließlich um Schweinefuttermittel handelt, sind bei allen AS keine gruppenspezifischen Unterschiede hervorzuheben.

Lysin (Lys)

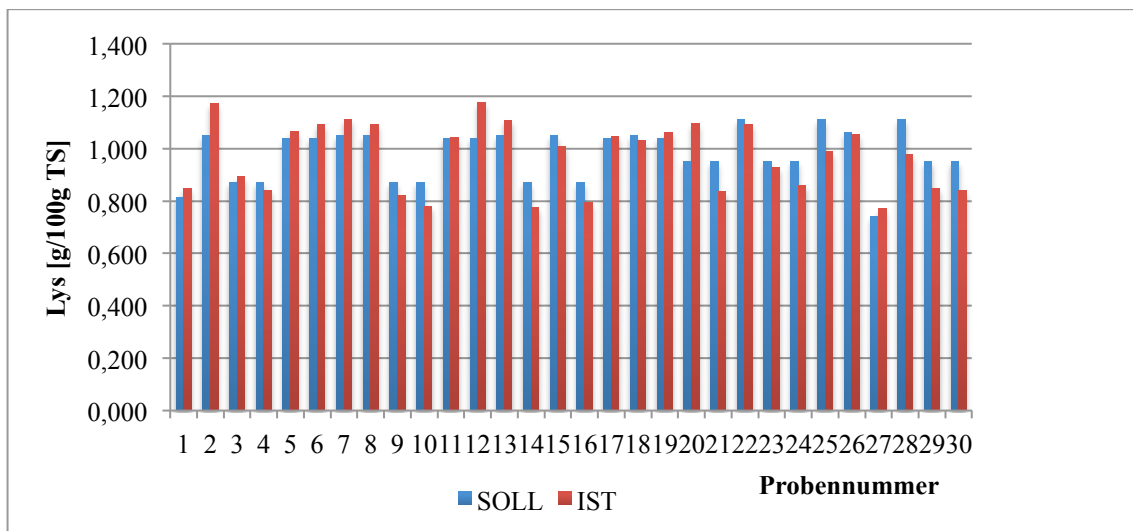


Abbildung 10: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Lysin (Lys) in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine

Aus Abb. 10 geht hervor, dass die Soll- und Ist-Werte für die AS Lys bei einigen Proben deutlich, bei anderen marginal, voneinander Abweichen. Bei etwas über der Hälfte der Proben liegt der Ist-Wert über dem Soll, bei den restlichen Proben darunter.

Der durchschnittliche Ist-Wert des Lys-Gehaltes liegt dicht an dem durchschnittlichen Soll-Wert (Tab. 14). Zudem ist die Abweichung zwischen den Soll und Ist nicht statistisch signifikant.

Tabelle 14: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Lysin (Lys) in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine

Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
0,98±0,10	0,97±0,13	-0,01±0,08	-1,93±0,08

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Die durchschnittliche absolute Abweichung von -0,01 g/100 g TS und die relative Abweichung unter 2 % zeigen, dass nur ein sehr geringer Unterschied zwischen Ist- und Soll-Werten vorliegt.

Die geringe mittlere Abweichung ergibt sich durch die sich ausgleichenden positiven und negativen Abweichungen. Diese Beobachtung wird auch in Tab. 15 deutlich. Die maximale und minimale Abweichung liegen beide bei etwa 13 %.

Tabelle 15: Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine enthaltenen Lysin (Lys)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

	%
Min	-13,62
Max	13,17
Spanne	26,79

Methionin und Cystein (Met/Cys)

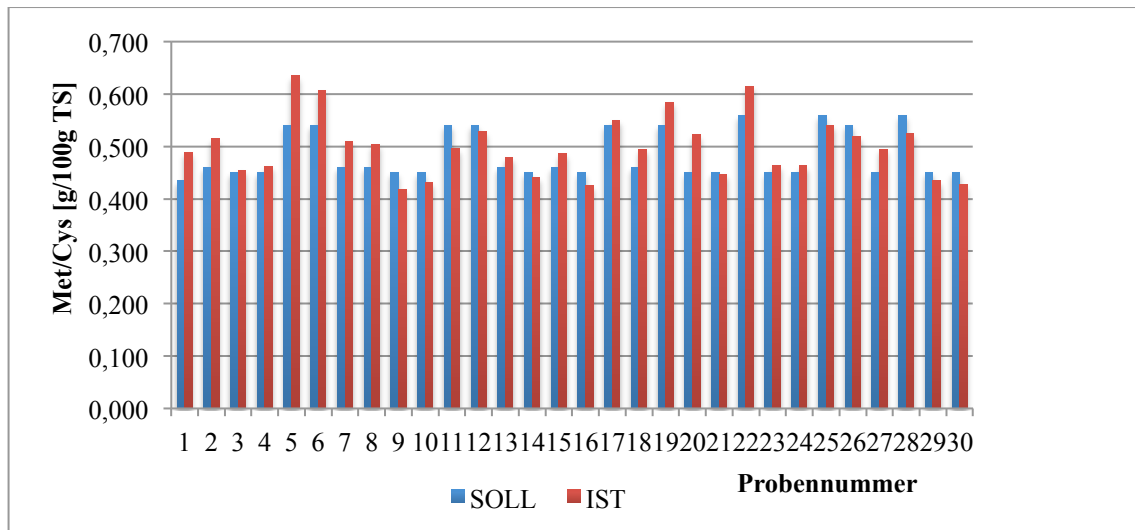


Abbildung 11: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Methionin und Cystein (Met/Cys) in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine

Der Soll-/Ist-Vergleich für Met/Cys (Tab. 11) ähnelt dem von Lys (Tab. 10). Die Abweichungen der Ist-Werte liegen über und unter dem jeweiligen Soll-Wert, mit sowohl deutlichen als auch mar-

ginalen Unterschieden. Die genaue Betrachtung der gegenübergestellten Werte zeigt, dass die Überschüsse der Ist-Werte etwas überwiegen (Tab. 16).

Tabelle 16: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Methionin und Cystein (Met/Cys) in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
0,48±0,05	0,50±0,06	0,02±0,04	2,60±0,07

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Es liegt kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Soll und Ist vor. Die durchschnittliche absolute Abweichung ist mit 0,02 g/100 g TS (rel.=2,60 %) gering. Der leichte Überschuss wird auch durch die Extremwerte deutlich (Tab. 17).

Tabelle 17: Minimum (X_{min}), Maximum (X_{max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine enthaltenen Methionin und Cystein (Met/Cys)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

	%
Min	-8,88
Max	14,98
Spanne	23,86

Threonin (Thr)

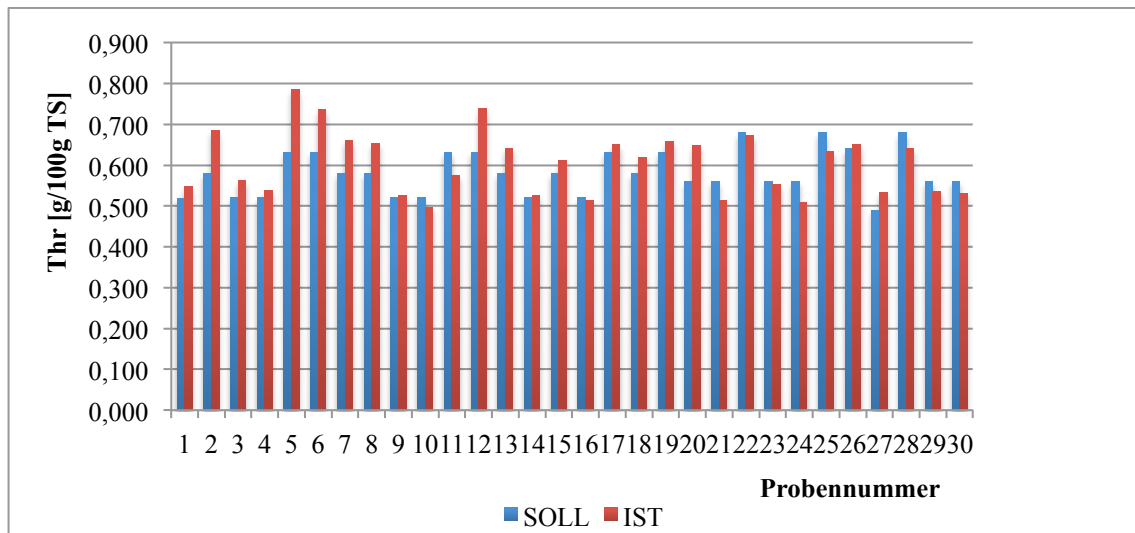


Abbildung 12: Gegenüberstellung der bei der Rationsoptimierung berechneten (Soll) und der nach der Futtermittelherstellung analysierten (Ist) Gehalte an Threonin (Thr) in Praxis- und Modellfuttermischungen für Schweine

Der Soll-/Ist-Vergleich in Abb. 12 ähnelt den vorausgegangenen Darstellungen von Lys (Abb. 10) und Met/Cys (Abb. 11). Hier liegt, wie bei Met/Cys, der durchschnittliche Ist-Wert leicht über dem durchschnittlichen Soll (Tab. 18).

Tabelle 18: Bei der Rationsoptimierung berechnete (Soll) und nach der Futtermittelherstellung analysierte (Ist) Gehalte an Threonin (Thr) in g/100 g sowie absolute und relative Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert in Futtermischungen für Schweine und Geflügel

Soll-Wert	Ist-Wert	abs. Abw.	rel. Abw.
0,58±0,05	0,61±0,08	0,02±0,08	3,20±0,08

(Mittelwert ± Standardabweichung)

Es wurde jedoch auch für den Thr-Gehalt keine statistisch signifikante Abweichung zwischen Soll und Ist nachgewiesen. Die durchschnittliche absolute Abweichung ist mit 0,02 g/100 g TS erneut gering. Die durchschnittliche relative Abweichung beträgt 3,20 %. Die SD sind ebenfalls gering. X_{\max} ist fast doppelt so groß wie X_{\min} (Tab. 19).

Tabelle 19: Minimum (X_{\min}), Maximum (X_{\max}) und Spannweite der relativen Abweichung des in Futtermischungen für Schweine enthaltenen Threonin (Thr)-Gehaltes von dem in der Rationsoptimierung berechneten Gehalt

	%
Min	-10,16
Max	19,70
Spanne	29,86

Insgesamt liegt bei 7 der 30 Proben ein relativer Überschuss zwischen ca. 11-20 % vor.

Fazit AS

Die relative durchschnittliche Abweichung liegt bei allen drei AS unter 3,2 %. Bei Thr und Met+Cys liegt im Mittel ein geringer Überschuss vor, der aufgrund der häufig auftretenden Mangelsituation dieser AS wünschenswert ist. Die Abweichung zwischen dem Ist- gegenüber dem Soll-Wert zeigt bei Lys hingegen eine negative durchschnittliche Abweichung. Bei einer ständigen Unterversorgung an essentiellen AS kann dies zu gesundheitlichen und verhaltensspezifischen Störungen der Tiere führen (siehe Kapitel 2.2.3, S. 14). Allerdings ist die durchschnittliche Abweichung sehr gering und zudem statistisch nicht signifikant. Des Weiteren beinhaltet der Soll-Wert von Lys bereits einen Sicherheitszuschlag, sodass die Ergebnisse dieser Untersuchung als positiv zu bewerten sind.

Zwar fallen die durchschnittlichen Abweichungen bei den essentiellen AS gering aus und auch der t-Test zeigt jeweils keine Signifikanz, allerdings waren bei allen drei AS mehrere Abweichungen von über 10 % zu beobachten. Um solche Abweichungen zu vermeiden und bedarfsgerechte Rationen bereitzustellen, bedarf es an Lösungen für die praktische Landwirtschaft.

Zunächst müssen Nährstoffdefizite schnell und zuverlässig ermittelt werden. Aus diesem Grund wird im Weiteren die Eignung der NIRS überprüft.

5.2 Einsatz der NIRS zur Inhaltsstoffkontrolle von Mischfuttermitteln

Da die klassischen Laboranalyseverfahren der oben gewonnenen Werte sehr aufwändig und teuer sind, wird im Weiteren die Eignung der NIRS zur Analyse der Endration untersucht.

In Tab. 20, 21 und 22 sind die Spannweiten der Schätzwerte sowie die statistischen Kennzahlen der neun Kalibrierungen aufgezeigt, um die Schätzgenauigkeit dieser zu beurteilen. Zunächst ist zu erwähnen, dass es sich um einen sehr geringen Probenumfang handelt und die Ergebnisse der kleinen Stichprobe (n=52) nur eine erste Tendenz aufzeigen.

Für die Trockensubstanz (TS) sowie die umsetzbare Energie (ME) für die Schweine- und Geflügel-futterproben sind Spannweite und Parameter in Tab. 20 dargestellt.

Tabelle 20: Spannweite und statistische Kennzahlen der NIR-Schätzung für Trockensubstanz in % des Futtermittels, umsetzbare Energie (ME) Schwein und ME Geflügel % TS

	TS (90,26 – 94,32)	ME Schwein (13,66 – 14,58)	ME Geflügel (12,63 – 13,05)
SEE	0,155	0,124	0,136
R_K	0,944	0,951	0,815
SEP	0,166	0,169	0,130
R_V	0,944	0,908	0,817
V-Set-Bias	0,015	-0,004	-0,011
Q-Wert	0,879	0,675	0,694

Spannweite=kleinste und größte Abweichung zwischen Referenz- und Schätzwert;
 SEE=Standardfehler der Kalibrierung; SEP=Standardfehler der Validierung;
 R_K=Regressionskoeffizient der Kalibrierung; R_V=Regressionskoeffizient der Validierung;
 V-Set-Bias=Information über die systematische Abweichung der Kalibration; Q-Wert=Qualitätsfaktor

Der Standardfehler der Vorhersage (SEE) für die Schätzung des Trockensubstanzgehalts ist mit 0,16, bezogen auf die Spannweite von ca. 90-94 %, gering. Der SEE für die umsetzbare Energie (ME) der Schweinefutterproben von 0,12 und der SEE der ME des Geflügelfutters mit 0,14 sind bezogen auf die Spannweite sehr gut (Bewertungsmaßstab vgl. Aulrich, Böhm, 2007, S. 72). Die Regressionskoeffizienten der Kalibrierung (R_K) von über 0,94 deuten auf eine gute Übereinstimmung der Original- und Schätzwerte bei der TS und der ME des Schweinefutters. Der R_K der ME bei den Geflügelfutterproben liegt hingegen bei nur 0,82. Da sich der V-Set Bias zwischen -0,011 und 0,015 und somit dicht um „0“ verteilt, ist die Genauigkeit zwischen Referenz- und Schätzwert durch diesen Parameter positiv zu bewerten. Der Q-Wert der ME (Schwein und Geflügel) liegt zwischen 0,67 und 0,7. Für die TS ist der Q-Wert mit 0,879 näher an „1“ und somit besser als der Q-Wert der ME. Die Schätzgenauigkeit der Kalibrierung für die ME des Geflügelfutters sollte durch die Messung weiterer Futtermischungen überprüft werden.

Tab. 21 zeigt die Spannweiten und statistischen Kennzahlen für die Schätzung von Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Stärke (XS).

Tabelle 21: Spannweite und statistische Kennzahlen der NIR-Schätzung für Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Stärke (XS) in % TS

	XP (14,42 – 22,24)	XL (1,06 – 6,22)	XS (35,50 – 60,35)
SEE	0,306	0,120	0,954
R_K	0,992	0,997	0,987
SEP	0,263	0,162	0,925
R_V	0,994	0,995	0,986
V-Set-Bias	0,030	0,027	-0,199
Q-Wert	0,845	0,839	0,763

Spannweite=kleinste und größte Abweichung zwischen Referenz- und Schätzwert;
 SEE=Standardfehler der Kalibrierung; SEP=Standardfehler der Validierung;
 R_K=Regressionskoeffizient der Kalibrierung; R_V=Regressionskoeffizient der Validierung;
 V-Set-Bias=Information über die systematische Abweichung der Kalibration; Q-Wert=Qualitätsfaktor

Bezogen auf die Spannweiten in Tab. 21 sind die Fehler der Kalibrierung bzw. der Validierung für XP, XL und XS nahezu gleich. Der SEE für die Schätzung von XP ist mit 0,31 gut. Für XL ist der Fehler der Vorhersage sehr gut, für XS hingegen nur zufriedenstellend (Bewertungsmaßstab vgl. Aulrich, Böhm, 2011, S. 72). Die Regressionskoeffizienten mit Werten von 0,987 und höher zeigen eine gute Übereinstimmung der Original- und Schätzwerte auf (Bewertungsmaßstab vgl. Aulrich, Böhm, 2011, S. 72). Der V-Set-Bias liegt bei allen Rohnährstoffen nahe an „0“. Bei XS ist die Abweichung von „0“ insgesamt am größten mit -0,199. Die dargestellten Q-Werte liegen alle über 0,76. Wie auch beim V-Set-Bias ist der Q-Wert für XS am schlechtesten (Tab. 21). Bei Betrachtung aller Kalibrierungen liegen die Q-Werte der ME Schwein (0,68) und Geflügel (0,69) unter dem Q-Wert der Kalibrierung von XS.

In Tab. 22 sind die Parameter zur Beurteilung der Schätzgenauigkeit von Zucker (XZ), Rohfaser (XF) und Rohasche (XA) dargestellt.

Tabelle 22: Spannweite und statistische Kennzahlen der NIR-Schätzung für Zucker (XZ), Rohfaser (XF) und Rohasche (XA) in % TS

	XZ (2,74 – 5,70)	XF (5,12 – 7,55)	XA (3,68 – 8,97)
SEE	0,370	0,373	0,218
R_K	0,939	0,808	0,981
SEP	0,371	0,371	0,206
R_V	0,928	0,800	0,969
V-Set-Bias	0,004	0,029	0,033
Q-Wert	0,771	0,623	0,830

Spannweite=kleinste und größte Abweichung zwischen Referenz- und Schätzwert;
 SEE=Standardfehler der Kalibrierung; SEP=Standardfehler der Validierung;
 R_K=Regressionskoeffizient der Kalibrierung; R_V=Regressionskoeffizient der Validierung;
 V-Set-Bias=Information über die systematische Abweichung der Kalibration; Q-Wert=Qualitätsfaktor

Die Fehler der Kalibrierung und der Vorhersage von XZ und XF liegen ungefähr im gleichen Bereich, bezogen auf die Spannweite ist er bei XF allerdings geringer, trotz der hohen Fehlerwahrscheinlichkeit der Analyse. Trotzdem sind beide Werte nicht zufriedenstellend (Aulrich, Böhm, 2007, S. 72). Der SEE der Vorhersage von XA ist mit 0,22 bezogen auf die Spannweite gering. Zudem sagt der Regressionskoeffizient von 0,98 aus, dass für XA eine gute Übereinstimmung der Schätz- zu den Originalwerten vorliegt (Bewertungsmaßstab vgl. Aulrich, Böhm, 2007, S. 72). Für XF ist der R_K im Vergleich zu allen anderen acht Kalibrierungen am kleinsten. Der V-Set-Bias für XZ ist mit 0,04 sehr dicht an „0“ (vgl. ME Schwein). Bei XA und XF ist er größer und liegt etwa im gleichen Bereich (um 0,3) wie bei XP und XL. Für XF liegt insgesamt der schlechteste Q-Wert vor.

Fazit NIRS

Die Ergebnisse der o.g. Parameter zeigen, dass die NIR-Messung der verschiedenen Futtermischungen aus mehreren Einzelkomponenten für die TS, ME (Schwein), XL, XP, und XA zu sehr guten bis guten Kalibrierungen geführt hat. Für XS und ME (Geflügel) sind die Kalibrierungen zufriedenstellend, für XZ und XF bisher nicht zufriedenstellend.

Zwar ermöglicht der geringe Probenumfang (n=51) noch keine abschließende Beurteilung, jedoch sind die Ergebnisse trotz der sehr kleinen Stichprobe vielversprechend und deuten auf einen möglichen Einsatz der NIRS zur Schätzung der Nährstoffzusammensetzung von Mischfuttermitteln hin.

In Untersuchungen von Aulrich (2011) wurde die NIR-Messung von Futtererbsen und Ackerbohnen mit unterschiedlicher Partikelgröße (0,5 mm, 1 mm und ganzen Körnern) zur quantitativen

Bestimmung der Rohnährstoffe und verschiedener AS durchgeführt. Mit dem Ergebnis, dass die Vorhersage für XL und XZ bei der Futtererbse erst bei einer Vermahlung der Proben auf 0,5 mm und die Vorhersage für XP, XL, XA, XF bei der Ackerbohne bereits bei 1mm erfolgreich ist. Die Kalibrierungen und Schätzungen könnten daher auch bei Mischfuttermitteln durch einen höheren Vermahlungsgrad noch weiter verbessert werden. Die Kalibrierungen für XP, XA, XF, XS bei der Futtererbse sowie XS und XZ bei der Ackerbohne waren in der Untersuchung von Aulrich (2011) auch bei der Messung ganzer Körner erfolgreich bzw. zufriedenstellend.

Eine Messung von ganzen, unvermahlenden Pellets ist allerdings nicht mit der Messung ganzer Körner zu vergleichen, da die Pellets aus verschiedenen vermahlenden Komponenten bestehen und gepresst wurden. Demnach ist ein Pellet nicht mit dem Aufbau und der Struktur von z.B. einzelnen Leguminosen- oder Getreidekörnern zu vergleichen. Aus diesem Grund wäre eine NIR-Messung ganzer Pellets sinnvoll. Dies würde eine weitere Zeitersparnis mit sich bringen, da das Vermahlen der Pellets aufwendig ist. Die Messung ganzer Pellets wurde im Rahmen der Untersuchungen durchgeführt. Der Datensatz war jedoch zu gering für die Kalibrierung, da ausschließlich 33 Proben in pelletierter Form vorliegen. Die Geflügelfutterproben wurden wie oben beschrieben aus den vermahlenden Einzelkomponenten zusammengestellt und konnten somit nur in vermahlender Form gemessen werden.

Des Weiteren wäre die Überprüfung der NIR-Schätzung einzelner AS bei einem größeren Probenumfang sinnvoll, da ein bestimmtes AS-Muster in der Ernährung von landwirtschaftlichen Nutztieren von großer Bedeutung für eine bedarfsgerechte Fütterung der Tiere ist. Die Schätzung der AS war im Rahmen dieses Versuches nicht möglich, da die AS Analysen aus Kostengründen ausschließlich für die Schweinefutterproben durchgeführt wurden. Aufgrund des geringen Probenumfangs war ebenfalls keine Kalibrierung möglich.

6 Schlussbetrachtung

Die Umsetzung einer 100 % - Biofütterung von Monogastriern bringt verschiedene Schwierigkeiten mit sich. Geeignete Futtermittelkomponenten aus Ökologischem Landbau stehen nicht in ausreichender Menge zur Verfügung. Weitere Alternativen sind aktuell nicht als Futtermittel zugelassen.

Die Zusammenstellung der Futterrationen erfolgt auf Grundlage des Bedarfs des zu fütternden Tieres und der verfügbaren Einzelkomponenten unter Berücksichtigung ihres Futterwertes. Somit ergibt sich der Soll-Wert der Nährstoffe, die dem Tier verfüttert werden sollen. Eine Grundvoraussetzung für die Fütterung einer bedarfsgerechten Ration ist, dass die berechneten Soll-Werte auch tatsächlich in der Endration enthalten sind und so für das Tier verfügbar. Stichprobenartige Inhaltsstoffkontrollen des Endproduktes erfolgen in der Praxis meist nur bei den Produkten großer Futtermittelhersteller, die ihre hochtechnologischen Prozesse ohnehin oft freiwillig durch interne Qualitätssicherung und externe Analysen kontrollieren (siehe Kapitel 2.2, S. 10).

Die vorliegende Untersuchung zeigt bei allen gegenübergestellten Nährstoffen, AS sowie der ME Abweichungen vom Sollwert. Diese Abweichungen können durch Fehler entlang des gesamten Planungs- und Produktionsprozesses, von der Analyse der Einzelkomponenten, Kalkulation, Reinigung, Zusammenstellung, durch Erhitzungs- und Mahlvorgänge, bis hin zur Lagerung entstehen. Aufgrund der beobachteten Abweichungen kann trotz eines geringen Probenumfangs auf eine notwendige Inhaltsstoffkontrolle des Endproduktes hingewiesen werden. Diese Abweichungen müssen durch Eliminierung von Fehlerquellen im Voraus vermieden oder festgestellt und korrigiert werden.

Zusätzlich sei darauf hingewiesen, dass für die Planung sowie für die Korrektur einer bedarfsgerechten Ration im Rahmen einer 100 % - Biofütterung geeignete Einzelkomponenten erforderlich sind, die den Grundsätzen des Ökologischen Landbaus und der Ökologischen Tierfütterung gerecht werden. Des Weiteren müssen Methoden etabliert werden, die ein sicheres Korrigieren der festgestellten Abweichung gewährleisten.

Eine routinemäßige Qualitätskontrolle des Endproduktes ist sehr aufwändig und kostenintensiv. Hier könnte die NIRS eine mögliche Alternative bieten, da somit die Inhaltsstoffe des Endproduktes schnell und günstig geschätzt werden könnten. Die Ergebnisse der NIR-Messung liefern befriedigende bis sehr gute Kalibrierungen. Durch weitere Messungen können die vorhandenen Kalibrierungen optimiert und robuster werden. Zusätzlich muss die Kalibrierung der essentiellen AS Tryptophan erfolgen. Zudem sollte die Möglichkeit der Messung ganzer Pellets geprüft werden. Insgesamt bestätigt die vorliegende Untersuchung die vielversprechende Analysemöglichkeit der NIRS. Es bleibt abzuwarten, was weitere Forschung ergibt.

Zusammenfassung

Die Fütterung von Monogastriern im Rahmen der EU-Öko-VO soll den Bedarf der Tiere auf der Grundlage einer 100 % - Biofütterung decken. Fehlende Einzelkomponenten, die den Bedarf der Tiere decken und den Grundsätzen einer Ökologischen Tierhaltung entsprechen, erschweren die Umsetzung dieses Ziels. Bis die Ausnahmeregelung der 5 %igen Zugabe von Futtermitteln nicht-ökologischer Herkunft ausläuft, müssen Lösungswege für eine bedarfsgerechte Fütterung der Tiere auf Basis von 100 % Ökorationen gefunden und etabliert werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde überprüft, inwieweit eine berechnete Ration mit einer Endration übereinstimmt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass bei allen untersuchten Nährstoffen vereinzelt starke Abweichungen vorliegen. Insofern ist die Inhaltsstoffkontrolle des Endproduktes zur Herstellung einer praxistauglichen Endration notwendig. Die klassischen Laboranalysen sind aufwändig, teuer und somit nicht praktikabel. Deshalb wurde zur schnellen und kostengünstigen Analyse des Endproduktes der Einsatz der NIRS getestet. Die Auswertung zeigt vielversprechende Ergebnisse und deutet darauf hin, dass die Vergrößerung der Stichprobe zu einer guten Kalibrierung führt und somit die Schätzung der Inhaltsstoffe in Mischfuttermitteln möglich werden könnte.

Abstract

Organic farming (based on the EU-Öko-VO) aims to meet monogastric animals' requirements with feedstuffs containing 100 % organic components. Since there is a lack of valuable protein and amino acid sources, there is currently an opportunity to feed 5 % conventional feedstuff. This derogation will end in 2018 according to the VO (EG) Nr. 836/2014, Art. 1. Therefore, finding solutions for a 100 % organic feeding is important. There are several possibilities capable to be useful achieving the aim.

The accordance of a calculated diet with the actual final product was studied in scope of this work. It was examined whether the final product can directly be fed to the animals or if it has to be corrected in order to meet the animals' needs. The results of the examination show that there are deviations between the calculated ration and the final product, which leads the author to the assumption that the analysis of the final product is a necessary step in producing mixed feedstuff. However, the traditional chemical analysis results in high economic expenditures and is therefore impracticable for the continuous use. The quick and low-priced analysis by NIRS provides promising results and suggests that it will possibly be useful for future examinations.

Literatur

- Aulrich, K. (2011). Schwankungen der Inhaltsstoffe in Öko-Futtermitteln: schnelle Bestimmung der Inhaltsstoffe zum sicheren Umgang mit dem Problem. http://orgprints.org/18703/1/18703-06OE110-vti-aulrich-2011-inhaltsstoffe_oekofuttermittel.pdf. Zuletzt geprüft am 21.05.2016.
- Aulrich, K., Böhm, H. (2007). Bewertung ökologisch erzeugter Futtermittel mittels Nahinfrarotspektroskopie, in: Rahmann, G. (Hrsg.), Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Schwerpunkt Pflanze, S. 69-73.
- Bellof, G. (2014). 100-Prozent-Biofütterung versus Tiergesundheit: Ernährung und Fußballengesundheit bei Geflügel, in: Ökologie&Landbau, 170, 2/2014, S. 26.
- Bellof, G., Schmidt, E. (2007). Lösungsmöglichkeiten für eine 100% Bio-Fütterung. http://orgprints.org/13840/1/LfL_Bellof_2007_oekol_gefluegelmast_13840.pdf. Zuletzt geprüft am 21.05.2016.
- Berk, A. (2008). Ernährung, Fütterung sowie nährstoffökonomische Aspekte, in: Brade, W., Flachowsky, G., Schrader, L. (Hrsg.), Landbauforschung vTI- Legehuhnzucht und Eierzeugung, Sonderheft 322, S. 141-157.
- Berk, A., Weißmann, F. (2012). Can compensatory growth contribute to reduce the so-called protein gap in organic pig fattening?, in: Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research 3, 2012 (62), S. 117-128.
- Bernsmann, T. (2011). Futtermitteltechnologie, in: Bernsmann, T., Brand, B., Schulz-Schroeder, G., Töpfer, A., Sichere Futtermittel – Sichere Lebensmittel. Hamburg: B. Behr's Verlag.
- Böhm, H., Aulrich, K., Berk, A. (2007). Rohprotein- und Aminosäuregehalte in Körnerleguminosen und Getreide. http://orgprints.org/9711/1/9711_Böhm_Poster.pdf. Zuletzt geprüft am 03.05.2016.
- Böhm, H., Berk, A. (2006). Bewertung ausgewählter Leguminosen- und Leguminosen-Getreide-Gemenge im Ökologischen Landbau hinsichtlich der Ertragsleistung des Futterwertes. in: Taube, F., Herrmann, A. (Hrsg.), Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Band 18, 2006, S. 266-267.
- Damme, K. (2004). Ökologische Hähnchenmast – Perspektive 100% Biozucht und Fütterung, in: Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach 43, Nr. 165, S. 223-228.
- Deerberg, F. (o.A). Wege zur Verwirklichung der Futterversorgung von Ökogeflügel mit 100 Prozent landwirtschaftlichen Futtermittel auf ökologischer Herkunft. <https://www.landbrugsinfo.dk/Oekologi/Proteinforsyning-til-husdyr/Sider/111215FriedelEnergiereduzierteFuetterungLegehennen.pdf?download=true>. Zuletzt geprüft am 21.05.2016.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). (2008). Prediction of Metabolisable Energy of compound feed for pigs, in: Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, Volume 17, S. 199-204.

- GfE-Ausschuss für Bedarfsnormen. (1999). Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 7: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Frankfurt: DLG-Verlag.
- GfE-Ausschuss für Bedarfsnormen. (2006). Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 10: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Schweine. Frankfurt: DLG-Verlag.
- Griese, S., Ebert, U., Fischinger, S., Geier, U., Lenz, A., Schäfer, F., Spiegel, A.-K., Vogt-Kaute, W., Wilbois, K.-P. (2014). Strategieoptionen zur Realisierung einer 100%igen Biofütterung bei Monogastriern im ökologischen Landbau. http://orgprints.org/28395/1/100Biofuetterung_Dossier.pdf. Zuletzt geprüft am 21.05.2016.
- Hermann, G., Plakolm, G. (1993). Ökologischer Landbau. Wien: Österreichischer Agrarverlag.
- Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O. (2008). Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Jeroch, H., Flachowsky, G., Weißbach, F. (1993). Futtermittelkunde. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Kamphues, J., Wolf, P., Coenen, M., Eder, K., Iben, C., Kienzle, E., Liesegang, A., Männer, K., Zebeli, Q., Zentek, J. (2014). Supplemente zur Tierernährung. Hannover: M. & H. Schaper GmbH.
- Kirchgeßner, M., Roth, F., Schwarz, F., Stangl, G. (2011). Tierernährung. Frankfurt: DLG-Verlag.
- Martissek, R., Steiner, G., Fischer, M. (2014). Lebensmittelanalytik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Menke, K.-H., Huss, W. (1987). Tierernährung und Futtermittelkunde. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Naumann, C., Bassler, R., Seibold, R., Barth, C. (1997). Methodenbuch Band III, Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Darmstadt: VDLUFA Verlag.
- Nehring, K. (1972). Lehrbuch der Tierernährung und Futtermittelkunde. Melsungen: Verlag J. Neumann-Neudamm.
- NIRCal Software Kurzanleitung, Version A, Büchi.
- Püschner, A., Simon, O. (1977). Grundlagen der Tierernährung. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Schneider, E. (1967). Mineralstoffe Aufbereitung der Proben, Bestimmung der Gesamtasche, Nachweis und Bestimmung der einzelnen Mineralstoffe, in: Diemair, H. (Hrsg.), Analytik der Lebensmittel: Nachweis und Bestimmung von Lebensmittel-Inhaltsstoffen, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, S. 46-82.
- Schulz-Schroeder, G. (2011). Futtermittelkunde, in: Bernsmann, T., Brand, B., Schulz-Schroeder, G., Töpfer, A., Sichere Futtermittel – Sichere Lebensmittel. Hamburg: B. Behr's Verlag.
- Schumacher, U., Fidelak, C., Koopmann, R., Weißmann, F., Snigula, J., Brüggemann, R., Naatjes, M., Simoneit, C., Bender, S. (2011). Wissensstandanalyse zur Tiergesundheit aller Nutztierarten im Ökologischen Landbau und 100% Biofütterung Monogastrier. <http://orgprints.org/25088/1/25088->

10OE088-bioland-schumacher-2011-wissenstandanalyse-tiergesundheit.pdf. Zuletzt geprüft am 03.05.2016

Soravia, S., Steiling, R. (2015). Futtermittelrecht. Hamburg: Behr's Verlag.

Staudacher, W., Potthast, V. (2014). DLG-Futterwerttabellen SCHWEINE. Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH.

Steiner, T., Bellof, G. (2009). Qualitätssicherung für Eiweißfuttermittel in der ökologischen Tierernährung: Sojabohnen und -kuchen. <http://orgprints.org/16490/1/16490-06OE233-hswt-bellof-2009-eiweissfuttermittel.pdf>. Zuletzt geprüft am 21.05.2016.

Steinhöfel, O., Lippmann, I. (2005). Futterrationsbeispiele für Ökobetriebe. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Futterrationsbeispiele_OEKO.pdf. Zuletzt geprüft am 21.05.2016.

Strobel, E., Ahrens, P., Hartmann, G., Kluge, H., Jeroch, H. (2001). Gehalt an Inhaltsstoffen von Weizen, Roggen und Hafer bei Anbau unter konventionellen und den Bedingungen des ökologischen Landbaus, in: Die Bodenkultur, Band 52, Heft 4, S. 221-231.

Töpfer, A. (2011). Wichtige Aspekte der Tierernährung, in: Bernsmann, T., Brand, B., Schulz-Schroeder, G., Töpfer, A., Sichere Futtermittel – Sichere Lebensmittel. Hamburg: B. Behr's Verlag.

VDLUFA. (o.A.). Inhaltsstoffkontrolle von Mischfuttermitteln. <http://www.lufa-nordwest.de/data/documents/Downloads/Inhaltsstoffkontrolle.pdf>. Zuletzt geprüft am 21.05.2016

Weiß, J., Pabst, W., Strack, K. E., Granz, S. (2005). Tierproduktion. Stuttgart: Parley Verlag.

Weißmann, F. (1990). Kalium- und Natriumkreisläufe in einem ökologisch wirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieb. Dissertation. Universität Kassel/Witzenhausen.

Willke, T., Hartwich, T., Reershemius, H., Jurchescu, I., Lang, S., Vorlos, K. (2010). Ökologisch produziertes Methionon aus Mikroorganismen, in: Rahmann, G., Schumacher, U. (Hrsg.), Neues aus der Ökologischen Tierhaltung, Braunschweig, S. 125-136.

Witten, S., Paulsen, HM., Weißmann, F., Bussemas, R. (2014). Praxisbefragung zur Aminosäurelücke und praktische Möglichkeiten zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Monogastrier in der Fütterung im Ökologischen Landbau. http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/bitv/dn053521.pdf. Zuletzt geprüft am 21.05.2012.

World's Poultry Science Association-WPSA. (1984). The prediction of apparent metabolizable energy values for poultry in compound feeds, in: World's Poultry Science Journal, Volume 40, S. 181-182.

Rechtsquellen

Futtermittelverordnung (FuttMV) vom 15. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1687), zuletzt geändert durch Art. 2 der VO vom 23. November 2015 (BAnz. 2015 AT 10.11.2015 V2).

Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch – LFGB) vom 3. Juni 2013 (BGBl. I S. 1426), zuletzt geändert durch Art. 1 der VO vom 26. Januar 2016 (BGBl. I S. 108).

Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzTV) vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 22. August 2014 (BGBl. I S. 94).

Tierzuchtgesetz (TierZG) vom 21. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3294), zuletzt geändert durch Art. 378 der VO vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).

Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte), ABI. Nr. L 200, S. 1.

Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit, ABI. Nr. L 31, S. 1, zuletzt geändert durch Anhang Nr. 5.9 der Änderungsverordnung (EG) Nr. 596/2009 vom 18. Juni 2009, ABI. Nr. L 188, S. 14.

Verordnung (EG) Nr. 183/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene, ABI. L 35, S. 1, zuletzt geändert durch VO (EU) 225/2012 15. März 2012, ABI. Nr. L 77, S. 1.

Verordnung (EG) Nr. 767/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinien 79/373/EWG des Rates, 80/511/EWG der Kommission, 82/471/EWG des Rates, 83/228/EWG des Rates, 93/74/EWG des Rates, 93/113/EG des Rates und 96/25/EG des Rates und der Entscheidung 2004/217/EG der Kommission, ABI. Nr. L 229, S. 1.

Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juli 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABI. L 189, S. 1, zuletzt geändert durch VO (EG) Nr. 967/2008 vom 29. September 2008, Abl. L 264, S. 1.

Verordnung (EG) Nr. 836/2014 der Kommission vom 31. Juli 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zu 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, ABI. L 230, S. 10.

Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zu 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. L 250, S. 1.

Verordnung (EG) Nr. 1235/2008 der Kommission vom 8. Dezember 2008 mit Durchführungsvorschriften zu Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates hinsichtlich der Regelung der Einfuhren von ökologischen/biologischen Erzeugnissen aus Drittländern, ABl. L 334, S 25.

Anhang

A. Zusammensetzung der verschiedenen Futtermischungen in %:

Schweinefutterproben (Probe 1-30)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Triticale	20	22	22,8	22,8	24	24	22	22	22,8	22,8	24	24	22	22,8	22
Weizen															
Gerste	40	19	25,2	25,2	27	27	19	19	25,2	25,2	27	27	19	25,2	19
Erbsen	25	25	17	17	15	15	25	25	17	17	15	15	25	17	25
Ackerbohnen	10	26	17	17	15	15	26	26	17	17	15	15	26	17	26
Sojakuchen					14	14					14	14			
Rapskuchen		3	3	3			3	3	3	3			3	3	3
Sonnenblumenkuchen	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3
Stärke			10	10					10	10				10	
Mineralfutter	2	2	2	2	2,5	2,5	2	2	2	2	2,5	2,5	2	2	2
Weizenkleie															
Citronensäure					0,5	0,5					0,5	0,5			
Magermilchpulver															
Pflanzenöl															
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Triticale	22,8	24	22	24											
Weizen					26	22,6	27	26	22,6	27	28	27	27	26	22,6
Gerste	25,2	27	19	27	32	29	24	32	29	24	24	28	24	32	29
Erbsen	17	15	25	15	18	16,3	15	18	16,3	15	16	6,3	15	18	16,3
Ackerbohnen	17	15	26	15	18	16,3	15	18	16,3	15	15,3	13	15	18	16,3
Sojakuchen		14		14			13,3			13,3	7		13,3		
Rapskuchen	3		3		3	2,8	2	3	2,8	2	4,5	4	2	3	2,8
Sonnenblumenkuchen	3	2	3	2											
Stärke	10					10			10						10
Mineralfutter	2	2,5	2	2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Weizenkleie												18			
Citronensäure		0,5		0,5			0,7			0,7	0,7	0,7	0,7		
Magermilchpulver											1				
Pflanzenöl											0,5				
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Rinderfutterproben (Probe 31 und 32)

Labornummer	31*		32
Rapsextraktionsschrot		Weizen	15
Palmkernkuchen		Triticale	9
Roggen		Erbse/Gerste	15
Sojaschrot		Erbse	10
Zuckerrohrmelasse		Gerste	20
Haferschälkleie		Bohnen	30
Melasseschnitzel		Panto	1
CaCo3		Summe	100
NaCl			

*Für die Probe 31 sind ausschließlich die Einzelkomponenten angegeben. Die genaue Zusammensetzung stand nicht zur Verfügung.

Geflügelfutter (Probe 33-53)

	33
Weizen	27,00
Mais	25,00
Sojakuchen	20,00
Sonnenblumenkuchen	9,00
Erbse	5,00
Reiskleber	5,00
Luzernegrünmehl	2,50
Bierhefe	2,50
Monocalciumphosphat	1,80
Calciumcarbonat	1,41
Natriumchlorid	0,19
MgO	0,02
Summe	100

Labornummer	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Weizen	5,00	5,00	10,00	10,00	10,00	10,00				7,00
Sommergerste	10,00	20,00	10,00	20,00	20,00	20,00	40,00			
Triticale	15,00	13,00	12,00	14,00	14,00	14,00	5,00	9,50		
Weizenkleie	15,00	15,00	18,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Ackerbohne (Divine)	10,00	2,00	3,00	6,00	15,00	10,00				5,00
Erbse	15,00	20,00	16,00	15,00	16,00	12,00	20,00	10,50	30,00	10,00
Raps-kuchen		5,00					5,00	5,00		5,00
Sojakuchen	18,00	15,00	18,00	20,00	11,00	20,00	15,00	20,00	15,00	18,00
Winter-gerste	12,00	5,00	13,00					40,00	40,00	40,00
Summe in %	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Labornummer	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Weizen						2,00		5,00		
Sommergerste		35,00	30,00	11,00	20,00		10,00			15,00
Triticale	10,00	8,50		20,00	12,00		7,00		4,50	6,00
Weizenkleie	15,00	15,00	15,00	18,00	18,00	15,00	15,00	15,00	13,00	15,00
Ackerbohne (Divine)	10,00	5,50	5,00	10,00	3,00	7,00	5,00	10,00	2,50	5,00
Erbse	11,00	20,00	20,00	9,00	16,00	16,00	15,00	10,00	20,00	14,00
Rapskuchen	5,00	5,00								
Sojakuchen	12,00	6,00	20,00	20,00	17,50	20,00	18,00	20,00	20,00	20,00
Wintergerste	37,00	5,00	10,00	12,00	13,50	40,00	30,00	40,00	40,00	25,00
Summe in %	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

B. Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Werte der Rohnährstoffe und Aminosäuren

Rohnährstoffe

	SOLL	IST	SOLL	IST	SOLL	IST	SOLL	IST	SOLL	IST
	ME in MJ/kg		XP		XL		XF		XA	
1	13,829	14,558	15,465	15,242	1,861	2,539	5,086	5,296	4,722	4,400
2	12,400	13,890	16,800	19,056	2,150	1,049	6,300	6,857	5,001	4,802
3	12,500	14,186	14,800	15,687	2,330	1,014	6,000	5,857	4,636	4,407
4	12,500	14,247	14,800	15,082	2,330	1,409	6,000	5,940	4,636	3,807
5	13,100	13,859	18,900	20,328	3,090	1,304	5,600	6,903	5,045	5,738
6	13,100	14,305	18,900	19,727	3,090	1,363	5,600	5,523	5,045	5,536
7	12,400	13,743	16,800	18,658	2,150	2,129	6,300	7,383	5,001	5,412
8	12,400	13,714	16,800	18,748	2,150	1,960	6,300	7,295	5,001	5,544
9	12,500	13,862	14,800	15,019	2,330	1,862	6,000	6,656	4,636	4,985
10	12,500	14,066	14,800	14,395	2,330	1,202	6,000	5,765	4,636	4,975
11	13,100	14,489	18,900	16,715	3,090	2,336	5,600	5,190	5,045	5,231
12	13,100	13,741	18,900	19,307	3,090	1,622	5,600	6,938	5,045	5,767
13	12,400	13,980	16,800	18,097	2,150	1,329	6,300	6,251	6,001	5,514
14	12,500	13,817	14,800	14,454	2,330	1,746	6,000	6,437	5,636	5,311
15	12,400	14,081	16,800	17,800	2,150	1,642	6,300	6,103	5,001	5,440
16	12,500	13,831	14,800	15,729	2,330	0,969	6,000	6,345	4,636	5,311
17	13,100	13,652	18,900	18,638	3,090	2,589	5,600	7,522	5,045	5,871
18	12,400	13,701	16,800	18,419	2,150	2,313	6,300	7,492	5,001	5,385
19	13,100	14,163	18,900	18,962	3,090	3,160	5,600	6,357	6,045	6,029
20	13,000	13,703	15,400	18,428	2,706	2,107	5,500	7,361	5,703	5,567
21	12,900	14,429	15,400	15,137	2,702	2,061	5,500	4,948	4,481	5,719
22	12,900	14,160	18,400	19,545	3,455	2,560	5,200	6,081	4,996	6,288
23	13,000	14,119	15,400	16,319	2,706	2,441	5,500	6,301	4,703	5,211
24	12,900	14,238	15,400	15,102	2,702	2,279	5,500	6,274	4,481	5,212
25	12,900	14,538	18,400	18,194	3,455	3,569	5,200	5,566	5,996	5,836
26	13,000	14,504	17,200	18,226	3,692	3,485	5,300	5,715	4,950	5,530
27	11,900	13,956	13,700	15,408	3,050	3,478	5,200	6,633	6,119	5,579
28	12,900	14,409	18,400	18,231	3,455	3,331	5,200	5,770	5,996	5,959

29	13,000	14,125	15,400	15,997	2,706	2,459	5,500	6,152	5,703	5,344
30	12,900	14,120	15,400	15,297	2,702	2,345	5,500	6,045	5,481	5,332
31	10,200		24,000	25,050	3,500	3,613	12,500	14,407	9,500	8,100
32	9,174		19,897	17,397	1,911	2,591	5,966	6,378	3,088	4,436
33	11,200	12,950	19,500	21,543	5,400	6,389	6,300	6,388	7,300	8,938
34	10,835	13,010	16,422	21,678	4,124	4,569	6,072	6,440	3,590	3,927
35	10,734	12,940	16,311	20,919	4,268	4,999	5,928	6,822	3,654	3,975
36	10,721	12,960	15,310	20,516	4,247	4,800	5,995	6,016	3,577	3,906
37	10,944	13,010	16,380	21,971	4,372	4,823	5,634	5,973	3,591	3,943
38	10,976	12,860	16,314	20,122	3,410	3,711	5,899	6,785	3,413	3,722
39	10,961	12,970	16,697	21,892	4,323	4,722	5,752	6,521	3,619	3,948
40	10,651	12,650	16,420	20,834	4,445	5,104	5,950	6,716	3,749	4,111
41	10,503	12,970	14,921	19,945	4,819	6,021	6,589	6,105	3,763	3,996
42	10,459	12,930	15,158	20,192	4,032	4,517	6,650	6,405	3,532	3,780
43	10,504	12,960	15,346	20,083	4,638	5,715	6,816	7,309	3,769	4,282
44	10,543	12,740	15,325	19,226	3,943	4,899	6,851	7,333	3,636	4,132
45	10,694	12,620	15,475	18,592	3,493	4,335	6,106	7,538	3,498	4,130
46	10,641	12,540	16,931	22,420	4,568	5,052	6,227	7,441	3,777	4,400
47	10,698	12,880	16,345	21,553	4,355	5,039	6,237	6,324	3,732	4,392
48	10,615	12,760	15,484	20,407	4,270	4,955	6,150	6,286	3,652	4,075
49	10,522	12,750	15,788	20,907	4,481	5,007	6,806	6,585	3,711	4,041
50	10,636	12,760	15,230	20,201	4,287	4,836	6,405	6,537	3,606	4,041
51	10,587	12,570	15,600	20,782	4,464	4,920	6,811	6,835	3,702	4,101
52	10,624	12,570	15,311	20,656	4,453	4,968	6,474	6,316	3,592	4,027
53	10,649	12,790	15,685	20,832	4,502	5,050	6,339	6,665	3,683	4,096

(Bei den grau markierten Feldern wurde der Zahlenwert rechnerisch ermittelt;
bei leeren Feldern erfolgte keine Berechnung der fehlenden Werte)

	SOLL	IST	SOLL	IST		SOLL	IST	SOLL	IST		SOLL	IST	SOLL	IST
	XS		XZ			XS		XZ			XS		XZ	
1		56,597		3,759	18	48,249	50,177	4,485	4,069	35		43,577		5,473
2		53,764		3,356	19	45,923	47,893	4,405	4,293	36		44,463		5,474
3		60,963		2,384	20	57,115	51,286	2,918	3,910	37		43,309		5,533
4		59,337		3,636	21	56,708	58,611	2,904	2,910	38		46,980		4,809
5		53,254		1,342	22	49,305	48,128	2,533	4,431	39		43,428		5,421
6		50,335		4,534	23	57,115	55,551	2,918	3,434	40		41,901		5,180
7		51,637		4,032	24	56,708	69,330	2,904	3,343	41		42,555		5,427
8		50,572		3,495	25	49,305	50,595	2,533	3,592	42		45,324		5,241
9		57,303		3,117	26	50,692	49,751	2,626	4,945	43		43,005		5,396
10		60,050		2,784	27	46,365	48,557	2,035	3,747	44		44,430		5,111
11		53,528		4,749	28	49,305	50,687	2,533	3,572	45		45,663		4,814
12		47,759		4,259	29	57,115	55,013	2,918	3,580	46		39,855		5,210
13		53,402		3,528	30	56,708	56,462	2,904	3,312	47		42,594		5,402
14		56,309		3,170	31		16,142		7,310	48		43,306		5,139
15		53,489		3,485	32	52,845	53,278	3,810	3,921	49		42,850		4,885
16		58,316		2,593	33		40,420		5,152	50		44,014		4,763
17	45,923	48,252	4,405	4,359	34		44,289		5,300	51		42,215		4,747
										52		42,194		4,773
										53		42,831		5,188

Aminosäuren

	SOLL	IST	SOLL	IST	SOLL	IST
	Lys	Lys	Met+Cys	Met+Cys	Thr	Thr
1	0,814	0,848	0,435	0,488	0,519	0,547
2	1,050	1,173	0,460	0,515	0,580	0,685
3	0,870	0,893	0,450	0,454	0,520	0,562
4	0,870	0,842	0,450	0,463	0,520	0,538
5	1,040	1,066	0,540	0,635	0,630	0,785
6	1,040	1,093	0,540	0,606	0,630	0,735
7	1,050	1,111	0,460	0,510	0,580	0,660
8	1,050	1,092	0,460	0,504	0,580	0,653
9	0,870	0,819	0,450	0,418	0,520	0,525
10	0,870	0,781	0,450	0,431	0,520	0,497
11	1,040	1,042	0,540	0,496	0,630	0,574
12	1,040	1,176	0,540	0,528	0,630	0,740
13	1,050	1,109	0,460	0,479	0,580	0,642
14	0,870	0,774	0,450	0,440	0,520	0,525
15	1,050	1,008	0,460	0,486	0,580	0,610
16	0,870	0,795	0,450	0,425	0,520	0,513
17	1,040	1,048	0,540	0,549	0,630	0,649
18	1,050	1,030	0,460	0,495	0,580	0,618
19	1,040	1,062	0,540	0,584	0,630	0,658
20	0,950	1,094	0,450	0,523	0,560	0,649
21	0,950	0,837	0,450	0,447	0,560	0,512
22	1,110	1,093	0,560	0,615	0,680	0,673
23	0,950	0,929	0,450	0,464	0,560	0,552
24	0,950	0,860	0,450	0,463	0,560	0,508
25	1,110	0,988	0,560	0,540	0,680	0,634
26	1,060	1,053	0,540	0,520	0,640	0,651
27	0,740	0,770	0,450	0,495	0,490	0,532
28	1,110	0,977	0,560	0,525	0,680	0,641
29	0,950	0,848	0,450	0,434	0,560	0,536
30	0,950	0,841	0,450	0,427	0,560	0,531

C. Berechnete ME (Ist-Werte); Energieberechnungsformel in Kapitel 4.2.1

Probe	ME	Probe	ME	Probe	ME
1	14,56	21	14,43	41	12,97
2	13,89	22	14,16	42	12,93
3	14,19	23	14,12	43	12,96
4	14,25	24	14,24	44	12,74
5	13,86	25	14,54	45	12,62
6	14,31	26	14,5	46	12,54
7	13,74	27	13,96	47	12,88
8	13,71	28	14,41	48	12,76
9	13,86	29	14,12	49	12,75
10	14,07	30	14,12	50	12,76
11	14,49	31	10,2	51	12,57
12	13,74	32		52	12,57
13	13,98	33	12,95	53	12,79
14	13,82	34	13,01		
15	14,08	35	12,94		
16	13,83	36	12,96		
17	13,65	37	13,01		
18	13,7	38	12,86		
19	14,16	39	12,97		
20	13,7	40	12,65		

D. Referenzwerte und Ergebnisse der NIR-Schätzung

	Original	Schätzwert	Original	Schätzwert	Original	Schätzwert	Original	Schätzwert
	TS		ME		XP		XL	
1	92,838	92,015	14,560	14,315	15,242	15,521	2,539	2,268
2	91,361	91,275	13,890	13,787	19,056	19,175	1,049	1,072
3	91,377	91,261	14,190	14,162	15,687	16,271	1,014	1,155
4	91,024	90,993	14,250	14,060	15,082	15,249	1,409	1,055
5	90,563	91,351	13,860	13,871	20,328	20,867	1,304	1,319
6	92,274	92,300	14,310	14,103	19,727	19,621	1,363	1,371
7	92,536	91,559	13,740	13,919	18,658	18,614	2,129	2,304
8	90,443	90,920	13,710	13,664	18,748	18,616	1,960	2,097
9	91,278	90,751	13,860	13,909	15,019	15,294	1,862	2,082
10	90,160	90,850	14,070	13,858	14,395	14,813	1,202	1,204
11	91,499	90,911	14,490	14,367	16,715	16,760	2,336	2,350
12	90,331	90,524	13,740	13,822	19,307	19,529	1,622	1,557
13	90,780	90,944	13,980	13,997	18,097	17,744	1,329	1,261
14	91,151	91,057	13,820	13,764	14,454	14,418	1,746	1,732
15	90,958	90,647	14,080	14,056	17,800	17,555	1,642	1,592
16	90,381	90,854	13,830	13,854	15,729	15,320	0,969	1,121
17	91,413	91,725	13,650	13,957	18,638	18,573	2,589	2,628
18	92,260	91,486	13,700	13,871	18,419	18,221	2,313	2,514
19	90,805	90,928	14,160	14,171	18,962	18,851	3,160	3,055
20	90,944	90,261	13,700	13,945	18,428	18,036	2,107	2,247
21	89,351	90,380	14,430	14,166	15,137	15,331	2,061	1,642
22	91,265	90,993	14,160	14,095	19,545	19,487	2,560	2,644
23	90,633	90,506	14,120	14,335	16,319	16,409	2,441	2,435
24	90,242	90,760	14,030	14,107	15,102	15,219	2,279	2,348
25	91,326	91,232	14,540	14,408	18,194	18,000	3,569	3,529
26	91,695	91,363	14,500	14,493	18,226	18,176	3,485	3,469
27	91,757	91,381	13,960	14,584	15,408	15,867	3,478	3,420
28	91,397	91,451	14,410	14,213	18,231	17,774	3,331	3,360
29	91,579	91,197	14,120	14,267	15,997	15,863	2,459	2,512
30	90,866	91,621	14,120	14,126	15,297	15,097	2,345	2,308
32	91,378	92,680			17,397	17,021	2,591	2,439
33	93,824	93,676	12,950	13,046	21,543	22,242	6,389	6,221
34	93,457	93,675	13,010	12,832	21,678	21,479	4,569	4,641
35	93,812	93,975	12,940	12,890	20,919	20,986	4,999	5,206
36	93,752	94,001	12,960	12,931	20,516	20,763	4,800	4,935
37	93,790	93,793	13,010	12,944	21,971	21,770	4,823	4,926
38	93,681	93,705	12,860	12,866	20,122	20,129	3,711	3,853
39	94,084	94,091	12,970	12,902	21,892	21,372	4,722	4,728
40	94,347	94,315	12,650	12,704	20,834	20,911	5,104	5,220
41	94,355	94,169	12,970	12,955	19,945	20,044	6,021	5,840
42	94,296	93,975	12,930	12,910	20,192	20,142	4,517	4,504
43	93,796	93,873	12,960	12,994	20,083	20,008	5,715	5,700
44	93,478	93,681	12,740	12,907	19,226	19,112	4,899	4,932
45	93,454	93,907	12,620	12,806	18,592	18,393	4,335	4,212
46	93,818	93,919	12,540	12,629	22,420	21,790	5,052	4,871
47	93,605	93,866	12,880	12,792	21,553	21,600	5,039	5,024
48	94,223	93,964	12,760	12,766	20,407	20,084	4,955	4,704
49	94,034	93,975	12,750	12,752	20,907	21,316	5,007	5,097
50	94,114	93,952	12,760	12,857	20,201	20,601	4,836	4,898
51	94,058	93,995	12,570	12,864	20,782	20,709	4,920	5,044
52	93,874	93,961	12,570	12,840	20,656	20,721	4,968	4,917
53	94,025	93,981	12,790	12,836	20,832	20,822	5,050	4,927

	Original	Schätzwert	Original	Schätzwert	Original	Schätzwert	Original	Schätzwert
	XF		XA		XS		XZ	
1	5,296	5,572	4,400	4,167	56,597	55,632	3,759	3,861
2	6,857	6,354	4,802	5,354	53,764	53,350	3,356	2,830
3	5,857	6,011	4,407	4,482	60,963	60,350	2,384	2,841
4	5,940	5,989	3,807	4,311	59,337	60,083	3,636	2,740
5	6,903	6,772	5,738	5,532	53,254	51,601	1,342	3,101
6	5,523	6,395	5,536	5,482	50,335	51,982	4,534	4,265
7	7,383	6,897	5,412	5,005	51,637	51,493	4,032	4,134
8	7,295	7,200	5,544	5,581	50,572	50,730	3,495	3,587
9	6,656	6,960	4,985	4,783	57,303	57,281	3,117	2,949
10	5,765	5,916	4,975	4,820	60,050	59,092	2,784	3,468
11	5,190	5,529	5,231	4,967	53,528	53,034	4,749	4,085
12	6,938	6,536	5,767	5,899	47,759	49,371	4,259	3,550
13	6,251	6,573	5,514	5,426	53,402	53,680	3,528	3,407
14	6,437	6,589	5,311	5,381	56,309	56,647	3,170	3,505
15	6,103	6,194	5,440	5,463	53,489	53,478	3,485	3,069
16	6,345	6,333	5,311	5,406	58,316	58,712	2,593	3,412
17	7,522	6,785	5,871	5,860	48,252	48,449	4,359	4,394
18	7,492	7,531	5,385	5,265	50,177	49,610	4,069	4,193
19	6,357	6,865	6,029	6,116	47,893	47,927	4,293	3,932
20	7,361	6,739	5,567	5,549	51,286	51,018	3,910	3,149
21	4,948	5,122	5,719	5,496	58,611	57,767	2,910	3,328
22	6,081	6,088	6,288	6,287	48,128	47,920	4,431	3,850
23	6,301	5,711	5,211	4,928	55,551	54,961	3,434	3,292
24	6,274	5,877	5,212	5,380	56,300	56,379	3,343	3,614
25	5,566	5,869	5,836	5,926	50,595	49,269	3,592	4,361
26	5,715	5,850	5,530	5,627	49,751	49,461	4,945	4,471
27	6,633	6,601	5,579	4,964	48,557	52,391	3,747	4,196
28	5,770	6,048	5,959	6,185	50,687	49,538	3,572	3,997
29	6,152	5,976	5,344	4,997	55,013	55,134	3,580	3,612
30	6,045	6,011	5,332	5,219	56,462	56,994	3,312	5,294
32	6,378	6,450	4,436	4,677	53,278	54,916	3,921	4,440
33	6,388	7,551	8,938	8,972	40,420	35,496	5,152	5,021
34	6,440	6,463	3,927	4,146	44,289	43,975	5,300	5,233
35	6,822	6,695	3,975	4,076	43,577	42,579	5,473	5,191
36	6,016	6,765	3,906	4,000	44,463	44,101	5,474	5,139
37	5,973	6,430	3,943	4,050	43,309	43,155	5,533	4,902
38	6,785	6,646	3,722	3,682	46,980	47,272	4,809	4,956
39	6,521	6,647	3,948	4,052	43,428	43,824	5,421	5,449
40	6,716	6,427	4,111	4,296	41,901	40,987	5,180	5,699
41	6,105	6,233	3,996	4,113	42,555	41,921	5,427	5,372
42	6,405	6,334	3,780	3,774	45,324	45,608	5,241	4,991
43	7,309	7,114	4,282	4,025	43,005	42,713	5,396	5,051
44	7,333	6,969	4,132	3,897	44,430	45,213	5,111	4,625
45	7,538	6,879	4,130	3,828	45,663	46,673	4,814	4,852
46	7,441	7,185	4,400	4,363	39,855	40,908	5,210	5,246
47	6,324	6,485	4,392	4,155	42,594	42,203	5,402	5,231
48	6,286	6,694	4,075	4,254	43,306	43,843	5,139	5,228
49	6,585	6,666	4,041	4,252	42,850	41,996	4,885	5,293
50	6,537	6,467	4,041	4,057	44,014	43,629	4,763	4,854
51	6,835	6,630	4,101	4,147	42,215	43,152	4,747	4,919
52	6,316	6,265	4,027	4,132	42,194	43,679	4,773	4,877
53	6,665	6,481	4,096	4,170	42,831	43,451	5,188	4,879

E. CD

- PDF Version der Arbeit
- Internetquellen
- Rohdaten:
 - Analysedaten mit Berechnung der Ist-Werte
 - Berechnung der fehlenden Soll-Werte (XA und Probe 1)
 - Gegenüberstellungen der Soll-/Ist-Werte, mit Statistikdaten für die Rohnährstoffe und Energie (Berechnung der ME im Tabellenblatt 1)
 - Gegenüberstellung der Soll-/Ist-Werte, mit Statistikdaten für die Aminosäuren
 - Gegenüberstellung der NIR Referenz- und Schätzwerte mit den statistischen Kennzahlen

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift