

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt  
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# **Schlussbericht zum Thema “Optimierung dezentraler Sojaaufbereitungsverfahren mittels Online- Prozesssteuerung über Nahinfrarot- Spektroskopie “**

**FKZ: 2814EPS022**

**Projektnehmer: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt  
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Optimierung dezentraler Sojaaufbereitungsverfahren  
mittels Online-Prozesssteuerung über  
Nahinfrarot-Spektroskopie**

*Kurztitel „SojaNIRS“*

Zuwendungsempfänger:	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Vöttinger Str. 36, 85354 Freising
Projektförderung:	BMEL / BLE
Förderkennzeichen:	2814EPS022
Projektlaufzeit:	01.09.2014 – 29.02.2020
Projektleiter:	Stefan Thurner
Projektbearbeiter:	Dr. Andrea Stockl, Dr. Dominik Hoffmann, Sylvia Künz, Konstanze Kraft
Berichtsdatum:	16.03.2020
Berichtsumfang:	56 Seiten

**Schlussbericht**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b>	<b>Kurzfassung (deutsch) ..... 9</b>
<b>2</b>	<b>Abstract (englisch) ..... 10</b>
<b>3</b>	<b>Einführung ..... 11</b>
3.1	Gegenstand des Forschungsvorhabens ..... 11
3.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts ..... 11
3.3	Planung und Ablauf des Projekts ..... 11
<b>4</b>	<b>Stand des Wissens (wissenschaftlich und technisch) ..... 13</b>
<b>5</b>	<b>Material und Methoden ..... 15</b>
5.1	Aufbereitungsversuche ..... 15
5.2	Verdaulichkeitsversuch mit Broilern ..... 16
5.3	Mastversuch ..... 18
5.4	NIRS-Kalibration mit anschließender Validierung ..... 19
5.5	Einbau eines NIRS-Sensors in eine dezentrale Aufbereitungsanlage ..... 21
<b>6</b>	<b>Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse ..... 23</b>
6.1	Ergebnisse zu den Aufbereitungsversuchen ..... 23
6.2	Ergebnisse zur Aufbereitungsqualität in der Praxis ..... 24
6.3	Ergebnisse aus dem Verdaulichkeitsversuch mit Broilern ..... 25
6.4	Ergebnisse aus dem Wachstumsversuch mit Broilern ..... 27
6.5	Ergebnisse zur NIRS-Kalibration ..... 33
6.6	Ergebnisse zur Langzeitvalidierung der Kalibrationsmodelle ..... 35
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse ..... 37</b>
7.1	Praxisrelevante Methoden ..... 37
7.2	Wissenschaftliche Methoden ..... 39
<b>8</b>	<b>Ergebnisse Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse ..... 44</b>
<b>9</b>	<b>Gegenüberstellung ursprünglich geplante zu tatsächlich erreichten Zielen ..... 45</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung ..... 46</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis ..... 49</b>
<b>12</b>	<b>Veröffentlichungen, Vorträge und weitere Präsentationen und Arbeiten ..... 53</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Seite

<i>Abbildung 1: Sojabeprobung in einer dezentralen Aufbereitungsanlage .....</i>	19
<i>Abbildung 2: Vermessung einer Sojaprobe mit dem FT-NIR-Spektrometer Tango (Bruker Optics)19</i>	
<i>Abbildung 3: Chemische Analyse von Sojaprobe im LTE-Labor.....</i>	19
<i>Abbildung 4: Einbauort des NIRS-Sensors in der Prozessstrecke im Bereich des Wirbelstromrockners.....</i>	21
<i>Abbildung 5: Eingebauter NIRS-Sensor in der Prozessstrecke im Bereich des Wirbelstromrockners.....</i>	21
<i>Abbildung 6: Blick auf das Substrat hinter dem NIRS-Sensor in der Prozessstrecke im Bereich des Wirbelstromrockners.....</i>	21
<i>Abbildung 7: Trypsininhibitoraktivität (TIA) und Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) gezielt unterschiedlich aufbereiteter Sojakuchen für die Fütterungsversuche an Masthühnern und zur Erstellung einer NIRS-Kalibration.....</i>	23
<i>Abbildung 8: Trypsininhibitoraktivität (TIA) und Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) unterschiedlicher Sojachargen aus Praxisanlagen sowie von Landhändlern (Sojaextraktionsschrot) aus den Jahren 2011 bis 2017, real verfüttert .....</i>	25
<i>Abbildung 9: Trypsininhibitoraktivität (TIA) unterschiedlicher Sojachargen aus Praxisanlagen sowie von Landhändlern (Sojaextraktionsschrot, SES) aus dem Jahr 2018 und 2019, real verfüttert</i>	25
<i>Abbildung 10: Lebendmasse und Gesamtzunahme über die Versuchsperiode bei unterschiedlicher TIA (mg/g) in der fertigen Futtermischung .....</i>	26
<i>Abbildung 11: Verdaulichkeitskoeffizient von Lysin (%) bei unterschiedlicher TIA (mg/g) in der fertigen Futtermischung .....</i>	26
<i>Abbildung 12: Verdaulichkeitskoeffizient von Methionin + Cystein (%) bei unterschiedlicher TIA (mg/g) in der fertigen Futtermischung.....</i>	27
<i>Abbildung 13: Zusammenhang zwischen der Trypsininhibitoraktivität (TIA) und dem hitzegeschädigten Lysin (HDL) in der Aufzuchtphase (A) und der Endmastphase (B), als auch TIA im Vergleich zur Proteinlöslichkeit in Kalilauge (KOH) in der Aufzucht- (C) und der Endmastphase (TIA-, HDL- und KOH-Werte jeweils in der fertigen Futtermischung).....</i>	28
<i>Abbildung 14: Wirkung der Trypsininhibitoraktivität (TIA) und der Proteinlöslichkeit in Kalilauge (KOH) in verarbeitetem Sojakuchen, der an Masthühner verfüttert wurde, auf das Lebendgewicht (A, B), die Gewichtszunahme (C, D) und die Futterverwertung (E, F) in der Aufzuchtphase (TIA- und KOH-Werte jeweils in der fertigen Futtermischung).....</i>	29
<i>Abbildung 15: Wirkung der Trypsininhibitoraktivität (TIA) und der Proteinlöslichkeit in Kalilauge (KOH) in verarbeitetem Sojakuchen, der an Masthühner verfüttert wurde, auf das Lebendgewicht (A), die Futterverwertung (B) und das Gewicht der Bauchspeicheldrüse (C, D) in der Endmastphase (TIA- und KOH-Werte jeweils in der fertigen Futtermischung).....</i>	30
<i>Abbildung 16: Zusammenhang zwischen der Trypsininhibitoraktivität (TIA) in der fertigen Futtermischung und der Futterverwertung in der Aufzuchtphase von Broilern .....</i>	30
<i>Abbildung 17: Gewicht des Schlachtkörpers (g) mit steigender TIA (mg/g) im Futter (links) und prozentualer Anteil des Brustmuskels am Schlachtkörper bei steigender TIA (mg/g) im Futter (rechts)</i>	31

<i>Abbildung 18: Absolute (links) und relative (rechts) Organmassen in Gramm bzw. in Prozent bei unterschiedlichen TIA-Gehalten (mg/g TM) im Futter .....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 19: Prozentualer Anteil an Wasser (A), Trockenmasse (B), Rohasche (C), Rohprotein (D) und Rohfett (E) an der Ganzkörperzusammensetzung bei unterschiedlichen TIA-Gehalten (mg/g TM) im Futter.....</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 20: NIRS-Schätzung der Trypsininhibitoraktivität in Sojaprobe dezentraler Aufbereitungsanlagen (Hoffmann et al., 2017).....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 21: Erweitertes Kalibrationsmodell für TIA mit den statistischen Kennzahlen für die Güte des Modells.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 22: Neu entwickeltes Kalibrationsmodell für KOH mit den statistischen Kennzahlen für die Güte des Modells.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 23: Langzeitvalidierung des TIA-Gehalts in einer dezentralen Aufbereitungsanlage... </i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 24: Langzeitvalidierung der Eiweißlöslichkeit (KOH) in einer dezentralen Aufbereitungsanlage.....</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 25: Entnahme von behandelten Sojabohnen aus der Prozessstrecke einer dezentralen Aufbereitungsanlage.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 26: Beprobung von Sojachargen im Lager mit einem Probennehmer .....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 27: Aufbreitungsanlage bei der Firma Amandus Kahl.....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 28: Entölung mittels Schneckenpressen bei der Firma Meika.....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 29: Kühlstrecke bei der Firma Amandus Kahl.....</i>	<i>38</i>

## Tabellenverzeichnis

	Seite
<i>Tabelle 1: Unterschiedliche Verfahren und Intensitäten der Sojaaufbereitung (ST: short time conditioning, LT: long time conditioning, Exp.: Expander) .....</i>	16
<i>Tabelle 2: Versuchsrationen mit Basisration, Zulagestufe 1 (15 % Sojakuchen) und Zulagestufe 2 (30 % Sojakuchen) (XP = Rohprotein) beim Verdaulichkeitsversuch .....</i>	17
<i>Tabelle 3: Inhaltsstoffe der Versuchsrationen "Aufzuchtmast" und "Endmast" beim Wachstumsversuch .....</i>	18
<i>Tabelle 4: Externe Test-Set Validierung mit zwei Kalibrationsmodellen (TIA, KOH) auf sechs Proben einer dezentralen Sojaaufbereitungsanlage .....</i>	35
<i>Tabelle 5: Beispiel einer Sojaprobe zur Variabilität des TIA-Gehalts nach Inhibitionswerten.....</i>	42

## Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
al.	andere (alia)
AS = AA	Aminosäure (amino acid)
ATR	abgeschwächte Totalreflexion
BA	Bachelorarbeit
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Co.	Compagnie
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
Diss.	Dissertation
Dr.	Doktor
DT	druckthermisch
EN	Europäische Norm
EST	Effizient Soja Toasten
Exp	Expander
FM	Frischmasse
FT	fouriertransformiert
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HDL	hitzebeschädigtes Lysin (heat degraded lysin)
HSWT	Hochschule Weihenstephan Triesdorf
HT	hydrothermisch
HTST	high temperature short time
i.d.R.	in der Regel
ILT	Institut für Landtechnik und Tierhaltung an der LfL
ISO	International Organization for Standardization
KG	Kommanditgesellschaft
KOH	Eiweißlöslichkeit in Kalilauge
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Abkürzungsverzeichnis

---

LT	long time conditioning
LTE	Lehrstuhl für Tierernährung
LVFZ	Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum
MA	Masterarbeit
ME	scheinbare umsetzbare Energie (metabolisable energy)
NIR	Nah-Infrarot-Reflektion
NIRS	Nah-Infrarot-Reflektions Spektroskopie
OHG	Offene Handelsgesellschaft
PDI	Proteinlöslichkeit in Wasser
Prof.	Professor
R <sup>2</sup> oder r <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
RMSECV	Root Mean Square Error of Cross Validation
RPD	Ratio of standard deviation and standard error of prediction
SES	Sojaextraktionsschrot
SNV	Standard Normal Variate
ST	short time conditioning
Temp.	Temperatur
TIA	Trypsininhibitoraktivität
TiO <sub>2</sub>	Titandioxid
TM	Trockenmasse
TUM	Technische Universität München
u. a.	unter anderen/m
Ufr.	Unterfranken
VDLUFA	Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VQ	Verdaulichkeitsquotient
XP	Rohprotein
z. B.	zum Beispiel

## 1 Kurzfassung (deutsch)

Optimierung dezentraler Sojaaufbereitungsverfahren mittels Online-Prozesssteuerung über Nahinfrarot-Spektroskopie

Stefan Thurner\*, Andrea Stockl, Dominik Hoffmann, Sylvia Künz und Konstanze Kraft

\*Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Vöttingerstr. 36, 85354 Freising

Stefan.Thurner@LfL.Bayern.de

Sojabohnen die an Monogaster verfüttert werden müssen hitzebehandelt und mindestens teilentölt werden. Ziel der Hitzebehandlung ist die Reduktion des Gehalts an antinutritiven Inhaltsstoffen wie den Trypsininhibitoren, gemessen als Trypsininhibitoraktivität (TIA). Dabei besteht ein Zielkonflikt zwischen der notwendigen Reduktion der TIA und einer möglichen Eiweißschädigung durch die Maillard-Reaktion bei zu intensiver Hitzebehandlung. Daher wird mit der Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) und dem hitzegeschädigten Lysin (HDL) zusätzlich die Eiweißverfügbarkeit bestimmt. Die Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) ermöglicht eine Schnellbestimmung der TIA in der Rohbohne und im fertigen Produkt (z. B. Sojakuchen) sowie ein Monitoring während der Aufbreitung mittels Online Prozessüberwachung und –steuerung. Ebenso kann der Wert für KOH mittels NIRS geschätzt werden. Die Teilentölung vermeidet Einsatzgrenzen aufgrund des zu hohen Fettgehalts in der Ration.

Die Ergebnisse der Fütterungsversuche legen nahe, dass TIA so weit wie möglich reduziert werden muss um negativen Auswirkungen z. B. bei der Futtermittelverwertung aufgrund einer geringeren Aminosäurenverdaulichkeit zu vermeiden. Die damit einhergehende Eiweißschädigung erwies sich als weniger relevant. Weist die fertige Futtermischung einen um 1 mg TIA pro g Futter höheren Wert auf, hat dies zur Folge, dass man eine um 10 % schlechtere Futtermittelverwertung hat. In der fertigen Futtermischung sollte der TIA-Wert bei weniger als 2 mg TIA pro g Futter liegen, was je nach Futtermischung einem TIA-Gehalt von weniger als 3 mg pro g aufbereitetem Soja entspricht. Sojaextraktionsschrot erfüllt diese Vorgaben im Normalfall, da bei großen Ölmühlen laufend Laboranalysen stattfinden. Problematischer erwiesen sich einzelne Chargen aus dezentralen Aufbereitungsanlagen in Bayern. Daher wird empfohlen jede Charge vor der Verfütterung auf TIA zu untersuchen und Chargen mit höheren TIA-Gehalten in der Rinderfütterung einzusetzen.

## 2 Abstract (englisch)

Optimization of decentral soybean processing using online process control via near infrared spectroscopy

Stefan Thurner\*, Andrea Stockl, Dominik Hoffmann, Sylvia Künz and Konstanze Kraft

\*Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Vöttingerstr. 36, 85354 Freising

Stefan.Thurner@LfL.Bayern.de

Soybeans fed to monogastric animals need to be heat treated and partially deoiled. The aim of the heat treatment is the reduction of antinutritive substances like the trypsin inhibitors, analysed as trypsin inhibitor activity (TIA). Thereby a trade-off between the necessary reduction of TIA and a possible protein denaturation through the Maillard reaction due to an excessive heat treatment occurs. Therefore, protein solubility in potassium hydroxide (KOH) and heat degraded lysine (HDL) are additionally analysed to determine protein availability. Near infrared spectroscopy (NIRS) allows a fast estimation of TIA in the raw soybeans as well as in the processed product (e. g. soybean cake) and further during processing of soybeans as online process control. Also KOH can be estimated with NIRS. Partially deoiling avoids limitations of use in diets for monogastric animals due to high fat content.

The results of the conducted feeding trials suggested that TIA should be reduced in the processed product to a minimum in order to avoid a negative impacts e. g. on feed conversion rate due to low amino acid digestibility. The accompanying protein denaturation was insignificant. In case the ready mixed diet had 1 mg TIA per g diet more, the feed conversion rate was 10 % lower. Therefore the ready mixed diet should consist of less than 2 mg TIA per g diet which corresponds according to the mixture to less than 3 mg TIA per g processed soybean product. Soybean meal extract achieves these specifications normally, because large oil mills control the process with laboratory analysis frequently. Rather problematic where single batches from decentral soy bean processing plants in Bavaria. Therefore it is recommended to analyse each batch bevor it is feed and to use batches with higher TIA levels for ruminants.

### 3 Einführung

#### 3.1 Gegenstand des Forschungsvorhabens

Der Anbau von Sojabohnen in Deutschland hat in den letzten Jahren mit 29.200 Hektar Anbaufläche im Jahr 2019 stark zugenommen (MIERSCH, 2020). Somit stehen vermehrt heimisch erzeugte Sojaprodukte für eine regionale Vermarktung zur Verfügung. Die Verfütterung von Sojabohnen an Rinder erfordert vom Grundsatz her keine Hitzebehandlung. Damit Sojabohnen an Schweine und Geflügel verfüttert werden können, ist jedoch eine Hitzebehandlung zur Reduktion der antinutritiven Inhaltsstoffe wie der Trypsininhibitoren zwingend erforderlich. Dafür stehen neben den großen Ölmühlen, die diese im Rahmen der Hexanextraktion durchführen, auch einige dezentrale, meist kleinere Sojaaufbereiter zur Verfügung. Bei diesen werden unterschiedliche Aufbereitungsmethoden angewendet, wodurch sich die Frage stellt, welche der Aufbereitungsmethoden die antinutritiven Inhaltsstoffe ausreichend reduziert ohne das Eiweiß zu stark zu schädigen. Als Zielwert wird dabei eine Trypsininhibitoraktivität (TIA) von weniger als 4 mg/g (HERKELMAN ET ALIA (AL.), 1991) bei einer gleichzeitigen Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) zwischen 78 und 85 % (VAN EYS, 2012) als Maß für die Eiweißschädigung angestrebt.

#### 3.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Ziel des Projekts war es, die dezentrale Sojaaufbereitung mittels Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) über Online-Prozesssteuerung zu optimieren. Für eine bessere Einschätzung der Eignung von Sojakuchen aus verschiedenen Aufbereitungsverfahren und –intensitäten wurden Aufbereitungsversuche mit anschließenden Fütterungsversuchen an Masthähnchen durchgeführt, bei denen insbesondere die scheinbare praeecale Verdaulichkeit der Futtermittel analysiert wurde sowie die relevanten Produktionsparameter wie Futtermittelverwertung, tägliche Zunahmen oder Anteil wertvoller Fleischstücke erhoben und verglichen wurden. Aus den Ergebnissen der Fütterungsversuche und Laboranalysen konnte in ersten Ansätzen ein Online-System zur Prozesssteuerung auf Basis einer NIRS-Kalibration erstellt werden.

Ziel der Online-Überwachung war zum einen die Sicherstellung einer ausreichenden Reduktion der antinutritiven Substanzen und zum anderen die Vermeidung einer übermäßigen Hitzebehandlung. Infolge einer zu hohen Hitzeeinwirkung auf die Sojabohnen werden einzelne Aminosäuren denaturiert (Maillard-Reaktion) und die Verdaulichkeit aller Aminosäuren sinkt somit. Nach erfolgreicher Erstellung der NIRS-Kalibration und einer Erweiterung des Datensatzes sollte ein NIRS-System bei einer der vier bayerischen dezentralen Verarbeitungsanlagen eingesetzt werden und über ein entsprechendes Monitoring eine Verbesserung der Produktqualität überwacht und dokumentiert werden.

#### 3.3 Planung und Ablauf des Projekts

Als Grundlage für die Fütterungsversuche und für die Erstellung einer NIRS-Kalibration wurden zunächst zwei homogene Chargen Sojabohnen der Sorten Sultana (konventionell angebaute Sorte) und Merlin (ökologisch angebaute Sorte) ausgewählt und mit verschiedenen Verfahren aufbereitet (Dissertation (Diss.) Hoffmann). Die Sojabohnen wurden thermisch (bei der Firma Gerauer OHG in Kirchham), druckthermisch, hydrothermisch (beides bei der Firma Amadeus Kahl GmbH & Co KG in Reinbek) und durch ein spezielles Darrverfahren (bei der Firma EST GmbH in Mühlberg (Österreich)) hitzebehandelt und je nach Verfahren vorab oder anschließend mittels Schneckenpressen entölt (bei der Firma Meika Tierernährung GmbH in Großaitingen), so dass optimal aufbereiteter Sojakuchen sowie unterbehandelter und überbehandelter Sojakuchen für die Fütterungsversuche und als Grundlage für die NIRS-Kalibration erzeugt wurde. Alle angewendeten Verfahren stehen aktuell in der Praxis in dezentralen Aufbereitungsanlagen zur Verfügung. Ergänzend zu

diesen Aufbereitungsversuchen wurden in verschiedenen Zeiträumen Feldproben bei dezentralen Aufbereitungsanlagen und im Futtermittelhandel/ Lagerhaus gezogen, dem NIR-Spektrometer vorgelegt und anschließend bezüglich TIA und KOH analysiert um die Datengrundlage für die NIRS-Kalibrationserstellung nochmals breiter anzulegen (u. a. Bachelorarbeit (BA) Peter).

Der erste Fütterungsversuch wurde mit 91 Futtermitteln im Herbst 2015 am Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum (LVFZ) für Geflügel und Kleintiere Kitzingen durchgeführt. Dazu wurden zunächst die Versuchsfuttermitteln in der Futtermischanlage am Unteren Lindenhof der Universität Hohenheim hergestellt. Der Verdaulichkeitsversuch (Tierversuchsanzeigen-Nummer 55.2-DMS 2532-2-2164 der Regierung von Unterfranken (Ufr.)) wurde dann mit sechs Wiederholungen in mehreren Durchgängen mit Broilern durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Daten unter anderem (u. a.) zur Wachstumsleistung erhoben sowie gepoolte Chymusproben für die weiteren Laboranalysen gewonnen. Zur Bestimmung der scheinbaren präcecalen Verdaulichkeit war das Futter mit Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), einem unverdaulichen Futterzusatzstoff versetzt, über dessen Konzentrationsänderung im Chymus im Vergleich zum Futter der Anteil der verdaulichen Aminosäuren bestimmbar ist. Dafür wurden die Chymusproben an der Uni Hohenheim im Labor des Fachgebiets für Tierernährung der Universität Hohenheim gefriergetrocknet und vermahlen und anschließend zusammen mit dem Futter auf  $\text{TiO}_2$  am Lehrstuhl für Tierernährung (LTE) der Technischen Universität München (TUM) untersucht. Die Analyse der Aminosäuren im Chymus und Futter wurden im Labor der Evonik Nutrition & Care GmbH in Hanau (Doktor (Dr.) Markus Wiltafsky) durchgeführt. Eine erste Auswertung der Daten erfolgte im Rahmen der Masterarbeit (MA) Aigner am LTE. Die weitere Datenauswertung wurde im Rahmen der Diss. Künz am LTE (Professor (Prof.) Dr. Wilhelm Windisch) in Kooperation mit dem Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) durchgeführt.

Im Rahmen der Diss. Hoffmann in Zusammenarbeit mit dem LTE wurde ein Wachstumsversuch (Tierversuchsgenehmigung-Nummer 55.2-2532-2-331 der Regierung von Ufr.) mit Broilern und 35 Futtermitteln (ebenfalls aus den zwei aufbereiteten Sojachargen) durchgeführt, um den Einfluss der verschiedenen Sojakuchenqualitäten auf die Wachstums- und Schlachtleistung der Broiler zu ermitteln. Die Futtermischungen wurden wiederum an Unteren Lindenhof der Universität Hohenheim hergestellt und die Fütterungsversuche erfolgten ebenfalls am LVFZ für Geflügel- und Kleintierhaltung Kitzingen mit sechs Wiederholungen in zwei Durchgängen. Die erhobenen Daten wurden im Rahmen der Diss. Hoffmann in Teilen bereits ausgewertet und publiziert. Im Rahmen der MA Riepl am LTE in Kooperation mit dem ILT wurden weitere Daten aus dem Wachstumsversuch ausgewertet. Die Publikation dieser weiteren Ergebnisse wird wiederum im Rahmen der Diss. Künz erfolgen.

Des Weiteren wurden die Daten zur NIRS-Kalibration aus der Diss. Hoffmann mit Felddaten aus den Jahren 2018/ 2019 erweitert und zusätzliche Kalibrationsmodelle erarbeitet. Als Nebeneffekt der umfangreichen Praxisanlagenbeprobungen konnte ein Screening der Sojaaufbereitungsqualitäten in den bayerischen dezentralen Aufbereitungsanlagen durchgeführt werden. Schlussendlich wurde ein NIR-Spektrometer in eine dezentrale Sojaaufbereitungsanlage im Bereich der Kühlstrecke eingebaut, die NIRS-Kalibration an dieses Spektrometer angepasst und somit die Online Prozessüberwachung demonstriert.

## 4 Stand des Wissens (wissenschaftlich und technisch)

Bei der Sojaaufbereitung in dezentralen Anlagen, von denen zum Beispiel (z. B.) derzeit fünf Anlagen in Bayern verfügbar sind (dreimal thermische Behandlung, je einmal hydrothermische Behandlung und druckthermische Behandlung), erfolgt die Steuerung der Anlage und insbesondere der Hitzeeinwirkung (Temperatur und Dauer) über Erfahrungswerte des Anlagenführers. In großen Sojaaufbereitungsanlagen, die in der Regel (i. d. R.) eine Hexanextraktionsanlage beinhalten, wird meist der Extraktionsprozess mittels NIRS über die Parameter Trockenmassegehalt der Sojabohnen vor sowie Entölungsgrad und Trockenmassegehalt nach der Extraktion gesteuert. In manchen Fällen werden auch die Parameter Rohproteingehalt und Rohfasergehalt mittels NIRS überwacht und zur Steuerung z. B. der Beimischung von Schalenanteilen verwendet. Weiterhin wird die NIRS-Technologie zur Überwachung verschiedener Qualitätsparameter eingesetzt. Die Hitzebehandlung, die in der Hexanextraktion i. d. R. zur Rückgewinnung und Entfernung des Lösungsmittels dient, bei der allerdings auch die Deaktivierung der antinutritiven Substanzen erfolgt, wird jedoch wie bei den dezentralen Anlagen ohne eine gezielte qualitätsorientierte Online-Prozessüberwachung und –steuerung durchgeführt (KÖBL, 2013; SCHLICHENMAIER UND SCHLICHENMAIER, 2013). Da je nach Ausgangsgehalt an antinutritiven Substanzen eine unterschiedlich lange Hitzeeinwirkung zur ausreichenden Deaktivierung dieser Substanzen erforderlich ist, kann eine gleichbleibende Futtermittelqualität nur über eine, diesen Aspekt berücksichtigende, Online-Prozessüberwachung und –steuerung sichergestellt werden. Die Ausgangsgehalte z. B. bei der TIA schwanken je nach Umwelt, Düngung und Sorte in der Größenordnung von 40 bis 140 mg/g Trockenmasse (TM) (VOLLMANN ET AL., 2003) und sollen durch die Hitzebehandlung auf einen Zielwert von unter 4 mg TIA/ g TM reduziert werden (ASAIM SEA, 2003; RHEE, 2000). CLARKE AND WISEMAN (2005) setzten den Zielwert für TIA mit unter 4-5 mg/g TM ähnlich an. Als indirekter Parameter zur Sicherstellung einer adäquaten Hitzebehandlung und somit der Reduktion der antinutritiven Substanzen dient die Ureaseaktivität. Man misst dabei die Restaktivität eines für die Sojabohne charakteristischen Enzyms, der Urease. Wobei der Zielwert so definiert ist, dass aus einer definierten Harnstofflösung bei 30 °C nicht mehr als 0,3 mg/g TM Stickstoff in Form von Ammoniak freigesetzt werden darf (MONARY, 1989). Anhand dieser Freisetzung von Stickstoff wird dann auf die Restaktivität der TIA geschlossen. Generell soll bei der Hitzebehandlung jedoch das Protein beziehungsweise (bzw.) einzelne Aminosäuren nicht zu stark geschädigt werden. Zur schnellen Beurteilung einer möglichen Schädigung werden zwei Verfahren, die Bestimmung der Proteinlöslichkeit in Wasser (Protein dispersability index, PDI) und in 0,2 %-iger KOH verwendet. Für den PDI wurde von MONARY (1989) 15 bis 28 % und von VAN EYS (2012) 15 bis 30 % empfohlen, wohingegen BATAL ET AL. (2000) den Bereich auf 15 bis 45 % erweiterten. Für KOH empfahl VAN EYS ET AL. (2004) einen Richtwert zwischen 78 – 85 %.

SAMADI UND YU (2011) haben bereits gezeigt, dass im mittleren Infrarotbereich eine Hitzeschädigung der molekularen Eiweißstruktur bei Soja gut nachweisbar ist. Diese Technik ist allerdings nur für den Einsatz im Labor verfügbar, da die Messung mit einer reduzierten Eindringtiefe (Einsatz der abgeschwächten Totalreflexionstechnik (Attenuated Total Reflection, ATR)) der mittleren Infrarotstrahlung in das zu untersuchende Material durchgeführt wird, was beim Online-Einsatz im Aufbereitungsprozess zu Problemen bei der Probenpräsentation führen würde. Die Firma Evonik Industries AG hat eine Kalibration für NIRS erarbeitet, um über das AMINORED®-Verfahren hitzgeschädigte Proben zu identifizieren und den Grad der Hitzeschädigung zu ermitteln und um in einem zweiten Schritt die Verdaulichkeitskoeffizienten der einzelnen Aminosäuren anzupassen (HELMBRECHT ET AL., 2010; FONTAINE ET AL., 2007; LLAMES UND FONTAINE, 1994). Die Untersuchung mit dieser neuen Analysemethode von z. B. Sojaextraktionsschrot erfolgt jedoch derzeit nur im Labor. Bisher wurden noch keine Kalibrationen für eine Online-Überwachung der Produktqualität insbesondere hinsichtlich des TIA-Gehalts erstellt.

Nach einer aktuellen Recherche besteht auch kein Patent für eine derartige Anwendung. Weiterhin wurden alle bisherigen NIRS-Kalibrationen für Sojaextraktionsschrot mit einem sehr niedrigen Restölgehalt erstellt und sind daher wohl nicht für teilentöle oder vollfette Produkte geeignet. Es wurde bereits eine große Zahl an Fütterungsversuchen mit unterschiedlich aufbereitetem Soja u. a. an Masthühnern und Schweinen durchgeführt. Die Fütterungsversuche konnten zeigen, dass sowohl eine zu kurze Hitzebehandlung als auch eine zu intensive Hitzebehandlung von Soja, der dann in unterschiedlichen Anteilen in der Futtermischung eingesetzt wurde, zu teilweise drastischen Leistungseinbußen in Form von z. B. geringeren Zuwachsraten oder auch einer geringeren Futtermittelaufnahme führen (z. B. HEGER ET AL., 2016; LINDERMAYER ET AL., 2010; AHMED, 2001).

## 5 Material und Methoden

In diesem Projekt wurden zu anfangs Sojakuchen in unterschiedlichen Verfahren aufbereitet. Ziel war es, ein breites Spektrum an unterschiedlichen Qualitäten zu generieren. Das gewählte Qualitätsmerkmal war die TIA und KOH. Diese Daten wurden im zweiten Schritt im Tiermodell validiert. Dazu wurden zwei Fütterungsversuche mit schnell wachsenden Mastbroilern durchgeführt. Im ersten Versuch wurde der Einfluss unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren und Intensitäten auf die Aminosäureverfügbarkeit untersucht. In einem weiteren Fütterungsversuch wurde dann die Wirkung einer variierenden TIA und KOH auf die Wachstums- und Schlachtleistung von Mastbroilern genauer betrachtet. Im letzten Teil des Projektes wurde eine NIRS Kalibration für Sojaprodukte entwickelt und anschließend in einer Praxisanlage validiert.

### 5.1 Aufbereitungsversuche

Ausgangsmaterial für diese Versuchsreihe und die anschließenden Fütterungsversuche waren zwei unterschiedliche Sojasorten: Sultana und Merlin. Die beiden Sojachargen wurden anhand ihrer TIA ausgewählt. Sultana (37,3 mg TIA /g TM) wurde konventionell angebaut und in Bayern geerntet. Merlin (40,5 mg TIA /g TM) wurde unter ökologischen Bedingungen in Rumänien angebaut. Beide Sorten wurden folgendermaßen aufbereitet:

#### *Thermische Behandlung:*

Beim thermischen Verfahren wurden die rohen Sojabohnen zuerst angefeuchtet und anschließend nach dem „high temperature short time“ (HTST) Prinzip getoastet (Temperatur (Temp.): 115 °C; Dauer: 40 s). Nach dem Abkühlen wurden die Sojabohnen mittels Schneckenpressen teilentölt. Die thermische Behandlung fand auf dem Betrieb Gerauer OHG in Kirchham mithilfe eines Toasters (THURNER ET AL., 2013) und die Entölung bei der Firma Meika Tierernährung GmbH in Großaitingen mithilfe einer Schneckenpresse (THURNER UND ZEINDL, 2013) statt.

#### *Hydrothermische Behandlung:*

Im hydrothermischen Verfahren wurden die Sojabohnen mittels Wasserdampf bearbeitet (Temp.: 103 °C; Dauer: 2400 s) und nach dem Abkühlen durch Schneckenpressen teilentölt. Die Behandlung fand bei der Firma Amandus Kahl GmbH & Co KG in Reinbek und die Entölung bei der Firma Meika Tierernährung GmbH in Großaitingen statt. In Reinbek stand eine Versuchsanlage mit verschiedenen, in der Praxis eingesetzten Komponenten (z. B. Dämpfbehälter, Expander) zur Verfügung (vergleichbar zur hydrothermischen Anlage beschrieben in THURNER ET AL., 2013). Da mithilfe dieser großtechnischen Versuchsanlage die verschiedenen Aufbereitungsintensitäten für kleinere Chargen hergestellt werden konnten, wurde statt einer Praxisanlage auf diese Anlage zurückgegriffen.

#### *Druckthermische Behandlung:*

Für die druckthermische Behandlung wurden die vollfetten Rohbohnen zunächst mittels Schneckenpressen entölt und anschließend mit Wasserdampf behandelt (Temp.: 103 °C; Dauer: 600 s). Danach wurde der Sojakuchen mit einem Expander (circa (ca.) 30 bar, Temp.: 130 °C; Dauer: 1-5 s je nach angestrebter Variante) weiterbehandelt (vergleichbar zum Expander beschrieben in THURNER ET AL., 2013). Abschließend wurde der behandelte Sojakuchen heruntergekühlt. Der hydro- und druckthermische Prozess fand wiederum bei der Firma Amadeus Kahl GmbH & Co KG in Reinbek und die Entölung bei der Meika Tierernährung GmbH in Großaitingen statt.

#### *Darrthermische Behandlung:*

Beim darrthermischen Verfahren wurden die rohen Bohnen mit zirkulierendem Wasserdampf behandelt (Temp.: 160 °C; Dauer 1800 s). Nach dieser thermischen Behandlung wurden die Soja-

bohnen durch ein mechanisches Verfahren mittels Schneckenpressen entölt und dann abgekühlt. Die gesamte Behandlung fand bei der Firma EST GmbH in Mühlberg (Österreich) statt.

Für jedes dieser Verfahren wurden zusätzlich unterschiedliche Intensitätsstufen getestet (Tabelle 1) um ein möglichst breites Spektrum von unter- über optimal bis überbehandelten Varianten zu erzeugen.

Auf diesem Weg entstanden 45 Sojakuchen. Die im Labor ermittelten TIA-Gehalte der Sojakuchenvarianten erstreckten sich von 0,25 bis 23,6 mg/ g TM, die Werte für das hitzegeschädigte Lysin (HDL, heat-degraded lysine) lagen zwischen 1,4 bis 8,6 g/ kg TM und KOH befand sich im Bereich von 65,5 bis 97,6 %. Diese Varianten wurden anschließend in zwei Fütterungsversuchen eingesetzt um den limitierenden Effekt der TIA und der Eiweißschädigung auf die Verdaulichkeit einzelner Aminosäuren und die Mast- und Schlachtleistung von wachsenden Mastbroilern zu quantifizieren.

*Tabelle 1: Unterschiedliche Verfahren und Intensitäten der Sojaaufbereitung (ST: short time conditioning, LT: long time conditioning, Exp.: Expander)*

<b>thermische Behandlung</b>	<b>hydrothermische Behandlung</b>	<b>druckthermische Behandlung</b>	<b>darrthermische Behandlung</b>
[°C; min]	[ST: min, LT: min, Exp.: °C]		[°C; min]
115; 0,6	ST: 0; LT: 00; Exp.: 0	ST: 1; LT: 00; Exp.: 110	130; 40
120; 0,6	ST: 1; LT: 03; Exp.: 0	ST: 1; LT: 03; Exp.: 110	160; 30
	ST: 1; LT: 12; Exp.: 0	ST: 1; LT: 03; Exp.: 130	190; 20
	ST: 1; LT: 48; Exp.: 0	ST: 1; LT: 12; Exp.: 110	190; 30
		ST: 1; LT: 12; Exp.: 130	
		ST: 1; LT: 48; Exp.: 110	
		ST: 1; LT: 48; Exp.: 130	

## 5.2 Verdaulichkeitsversuch mit Broilern

Ausgangsmaterial für diesen Versuch waren die mittels vier unterschiedlicher Verfahren (thermisch, hydrothermisch, druckthermisch und darrthermisch) aufbereiteten Sojakuchen von zwei Sorten (vergleiche Kapitel 5.1) aus denen am Unteren Lindenhof der Universität Hohenheim die Futtermischungen erstellt wurden. Die TIA in den fertigen Futtermischungen variierte von 0,4 bis 8,5 mg/g TM. Die Sojavarianten wurden in zwei Zulagestufen (15 % und 30 %) in eine Basisration im Austausch mit Maisstärke in die Futterrationen eingemischt. Eine Ration ohne Beimischung von Sojakuchen diente als Kontrollration (Tabelle 2). Insgesamt entstanden auf diesem Wege 91 Versuchsfuttermischungen bzw. -varianten. Allen Varianten wurde 0,5 % TiO<sub>2</sub> als unverdaulicher Marker beigefügt.

Die Fütterungsversuche zur Ermittlung der scheinbaren preacecalen Verdaulichkeit fanden am LVFZ für Geflügel- und Kleintierhaltung in Kitzingen statt (Tierversuchsanzeige Nummer: 55.2-DMS 2532-2-2164). In vier konsekutiven Versuchen wurden insgesamt 5.490 männliche Eintagsküken (der Herkunft Ross 308) eingestallt. Die Tiere wurden von Tag 1 bis einschließlich Tag 14 mit herkömmlichen Kükenstarter aufgezogen (Rohprotein 215 g/ kg TM, 12,5 MJ ME/ kg TM). An Tag 15 wurden die Tiere gewogen und zufällig den Versuchsrationen zugeteilt (10 Broiler pro Abteil, 6 Wiederholungen pro Variante). Die Versuchsrationen und Wasser standen den Tieren ad libitum zur Verfügung. An Tag 22 wurden die Broiler erneut gewogen und mittels Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) Begasung getötet. Den Tieren wurde sofort nach Eintreten des Todes der Bauchraum geöffnet und das Dünndarmstück zwischen dem Meckel'schem Divertikulum und zwei Zentimeter vor der Abzweigung der Blinddärme entnommen. Die Sektion wurde mit bidestilliertem Wasser gespült und anschließend für jedes Abteil gepoolt (KLUTH ET AL., 2005). Die Proben wurden an der

Universität Hohenheim im Labor des Fachgebiets für Tierernährung bei -20 °C tiefgefroren, gefriergetrocknet und gemahlen.

*Tabelle 2: Versuchsrationen mit Basisration, Zulagestufe 1 (15 % Sojakuchen) und Zulagestufe 2 (30 % Sojakuchen) (XP = Rohprotein) beim Verdaulichkeitsversuch*

<b>Komponenten (%)</b>	<b>Grundration 175 g/kg XP</b>	<b>Zulagestufe 1 220 g/kg XP</b>	<b>Zulagestufe 2 300 g/kg XP</b>
Maisstärke	28,00	14,00	0,00
Experimenteller Sojakuchen	0,00	15,00	30,00
Sojaöl	4,00	3,00	2,00
Mais	-----	46,15 -----	-----
Sojaextraktionsschrot	-----	10,00 -----	-----
Kartoffelprotein	-----	5,00 -----	-----
Titandioxid	-----	0,50 -----	-----
Monocalciumphosphat	-----	2,51 -----	-----
Natriumchlorid	-----	0,51 -----	-----
Futterkalk	-----	1,15 -----	-----
Mineralfutter	-----	0,15 -----	-----
Vitaminvormischung	-----	0,20 -----	-----
Cholin 50 %	-----	0,20 -----	-----
L-Lysin HCl	-----	0,62 -----	-----
DL-Methionin	-----	0,20 -----	-----
L-Arginin	-----	0,55 -----	-----
L-Tryptophan	-----	0,03 -----	-----
L-Threonin	-----	0,23 -----	-----

Im LTE-Labor (Lehrstuhl für Tierernährung der Technischen Universität München, Liesel-Beckmann-Strasse 2, 85354 Freising) wurden die TIA (DIN EN ISO 14902:2002-02), KOH (DIN EN ISO 14244:2014-02) TiO<sub>2</sub> (BRANDT AND ALLAM, 1987) sowie die Rohnährstoffe nach Weender Analyse (VDLUFÄ, 2012) der einzelnen Sojakuchen und der Futtermischungen aus beiden Versuchen bestimmt. Die Untersuchung der Aminosäuren (AS) in den Futter- und Chymusproben des Verdaulichkeitsversuchs erfolgte (nach LLAMES AND FONTAINE, 1994) im Labor der Evonik Industries AG (Industriepark Wolfgang, Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau).

Anhand der Ergebnisse zur TiO<sub>2</sub>-, Weender- und AS-Analyse im Futter als auch in den Chymusproben wurde mithilfe untenstehender Formel ein Verdaulichkeitskoeffizient für Rohprotein, der Summe der essentiellen und nicht-essentiellen Aminosäuren, sowie für jede einzelne Aminosäure berechnet.

$$VQ_{AS\text{ Futter}} = 100 - \left( \frac{TiO_2\text{ Futter} \times AA_{Chymus}}{TiO_2\text{ Chymus} \times AA_{Futter}} \right)$$

(VQ = Verdaulichkeitsquotient, TiO<sub>2</sub> = Titandioxid, AS = AA = Aminosäure = amino acid)

Die scheinbare praecaecale Aminosäurenverdaulichkeit der experimentellen Sojakuchen konnte dann durch lineare Regression berechnet werden (RODEHUTSCORD ET AL., 2004). Zusätzlich wurden auch die täglichen Zunahmen, die Futteraufnahme und die Futterverwertung berechnet. Alle

Parameter wurden mittels linearer Regression statistisch ausgewertet. (Die Werte a und b der Regressionsgeraden werden auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet dargestellt.)

### 5.3 Mastversuch

Nachdem der Einfluss auf die Verfügbarkeit einzelner AS untersucht wurde, wurde zusätzlich ein Fütterungsversuch durchgeführt, um den Einfluss einer variierenden TIA auf die Wachstumsleistung, Schlachtleistung und Körperzusammensetzung von Mastbroilern zu charakterisieren.

Für diesen Versuch (Tierversuchsgenehmigungsnummer 55.2-2532-2-331 der Regierung von Ufr.) wurden 34 Sojavarianten aus dem bereits beschriebenen Aufbereitungsversuchen eingesetzt. Diese Sojavarianten wurden wiederum am Unteren Lindenhof der Universität Hohenheim in eine Basisration eingemischt, die hauptsächlich aus Mais und Weizen bestand (Tabelle 3). Als Kontrollvariante wurde herkömmlicher Sojaextraktionsschrot verwendet, sodass insgesamt 35 Versuchsvarianten mit einer TIA von 0,3 bis 8,5 mg/g TM in der fertigen Futtermischung entstanden. 1.680 männliche Broiler (der Herkunft Ross 308) wurden in zwei konsekutiven Durchgängen eingestellt. Von Tag 1 bis Tag 10 stand den Küken konventioneller Kükenstarter ad libitum zur Verfügung. An Tag 11 wurden die Tiere gewogen, mit Flügelmarken markiert und zufällig auf die Versuchsvarianten aufgeteilt. (8 Tiere pro Abteil, 6 Replikate pro Futtervariante). Bis einschließlich Tag 23 wurden die Tiere mit einem Aufzuchtmastfutter gefüttert, das 35 % Sojakuchen enthielt. An Tag 24 wurde das Gewicht der Tiere erneut ermittelt und das Futter wurde auf eine Endmastration umgestellt, der 25 % des Sojakuchens beigemischt waren. Der Versuch endete an Tag 35. Hier wurde das Lebendgewicht erhoben, anschließend wurden die Tiere mittels Elektrobe- täubung und Entbluten oder Genickbruch (Tiere für Ganzkörperanalyse) getötet. Jeweils zwei Tiere pro Abteil wurden für die Untersuchung der Körperzusammensetzung (Ganzkörperanalyse) ausgewählt. Diese Tiere wurden nach der Schlachtung manuell gerupft. Federn und Körper wurden für weitere Analysen bei -20 °C tiefgefroren. Die übrigen Tiere wurden nach der Schlachtung zerlegt. Der Schlachtkörper, die Teilstücke und die inneren Organe (Pankreas, Magen, Herz, Leber) wurden gewogen.

*Tabelle 3: Inhaltsstoffe der Versuchsrationen "Aufzuchtmast" und "Endmast" beim Wachstumsversuch*

Komponenten (%)	Aufzuchtmast	Endmast
Sojakuchen bzw. Sojaextraktionsschrot	35.0	25.0
Mais	50.7	45.4
Weizen	11.1	26.3
Monocalciumphosphat	1.17	1.35
Calciumcarbonat	0.83	0.89
Vitamin Vormischung	0.63	0.50
Natriumbikarbonat	0.36	0.41
Sojaöl	0.20	0.23
Natriumchlorid	0.07	

Die Sojakuchen, sowie die Futtervarianten wurden wiederum im LTE-Labor auf TIA, KOH-lösliches Rohprotein und Rohnährstoffe anhand der bereits genannten Methoden untersucht. Weiterhin wurde die Peroxidzahl (nach VDLUFA, 2012) für die verschiedenen Futtermischungen und HDL (für die Futtermischungen und den Sojakuchen; untersucht nach PAHM ET AL., 2008) in einem weiteren Labor der TUM (Labor des Forschungszentrums Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität, Alte Akademie 3, 85354 Freising-Weihenstephan) analysiert. Zudem wurden die eingefrorenen Körper für die Ganzkörperanalyse mit Hilfe eines Cutters an der Hochschule

Weihenstephan Triesdorf (HSWT) homogenisiert und mittels Weender-Analyse im LTE-Labor analysiert (VDLUFA, 2012). Die Federn wurden getrocknet und anschließend wurde im LTE-Labor der TM-Gehalt sowie der Rohproteinanteil bestimmt (VDLUFA, 2012). Die AS im Futter des Wachstumsversuchs wurden (außer Tryptophan und Threonin nach BRUGGER ET AL., 2016) ebenfalls im LTE-Labor untersucht.

Für die statistische Auswertung wurden die tierindividuellen Daten abteilweise zusammengefasst und Mittelwerte gebildet. Die 35 Werte der Aufzuchtmast und der Endmast wurden separat mittels linearer Regression betrachtet, wobei TIA als unabhängige Variable festgelegt wurde. Zusätzlich wurde, wenn es möglich war, eine Broken-Line-Analyse vorgenommen.

#### 5.4 NIRS-Kalibration mit anschließender Validierung

Ein im ersten Projektabschnitt erarbeitetes Kalibrationsmodell für verarbeitete Sojabohnen zur Optimierung der Wärmebehandlung in dezentralen Sojaverarbeitungsanlagen (HOFFMANN ET AL., 2017) wurde mit Sojabohnen aus den Jahren 2018 und 2019 erweitert. Beprobung (Abbildung 1) wurden dazu sechs unterschiedliche Anlagen mit verschiedenen Aufbereitungsmethoden (thermisch, druckthermisch, hydrothermisch und darrthermisch, sowie eine Hexanextraktionsanlage), die bereits teilweise im originären Kalibrationsdatensatz zu finden waren.

Bei der Beprobung der Anlagen wurden die Sojabohnen jeweils als Duplikate genommen (ca. 500 g pro Beutel), wobei anschließend eine der Proben mit einem Fouriertransformierter- (FT-) NIR-Spektrometer (Tango, Bruker Optics GmbH 2017) in dreifacher Wiederholung gescannt (Abbildung 2) und die zweite Probe bis zur Analyse tiefgefroren wurde. Die chemischen Analysen der Sojabohnen auf TIA erfolgten in Eigenregie im Labor des LTE (TUM) nach DIN EN ISO 14902:2002-02 (Abbildung 3). Die Proben wurden im LTE-Labor vom LTE-Personal zusätzlich auf KOH, TM-Gehalt und Rohprotein anhand der bereits erwähnten Methoden analysiert.



Abbildung 1: Sojabeprobung in einer dezentralen Aufbereitungsanlage



Abbildung 2: Vermessung einer Sojabohnenprobe mit dem FT-NIR-Spektrometer Tango (Bruker Optics)



Abbildung 3: Chemische Analyse von Sojabohnen im LTE-Labor

Das bereits vorhandene Kalibrationsmodell für TIA (HOFFMANN ET AL., 2017) konnte erweitert werden und für KOH wurde ein weiteres Kalibrationsmodell mit der Kalibrierungssoftware OPUS 7.5 der Bruker Optics GmbH entwickelt.

Bei der Kalibrationserstellung mit der Hauptkomponentenanalyse wurden die Spektren modifiziert und einer Vorverarbeitung (1. Ableitung und Standard Normal Variate, mit 17 Glättungspunkten) unterzogen (ausgewählt mit der Optimierungsroutine der Software Opus), um unerwünschte Signale zu reduzieren, oder bestimmte Signale stärker hervorzuheben.

#### ***Derivativspektroskopie:***

Die Derivativspektroskopie (Ableitung) ist die älteste Methode der Datentransformation um Streulichteffekte und konstantes Hintergrundrauschen zu eliminieren. Sie ist bestens geeignet Verschiebungen der Spektren in der Basislinie zu entfernen und sie verstärkt zudem die spektrale Auflösung. Sich überlagernde Banden werden deutlicher hervorgehoben und besser erkennbar (KESSLER, 2007).

#### ***Standard Normal Variate (SNV):***

Die Standardisierung der Spektren (SNV) wird zur Korrektur von Streueffekten verwendet. Dabei wird ein Mittelwert und die Standardabweichung der Spektrenwerte eines kompletten Spektrums (oder Teilbereichs des Spektrums) berechnet (KESSLER, 2007). Damit entfernt man die Änderung der Steigung und des Offsets aus den Spektren, die von der Streuung und unterschiedlicher Partikelgröße verursacht wurden.

Die gewählten Wellenlängenbereiche für beide Kalibrationsmodelle lagen bei 9400-6096  $\text{cm}^{-1}$  und 4600-4248  $\text{cm}^{-1}$ . Dem Modell für TIA lagen 164 Kalibrationsproben (571 Kalibrationsspektren) mit sechs entfernten Ausreißerproben und dem Kalibrationsmodell für KOH lagen 66 Kalibrationsproben (199 Kalibrationsspektren) mit drei Ausreißern zugrunde.

Um die Güte des Kalibrationsmodells zu beurteilen wurde eine Kreuzvalidierung (interne Validierung) und eine Test-Set Validierung (externe Validierung) für TIA und KOH durchgeführt. Wichtige Kenngrößen dabei sind der Fehler der Kreuzvalidierung (RMSECV), das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und der RPD-Wert (Verhältnis von Standardabweichung und Standardfehler der Vorhersage).

#### ***RPD-Wert:***

Der RPD-Wert beschreibt die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Schätzfunktionen unabhängig von den zugrundeliegenden Messgrößen. Er ist einheitenlos wie das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  und daher über mehrere Merkmale vergleichbar. Je größer der RPD-Wert ist, desto geeigneter ist eine Kalibration für die Vorhersage der entsprechenden Proben. WILLIAMS UND SOBERING (1993) haben eine entsprechende Vorhersageleistung für den RPD-Wert erarbeitet. Ein RPD-Wert von 2 bis 3 ist für ein grobes Screening gut geeignet, wohingegen RPD-Werte deutlich über 3 bezeichnend für eine gute Kalibration sind.

#### ***Bias und slope:***

Der bias gibt die Abweichung des mittleren NIRS-Analysenwertes vom mittleren Analysenwert der Referenzmethode (systematischer Fehler, um den alle Proben im Durchschnitt falsch geschätzt werden) an, wohingegen slope die Steigung, bezogen auf die Regressionsgerade der NIRS-Analysenwerte, auf die Referenzwerte der Validierproben darstellt. Die Steigung sollte nahe 1 liegen. Bei größeren Abweichungen von 1 werden vor allem die Proben mit hohen und niedrigen Werten falsch geschätzt.

### 5.5 Einbau eines NIRS-Sensors in eine dezentrale Aufbereitungsanlage

Ein zweites FT-NIR-Spektrometer (Matrix-F, Bruker Optics GmbH) wurde in eine bereits beprobte dezentrale Aufbereitungsanlage (Meika Tierernährung, Großaitingen) eingebaut. In Abbildung 4 ist der geplante und realisierte Einbauort des NIR-Sensors im Bereich des Wirbelstromtrockners (nach der Hitzebehandlung) zu sehen. Dieser Bereich innerhalb der Verarbeitungsstrecke wurde gewählt, da dort zum einen Substrate der Rohbohne, aber auch zumeist die aufbereitete vollfette Sojaprobe vorbeiströmt. Abbildung 5 zeigt den eingebauten NIR-Sensor mit Lichtwellenleiter (5 m Länge), der zum abseitig stehenden Spektrometer führt. Das Spektrometer selbst ist zum Schutz vor Verschmutzung (Staub) und Erhaltung einer konstanten Temperatur in einem Klimaschrank untergebracht. Zusätzlich ist dort der Mess-Computer mit der Möglichkeit Einstellungen in der Datenaufzeichnung vorzunehmen zu finden. Abbildung 6 gewährt einen Blick hinter den NIR-Sensor auf das vorbeiströmende Substrat.

Die Kalibrationsmodelle, die auf dem FT-NIR-Spektrometer (Tango, Bruker Optics GmbH) erstellt wurden, mussten auf das zweite FT-NIR-Spektrometer (Matrix-F, Bruker Optics GmbH) übertragen und angepasst werden, da die Wellenlängenbereiche der beiden Spektrometer leicht voneinander abweichen. Für diese Modelle wurde eine frühere Version der Kalibrierungssoftware OPUS 7.0 der Bruker Optics GmbH verwendet. Die Spektren wurden der gleichen Datenvorbehandlung (1. Ableitung und Standardisierung der Spektren) unterzogen, wie bereits beschrieben.



Abbildung 4: Einbauort des NIRS-Sensors in der Prozessstrecke im Bereich des Wirbelstromtrockners



Abbildung 5: Eingebauter NIRS-Sensor in der Prozessstrecke im Bereich des Wirbelstromtrockners



Abbildung 6: Blick auf das Substrat hinter dem NIRS-Sensor in der Prozessstrecke im Bereich des Wirbelstromtrockners

---

Nach erfolgter Anpassung der Kalibrationsmodelle (TIA und KOH) wurden über einen Zeitraum von ca. 3 Wochen Spektren im laufenden Prozess in der dezentralen Aufbereitungsanlage erfasst. An den Wochenenden fand keine Aufnahme statt.

## 6 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

### 6.1 Ergebnisse zu den Aufbereitungsversuchen

Die verschiedenen Aufbereitungsverfahren mit denen die beiden Sojasorten behandelt wurden, generierten eine breite Spanne an TIA im erzeugten Sojakuchen mit unterbehandelten, optimal und überbehandelten Chargen. Einzig im darthermischen Verfahren konnten keinerlei zufriedenstellende Ergebnisse bezüglich überbehandelter Chargen mit niedrigen TIA-Werten unterhalb des bisherigen Zielwerts von 4 mg/g TM im Sojakuchen erzielt werden (Abbildung 7). Laut einer Studie von ARABA UND DALE (1990) deuten KOH-Werte unter 70 % auf eine Überbehandlung der Sojabohnen hin. Beim der darthermischen Aufbereitungsverfahren konnten sogar KOH-Werte bis fast 60 % erreicht werden. Bei allen drei anderen Aufbereitungsverfahren gab es zwar Varianten die sowohl über- (78 %), als auch unterbehandelt (85 %) waren, doch das Gros der Sojakuchen lag im Zielbereich (78-85 %) und wies keine Eiweißschädigung auf.

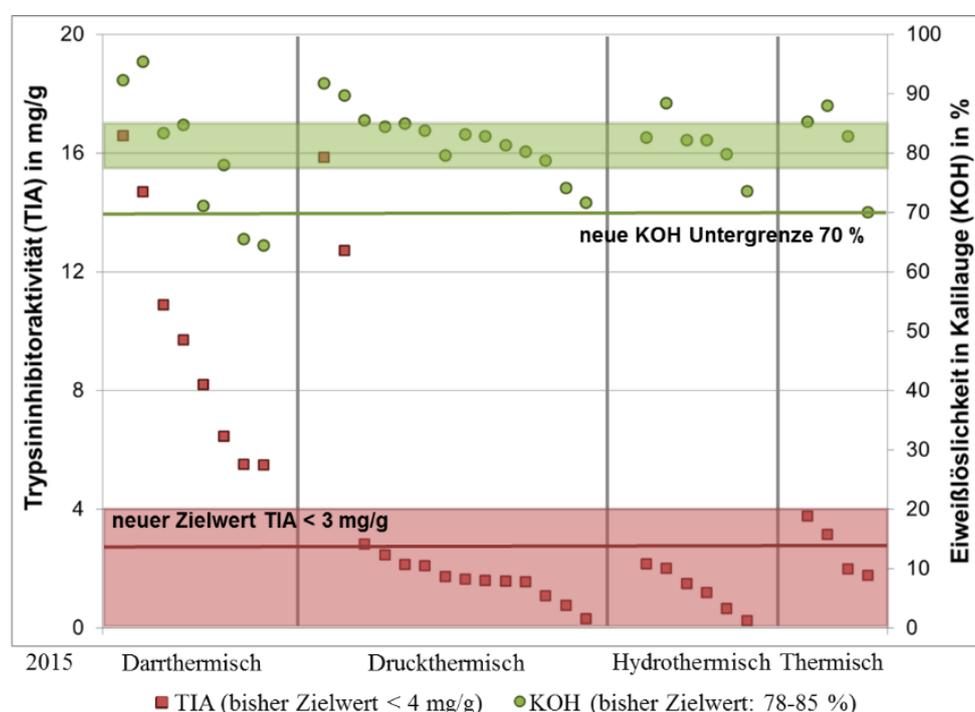


Abbildung 7: Trypsin-Inhibitoraktivität (TIA) und Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) gezielt unterschiedlich aufbereiteter Sojakuchen für die Fütterungsversuche an Masthühnern und zur Erstellung einer NIRS-Kalibration

Aus den Ergebnissen des Wachstumsversuchs (s. Kapitel 6.4) zeigte sich, dass die Proteinschädigung durch die Aufbereitungsverfahren nur niedrige Effekte erzeugten und bezüglich der Futterverwertung gegenüber TIA vernachlässigbar waren. Aufgrund dieser Ergebnisse kann eine Empfehlung für eine neue Untergrenze für KOH bei 70 % angesetzt werden und TIA sollte einen Zielwert von 3 mg/g TM möglichst unterschreiten bzw. so niedrig wie möglich sein.

Wenn TIA in den Futtermitteln den neuen Zielwert überschreitet, sollte die Aufbereitungsintensität unbedingt angepasst werden und die aufbereiteten Chargen mit höheren TIA-Gehalten nicht in der Fütterung von Monogastricern eingesetzt werden sondern stattdessen als Wiederkäuerfutter genutzt werden.

## 6.2 Ergebnisse zur Aufbereitungsqualität in der Praxis

In den Jahren 2011 (vor dem Projekt durchgeführte Arbeiten, THURNER ET AL., 2013) bis 2017 konnten an bayerischen Praxisanlagen verschiedene Sojachargen gesammelt werden, die einer Laboranalyse unterzogen wurden (Abbildung 8).

In den Jahren 2011 und 2012 konnten die unterschiedlichen Sojachargen einer druckthermischen und einer hydrothermischen Aufbereitungsanlage hinsichtlich des bisherigen TIA Zielwerts von 4 mg/g TM und des bisherigen KOH Zielwerts (78-85 %) nicht überzeugen, allerdings waren beide Parameter beim beprobten Sojaextraktionsschrot vortrefflich (vgl. THURNER ET AL., 2013). Somit wurde bereits 2012 die Empfehlung an die beprobten dezentralen Aufbereitungsanlagen herausgegeben, dass die Aufbereitungsintensität gesteigert werden sollte.

In einer weiteren studentischen Arbeit (BA Peter), für die Proben aus dezentralen Sojaaufbereitungsanlagen in den Jahren 2015 bis 2017 gesammelt wurden, konnte in der hydrothermischen Verarbeitung eine deutliche Verringerung der TIA-Werte bei der Variante hydrothermisch (HT) 1 (die bereits in den Jahren 2011 bis 2012 beprobt wurde) und bis weit unter den neuen TIA Zielwert von 3 mg/g TM in der Variante HT 2 (eine Anlage die zwischenzeitlich wieder geschlossen wurde und nur im Zeitraum dieser Arbeit Soja aufbereitete) erzielt werden. In der druckthermischen Aufbereitungsvariante lag nur etwa ein Drittel der Chargen im Zielbereich. Die Werte für KOH schwanken deutlich in den Jahren 2015-2017, besonders auffällig bei den hydrothermischen Aufbereitungsvarianten. Somit kann aus dem Praxisscreening in den Jahren 2015/16/17 bei dezentralen Sojaaufbereitungsanlagen erneut darauf geschlossen werden, dass die Aufbereitungsintensitäten weiter erhöht werden sollten (was im Hinblick auf KOH auch bei den Chargen mit hohen TIA-Werten möglich wäre). Alternativ sollten diese unterbehandelten Chargen nur für die Fütterung von Wiederkäuern verwendet werden.

Die Sojaprobe (69 Proben aus 6 Aufbereitungsanlagen) aus den Jahren 2018 und 2019, die der Erweiterung der Kalibrationsmodelle dienten, wiesen bezüglich der KOH-Werte ein ähnliches Bild wie die seit 2011 analysierten Praxisproben auf. Einzig die TIA-Gehalte der Aufbereitungsanlage mit Hexanextraktion lagen durchgängig unter 2,6 mg/g TM im Sojaextraktionsschrot (wie bereits beim Sojaextraktionsschrot aus 2011 und 2012; Abbildung 9). Es konnte somit auch aus diesen 69 Praxisproben ein breites Spektrum an unter-, über- und optimal behandelten Sojachargen für die Überarbeitung der NIRS-Kalibration generiert werden. Ebenso besteht weiterhin die Schlussfolgerung für die dezentralen Sojaaufbereitungsanlagen, dass die Aufbereitungsintensität erhöht werden muss und gezielt die Chargen mit erhöhten TIA-Gehalten aussortiert und für die Wiederkäuerfütterung verwendet werden müssen.

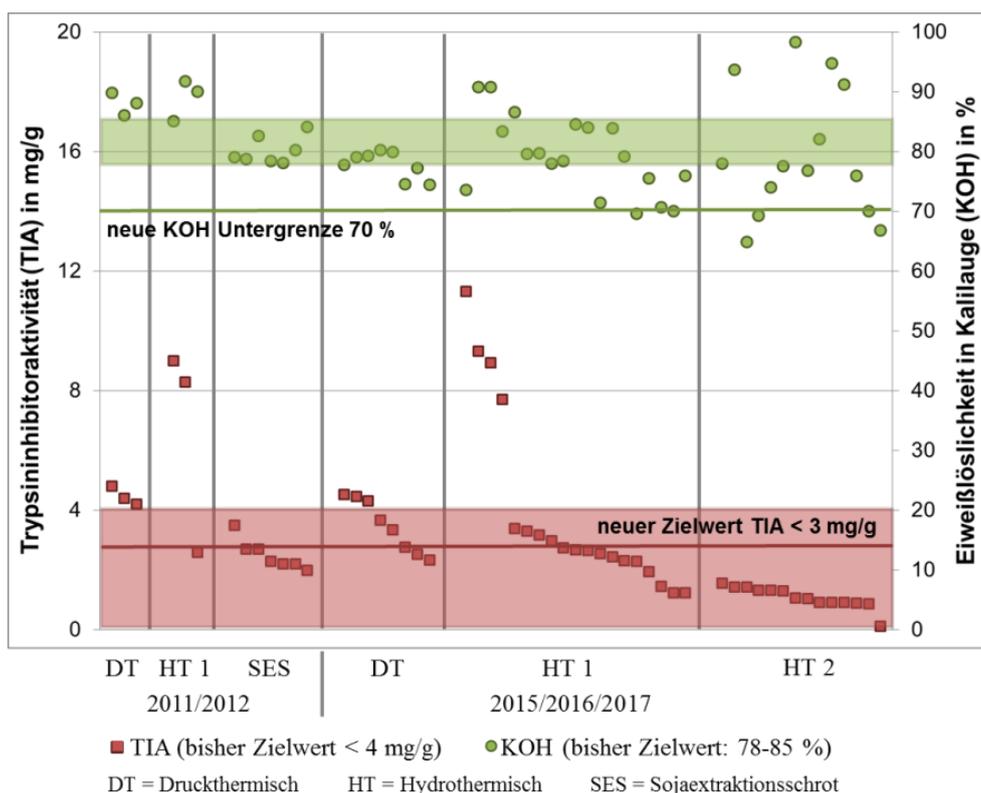


Abbildung 8: Trypsininhibitoraktivität (TIA) und Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) unterschiedlicher Sojachargen aus Praxisanlagen sowie von Landhändlern (Sojaextraktionsschrot) aus den Jahren 2011 bis 2017, real verfüttert

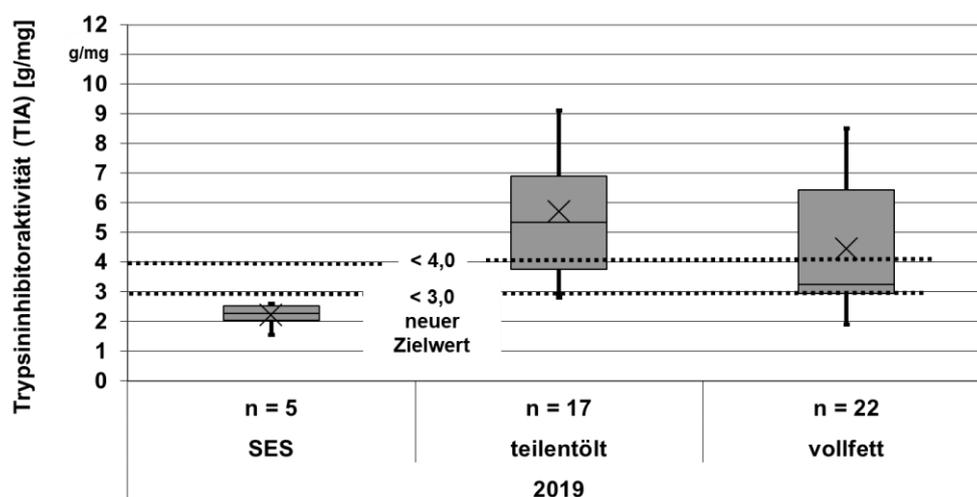


Abbildung 9: Trypsininhibitoraktivität (TIA) unterschiedlicher Sojachargen aus Praxisanlagen sowie von Landhändlern (Sojaextraktionsschrot, SES) aus dem Jahr 2018 und 2019, real verfüttert

### 6.3 Ergebnisse aus dem Verdaulichkeitsversuch mit Broilern

Je mehr TIA in der Gesamtration enthalten war, desto geringer waren das Lebendgewicht am Schlachttag und die Gesamtzunahmen. In Abbildung 10 ist die Gewichtszunahme während der Versuchsphase und das Lebendgewicht am Schlachttag in Abhängigkeit der TIA dargestellt.

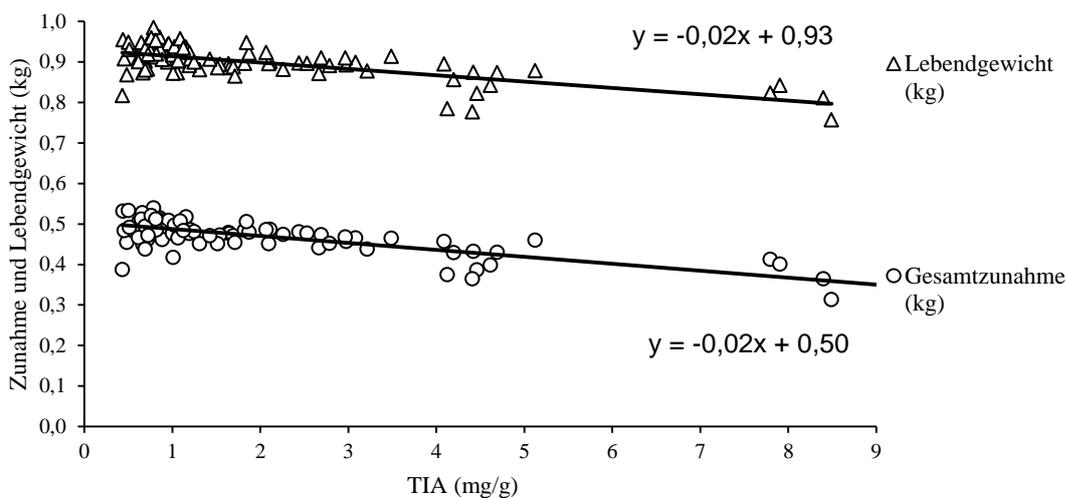


Abbildung 10: Lebendmasse und Gesamtzunahme über die Versuchsperiode bei unterschiedlicher TIA (mg/g) in der fertigen Futtermischung

Ein ähnliches Bild zeichnet sich bei der Betrachtung der scheinbaren Aminosäureverdaulichkeit ab. In Abbildung 11 ist der Verdaulichkeitskoeffizient von Lysin bei variierender TIA zu sehen. Es kann beobachtet werden, dass mit zunehmender TIA in der Ration die scheinbare Verdaulichkeit linear abnahm. Der gleiche Trend wurde ebenso bei den schwefelhaltigen AS (Methionin und Cystein) beobachtet (Abbildung 12). Zudem ist anzumerken, dass die schwefelhaltigen AS stärker durch TIA beeinträchtigt wurden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Verdaulichkeit verschiedener AS unterschiedlich von den Trypsininhibitoren beeinträchtigt wurde. Für die praktische Fütterung von Mastbroilern kann deshalb davon ausgegangen werden, dass es notwendig ist die TIA der Ration zu kennen, um kristalline AS im richtigen Maße zu ergänzen.

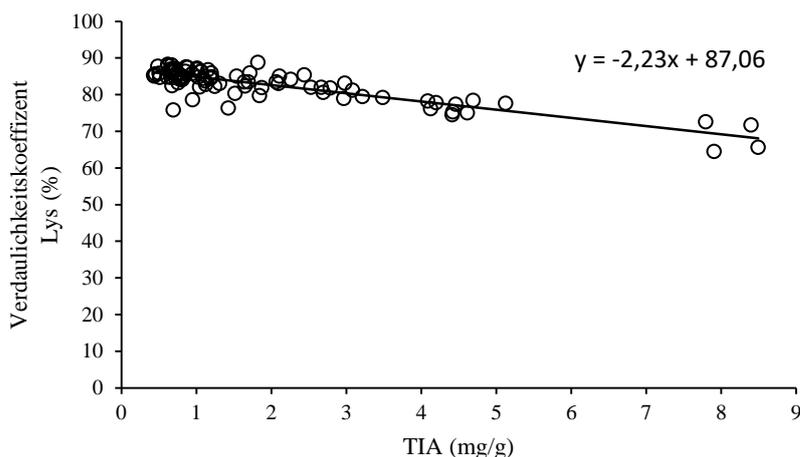


Abbildung 11: Verdaulichkeitskoeffizient von Lysin (%) bei unterschiedlicher TIA (mg/g) in der fertigen Futtermischung

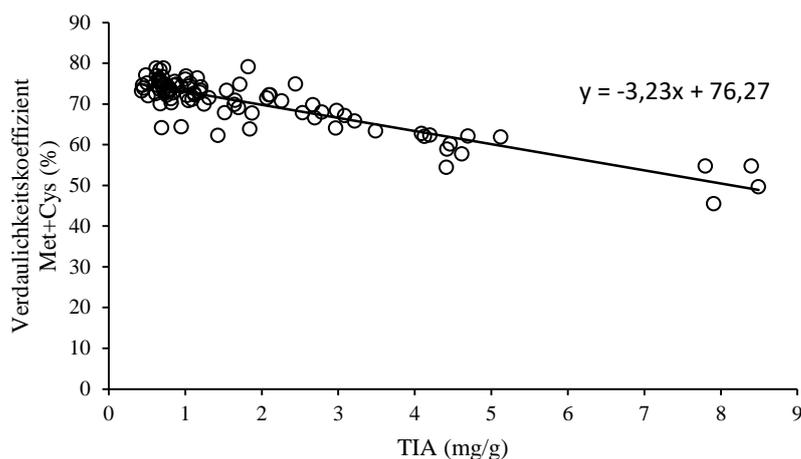


Abbildung 12: Verdaulichkeitskoeffizient von Methionin + Cystein (%) bei unterschiedlicher TIA (mg/g) in der fertigen Futtermischung

#### 6.4 Ergebnisse aus dem Wachstumsversuch mit Broilern

Durch die verschiedenen Aufbereitungsverfahren mit unterbehandelten, optimal und überbehandelten Chargen konnte eine breite Spanne an TIA, HDL und KOH im Sojakuchen generiert werden. In den fertigen Futtermischungen resultierte dies dann für die Aufzuchtphase in TIA-Gehalten von 0,5 - 8,7 mg/g TM sowie in der Endmastphase von 0,3 - 7,2 mg/g TM. Der Wert im Alleinfutter an HDL betrug in der Aufzuchtphase 0,47 - 3,4 g/kg TM und in der Endmastphase 0,34 - 2,43 g/kg TM und für KOH in der Aufzuchtphase 60,8 - 84,9 % und in der Endmastphase 59,4 - 88,4 %.

Abbildung 13 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen HDL und KOH zu TIA in der Aufzucht- und der Endmastphase im Alleinfutter der Mastbroiler. Es ist deutlich erkennbar, dass unter einem Schwellenwert von 1,8 mg TIA/g TM in der Aufzuchtphase (A) und 1,4 mg TIA/g TM in der Endmastphase (B) mit sinkendem TIA eine signifikante Zunahme des HDL zu verzeichnen war.

Dies bedeutet für die Praxis, dass durch sehr hohe Aufbereitungsintensitäten TIA zwar noch weiter gesenkt werden kann, dies jedoch dann auf Kosten der Eiweißverfügbarkeit im Sojaprodukt geht. Ab den Schwellenwerten von 1,8 mg TIA/g TM in der Aufzuchtphase (A) und 1,4 mg TIA/g TM in der Endmastphase (B) (bezogen auf die fertige Futtermischung) ist jeweils ein Plateau erkennbar, nachdem keine signifikante Schädigung des Lysins mehr ersichtlich war. Für KOH konnte kein Schwellenwert ermittelt werden, dennoch ist auch hier unübersehbar, dass mit steigenden TIA-Gehalten in der Aufzuchtphase (C) und der Endmastphase (D) KOH anstieg.

Bei den zootechnischen Leistungen der Küken wurden für alle Futtermischungen unter einem TIA-Gehalt von 1,8 mg/g TM Alleinfutter in der Aufzuchtphase keine signifikanten Effekte festgestellt. In den Darstellungen der zootechnischen Leistungsparameter für die Bereiche über diesen Schwellenwerten in Abbildung 14 wird deutlich, dass mit steigenden TIA Werten in der Aufzuchtphase das Lebendgewicht der Mastbroiler (erfasst am Tag 24) (A) und die Gewichtszunahme gesamt (C) abnahm, wohingegen, wie erwartet, die Kurve für die Futtermittelverwertung (E) linear ansteigend war. Dasselbe Muster ist für KOH (Abbildung 14 B, D, F) gegeben. HDL dagegen hatte keinen Einfluss auf die zootechnischen Leistungen in der Aufzuchtphase innerhalb der Versuchsgruppen und ist hier grafisch daher nicht dargestellt (vergleiche auch HOFFMANN ET AL., 2019 und Diss. Hoffmann insbesondere zu den Details der Regressionsgleichungen).

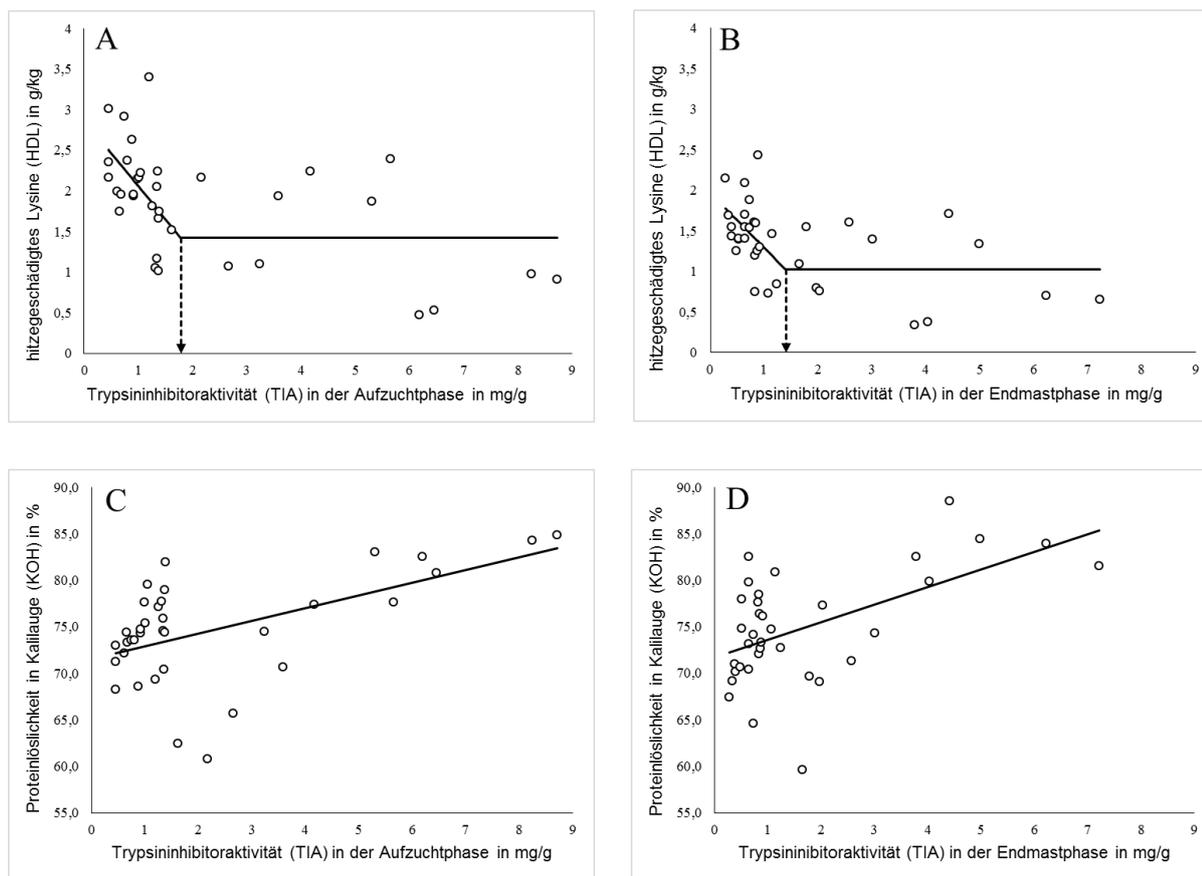


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen der Trypsininhibitoraktivität (TIA) und dem hitze- und eiweißgeschädigten Lysin (HDL) in der Aufzuchtphase (A) und der Endmastphase (B), als auch TIA im Vergleich zur Proteinlöslichkeit in Kalilauge (KOH) in der Aufzucht- (C) und der Endmastphase (D) (TIA-, HDL- und KOH-Werte jeweils in der fertigen Futtermischung)

Ein ähnliches Bild zeigte sich in der Endmastphase, in der das Lebendgewicht der Vögel am Tag 35 (Abbildung 15) mit zunehmender TIA (A) abnahm und gleichzeitig das Gewicht der Bauchspeicheldrüse (C) stark zunahm. Mit steigender KOH (B) sank die Futterverwertung der Tiere in den Versuchsgruppen und gleichzeitig erhöhte sich wiederum das Gewicht der Bauchspeicheldrüse (D) (vergleiche auch HOFFMANN ET AL., 2019 und Diss. Hoffmann insbesondere zu den Details der Regressionsgleichungen).

Eine vergrößerte Bauchspeicheldrüse führte zu einem schlechteren Umsatz des Futters und somit zu einer Minderleistung in Form von geringerem Wachstum der Broiler. Es ist festzuhalten, dass hohe Verarbeitungsintensitäten die TIA stark reduzierten, aber auch die Eiweißschädigung erhöhten. Die Wachstumsleistung der Broiler verbesserte sich bei niedrigeren TIA-Gehalten im Gesamtfutter, gleichzeitig verminderte sich das Gewicht der Bauchspeicheldrüse. Weiterhin zeigte sich, dass die Proteinschädigung einen untergeordneten Einfluss auf die Futterverwertung hatte.

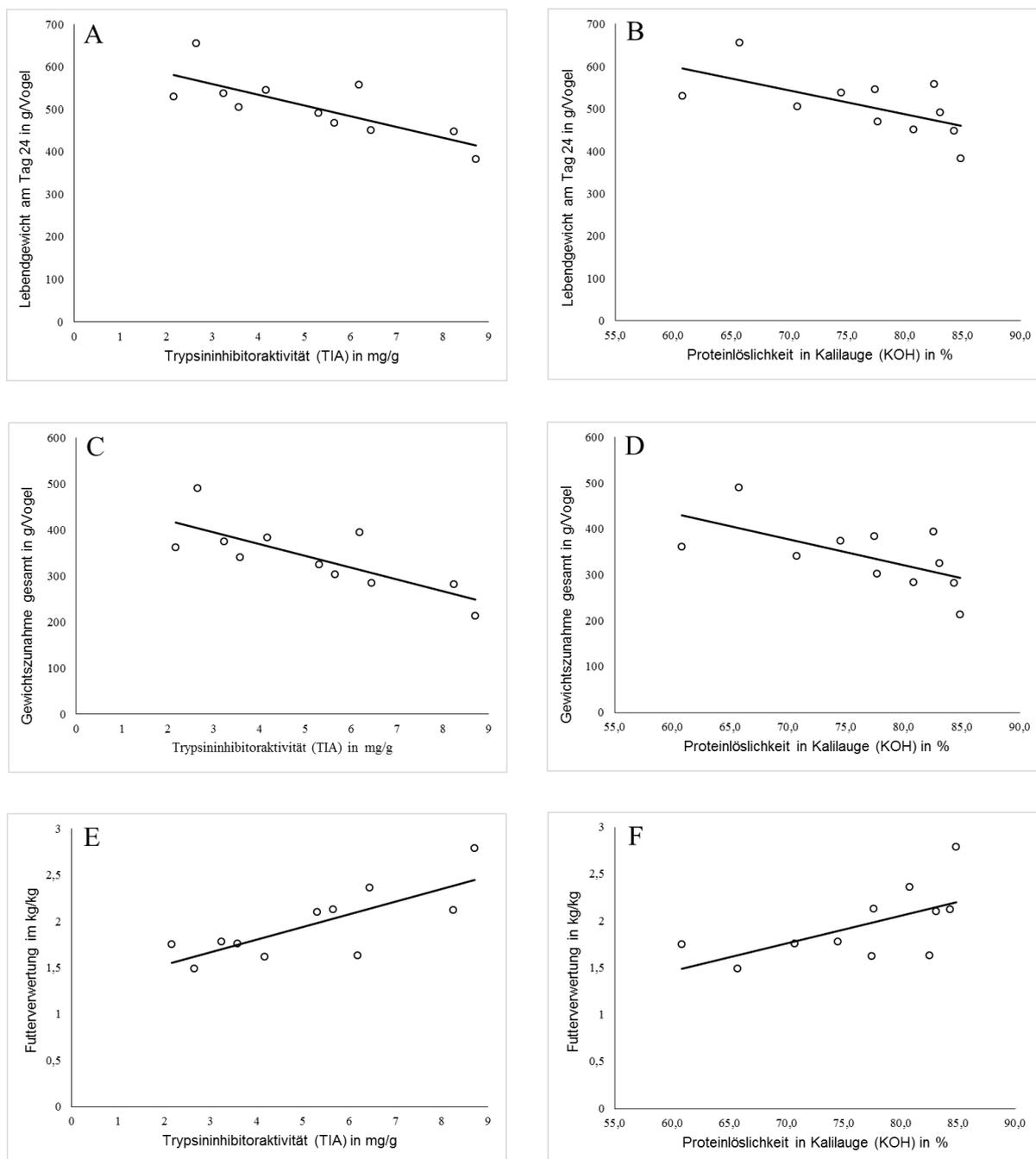


Abbildung 14: Wirkung der Trypsininhibitoraktivität (TIA) und der Proteinlöslichkeit in Kallauge (KOH) in verarbeitetem Sojakuchen, der an Masthühner verfüttert wurde, auf das Lebendgewicht (A, B), die Gewichtszunahme (C, D) und die Futterverwertung (E, F) in der Aufzuchtphase (TIA- und KOH-Werte jeweils in der fertigen Futtermischung)

Es konnte ermittelt werden, dass pro 1 mg TIA mehr in der fertigen Futtermischung 0,14 kg mehr Futter pro kg Zuwachs für die Fütterung der Broiler aufgewendet werden musste (Abbildung 16). **Das heißt vereinfacht ausgedrückt, dass 10 % mehr Futter notwendig war, wenn sich in der fertigen Futtermischung der TIA-Gehalt um 1 mg/g TM erhöhte.** Daher sollte darauf geachtet werden, dass der TIA-Gehalt in der Gesamtfutterration den Wert von 2 mg/g TM unterschreitet. Der TIA-Gehalt im Sojakuchen sollte daher unter 3 mg/g TM liegen, idealerweise so niedrig wie möglich sein.

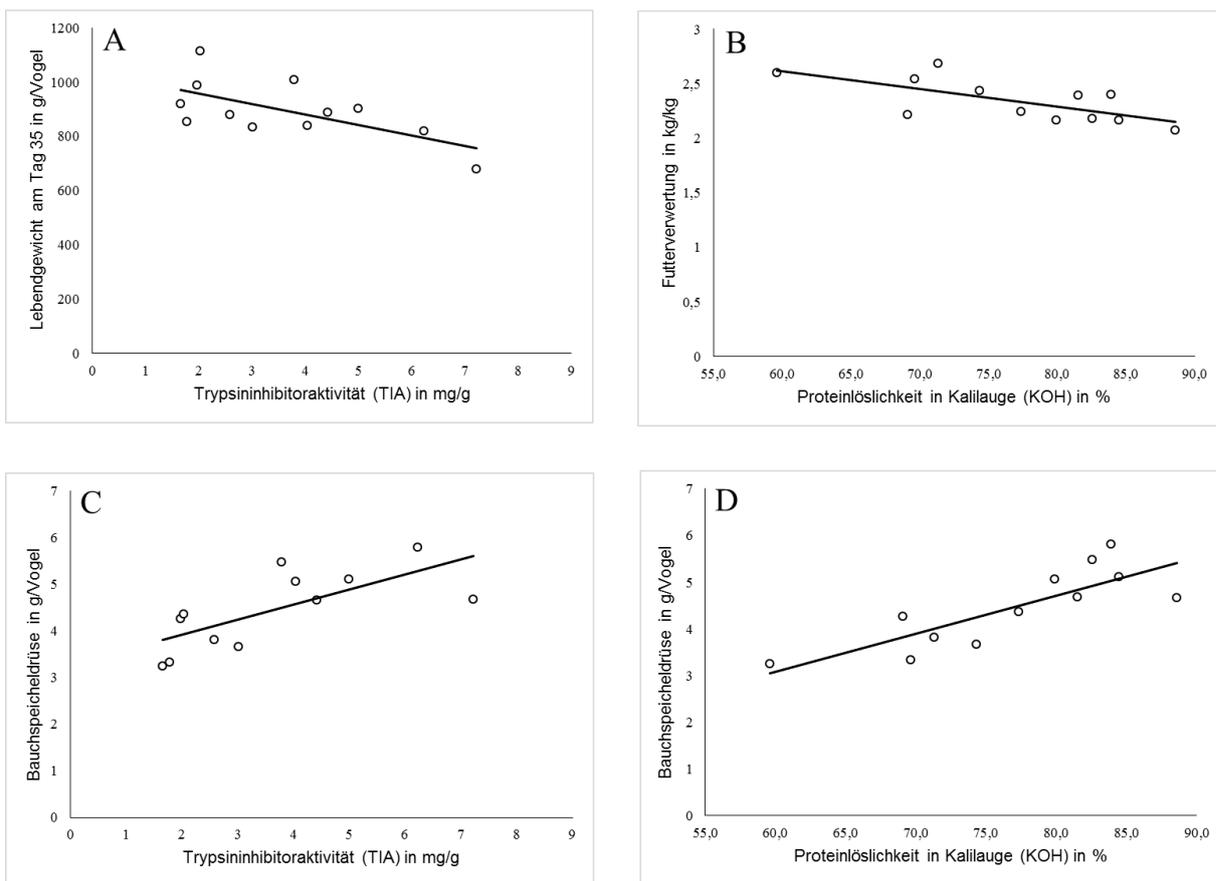


Abbildung 15: Wirkung der Trypsininhibitoraktivität (TIA) und der Proteinlöslichkeit in Kallauge (KOH) in verarbeitetem Sojakuchen, der an Masthühner verfüttert wurde, auf das Lebendgewicht (A), die Futterverwertung (B) und das Gewicht der Bauchspeicheldrüse (C, D) in der Endmastphase (TIA- und KOH-Werte jeweils in der fertigen Futtermischung)

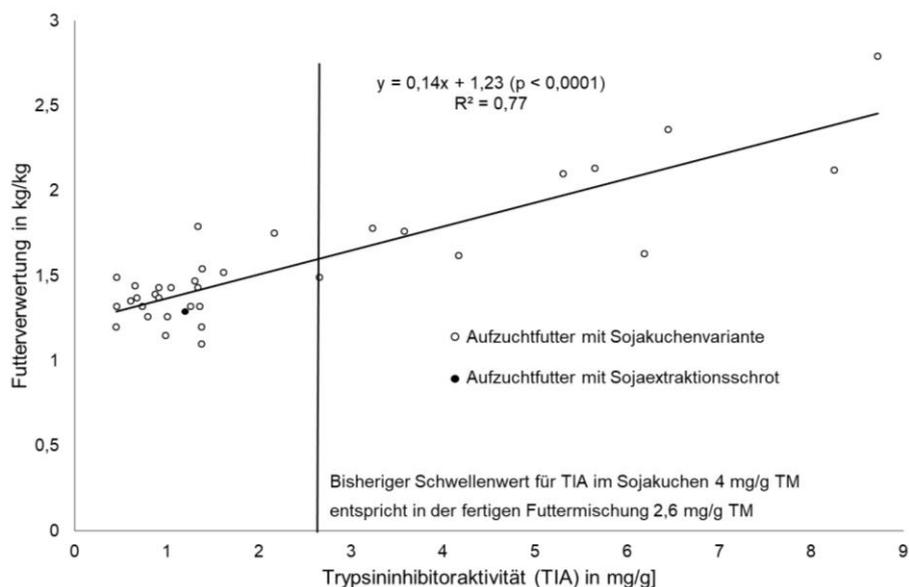


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen der Trypsininhibitoraktivität (TIA) in der fertigen Futtermischung und der Futterverwertung in der Aufzuchtphase von Broilern

Das Gewicht der Schlachtkörper nahm mit steigender TIA sukzessive ab. Der lineare Trend macht deutlich, dass es keinen Grenzwert für TIA gibt und die TIA in Sojaprodukten soweit wie möglich reduziert werden sollte (Abbildung 17, links). Auch beim prozentualen Anteil des Brustmuskels am Schlachtkörper war zu beobachten, dass dieser ebenfalls mit steigender TIA im Futter signifikant abnahm ( $p < 0,001$ ) (Abbildung 17, rechts). Bei den inneren Organen (Abbildung 18) war festzustellen, dass mit zunehmender TIA im Futter die absolute Organmasse zurückging, relativ bezogen auf den Anteil am Schlachtkörper verschob sich die Körperzusammensetzung aber deutlich zugunsten der inneren Organe. Daher kann davon ausgegangen werden, dass Muskelmasse abgebaut wurde, um wichtige Körperfunktionen zu erhalten. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass TIA im Futter soweit wie möglich reduziert werden sollte.

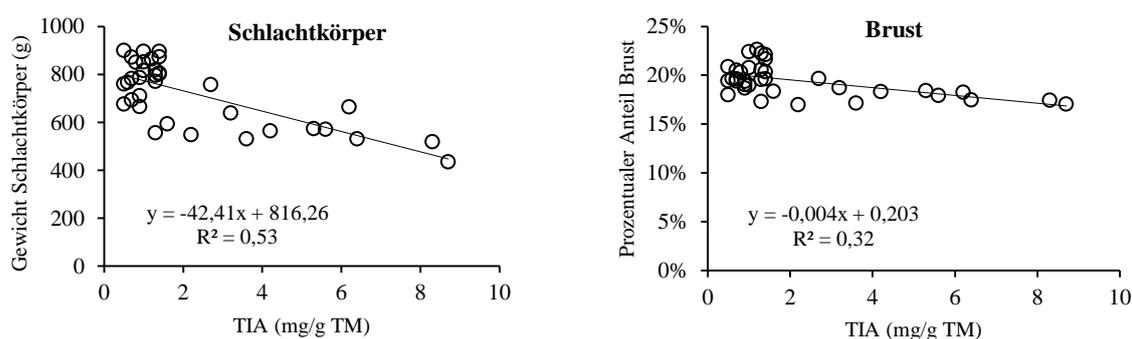


Abbildung 17: Gewicht des Schlachtkörpers (g) mit steigender TIA (mg/g) im Futter (links) und prozentualer Anteil des Brustmuskels am Schlachtkörper bei steigender TIA (mg/g) im Futter (rechts)

Bei der Untersuchung der Ganzkörperzusammensetzung (Abbildung 19) fiel auf, dass mit steigender TIA in der fertigen Futtermischung der prozentuale Anteil an Wasser zunahm, während der Anteil an Trockenmasse im gleichen Maße abnahm. Sonst konnte nur ein Rückgang an Rohprotein mit steigender TIA beobachtet werden. Eine Korrelation von Rohasche und Rohfett mit TIA wurde nicht ersichtlich. Es ist davon auszugehen, dass der Energie- und Rohproteingehalt der Ration exakt dem Bedarf der Tiere entsprachen, was sich im Fettgehalt der Ganzkörperhomogenate widerspiegelte. Durch die Anwesenheit des Trypsininhibitors wurde vermutlich die Proteinverdauung gestört, wodurch die Broiler nur geringes Wachstum, sowie verminderte Muskelmasse generieren konnten. Der erhöhte Wassergehalt der Ganzkörperhomogenate lässt auf einen Mangel an verfügbarem Protein schließen, was diese These bestätigt.

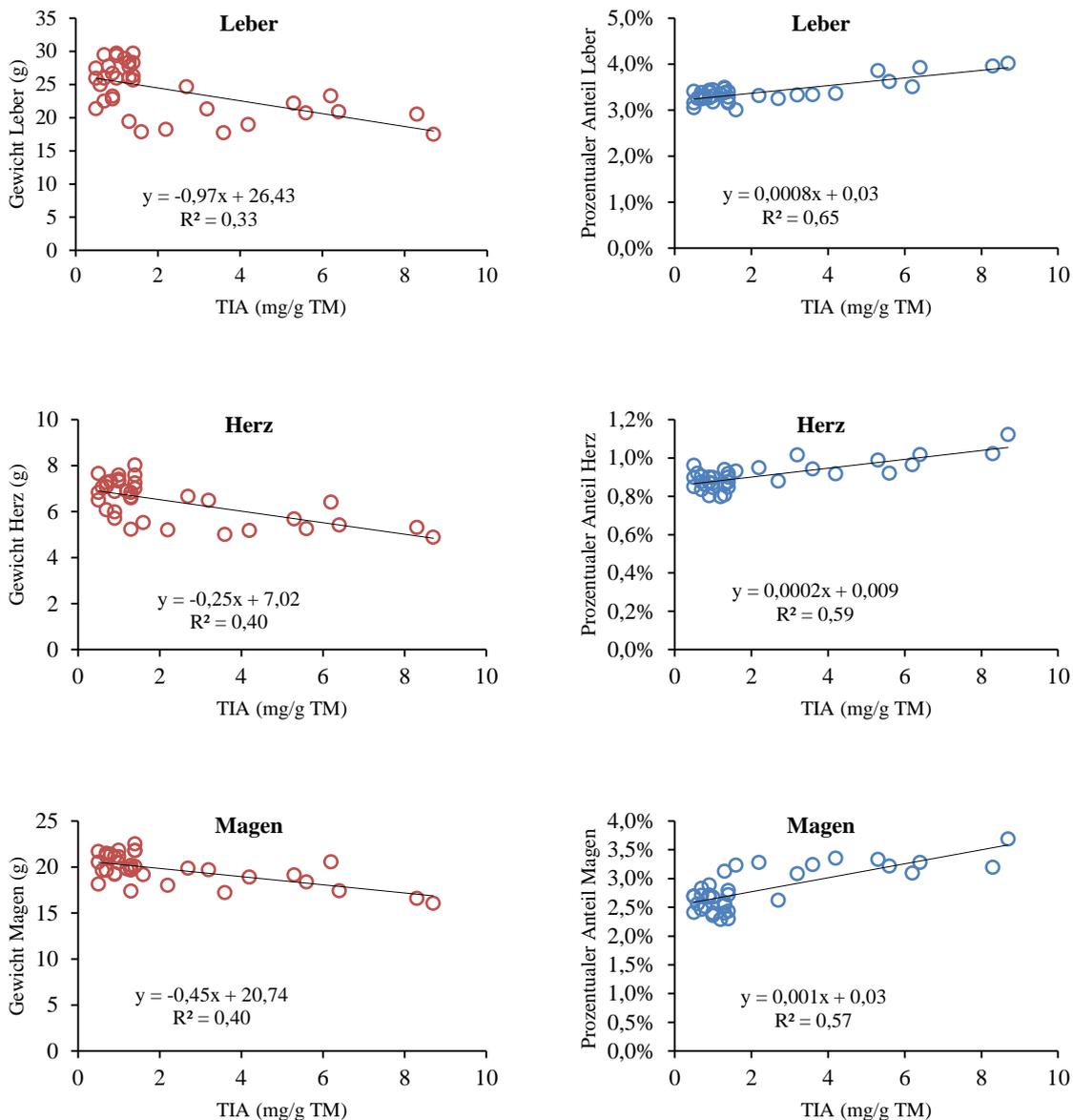


Abbildung 18: Absolute (links) und relative (rechts) Organmassen in Gramm bzw. in Prozent bei unterschiedlichen TIA-Gehalten (mg/g TM) im Futter

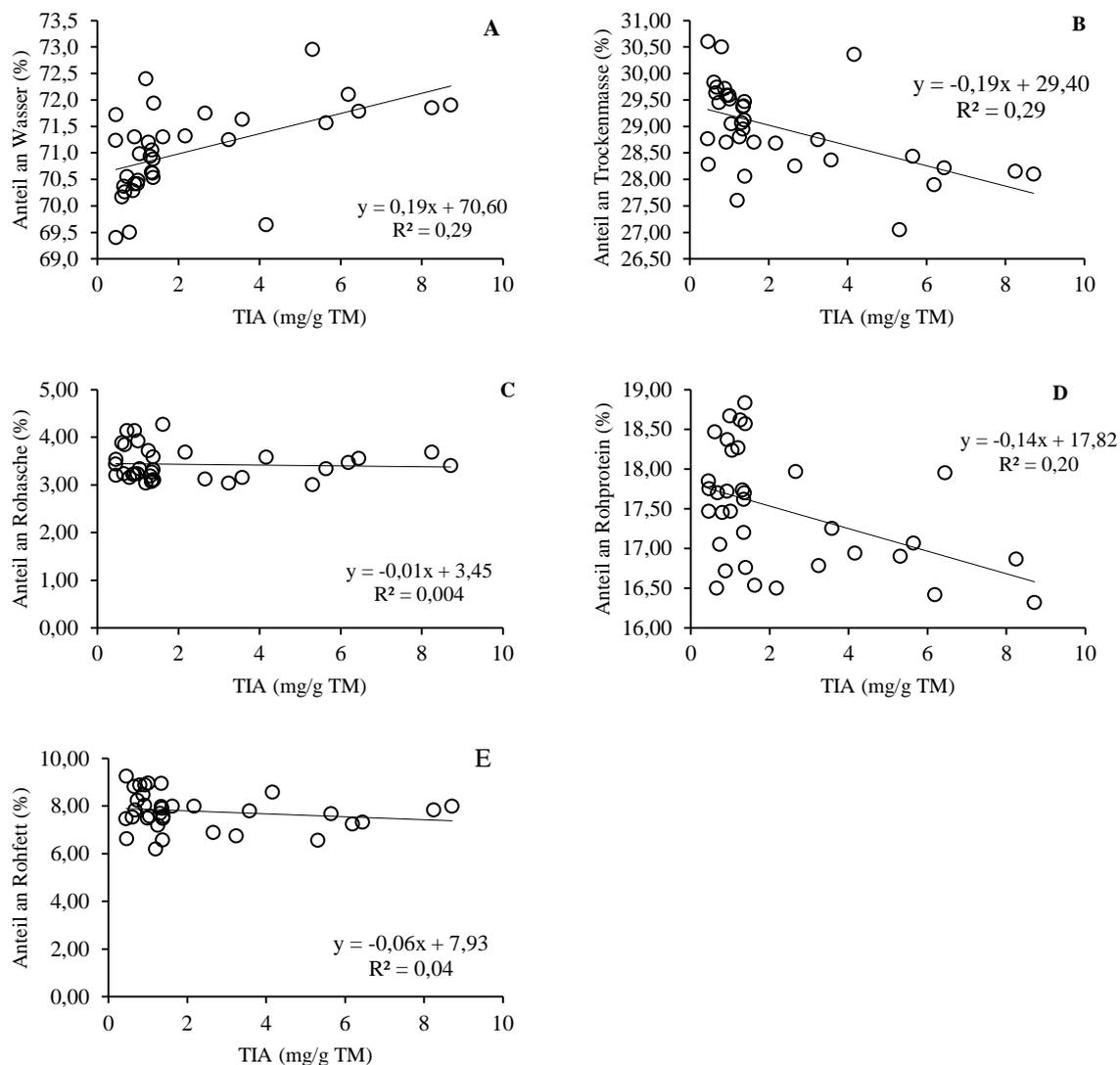


Abbildung 19: Prozentualer Anteil an Wasser (A), Trockenmasse (B), Rohasche (C), Rohprotein (D) und Rohfett (E) an der Ganzkörperzusammensetzung bei unterschiedlichen TIA-Gehalten (mg/g TM) im Futter

### 6.5 Ergebnisse zur NIRS-Kalibration

Die Datengrundlage des bereits existierenden Kalibrationsmodells (HOFFMANN ET AL., 2017) für TIA (insgesamt 50 Proben mit Laboranalytik und den dazugehörigen spektralen Signaturen) wurde deutlich erweitert. Das originäre Modell konnte aufgrund des zu geringen Probenumfangs nur mit einer internen Kreuzvalidierung getestet werden. Die Güteparameter von  $R^2 = 0,94$  und der RPD-Wert von 4,07 (Abbildung 20) deuten auf ein valides Modell zur Schätzung neuen Probenmaterials hin.

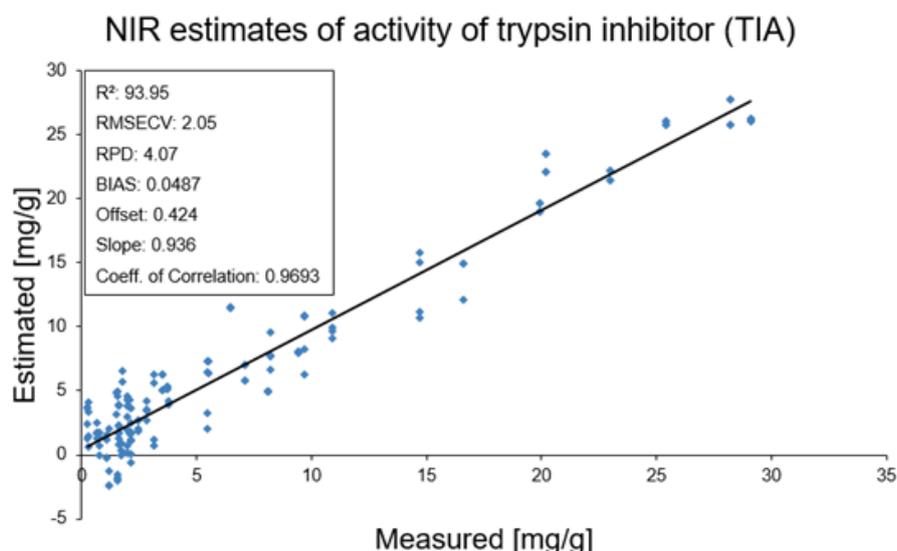


Abbildung 20: NIRS-Schätzung der Trypsininhibitoraktivität in Sojaprobe dezentraler Aufbereitungsanlagen (Hoffmann et al., 2017)

Das erweiterte Kalibrationsmodell für TIA verliert geringfügig in den Güteparametern, gewinnt jedoch insgesamt an Validität zur Schätzung neuer Proben. Zusätzlich konnte ein Kalibrationsmodell für den Parameter KOH entwickelt werden. Beide Kalibrationsmodelle bestehen mit guten Bestimmtheitsmaßen  $R^2$  (TIA) = 0,92 (Abbildung 22) und  $R^2$  (KOH) = 0,81 (Abbildung 22) und wurden in einer externen Test-Set Validierung auf sechs unterschiedliche Proben angewendet.

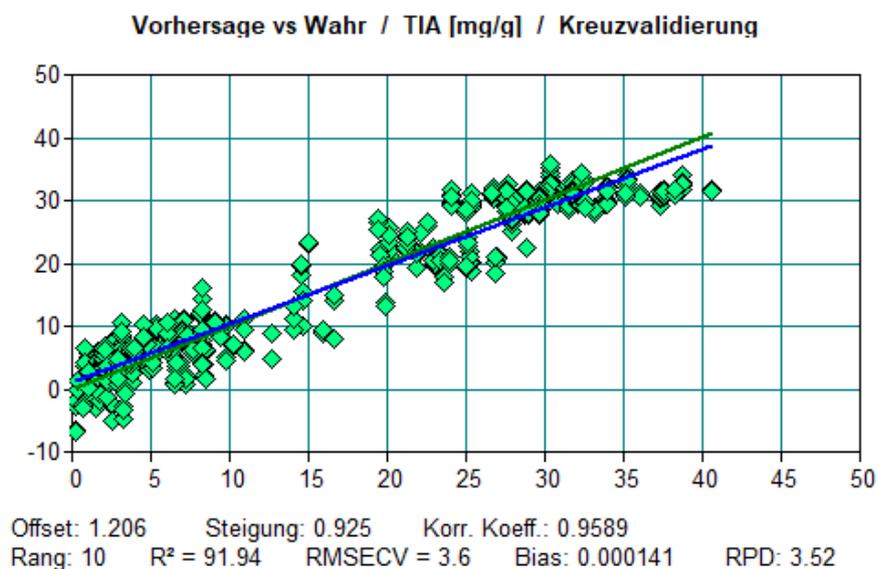


Abbildung 21: Erweitertes Kalibrationsmodell für TIA mit den statistischen Kennzahlen für die Güte des Modells

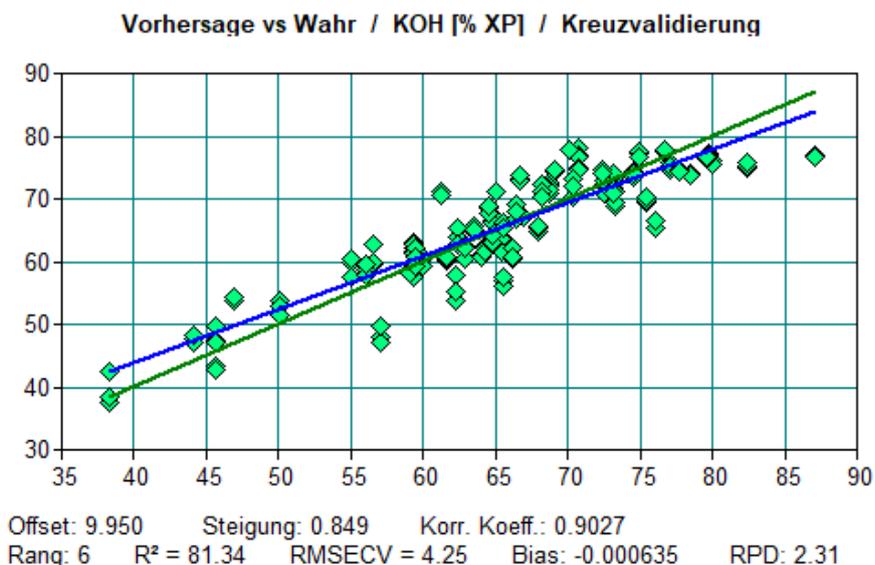


Abbildung 22: Neu entwickeltes Kalibrationsmodell für KOH mit den statistischen Kennzahlen für die Güte des Modells

Im Ergebnis konnte der TIA-Gehalt der Rohbohne sehr gut geschätzt werden, wohingegen die niedrigeren Werte der vollfetten behandelten Sojaprobe im Mittel um 2 mg/g Sojaprobe und des Sojakuchens im Schnitt unter 1 mg/g Sojaprobe überschätzt wurden (Tabelle 4). Die Vorhersage der Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH-Wert) ist insgesamt deutlich sicherer, mit prozentualen Abweichungen vom Laborwert zwischen 5 und 14 %.

Tabelle 4: Externe Test-Set Validierung mit zwei Kalibrationsmodellen (TIA, KOH) auf sechs Proben einer dezentralen Sojaaufbereitungsanlage

Sojaprobe (Labor Nr.)	Trypsininhibitorgehalt (TIA)				Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH)			
	Wahr	NIRS	Diff.	Abw. [%]	Wahr	NIRS	Diff.	Abw. [%]
Rohbohne (18)	23,34	21,25	2,09	-8,97	64,22	59,42	5,95	-7,47
Sojakuchen (20)	3,66	5,87	-2,21	60,32	79,05	75,33	3,84	-4,71
Sojakuchen (25)	3,76	4,69	-0,93	24,69	80,75	69,17	11,80	-14,34
Sojakuchen (2)	3,98	5,99	-2,01	50,62	81,03	75,80	5,19	-6,45
Vollfett Sojabohne (3)	2,96	3,82	-0,86	29,07	71,36	63,53	6,20	-10,97
Vollfett Sojabohne (60)	2,38	1,65	0,73	-30,83	71,61	63,20	8,54	-11,74

### 6.6 Ergebnisse zur Langzeitvalidierung der Kalibrationsmodelle

Nach Einbau des zweiten FT-NIR-Spektrometers in einer dezentralen Sojaaufbereitungsanlage (Meika Tierernährung, Großaitingen) konnte eine Langzeitvalidierung über ca. drei Wochen erfolgen. In diesem Zeitraum wurden tagsüber alle fünf Minuten Spektren erfasst, deren Scan Zahl von 69 (Tango) auf 128 (Matrix-F) erhöht wurde, zur Eliminierung von Rauschsignalen. Die dafür entwickelten Kalibrationsmodelle für TIA und KOH weisen ähnlich gute Güteparameter auf (hier nicht dargestellt), wie die Kalibrationsmodelle, die in der Test-Set Validierung auf die sechs externen Proben angewendet wurden. In Abbildung 23 ist die Validierung für den TIA-Gehalt vom 28.1.2020 bis 20.2.2020 dargestellt. Es ist gut erkennbar, dass zumeist der TIA-Gehalt relativ niedrig ist, jedoch erschweren einige Ausreißer eine präzise Zuordnung der Werte.

Die erhöhten Werte resultieren vermutlich daraus, dass beim Transport der Sojabohnen vor dem Messfenster alle 17 Sekunden ein metallischer Schieber sichtbar wird und teilweise mit in die Scans einfließt. In der Validierung der Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (Abbildung 24) im gleichen Zeitraum ist deutlich erkennbar, dass der KOH-Gehalt der Sojacharge (vollfettes, aufbereitetes Soja) um 70 % herum schwankt.

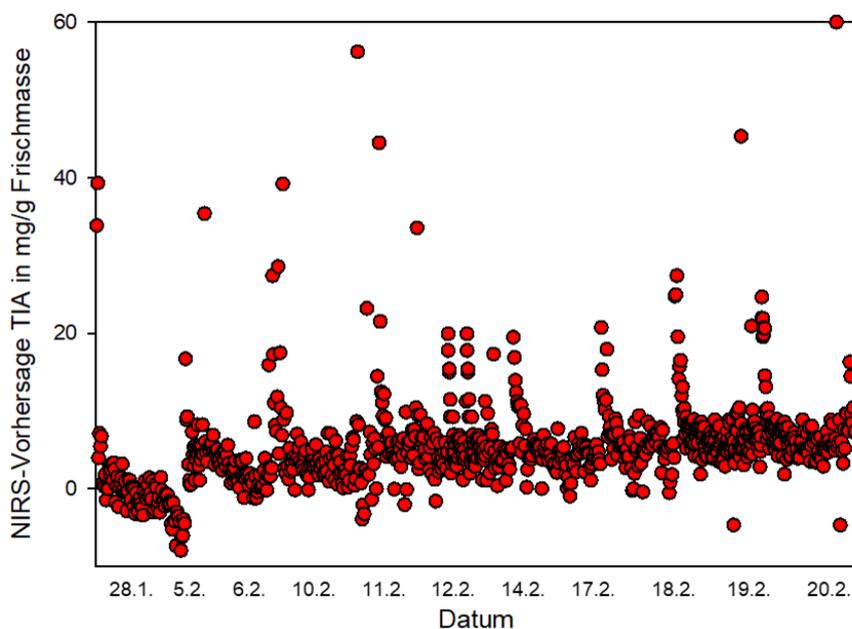


Abbildung 23: Langzeitvalidierung des TIA-Gehalts in einer dezentralen Aufbereitungsanlage

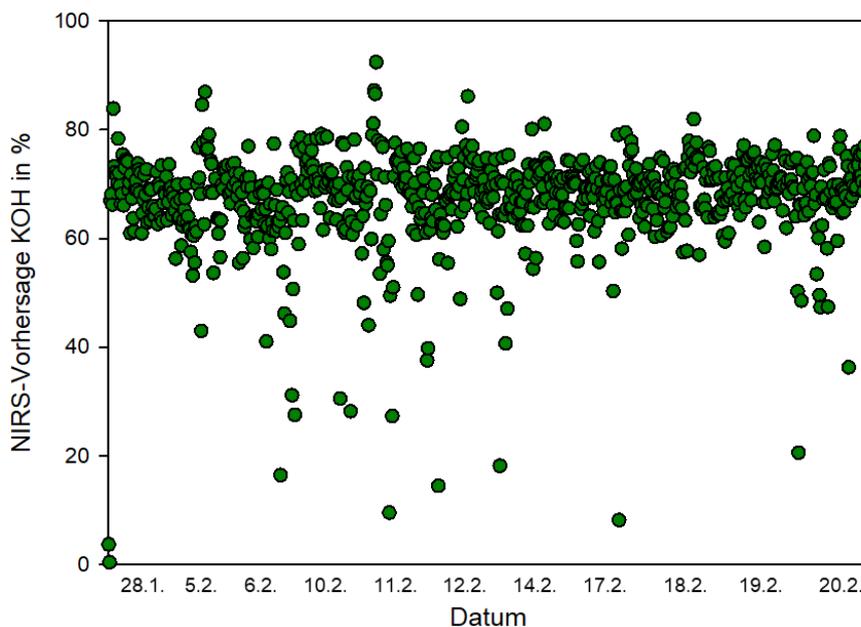


Abbildung 24: Langzeitvalidierung der Eiweißlöslichkeit (KOH) in einer dezentralen Aufbereitungsanlage

## 7 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus den beiden Fütterungsversuchen legen nahe, dass TIA in Sojaprodukten einen erheblichen Einfluss auf sämtliche Leistungsparameter beim wachsenden Broiler aufweist. Ein adäquates Qualitätsmanagement bei der Aufbereitung von Sojaprodukten in dezentralen Kleinanlagen ist deshalb unabdingbar. Im Folgenden werden Methodik und Ergebnisse zur Beprobung und Aufbereitung der unterschiedlichen Sojachargen aus den verschiedenen Aufbereitungsanlagen, sowie aus den beiden Fütterungsversuchen diskutiert. Abschließend wird der Einbau eines NIRS-Sensors in einer dezentralen Aufbereitungsanlage näher betrachtet.

### 7.1 Praxisrelevante Methoden

Die Beprobung der Praxisanlagen erfolgte auf zwei unterschiedliche, insgesamt unproblematische Arten. Zumeist wurden die Proben während der Aufbereitung direkt im Prozess (Abbildung 25) an günstigen Probeentnahmestellen erfasst oder aber anhand eines geeigneten Probennehmers (Hohlstab zur Erfassung von Probenmaterial aus unterschiedlichen Tiefen Abbildung 26) entnommen. Dabei wurden bei der Beprobung ganzer Chargen mindestens die nach Futtermittelprobenahmeverordnung notwendigen Einzelproben entnommen und anschließend zu einer Sammelprobe zusammengefügt.



Abbildung 25: Entnahme von behandelten Sojabohnen aus der Prozessstrecke einer dezentralen Aufbereitungsanlage



Abbildung 26: Beprobung von Sojachargen im Lager mit einem Probennehmer

Die Aufbereitungsversuche wurden beim thermischen und darthermischen Verfahren an Praxisanlagen durchgeführt. Die Entölung wurde praxisüblich mittels Schneckenpressen bei der Firma Meika (Abbildung 28) oder EST durchgeführt. Für das hydrothermische und druckthermische Verfahren kam die Versuchsanlage der Firma Amandus Kahl in Reinbek zum Einsatz (Abbildung 27 und Abbildung 29). Diese Anlage entspricht in ihren Komponenten, auch bezüglich der Anlagengröße, den Praxisanlagen. Die Anlage wurde gewählt, weil dort zusätzlich zu den üblichen Senso-

ren weitere Sensoren für die Temperaturmessung an verschiedenen Stellen in der Anlage verbaut sind und somit nacheinander verschiedene Einstellparameter gut realisiert werden konnten. Bei allen Aufbereitungsversuchen wurden entsprechend Sojamenngen aus dem Vorlauf bzw. den Anwärm- und Umstellphasen verworfen, so dass die beprobten bzw. für die Fütterungsversuche verwendeten Teile definitiv die Temperatur- und Feuchtwerte wie gewünscht durchlaufen hatten. Somit konnten Probleme z. B. bei der Realisierung niedrigerer Aufbereitungsintensitäten (Überbehandlung) oder beim Abkühlen der kleinen Chargen (Unterbehandlung) wie von ASAM (2013) und HEGGER ET AL. (2016) berichtet, die die Aufbereitungsversuche für Ihre Arbeiten in einer kleinen Versuchsanlage bei der Firma Amandus Kahl durchgeführt hatten, vermieden werden. Der Nachteil der Großanlagen war, dass mehr Rohbohnen für die Herstellung des Versuchsfutters notwendig waren und die zu verwerfenden Anteile während der Anlauf und Umstellphasen aufgrund der Anlagengrößen entsprechend höher waren. Durch die Nutzung der Großanlagen konnte jedoch erstmalig das gewünschte breite Spektrum an Aufbereitungsintensitäten erzeugt werden und somit waren ideale Voraussetzungen für die Erstellung der Kalibration und die Fütterungsversuche gegeben.



*Abbildung 28: Entölung mittels Schneckenpressen bei der Firma Meika*

*Abbildung 27: Aufbreitungsanlage bei der Firma Amandus Kahl*

*Abbildung 29: Kühlstrecke bei der Firma Amandus Kahl*

Die Feldproben aus den Jahren 2011/2012 zeigten für die dezentralen Aufbereitungsanlagen (beprobt wurden Anlagen mit thermischer, druckthermischer und hydrothermischer Aufbereitung) bei einem Drittel der Chargen TIA-Gehalte von mehr als 4 mg/g in der vollfetten Sojabohne oder im Sojakuchen. Gleichzeitig zeigte sich häufig eine noch recht hohe Eiweißlöslichkeit in KOH. Die beprobten Chargen wurde tatsächlich verfüttert. In 2011 und 2012 wurde auch Sojaextraktionsschrot aus dem Handel untersucht. Dabei lagen alle Proben unter 4 mg/g. Bis auf eine der Sojaextraktionsschrotproben erreichten sie sogar Werte um 2,6 mg/g. Zudem wurden die Feldproben aus den Jahren 2011/2012 auf die Ureaseaktivität und auch die Eiweißlöslichkeit in Wasser (PDI) untersucht. Beide Parameter lassen sich im Labor vergleichsweise einfach und mit wenig Materialaufwand bestimmen. Dies ist vermutlich der Grund, warum diese beiden Parameter häufig verwendet werden. Die Aussagekraft bezüglich der TIA ist bei der Ureaseaktivität jedoch beschränkt. Selbst bei Ureaseaktivitäten im Zielbereich wurden noch TIA-Werte von mehr als 5 mg/g TM gemessen. Ebenso war der PDI im Vergleich zum KOH weniger genau in seiner Aussagekraft. Daher sind beide Parameter zwar für eine laufende und häufige Prozesskontrolle wie sie z. B. in großen Sojaextraktionsanlagen durchgeführt werden geeignet, wenn jedoch die tatsächliche Aufbereitungsqualität bestimmt werden soll, eignen sich die TIA und KOH besser.

Die Feldproben aus den Jahren 2015 bis 2017 ergaben für die druckthermische und eine der beiden beprobten hydrothermischen Aufbereitungsanlagen vergleichbare Ergebnisse, wobei im Hinblick auf TIA einige unterbehandelte Partien (TIA-Gehalt über 4 mg/g) und im Hinblick auf die Eiweißlöslichkeit einige überbehandelte Partien auftraten. Bei der zweiten hydrothermischen Aufbereitungsanlage waren keine unterbehandelten Partien vorhanden (bis auf eine Probe lagen alle Werte sogar unter 2,6 mg TIA/g TM) allerdings lagen im Bereich der Eiweißlöslichkeit knapp die Hälfte der Partien unterhalb des Zielwertes wodurch sie als überbehandelt einzustufen waren.

Die Feldproben aus den Jahren 2018 und 2019 (beprobte wurden Anlagen mit thermischer, druckthermischer und hydrothermischer Aufbereitung) ergaben bei der druckthermischen Aufbereitung bei allen Chargen TIA-Gehalte über 4 mg/g. Bei der hydrothermischen Anlage war der TIA-Gehalt nur bei einer Charge über 4 mg/g. Bei der thermischen Aufbereitungsanlage konnten zufriedenstellende Werte beim TIA-Gehalt ermittelt werden, wobei kein Wert über 4 mg/g lag. Im Jahr 2019 wurde ebenfalls eine bayerische Aufbereitungsanlage mit Hexanextraktion beprobt, wobei alle Werte unter 2,6 mg TIA/g TM lagen.

Im Unterschied zum Aufbereitungsversuch war es nicht Ziel der Sojaaufbereitung im Feld unterbehandelte oder überbehandelte Chargen zu erzeugen. Beprobte wurden also fertige Futtermittel, die so in den Handel bzw. zum Landwirt gelangten und verfüttert wurden. Somit sind alle Chargen, die einen TIA-Gehalt von über 4 mg/g aufwiesen als sehr kritisch beim Einsatz in der Fütterung von Geflügel und Schweinen zu sehen. Bestätigt wurden diese Ergebnisse zur Aufbereitungsqualität von in der Praxis verfütterten Chargen von WILBOIS ET AL. (2014, Seiten 101 ff.). Mithilfe eines Schnellbestimmungsverfahrens können Chargen mit zu hohen TIA-Gehalten an den Aufbereitungsbetrieben erkannt und in die Rinderfütterung geleitet werden. Dazu wurde eine Kalibration mithilfe von NIRS erarbeitet, mit der eine Schnellbestimmung des TIA-Gehalts und des KOH-Gehalts nach der Aufbereitung möglich ist. Tendenzielle Veränderungen in den Parametern TIA und KOH lassen sich mittels NIRS sehr gut erkennen, auf die der Anlagenbetreiber durch Nachjustierung bezüglich Hitzeeinwirkung oder Verweildauer des Sojaproduktes im Aufbereitungsprozess reagieren und einwirken kann. Zur exakten Bestimmung des tatsächlichen Wertes verfügen die erarbeiteten Kalibrationsmodelle jedoch noch immer nicht über eine ausreichende Robustheit und sollten daher weiterhin mit zusätzlichem Probenmaterial zur Verbesserung der Güte des Modells erweitert werden. Trotzdem kann die bestehende Kalibration für ein Screening der Rohbohnen, was dann ggf. zu einer angepassten Anlageneinstellung je nach TIA-Gehalten führen kann, und der aufbereiteten Chargen genutzt werden, um so unterbehandelte Chargen zu vermeiden bzw. gezielt einer anderen Verwertung zuzuführen.

## 7.2 Wissenschaftliche Methoden

### Verdaulichkeitsversuch

Es gibt zwei unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der Aminosäurenverdaulichkeit. Bei beiden Methoden wird dem Futter ein unverdaulicher Marker (z. B.  $\text{TiO}_2$ ) eingemischt, der den Magen-Darm-Trakt gleichmäßig passiert. Anhand der Konzentrationsänderung des Markers im Darminhalt bzw. Kot kann auf die Menge an verdauten Nährstoffen geschlossen werden. Bei der Sammelmethode wird der Kot der Tiere verlustfrei gesammelt. Hier kann allerdings nur die scheinbare Verdaulichkeit gemessen werden, da hier Verunreinigungen von Harn, Federn und Einstreu möglich sind (RAVINDRAN AND BRYDEN, 1999). Bei der zweiten Methode wird die ileale Verdaulichkeit bestimmt. Hier wird der Darminhalt des terminalen Ileums (Teil des Dünndarms) nach der Schlachtung der Tiere entnommen. Der Vorteil dieser Methode ist, zum einen die Möglichkeit der tierindividuellen Zuordnung des Darminhalts. Zum anderen sind bei dieser Sammeltechnik Verunreinigungen ausgeschlossen.

Die Ergebnisse aus dem Verdaulichkeitsversuch zeigten, dass TIA die scheinbare prececale Verdaulichkeit bei allen AS signifikant mit einem linearen Zusammenhang reduzierte. Dabei waren die beiden schwefelhaltigen AS Methionin und Cystein besonders stark in ihrer scheinbaren prececalen Verdaulichkeit reduziert. Dies hatte auch signifikante Auswirkungen auf das Körpergewicht, die täglichen Zunahmen und Gesamtzunahmen der Mastbroiler während der Versuchsphase vom 15. bis zum 22. Lebenstag.

Eine mögliche Erklärung für die reduzierte AS Verdaulichkeit könnte inaktiviertes Trypsin im Verdauungstrakt sein. Trypsininhibitoren gehen mit Trypsin und andere Verdauungsenzymen irreversible Verbindungen ein und werden somit in ihrer Wirkungsweise gehemmt. FOLTYN ET AL., (2015) konnten in einer Verdaulichkeitsstudie an Mastbroilern eine verminderte Enzymaktivität feststellen.

Ein weiterer Ansatzpunkt, der besonders die starke Beeinträchtigung der Methionin und Cystein Verdaulichkeit erklärt, wäre, dass Trypsin und Chymotrypsin hohe Gehalte dieser AS aufweisen (NITSAN AND LIENER, 1976). Das Pankreas reagiert mit hohen Gehalten an Proteaseinhibitoren mit vermehrter Sekretion an Verdauungsenzymen (NITSAN AND LIENER, 1976). Der hohe Gehalt der beiden Aminosäuren im Dünndarm könnte auch von endogenen Aminosäuren der Verdauungsenzyme stammen.

Darüber hinaus sind die Trypsininhibitoren selbst reich an schwefelhaltigen Aminosäuren. Besonders die Klasse der Bowman-Birk-Inhibitoren, die besonders häufig in Sojabohnen vorkommen, enthalten zahlreiche Disulfid-Brücken und enthalten daher viel Cystein (ODANI AND IKENAKA, 1973). Der hohe Gehalt an schwefelhaltigen Aminosäuren könnte deshalb auch von den hohen Mengen an Inhibitor im Darm kommen. Schlussendlich kann nicht endgültig geklärt werden, woher die gemessenen Aminosäuren im Darm stammen, hierfür müssten hochauflösende Studien durchgeführt werden. Für die Praxis allerdings lässt sich die Maxime ableiten, die TIA in Masthähnchenfutter auf ein Minimum zu reduzieren, um Leistungseinbußen zu vermeiden.

### **Wachstumsversuch**

Der Wachstumsversuch wurde nach praxisüblichen Verfahren durchgeführt. Als Mastperiode wurden 35 Tage gewählt. Die Tiere wurden 3-phasig gefüttert (Starter, Aufzuchtmast, Endmast). Energie- und Rohproteingehalt der Diäten entsprachen den Bedarfsvorgaben der AVIAGEN GROUP (2019). Es wurden allerdings nicht, wie in der Praxis üblich, kristalline Aminosäuren ergänzt um zu überprüfen, ob eine hohe Restaktivität an TI einen Proteinmangel induziert.

Die Ergebnisse aus dem Wachstumsversuch zeigten ebenfalls, dass TIA einen signifikanten Einfluss auf das Lebendgewicht am Ende der Aufzucht- und der Endmastphase sowie die Gewichtszunahme und die Futtermittelverwertung während der Aufzuchtmastphase hatte. Dies steht im Einklang mit bestehender Literatur. Eine hohe Restaktivität an Trypsininhibitoren reduziert nachweislich das Wachstum von Ratten (Gu et al., 2010; Grant et al., 1996), Broilern (HEGER ET AL., 2016; CLARKE AND WISEMAN, 2005) und Puten (MIAN AND GARLICH, 1995). Weiterhin ist es wichtig bei der Aufbereitung von Sojaprodukten für die Tierfütterung darauf zu achten Eiweißschädigung zu vermeiden. Diese wird üblicherweise anhand der Eiweißlöslichkeit in KOH und durch Bestimmung des HDL gemessen. Bislang wird das Verhältnis zwischen adäquater Denaturierung der Proteaseinhibitoren und Eiweißschädigung kontrovers diskutiert. PACHECO ET AL. (2014), sowie ARABA UND DALE (1990) beobachteten einen Rückgang der Wachstumsleistung mit abnehmender Proteinlöslichkeit. Die Ergebnisse aus vorliegenden Fütterungsversuchen legen allerdings nahe, dass die Eiweißschädigung eine untergeordnete Rolle in Bezug auf die tierischen Leistungen spielt. Insgesamt wurde festgestellt, dass 1 mg TIA/g TM mehr im Futter einen Mehrbedarf von 0,14 kg Futter pro kg Zuwachs (HOFFMANN ET AL., 2019) nach sich zieht. Ein Fütterungsversuch von (HEGER ET AL., 2016) mit vollfettetem Soja bestätigt die Beeinträchtigung der Wachstumsleis-

tung von Broilern mit steigender TIA. Die Eiweißlöslichkeit in KOH lag bei HEGER ET AL. (2016) jedoch bei allen Varianten im oder über dem Zielbereich, so dass bei der Aufbereitung keine Überbehandlung erzielt werden konnte.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Bauchspeicheldrüse signifikant größer war, umso mehr TIA im Futter war. Die Hypertrophie der Bauchspeicheldrüse aufgrund eines hohen Gehalts an Proteaseinhibitoren wurde bereits von zahlreichen Autoren untersucht und bestätigt. Dies konnte bei Untersuchungen mit Ratten festgestellt werden (GRANT ET AL., 1995; ABBEY ET AL., 1979), aber auch bei anderen Tierarten wie Puten (MIAN AND GARLICH, 1995), Hühnerküken (GERTLER ET AL., 1967) und Broilern (HEGER ET AL., 2016; CLARKE AND WISEMAN, 2005) waren ähnliche Ergebnisse zu verzeichnen. Trypsininhibitoren gehen irreversible Verbindungen mit den Verdauungsenzymen Trypsin und Chymotrypsin ein (CLARKE AND WISEMAN, 2005). Das Pankreas reagiert hierauf mit Hypertrophie und Hyperplasie (GRANT ET AL., 1995; ABBEY ET AL., 1979). Infolgedessen kommt es zu einer vermehrten Sekretion der Enzyme Trypsin, Chymotrypsin und Elastase (NITSAN AND LIENER, 1976). Folglich hat eine erhöhte Aktivität des Pankreas einen erhöhten Energieaufwand, sowie hohe Verluste an endogenen Aminosäuren zur Folge.

Bei den Teilstücken der zerlegten Mastbroiler aus dem Wachstumsversuch zeigte sich, dass der TIA-Gehalt im Futter neben dem bereits genannten signifikanten Einfluss auf den Schlachtkörper auch signifikante Einflüsse auf die Teilstück- und Organgewichte aufwies. So waren insbesondere die Gewichte der wertvolleren Teilstücke (Brust und Schenkelpaar) mit zunehmendem TIA-Gehalt im Futter stärker reduziert. Das Gewicht des Flügelpaars und der Karkasse waren ebenfalls signifikant reduziert, allerdings in geringerem Umfang im Vergleich zur Brust und dem Schenkelpaar. Bei den Organen nahmen die Gewichte von Leber, Herz und Magen mit steigendem TIA-Gehalt im Futter signifikant ab. Interessant ist aber, dass das Gewicht der Flügelpaare, der Karkasse, der Schenkel, sowie der essbaren Organe relativ zum Schlachtkörper gesehen zunahm. Einzig der relative Anteil des Brustmuskels nahm mit steigender TIA im Futter ab, was ein eindeutiger Beleg dafür ist, dass TIA die Schlachtkörperqualität beeinträchtigt. Zudem ist davon auszugehen, dass TIA im Futter einen Proteinmangel induziert, was durch die relativ vergrößerten Organe gezeigt wird. Hier wird Muskelmasse zum Erhalt überlebenswichtiger Funktionen geopfert. Beim Vergleich mit den Ergebnissen aus der chemischen Körperzusammensetzung bestätigt sich diese These. Hier konnte ein Rückgang des Eiweißgehalts und eine gleichzeitige Erhöhung des Wassergehalts beobachtet werden. Durch den erhöhten Wassergehalt im Fleisch konnte festgestellt werden, dass die Fleischqualität mit steigender TIA abnimmt.

Die durchgeführten Versuche ergaben somit, dass es keinen Schwellenwert für den TIA-Gehalt im Sojakuchen bzw. in der fertigen Futtermischung gibt. Weiterhin zeigte sich, dass die Eiweißschädigung eine untergeordnete Rolle spielte. Somit kann für die Aufbereitung von Sojabohnen geschlossen werden, dass Sojakuchen für die Fütterung von Monogastern einen möglichst niedrigen TIA-Gehalt bei noch akzeptabler Eiweißschädigung haben soll. Mit jedem mg TIA im Futter mehr reduziert sich somit die Futtermittelverwertung um rund 10 %. Bei der verwendeten Futtermischung entsprachen 2,6 mg TIA/g TM in der Futtermischung dem bisherigen Schwellenwert von 4 mg TIA/g TM im Sojakuchen. Um optimale Leistungsparameter beim Mastbroiler zu erzielen sollte die fertige Futtermischung einen TIA-Gehalt unter 2 mg/g Trockenmasse aufweisen, was bei der verwendeten Futtermischung einem TIA-Gehalt im Sojakuchen von weniger als 3 mg TIA/g TM entspricht.

### **Nahinfrarot-Spektroskopie**

Ein gutes Kalibrationsmodell ist von der Repräsentativität der Proben, sprich einem umfangreichen Datensatz mit ausreichend Proben unterschiedlicher Konzentrationen abhängig, zudem wird es entscheidend geprägt durch die qualitativ hochwertige, präzise Analytik und zu guter Letzt

durch eine saubere Generierung der Spektren. Obwohl die Kalibrationsmodelle eine hohe Anzahl an Sojaprobe beinhalten, zeigen die Ergebnisse, dass in manchen Bereichen der Probenumfang erweitert werden sollte. Bei der chemischen Analyse der Sojaprobe im Labor wurden die Proben zu Beginn mit einem 1 mm Sieb vermahlen und von diesen Proben wurde anschließend zur Untersuchung auf den TIA-Gehalt eine Teilprobe von 1 g entnommen. Dadurch kann es, trotz genauer Mischung der vermahlenden Probe, zu inhomogenen Partien innerhalb der Probe und somit zu einem höheren Laborfehler kommen. Generell gilt, dass das Kalibrationsmodell maximal so gut sein kann wie der Gesamtfehler der Laboranalytik.

Bei den TIA-Analysen selbst, die in Duplikaten erfolgten (Beispiel, Tabelle 5), wurden im Ergebnis zwei zusammen passende Daten einer Probe ausgewählt, die nach vorher festgelegten Spannen in den Inhibitionswerten nach DIN-Vorschrift ähnlich waren (Tabelle 5, Legende). Je nach Höhe des TIA-Gehalts in der Sojaprobe (Rohbohnen bis 40-50 mg TIA/ g TM, aufbereitete Sojabohnen 2-10 mg TIA/ g TM) wurden die Proben zur photometrischen Bestimmung entsprechend verdünnt (DIN EN ISO 14902). Wenn die Verdünnung zur Doppelbestimmung einer Probe nicht exakt gewählt war, wurde die Probe wiederholt untersucht, mit einer anderen Verdünnung (Tabelle 5). Jede einzelne Probe wurde so oft analysiert, bis die Ergebnisse in der Verdünnung innerhalb einer vordefinierten Spanne lagen. Bei der Auswahl geeigneter Proben passten manchmal Daten, die außerhalb der Spanne lagen besser zusammen. Dadurch wurde die Auswahl geeigneter Analysewerte bei Wiederholungsproben erschwert und kann den TIA-Gehalt, allein durch die Zuordnung der Proben, bis zu 1 mg/g Trockenmasse variieren lassen.

Tabelle 5: Beispiel einer Sojaprobe zur Variabilität des TIA-Gehalts nach Inhibitionswerten

Einwaage (g)	Vermessungsdatum	Verdünnung DIN	Inhibition (%)	TIA (mg/g)	Durchschnitt TIA (mg/g)
1,0001	07.11.2019-a	1000	71,66	5,42	
1,0001	07.11.2019-b	1500	60,40	<b>6,85</b>	
1,0001	07.11.2019-b_Wh	1800	56,26	7,66	
1,0012	07.11.2019-b	1500	69,13	7,83	
1,0012	07.11.2019-b_Wh	2000	45,68	<b>6,90</b>	6,87

Farbzuordnung der Zellwerte der Inhibition (%): Grün: 40-60; Gelb: 37-40 oder 60-63; Rot: 20-37 oder > 63

Dies könnte unter anderem teilweise unterschiedliche Analyseergebnisse verschiedener Labore erklären, da bereits die Zuordnung der Duplikate Abweichungen beinhalten könnte. So wurden im Rahmen des Projekts identische Proben in verschiedene Labore geschickt und es kamen teils große Abweichungen bei den Analyseergebnissen heraus. Dabei konnte kein Muster bei den Abweichungen festgestellt werden, sondern mal lag das eine Labor über dem Wert aus dem anderen Labor und umgekehrt. Weiterhin waren die Abweichungen teils gering (unter 1 mg TIA/ mg TM), teils aber auch größer. Daher wurden am Ende nur Analyseergebnisse aus dem LTE Labor für die Kalibrationen verwendet. Es liegt daher nahe zu postulieren, dass der Fehler der Laboranalytik in einem ähnlichen Bereich liegt wie der Fehler der NIRS-Kalibration bzw. dass der Fehler der NIRS-Kalibration in großen Teilen durch den Laborfehler erklärt werden kann.

Bei der Weiterentwicklung des Kalibrationsmodells auf den TIA-Gehalt und der Erstellung des Kalibrationsmodells für die Eiweißlöslichkeit (KOH) konnten insgesamt gute Ergebnisse in den Güteparametern der Modelle erzielt werden. Die Test-Set Validierung auf sechs externe Proben verdeutlicht jedoch, dass wohl die Spezifikation der unterschiedlich aufbereiteten Sojachargen durch Erhöhung des Probenumfangs verbessert werden könnte. Die Langzeitvalidierung der Kalibrationsmodelle in einer dezentralen Sojaaufbereitungsanlage (Meika Tierernährung, Großaitingen) fiel insgesamt positiv aus, jedoch besteht auch hier weiterer Entwicklungsbedarf. Die Validität der

Kalibrationsmodelle kann durch eine Erweiterung des Probenmaterials erhöht werden. Abschließend lässt sich feststellen, dass in ersten Ansätzen eine gute Darstellung des TIA-Gehalts und der Eiweißlöslichkeit (KOH) in einer Praxisanlage realisiert werden konnte. Die Nahinfrarot-Spektroskopie bietet hohes Potential, den Aufbereitungsprozess von Sojabohnen in der Praxis zu begleiten. Der Anlagenbetreiber kann erste Veränderung in den Prozessparametern erkennen und seine Anlage entsprechen durch Veränderung der Temperatur oder Verlängerung der Verweildauer der Sojachargen im Prozess anpassen. Auch kann er anhand des TIA-Gehalts in der Rohbohne schon eine optimierte Anlageneinstellung vornehmen. Dadurch können oftmals über- oder unterbehandelte Sojachargen vermieden werden.

## 8 Ergebnisse Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Bei den dargestellten dezentralen Aufbereitungsmethoden kam es bisher auf das Geschick des Anlagenführers an, die optimale Aufbereitungsintensität für die jeweilige Sojacharge zu erreichen. Da der Gehalt an Trypsininhibitoren je nach Sorte, Anbaujahr und Anbauregion sehr stark variieren kann (VOLLMANN ET AL., 2003), kommt es immer wieder zu Fehleinschätzungen des Anlagenführers bezüglich der nötigen Hitzeeinwirkung zur ausreichenden Reduktion der TIA. Die Ergebnisse der Feldproben bestätigen dies, da bei allen Anlagentypen unterbehandelte Chargen in den Futtertrog gelangten. Daher sollten die aufzubereitenden Chargen vor der Aufbereitung mittels NIRS auf ihren Gehalt an Trypsininhibitoren untersucht werden. Einziger die Hexanextraktion lieferte bisher bei allen beprobten Chargen die angestrebten niedrigen TIA-Gehalte. Für ökologisch wirtschaftende Betriebe ist jedoch Sojaextraktionsschrot als Futtermittel nicht zugelassen, womit diese auf die dezentralen Aufbereitungsanlagen angewiesen sind.

Aus den Ergebnissen der Feldproben und den Fütterungsversuchen kann bei gemeinsamer Betrachtung geschlussfolgert werden, dass bei der Sojaaufbereitung der Zielwert für die Trypsininhibitoraktivität von weniger als 3 mg/g in jedem Fall erreicht bzw. unterschritten werden soll, notfalls auf Kosten der Eiweißverfügbarkeit. Somit sollte die Aufbereitungsintensität zwingend erhöht werden.

Die dargestellten Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt sind daher in mehrererlei Richtungen verwertbar. Die Hersteller von Sojaaufbereitungsanlagen können den Anlagenaufbau bzw. die Einstellparameter an den neuen Richtwerten für TIA ausrichten bzw. bessere Empfehlungen beim Bau und Betrieb ihrer Anlagen daraus ableiten. Auf der Seite der Sojaaufbereiter führen die Ergebnisse zu einer klaren Definition der Zielwerte für TIA und zu klaren Verfahrensanweisungen für Chargen die diese Zielwerte nicht erreichen, nämlich diese in der Wiederkäuerfütterung einzusetzen. Weiterhin profitiert die Tierernährungsindustrie von den Ergebnissen. Jetzt ist klar, dass TIA der entscheidende Faktor bei der Erstellung einer Futtermischung ist und daher auch die durch weitere Komponenten wie z. B. den Körnermais eingetragene TIA berücksichtigt werden muss. Somit können künftig die fertigen Futtermischungen auf TIA untersucht werden und so nur noch Mischungen mit niedrigen TIA Gehalten für die Starter- und Aufzuchtmischungen verwendet werden, da insbesondere in diesen Phasen auch schon leicht höhere TIA Gehalte zu Einbußen führten. Weiterhin können auch die Landwirte von den Ergebnissen profitieren, da sie zum einen auf optimale Futtermischungen von Seiten der Tierernährungsindustrie schauen können und zum anderen unnötige Aufschläge von AS, die wiederum zu vermehrter Stickstoffausscheidung im Kot führen, vermeiden können. Somit können die Nährstoffbilanzen bzw. der Stickstoffgehalt im Kot reduziert werden. Ein weiterer Effekt einer verbesserten AS Nutzung ist eine bessere Stallluft, da mit geringeren Stickstoffausscheidungen automatisch der Ammoniakgehalt der Luft sinken dürfte. Für die Verbraucher bzw. die Gesellschaft tragen die Ergebnisse des Projekts zu einer Verbesserung der Tierwohlsituation in der Geflügelhaltung bei.

## **9 Gegenüberstellung ursprünglich geplante zu tatsächlich erreichten Zielen**

Der Stand des Vorhabens entspricht weitestgehend der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung. Die Auswertung der Ergebnisse aus den Fütterungsversuchen wurde im Rahmen der Diss. Künz bereits durchgeführt (vergleiche Kapitel 6.3 und folgende). Aktuell ist eine erste Publikation zum Verdauungsversuch eingereicht. Eine weitere Publikation zu den Schlachtkörperteilen, Organen und zur Ganzkörperanalyse aus dem Wachstumsversuch wird im Laufe des Jahres 2020 folgen.

Die Fütterungsversuche mit Junghennen und Legehennen können im Rahmen des Projekts (wie bereits in den Zwischenberichten erwähnt) aus personellen und finanziellen Gründen nicht mehr durchgeführt werden. Der dafür vorgesehene Sojakuchen aus den Aufbereitungsversuchen wurde entsorgt.

Die Erstellung der NIRS-Kalibrationen zur Eiweißschädigung (KOH) und zur TIA konnte erfolgreich durchgeführt werden und auch der Einsatz der Kalibration in einer dezentralen Sojaaufbereitungsanlage konnte demonstriert werden.

Die Projektergebnisse werden auch künftig von der Arbeitsgruppe Verfahrenstechnik Grünland und Futterbau (ILT1b) am Institut für Landtechnik und Tierhaltung bei geeigneten Veranstaltungen präsentiert. Weiterhin werden die Ergebnisse in Fachzeitschriften usw. den verschiedenen Zielgruppen von den Landwirten bis hin zu Fütterungsexperten nahegebracht.

## 10 Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt SojaNIRS wurden zunächst Sojabohnen mit unterschiedlichen Verfahren aufbereitet. Das Ziel lag dabei auf der Erstellung eines breiten Spektrums an variierenden Sojakuchenqualitätsstufen, wobei die Trypsininhibitoraktivität (TIA) und die Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH) als Zielgrößen gewählt wurden. Die gewonnenen Sojaqualitäten wurden dann im Tiermodell anhand von zwei Fütterungsversuchen mit schnell wachsenden Mastbroilern validiert. Im ersten Versuch wurde der Einfluss unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren und -intensitäten auf die Aminosäureverfügbarkeit untersucht. In einem weiteren Fütterungsversuch standen die Wachstums- und Schlachtleistung von Mastbroilern im Focus. Um die Aufbereitungs- bzw. Futterqualitäten künftig schneller bestimmen zu können, wurde weiterhin eine NIRS-Kalibration für TIA und KOH entwickelt. Diese Kalibrationsmodelle konnten in einer dezentralen Aufbereitungsanlage eingesetzt und deren Nutzen für die Prozessüberwachung dargestellt werden. Die umfangreichen Ergebnisse aus den Fütterungsversuchen und die Modelle für die Schnellbestimmung der antinutritiven Inhaltsstoffe in Sojaprodukten mittels NIRS stehen der Praxis zur Optimierung der Futteraufbereitung und Futtermittelerstellung für die Geflügelfütterung zur Verfügung.

Zwei Partien Sojabohnen (Sorte Sultana und Merlin) wurden mit unterschiedlichen Aufbereitungsmethoden hitzebehandelt und entölt. Dabei war es das Ziel, eine möglichst große Bandbreite an Aufbereitungsintensitäten, von unterbehandelt (TIA > 4 mg/g, KOH > 85 %) über optimal behandelt (TIA < 4 mg/g, KOH zwischen 78 und 85 %) bis hin zu überbehandelt (TIA < 4 mg/g, KOH < 78 %) zu erzeugen. Als Aufbereitungsmethoden wurden die darrthermische, druckthermische, hydrothermische und thermische Aufbereitung angewendet. Bei der darrthermischen Aufbereitung zirkuliert feuchte erhitzte Luft um die Sojabohnen (Zielwerte bei optimaler Behandlung: 160 °C, 30 Minuten). Bei der druckthermischen Aufbereitung werden die Sojabohnen mit Wasserdampf erhitzt (103 °C, 10 Minuten) und anschließend mithilfe eines Expanders extrudiert (130 °C, 1-5 Sekunden). Die hydrothermische Aufbereitung erfolgt nur mittels Wasserdampf (103 °C, 40 Minuten) und die thermische Aufbereitung wird mit trockener Hitze in einem Toaster durchgeführt (115 °C, 40 Sekunden). Die Entölung erfolgte bei allen Varianten mittels Schneckenpressen, je nach Verfahren vor (druck- und hydrothermisch) oder nach (darrthermisch und thermisch) der Aufbereitung. Bei der thermischen, hydrothermischen und druckthermischen Aufbereitung konnten die gewünschten Aufbereitungsintensitäten von unter- bis überbehandelt erzielt werden.

Für den Verdaulichkeitsversuch wurden somit 45 verschiedene Sojakuchen erzeugt und in 91 Futtermischungen an 5.490 Ross 308 Mastbroiler vom 15. bis zum 22. Lebenstag gefüttert. Dabei lagen die TIA-Gehalte in den fertigen Futtermischungen in einem Bereich von 0,4 bis 8,5 mg TIA/g Trockenmasse (TM). Eine reduzierte Anzahl an Sojakuchen (34 Varianten) wurde in einem Wachstumsversuch mit 1.680 Ross 308 Mastbroilern ab der Aufzuchtmastphase eingesetzt. Dabei lagen die TIA-Gehalte im fertigen Futter während der Aufzuchtmast (vom 11. bis zum 24. Lebenstag) in einem Bereich von 0,5 bis 8,7 mg/g und in der Endmast (vom 25. bis zum 35. Lebenstag) in einem Bereich von 0,3 bis 7,2 mg/g. Die geschlachteten Broiler aus dem Wachstumsversuch wurden zusätzlich fachgerecht in Einzelteile (Flügelpaar, Brust mit Haut, Schenkelpaar, Karkasse) zerlegt. Neben den Teilstückgewichten wurden weiterhin die Gewichte von Leber, Bauchspeicheldrüse, Herz und Magen erfasst. Die Ergebnisse aus dem Verdaulichkeitsversuch zeigten, dass TIA die scheinbare Dünndarmverdaulichkeit bei allen Aminosäuren signifikant mit einem linearen Zusammenhang reduzierte. Dabei waren die beiden essentiellen Aminosäuren Methionin und Cystein besonders stark in ihrer scheinbaren Dünndarmverdaulichkeit reduziert. Dies hatte auch signifikante Auswirkungen auf das Körpergewicht, die täglichen Zunahmen und die aufsummierten Zunahmen der Mastbroiler während der Versuchsphase vom 15. bis zum 22. Lebenstag. So waren bei höheren TIA-Werten im Futter die genannten Kennzahlen signifikant niedriger, wieder mit einem

linearen Zusammenhang zu TIA. Die Ergebnisse aus dem Wachstumsversuch zeigten ebenfalls, dass TIA einen signifikanten Einfluss auf das Lebendgewicht am Ende der Aufzucht- und der Endmastphase sowie die Gewichtszunahme und die Futtermittelverwertung während der Aufzuchtmastphase hatte. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Bauchspeicheldrüse signifikant größer war, umso mehr TIA im Futter war. Gleichzeitig ergab der Wachstumsversuch, dass die Eiweißschädigung (gemessen anhand der Eiweißlöslichkeit in KOH und zusätzlich durch die Bestimmung des hitzegeschädigten Lysins) eine untergeordnete Bedeutung für die gefundenen signifikanten Effekte auf die tierischen Leistungen hatte. Somit bedeutet 1 mg TIA/g TM mehr im Futter einen Mehrbedarf von 0,14 kg Futter pro kg Zuwachs. Bei den Teilstücken der zerlegten Mastbroiler aus dem Wachstumsversuch zeigte sich, dass der TIA-Gehalt im Futter neben dem bereits genannten signifikanten Einfluss auf das gesamte Schlachtkörpergewicht auch signifikante Einflüsse auf die Teilstück- und Organengewichte aufwies. So waren insbesondere die Gewichte der wertvolleren Teilstücke (Brust und Schenkelpaar) mit zunehmendem TIA-Gehalt im Futter stärker reduziert. Das Gewicht des Flügelpaars und der Karkasse waren ebenfalls signifikant reduziert, allerdings in geringerem Umfang im Vergleich zur Brust und dem Schenkelpaar. Bei den Organen nahmen die Gewichte von Leber, Herz und Magen mit steigendem TIA-Gehalt im Futter signifikant ab. Interessant ist, dass sich dabei deren Gewichtsanteil im Vergleich zum Schlachtkörper erhöhte. Nur bei der Bauchspeicheldrüse war eine Gewichtszunahme mit steigender TIA zu verzeichnen.

Weiterhin wurden Feldproben verschiedener dezentraler Aufbereitungsanlagen und Ölmühlen in den Jahren 2015 bis 2019 gesammelt und analysiert um den aktuellen Stand in der Praxis darzustellen. Alle chemisch analysierten Proben wurden mit einem FT-NIR-Spektrometer (Tango, Bruker Optics GmbH) gescannt und für die Kalibrationsmodelle (TIA und KOH) verwendet. Beide Kalibrationsmodelle wiesen gute Bestimmtheitsmaße ( $R^2$  TIA = 0,92 und  $R^2$  KOH = 0,81) auf und wurden in einer externen Test-Set Validierung auf sechs unterschiedliche Proben angewendet. Im Ergebnis konnte der TIA-Gehalt der Rohbohne sehr gut geschätzt werden, wohingegen die niedrigeren Werte der behandelten Sojaprobe im Mittel um 2 mg/g (vollfette Sojaprobe) bis im Mittel unter 1 mg/g (teilentölte Sojaprobe) überschätzt wurden. Die Vorhersage der Eiweißlöslichkeit in KOH war insgesamt deutlich sicherer, mit prozentualen Abweichungen vom Laborwert zwischen 5 und 14 %. Eine Langzeitvalidierung in einer dezentralen Aufbereitungsanlage konnte zeigen, dass die Prozessparameter (TIA- und KOH-Gehalt) gut wiedergegeben werden konnten. Die Futtermittel der beprobten Anlagen gelangen prinzipiell ohne direkte Kenntnisse über die TIA und KOH-Werte in den Handel. Eine Schnellbestimmungsmethode auf NIRS-Basis kann Auskunft über die quantitativen Inhaltsstoffe geben. Tendenzielle Veränderungen in den Parametern TIA und KOH lassen sich mit NIRS sehr gut erkennen, auf die der Anlagenbetreiber durch Nachjustierung bezüglich Hitzeeinwirkung oder Verweildauer des Sojaproduktes im Aufbereitungsprozess reagieren und einwirken kann. Zur exakten Bestimmung des tatsächlichen Laborwertes sind diese Kalibrationsmodelle jedoch noch nicht ausgereift und sollten mit zusätzlichem Probenmaterial zur Verbesserung der Güte der Modelle erweitert werden.

Die durchgeführten Versuche ergaben somit, dass es keinen Schwellenwert für den TIA-Gehalt im Sojakuchen bzw. in der fertigen Futtermischung gibt. Weiterhin zeigte sich, dass die Eiweißschädigung eine untergeordnete Rolle spielte. Somit kann für die Aufbereitung von Sojabohnen geschlossen werden, dass Sojakuchen für die Fütterung von Monogastrier einen möglichst niedrigen TIA-Gehalt bei noch akzeptabler Eiweißschädigung haben soll. Mit jedem mg TIA im Futter mehr reduzierte sich die Futtermittelverwertung um rund 10 %. Bei der verwendeten Futtermischung entsprachen 2,6 mg TIA/g TM in der Futtermischung dem bisherigen Schwellenwert von 4 mg TIA/g TM im Sojakuchen. Um optimale Leistungsparameter beim Mastbroiler zu erzielen sollte der TIA-Gehalt daher so niedrig wie möglich aber immer unter 3 mg TIA/g TM im Sojakuchen und unter 2 mg TIA/g TM in der Futtermischung liegen. Bei der Eiweißschädigung kann dagegen ein unterer Wert bis zu 70 % Eiweißlöslichkeit in KOH akzeptiert werden.



## 11 Literaturverzeichnis

- Abbey, B.W., Norton, G., Neale, R.J. (1979): Effects of dietary proteinase inhibitors from field bean (*Vicia faba* L.) and field-bean meal on pancreatic function in the rat. In: *British Journal of Nutrition* 41 (1), S. 39–45.
- Ahmed, N.O. (2001): Untersuchungen zur ernährungsphysiologischen Bewertung unterschiedlich behandelter Sojabohnen in der Broilerernährung. Dissertation, Georg-August-Universität zu Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, 113 Seiten.
- Araba, M., Dale, N.M. (1990): Evaluation of Protein Solubility as an Indicator of Overprocessing Soybean Meal. In: *Poultry science* 69 (1), S. 76–83. DOI: 10.3382/ps.0690076.
- ASAIM SEA (2003): Value for Meal – U.S: Dehulled soybean meal for quality feed production. Online verfügbar unter [http://www.asaimsea.com/index.php?language=en&screenname=\\_\\_docs\\_Value%20For%20Meal](http://www.asaimsea.com/index.php?language=en&screenname=__docs_Value%20For%20Meal), zuletzt aufgerufen am 11.11.2013.
- Asam L. (2013): Mitarbeiter im FIBL-Projekt “Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung sowie pflanzenbauliche und verarbeitungstechnische Optimierung”, persönliche Mitteilung vom Mai 2013.
- Aviagen Group (Hg.) (2019): Broiler Nutrition Specifications. Online verfügbar unter <http://en.aviagen.com/brands/ross/products/ross-308>, zuletzt geprüft am 11.12.2019.
- Batal, A.B., Douglas, M.W., Engram, A.E., Parsons, C.M. (2000): Protein dispersibility index as an indicator of adequately processed soybean meal. *Poultry Science* 79 (11), pp. 1592–1596.
- Brandt, M., Allam S.M. (1987): Analytik von TiO<sub>2</sub> im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaußschluß, *Archives of animal nutrition*:453–454.
- Brugger, D., Nadler, C., Windisch, W.M., Bolduan C. (2016): Feed protein value of acidic precipitates obtained from press juices of three types of green forage leaves. *Animal Feed Science and Technology* 222:236–241. doi 10.1016/j.anifeedsci.2016.10.017
- Clarke, E., Wiseman, J. (2005): Effects of variability in trypsin inhibitor content of soya bean meals on true and apparent ileal digestibility of amino acids and pancreas size in broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology* 121 (1-2), pp. 125–138.
- Clarke, E., Wiseman, J. (2007): Effects of extrusion conditions on trypsin inhibitor activity of full fat soybeans and subsequent effects on their nutritional value for young broilers. In: *British poultry science* 48 (6), S. 703–712.
- DIN EN ISO 14244:2014-02. Ölsamenschrote - Bestimmung der in Kaliumhydroxidlösung löslichen Proteine. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN EN ISO 14902:2002-02. Futtermittel- Bestimmung der Trypsin-Inhibitor-Aktivität von Sojaerzeugnissen (ISO\_14902:2001); Deutsche Fassung EN\_ISO\_14902:2001. doi: 10.31030/9186137. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Foltyn, M., Lichovnicková, M., Rada, V., Musilová, A. (2015): Apparent ileal digestibility of protein and amino acids in protein feedstuffs and trypsin activity in the small intestine in broiler chickens. In: *Czech J. Anim. Sci.* 60 (8), S. 375–382. DOI: 10.17221/8407-CJAS.

- Fontaine, J., Zimmer, U., Moughan P.J., Rutherford, S.M. (2007): Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with solubles. Use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients. *J. Agric. Food Chem.*, 55, pp. 10737-10743.
- Gertler, A., Birk, Y., Bondi, A. (1967): A comparative study of the nutritional and physiological significance of pure soybean trypsin inhibitors and of ethanol-extracted soybean meals in chicks and rats. In: *The Journal of nutrition* 91 (3\_suppl), S. 358–370.
- Grant, G., Dorward, P.M., Buchan, W.C., Armour, J.C., Pusztai, A. (1995): Consumption of diets containing raw soya beans (*Glycine max*), kidney beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupin seeds (*Lupinus angustifolius*) by rats for up to 700 days: effect on body composition and organ weights. In: *British Journal of Nutrition* 73 (1), S. 17–29.
- Gu, C., Pan, H., Sun, Z., Qin, G. (2010): Effect of soybean variety on anti-nutritional factors content, and growth performance and nutrients metabolism in rat. In: *International journal of molecular sciences* 11 (3), S. 1048–1056. DOI: 10.3390/ijms11031048.
- Heger, J., Wiltafsky, M., Zelenka, J. (2016): Impact of different processing of full-fat soybeans on broiler performance. *Czech Journal of Animal Science* 61:57-66. doi 10.17221/8728-cjas
- Helmbrecht, A., Redshaw, M.S. and A. Lemme (2010): AMINONews, Special Edition, June 2010. Ed. Redshaw.
- Helmbrecht, A., Redshaw, M.H., Lemme, A. (2010): AMINONews, Special Edition, June 2010.
- Herkelman, K.L., Cromwell, G.L., Stahly, T. (1991): Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. In: *J. Animal Sci.* 69, 4477-4486.
- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner S. (2017): Calibration Model for a Near Infrared Spectroscopy (NIRS) System to Control Feed Quality of Soy Cake Based on Feed Value Assessments In-Vitro. *Chemical Engineering Transactions* 58:379-384. doi 10.3303/CET1758064
- Hoffmann, D.H, Thurner, S., Ankerst, D.P, Damme, K., Windisch, W.M., Brugger, D. (2019): Varying soy cake quality affects broiler performance: Chickens' growth performance and pancreas development exposed to soy cake varying in trypsin inhibitor activity, heat degraded lysine concentration and protein solubility in potassium hydroxide. *Poultry Science* 0:1-14; <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey592>
- Kessler, W. (2007): *Multivariate Datenanalyse für die Pharma-, Bio- und Prozessanalytik*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Kluth, H., Mehlhorn, K., Rodehutschord, M. (2005): Studies on the intestine section to be sampled in broiler studies on precaecal amino acid digestibility, *Archives of animal nutrition*. 59:271–279. doi: 10.1080/17450390500217058.
- Köbl, T. (2013): Real-time measurement in an oil mill using the example of rapeseed processing. Presentation at the NIR-Spectroscopy User Day of the companies Sartorius and NIR-Online on 13th February 2013 in Göttingen.
- Linder Mayer, H., Probstmeier, G., Preißinger, W. (2010): Versuchsbericht S18 – Ferkelfütterung mit heimischen Sojaprodukten – 20/15 % Sojakuchen – extrudiert, 27/10 % Vollfettsojabohnen – geröstet. Online verfügbar unter

- [http://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/40406/linkurl\\_0\\_24\\_0\\_0.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/40406/linkurl_0_24_0_0.pdf), zuletzt aufgerufen am 19.02.2013
- Llames, C.R., Fontaine, J. (1994): Determination of amino acids in feeds: Collaborative study. *Journal of AOAC International* 77, pp. 1362-1402.
  - Mian, M.A., Garlich, J.D. (1995): Tolerance of turkeys to diets high in trypsin inhibitor activity from untoasted soybean meals. In: *Poultry science* 74 (7), S. 1126–1133. DOI: 10.3382/ps.0741126.
  - Miersch, M. (2020): Sojaanbau in Deutschland hat viele Vorteile – Zeit für die Eiweißwende. Online verfügbar unter: <https://www.sojafoerderring.de/>. Zuletzt aufgerufen am 13.03.2020.
  - Monary, S. (1989): *Fullfat-Soya Handbook*, 2. Auflage, Brüssel, Belgien.
  - Nitsan, Z., Liener, I.E. (1976): Enzymic activities in the pancreas, digestive tract and feces of rats fed raw or heated soy flour. In: *The Journal of nutrition* 106 (2), S. 300–305.
  - Odani, S., Ikenaka, T. (1973): Studies on soybean trypsin inhibitors. 8. Disulfide bridges in soybean Bowman-Birk proteinase inhibitor. In: *Journal of biochemistry* 74 (4), S. 697–715. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jbchem.a130295.
  - Pacheco, W.J., Stark, C.R., Ferket, P.R., Brake, J. (2014): Effects of trypsin inhibitor and particle size of expeller-extracted soybean meal on broiler live performance and weight of gizzard and pancreas. In: *Poultry science* 93 (9), S. 2245–2252. DOI: 10.3382/ps.2014-03986.
  - Pahn, A.A., Pedersen, C., Stein H.H. (2008): Application of the reactive lysine procedure to estimate lysine digestibility in distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J Agric Food Chem* 56:9441-9446. doi 10.1021/jf801618g
  - Ravindran, V., Bryden, Wayne L. (1999): Amino acid availability in poultry—in vitro and in vivo measurements. In: *Aust. J. Agric. Res.* 50 (5), S. 889. DOI: 10.1071/AR98174.
  - Rhee, K.C. (2000): Processing technology to improve soy utilization. In: *Soy in animal nutrition*, Ed. Drackley, J.K., Federation of Animal Science Societies, pp. 46-55.
  - Rodehutsord, M., Kapocius, M., Timmler, R., Dieckmann, A. (2004): Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens, *British poultry science*. 45:85–92. doi: 10.1080/00071660410001668905.
  - Samadi, Yu, P. (2011): Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans. In: *J. Dairy Sci.*, Vol. 94, pp. 6092-6102.
  - Schlichenmaier, T., Schlichenmaier, I. (2013): Firma Oilmex, persönliche Mitteilung vom 10.01.2013.
  - Thurner, S., Zeindl, R. (2013): Hydrothermische Anlage: Meika Tierernährung. In: *Sojaaufbereitungsanlagen* Hrsg.: Asam, L., Spory, K., Spiegel, A.-K. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Seite 11-13. Online verfügbar unter: <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2014/02/Sojaaufbereitungsanlagen-FiBL.pdf>. Zuletzt aufgerufen am 14.04.2020.
  - Thurner, S., Zeindl, R., Asam, L. (2013): Vergleich der Verfahrenstechnik zur Sojaaufbereitung. In: *Agrarforschung hat Zukunft - Wissenschaftstagung der LfL, LfL-Schriftenreihe* 4/2013, Hrsg. LfL, Seite 63-72. Online verfügbar unter:

- [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/agraarforschung\\_zu\\_kunft.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/agraarforschung_zu_kunft.pdf). Zuletzt aufgerufen am 23.09.2018.
- Van Eys, J.E. (2012): Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. Ph.D. thesis, U.S. Soybean export council, 105 Seiten.
  - Van Eys, J.E., Offner, E.A., Bach, A. (2004) Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. American Soybean Association, St. Louis, MO.
  - VDLUFA (2012): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs-und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch). Bd. III, Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verl., Darmstadt.
  - Vollmann, J., Grausgruber, H., Wagenristl, H., Wohleser, H., Michele, P. (2003): Trypsin inhibitor activity of soybean as affected by genotype and fertilisation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:1581-1586. doi 10.1002/jsfa.1582
  - Wilbois, K.-P., Spiegel, A.-K., Asam, L., Balko, C., Becker, H., Berset, E., Butz, A., Haase, T., Habekuß, A., Hahn, V., Heß, J., Horneburg, B., Hüsing, B., Kohlbrecher, M., Littmann, C., Messmer, M., Miersch, M., Mindermann, A., Nußbaumer, H., Ordon, F., Recknagel, J., Schulz, H., Spory, K., Trautz, D., Unsleber, J., Vergara, M., Vogel, R., Vogt-Kaute, W., Wedemeier-Kremer, B., Zimmer, S., Zurheide, T. (2014): Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung sowie pflanzenbauliche und verarbeitungstechnische Optimierung. 491 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.orgprints.org/28484/> oder <https://orgprints.org/28484/1/28484-11NA001-008-fibl-wilbois-2014-sojaanbau.pdf>. Zuletzt aufgerufen am 15.04.2020.
  - Williams, P.C., Sobering, D.C. (1993): Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *Journal Near Infrared Spectroscopy* 1, pp. 25-32.

## 12 Veröffentlichungen, Vorträge und weitere Präsentationen und Arbeiten

### Veröffentlichungen (peer reviewed):

- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner S. (2017): Calibration Model for a Near Infrared Spectroscopy (NIRS) System to Control Feed Quality of Soy Cake Based on Feed Value Assessments In-Vitro. *Chemical Engineering Transactions* 58:379-384. doi 10.3303/CET1758064
- Hoffmann, D., Thurner, S., Ankerst, D., Damme, K., Windisch, W., Brugger, D. (2019): Varying soy cake quality affects broiler performance - Chickens' growth performance and pancreas development exposed to soy cake varying in trypsin inhibitor activity, heat degraded lysine concentration and protein solubility in potassium hydroxide. *Poultry Science* 0:1-14, <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey592>.

### Dissertationen:

- Hoffmann, D. (2019): Assessment of soy cake protein quality for broiler feeding through infrared spectroscopy calibration validated by in-vitro feed analyses and in-vivo feeding studies. Dissertation am Lehrstuhl für Tierernährung der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München. 86 Seiten.

### Tagungsbeiträge, Poster und Vorträge:

- Hoffmann, D. (2015): Optimizing soy cake treatment with near infrared spectroscopy. Vortrag beim TUM Graduate School - Kick-off-seminar in Frauenchiemsee am 14.10.2015.
- Hoffmann, D. (2016): Establishing a near infrared spectroscopy (NIRS) system to control feed quality of soy cake on base of feed value assessments in-vitro and in-vivo (chicken studies). Poster und Tagungsbeitrag zum 2nd HEZAgrar PhD Symposium. Hrsg.: Hans-Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften, Freising, Deutschland, 46-48.
- Hoffmann, D. (2017): Establishing a near infrared spectroscopy (NIRS) system to control feed quality of soy cake on base of feed value assessments in-vitro. Vortrag und Tagungsbeitrag zum 3rd HEZAgrar PHD Symposium. Hrsg.: TU-München, Hans-Eisenmann-Zentrum für Agrarwissenschaften, Freising, Deutschland, 33-34.
- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner, S. (2016): Optimierung dezentraler Soja-aufbereitungsverfahren mittels Online - Prozesssteuerung über Nahinfrarotspektroskopie. Posterpräsentation bei den DLG-Feldtagen in Mariaburghausen vom 14. bis 16.06.2016.
- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner, S. (2016): Optimierung dezentraler Soja-aufbereitungsverfahren mittels Online - Prozesssteuerung über Nahinfrarotspektroskopie. Posterpräsentation beim Tag der offenen Tür am LVFZ Kitzingen in Kitzingen am 12.06.2016.
- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner, S. (2017): Calibration model for a near infrared spectroscopy (NIRS) system to control feed quality of soy cake based on feed value assessments in-vitro. Vortrag bei der XXXVII CIOSTA & CIGR Section V Conference in Palermo, Italien am 14.06.2017.

- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner, S. (2017): Optimierung dezentraler Soja-aufbereitungsverfahren mittels Online - Prozesssteuerung über Nahinfrarotspektroskopie. Posterpräsentation bei der Messe RegioAgrar Bayern, Veranstalter Bayerischer Bauernverband in Augsburg am 06.02.2017.
- Hoffmann, D., Brugger, D., Windisch, W., Thurner, S. (2017): Optimierung dezentraler Soja-aufbereitungsverfahren mittels Online - Prozesssteuerung über Nahinfrarotspektroskopie. Posterpräsentation beim Feldtag Körnerleguminosen der LfL in Oberhummel am 30.06.2016.
- Hoffmann, D., Kraft, K., Brugger, D., Windisch, W., Thurner, S. (2015): Optimierung dezentraler Sojaaufbereitungsverfahren mittels Online-Prozesssteuerung über Nahinfrarot-Spektroskopie (SojaNIRS). In: LfL-Schriftenreihe, Ausg.: 6/2015, Soja-Tagung 2015 im Rahmen des bundesweiten Soja-Netzwerks. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), München, Deutschland, ISSN: 1611-4159, 72-74.
- Hoffmann, D., Kraft, K., Thurner, S. (2014): Optimierung dezentraler Sojaaufbereitungsverfahren mittels Online-Prozesssteuerung über Nahinfrarot-Spektroskopie. Vortrag bei der Amandus Kahl GmbH & Co. KG in Reinbek am 03.12.2014.
- Hoffmann, D., Thurner, S. (2016): Derzeitiger Stand der Sojaaufbereitungstechniken – Möglichkeiten zur Qualitätssicherung von aufbereitetem Sojakuchen. Vortrag beim LKP Soja Feldtag in Garching an der Alz am 02.07.2016.
- Hoffmann, D., Thurner, S. (2016): Technische Möglichkeiten zur Qualitätserhaltung von aufbereitetem Sojakuchen. Vortrag beim Seminar Soja toasten und veredeln, Veranstaltet vom LTZ Augustenberg und dem LRA Tübingen in Rottenburg-Ergenzingen am 24.11.2016. Online verfügbar unter: [http://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz\\_ka/Arbeitsfelder/Eiwei%C3%9Fpflanzen/Soja-Demonstrationsnetzwerk/Seminar%20Rottenburg-Ergenzingen/161124\\_Technische%20M%C3%B6glichkeiten.pdf](http://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Arbeitsfelder/Eiwei%C3%9Fpflanzen/Soja-Demonstrationsnetzwerk/Seminar%20Rottenburg-Ergenzingen/161124_Technische%20M%C3%B6glichkeiten.pdf). Zuletzt aufgerufen am 16.04.2020.
- Hoffmann, D., Thurner, S. (2016): Möglichkeiten der Sojaaufbereitung. Posterpräsentation bei der Messe Eurotier 2016, Veranstalter DLG in Hannover vom 15. bis 18.11.2016.
- Kuenz, S., Hoffmann, D., Thurner, S., Damme, K., Windisch, W., Brugger, D. (2019): Einfluss einer variierenden Trypsininhibitoraktivität im Alleinfutter auf die grobgewebliche Zusammensetzung beim Mastbroiler. 131. VDLUFA-Kongress: Verbraucherschutz als Herausforderung für die landwirtschaftliche Produktion; 10.– 13.09.2019, Gießen. Kurzfassungen. Darmstadt 2019. VDLUFA-Verlag. 274-284.
- Kuenz, S., Puntigam, R., Wetscherek, W., Windisch, W., Brugger, D. (2018): Effects of trypsin inhibitors on physiological processes in broilers. In: Luksch, C., 2018. 4th HEZ PhD Symposium, in Freising am 24.04.2018. 49-50. (Tagungsbandbeitrag und Posterpräsentation)
- Kuenz, S., Thurner, S., Hoffmann, D., Kraft, K., Wiltafsky, M., Damme, K., Windisch, W., Brugger, D. (2019): Trypsin inhibitor activity in soybean depresses massively prececal amino acid digestibility in broilers. In: Luksch, C., 2019. 5th HEFagrar PhD Symposium, in Freising am 10.04.2019, 43-44. (Tagungsbandbeitrag und Vortrag)
- Kuenz, S., Thurner, S., Hoffmann, D., Kraft, K., Wiltafsky, M., Damme, K., Windisch, W., Brugger, D. (2019): Effect of varying trypsin inhibitor activity in differently processed soybean cakes on praecaecal amino acid digestibility in broilers. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 28: 64.
- Thurner, S. (2017): Aufbereitung und Verarbeitung von Bio-Futtersoja Hinweise zur Fütterung. Vortrag beim Feldtag Bio-Soja auf dem Leuchtturmbetrieb von Adolf Hörl in Gerzen am 14.09.2017.

- Thurner, S. Stockl, A. (2019): Aufbereitungsverfahren für Soja - Auswirkungen auf die Broilermast. In: Fachgespräch - Kurzfassungen, Lagerung von Getreide und Körnermleguminosen. Hrsg.: ALB Baden-Württemberg, Hohenheim, Deutschland, ISSN: 0949-7838. 61-65. (Tagungsbeitrag und Vortrag)
- Thurner, S., Hoffmann, D., Damme, K., Ankerst, D., Brugger, D., Windisch, W. (2019): Unterschiedliche Sojaaufbereitungsintensitäten und -arten - Konsequenzen für die Mast. Vortrag beim Sojatag am 31.01.2019 in Dasing.
- Thurner, S., Hoffmann, D., Damme, K., und Windisch, W. (2018): Unterschiedliche Sojaaufbereitungsintensitäten - Konsequenzen für die Mast. Tagungsband, Vortrag und Poster Präsentation am 23.10.2018 in Würzburg im Rahmen der Sojatagung - Fünf Jahre Soja-Netzwerk, Wertschöpfungsketten und Impulse für die Zukunft. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, IBA) und Landesvereinigung für den ökologischen Landbau in Bayern, Eigenverlag, München, Deutschland: 26-29.
- Thurner, S., Hoffmann, D., Gain, A. (2017): Möglichkeiten und Grenzen aktueller Anwendungen von NIRS in der Landwirtschaft. Vortrag bei der 31. Sitzung des KTBL-Arbeitskreises „Referenten Land- und Energietechnik“ in Buxtehude am 01.06.2017.
- Thurner, S., Hoffmann, D., Kraft, K., Mačuhová, J., Göbel, T., Mayr, K., Spinnarke, L. und Peter, G. (2018): Erarbeitung und Optimierung eines praxistauglichen Verfahrensablaufs für das Keimen, Mälzen und Silieren von Sojabohnen und Sojakeimen sowie analytische Untersuchungen des Potentials als Proteinfuttermittel für Geflügel- und Schweinefütterung (SojaKeimung). Vortrag im Rahmen des Jour fixe im StMELF in München am 16.05.2018.
- Thurner, S., Mačuhová, J. (2018): Aktuelle Projekte bei ILT1b und Stand der Untersuchungen zur Heutrocknung in Bayern. Vortrag im Rahmen des FÜAK-Seminars Bauberatung aktuell – Landtechnik (Nr. 2018-0118/01) in Raumberg-Gumpenstein am 18.09.2018.
- Thurner, S., Wendl, G., Heinrich, A., Hoffmann, D., Göbel, T., Mayr, K. (2017): Vorstellung der Projekte im Bereich Geflügel. Vortrag im StMELF, Referat L7 und A2 in Freising am 12.01.2017.
- Thurner, S., Zeindl, R. (2014): Eiweißinitiative – Sojaaufbereitung. Posterpräsentation bei der EuroTier 2014 in Hannover vom 11. bis 14.11.2014.

#### **Master- und Bachelorarbeiten:**

- Aigner, V. (2018): Einfluss einer variierenden Trypsininhibitoraktivität auf die praecaecale Proteinverwertung bei Mastgeflügel. Unveröffentlichte Masterarbeit am Lehrstuhl für Tierernährung, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, 37 Seiten.
- Künz, S. (2017): Einfluss der Trypsininhibitoraktivität (TIA) in unterschiedlich aufbereiteten Sojakuchen auf die Wachstumsleistung von Mastbroilern. Unveröffentlichte Masterarbeit am Lehrstuhl für Tierernährung, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, 83 Seiten.
- Mika, M. (2016): Untersuchungen zur technologischen Behandlung von Sojabohnen. Unveröffentlichte Bachelorarbeit an der Fakultät Land - und Ernährungswirtschaft der Hochschule Weihenstephan – Triesdorf, 43 Seiten.
- Peter, G. (2018): Felderhebung zur Sojaaufbereitungsqualität in dezentralen Anlagen in Bayern. Unveröffentlichte Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Tierernährung am Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München, 37 Seiten.

- Riepl, F. (2019): Einfluss der Trypsininhibitoraktivität (TIA) in unterschiedlich aufbereiteten Sojakuchen auf die Schlachtleistung und chemische Körperzusammensetzung von Mastbroilern. Unveröffentlichte Masterarbeit am Lehrstuhl für Tierernährung, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, 54 Seiten.

#### **Geplante Publikationen in 2020 (nach Erstellung des Berichts):**

- Kuenz S, Thurner S, Hoffmann D, Kraft K, Wiltafsky M, Damme K, Windisch W, Brugger D. (2020): The residual anti-nutritive potential of soybean products affects the estimation of standardized ileal amino acid digestibility by modulating endogenous protein secretion. World Poultry Congress, Paris (abstract under review).
- Kuenz, S., Thurner, S., Hoffmann, D., Kraft, K., Wiltafsky, M., Damme, K., Windisch, W., Brugger, D. (2020): Varying trypsin inhibitor activity in differently processed soybean cakes reduces prececal amino acid digestibility in broilers. Paper submitted to Poultry Science 6th November 2019, manuscript ID: PS-19-09835, status: under review
- Kuenz, S.; Hoffmann, D.; Thurner, S.; Damme, K.; Windisch, W.; Brugger, D. (2020): Impact of varying trypsin inhibitor activity in feed on chemical body composition of broiler chickens at the end of fattening, Jahrestagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Göttingen (abstract accepted)
- Kuenz, S.; Hoffmann, D.; Thurner, S.; Damme, K.; Windisch, W.; Brugger, D. (2020): Effect of varying trypsin inhibitor activity in differently soybean cakes on slaughter performance and chemical composition of male broiler chickens. (manuscript in preparation)
- Stockl, A., Hoffmann, D., Künz, S., Thurner, S. (2020): Auswirkungen verschiedener Aufbereitungsverfahren für Soja auf die Broilermast. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (Manuskript eingereicht)
- 

Alle Veröffentlichungen (peer reviewed) sowie die Dissertation und das sich bereits im Review-Prozess befindliche Manuskript (Künz et al., 2020, manuscript ID: PS-19-09835) liegen dem Bericht als Belegexemplar bei. Die weiteren Publikationen, Vorträge, Posterbeiträge und studentischen Arbeiten wurden bereit den Zwischenberichten beigelegt.