

**Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München**

**Untersuchungen zum Futterwert und Einsatz von Produkten der
Luzernepflanze (*Medicago sativa*) in der ökologischen Schweinefütterung**

von Michal Elisabeth Weber

aus Bielefeld

München 2025

**Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München**

Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik

**Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle**

**Angefertigt an der Fakultät Nachhaltige Agrar- und Energiesysteme
der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf**

Mentor: Prof. Dr. Gerhard Bellof

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-
Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatteerin: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

Korreferent/en: Priv.-Doz. Dr. Petra Kölle

Tag der Promotion: 8. Februar 2025

Gott gebührt der Ruhm.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Zuchtsauenfütterung unter ökologischen Bedingungen	3
2.1.1 Vorgaben der ökologischen Schweinehaltung und -fütterung	3
2.1.2 Energie- und Nährstoffbedarf von Zuchtsauen	5
2.2 Innovative proteinreiche Luzerneprodukte im Vergleich zu Körnerleguminosen als Eiweißfuttermittel in der ökologischen Zuchtsauenfütterung	9
2.2.1 Sojakuchen	9
2.2.2 Ackerbohnen & Erbsen	10
2.2.3 Innovative Luzerneprodukte	11
2.3 Methoden zur Ermittlung des energetischen Futterwerts	15
2.3.1 Direkte Methode versus Differenzmethode	16
2.3.2 Totalsammlung versus Indikator-Methode	16
2.4 Konditionsbeurteilung von Zuchtsauen unter ökologischen Haltungsbedingungen	19
2.4.1 Einfluss der Körperkondition auf die Reproduktionsleistung von Zuchtsauen	19
2.4.2 Energiebereitstellung aus der Mobilisierung von Körperreserven und der Futteraufnahme	20
2.4.3 Methoden der Konditionsbeurteilung	21
3 Publikationen	24
3.1 Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs	24
3.2 Lucerne (<i>Medicago sativa</i>) plant tips as protein feed for lactating sows in an organic farming system	47

4	<i>Diskussion</i>	73
4.1	Aktuelle Strategien zur Proteinversorgung in der ökologischen Schweinefütterung	73
4.2	Luzerne als wertvolle Eiweißquelle in der ökokonformen Zuchtsauenfütterung	75
4.3	Kritische Bewertung der verwendeten Methodik zur Bestimmung der Verdaulichkeit	78
4.3.1	Totalsammlung statt Indikator-Methode	78
4.3.2	Zeitbasiert statt Marker-to-Marker	79
4.4	Beurteilung der Kondition und Fütterungsstrategie ökologisch gehaltener Zuchtsauen – Aspekte für eine Neubewertung	81
4.4.1	Einfluss der Kondition auf Reproduktionsleistung	81
4.4.2	Fütterung und Körperkondition	82
4.4.3	Methodik	83
5	<i>Zusammenfassung</i>	85
6	<i>Summary</i>	87
7	<i>Literaturverzeichnis</i>	88
8	<i>Danksagung</i>	103

Abkürzungsverzeichnis

a.p.	antepartum
AIA	acid-insoluble ash
BCS	Body Condition Score
Ca	Calcium
CF	crude fiber
CP	crude protein
CPD	Rohprotein-Verdaulichkeit
EAA	essential amino acids
FM	Frischmasse
IM	Index-/Indikatormethode
LBH	Luzerneblatt, heißluftgetrocknet
LBS	Luzerneblattsilage
LM	Lebendmasse
LS	Luzerneganzpflanzensilage
LT	Luzernespitzen, frisch
LTH	Luzernespitzen, heißluftgetrocknet
LTS	Luzernespitzensilage
ME	metabolisierbare Energie
OMD	Verdaulichkeit der Organischen Masse
P	Phosphor
pcv	präcaecal verdaulich
RSD	Rückenspeckdicke
SD	standard deviation
TC	Totalsammlung
TIA	Trypsininhibitoraktivität
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel-Aufnahme der RSD-Messung am Punkt C. Die Messung umfasst *Epidermis* mit *Dermis*, *Subcutis* und *Fascia lumbodorsalis*. Tiefer liegend: *Musculus longissimus dorsi* (außerhalb der Messung). Eigene Aufnahme. 23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Nährstoffzusammensetzung innovativer Luzerneprodukte aus der Literatur (g/kg TM)	13
--	----

1 Einleitung

Auf der Suche nach alternativen Proteinquellen für die ökologische Schweinefütterung rückte die Luzerne bereits vor einiger Zeit in den Mittelpunkt diverser Studien und Forschungsprojekte (Bellof et al., 2021; Sommer & Sundrum, 2015; Weltin et al., 2014).

Um die Entwicklung regionaler ökokonformer Eiweißfuttermittel weiter voranzutreiben, hat das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF) das Projekt „NovaLuz“ gefördert. Dieses von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) gemeinsam durchgeführte Forschungsvorhaben zielte auf die Entwicklung und Etablierung von Luzernespitzen als alternatives Eiweißfuttermittel in der Rinder- und Schweinefütterung ab. Als Luzernespitzen wurden die oberen 40 % der oberirdischen Gesamtpflanze definiert, die mittels spezieller Hochschnitt-Erntetechnik geworben wurden. Das Projekt wurde 2024 abgeschlossen (Turner et al., 2024). In dem Arbeitspaket Fütterung wurden sowohl die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe zur Ermittlung des Futterwerts der Luzernespitzen als auch der Einsatz der Luzernespitzen in der ökologischen Fütterung säugender Sauen untersucht. Beide Studien bilden den Schwerpunkt dieser Dissertation und werden in Kapitel 3 vorgestellt. Die Untersuchungen zur Verdaulichkeit der Rohnährstoffe wurden in der Zeitschrift *Züchtungskunde* zur Veröffentlichung angenommen. Der Fütterungsversuch mit säugenden Sauen unter ökologischen Haltungsbedingungen wurde bei *Organic Agriculture* zur Veröffentlichung eingereicht.

Für eine gemeinsame abschließende Diskussion ist den Studien eine weitergefasste Literaturübersicht vorangestellt. Darin werden die aktuellen Vorgaben für den ökologischen Landbau mit Bezugnahme auf den Energie- und Nährstoffbedarf von Zuchtsauen unter ökologischen Haltungsbedingungen dargestellt. Des Weiteren stellt die Betrachtung einiger häufig verwendeten Körnerleguminosen im ökologischen Landbau (Sojakuchen, Ackerbohnen und Erbsen) den Wert innovativer Luzerneprodukte heraus. In Bezug auf die Verdaulichkeitsuntersuchungen wird im dritten Abschnitt der Literaturübersicht

die dahinterstehende Methodik entfaltet. Für die Untersuchung der Luzernespitzen im Praxisversuch mit säugenden Sauen bietet abschließend ein Abriss über die relevante Konditionsbeurteilung von Zuchtsauen den Hintergrund.

2 Literaturübersicht

2.1 Zuchtsauenfütterung unter ökologischen Bedingungen

2.1.1 Vorgaben der ökologischen Schweinehaltung und -fütterung

Die Verordnung (EU) 2018/848 ist seit dem 17.06.2018 in Kraft und ihre Anwendung begann am 01.01.2022. Die Vorschriften betreffen die Herkunft der Tiere, Haltungsvorgaben und Futtermittel. Eine Haltungsvorgabe ist beispielsweise die Mindestdauer der Säugezeit, die ab der Geburt 40 Tage beträgt (Durchführungsverordnung (EU) 2020/464).

Bezüglich der Vorgaben zu Futtermitteln heißt es, dass die Futterproduktion seit Beginn der Anwendung zu wenigstens 30 % betriebseigen, bzw. regional sein muss. Es ist nicht zulässig gentechnisch veränderte Futtermittel zu verwenden. Synthetische Aminosäuren sind in der Schweinefütterung unter ökologischen Bedingungen, anders als unter konventionellen Bedingungen, untersagt. Es ist auch nicht erlaubt Lösungsmittel chemisch-synthetischer Natur in der Futtermittelherstellung einzusetzen. (Verordnung (EU) 2018/848)

Eine Ausnahmeregelung, die den Einsatz von bis zu 5 % konventionellen Futtermitteln pro Jahr bis 2022 erlaubt, wurde durch Verordnung (EG) Nr. 889/2008 aufgenommen.

Durch die Vorgaben wird der Einsatz von konventionellen und importierten Futtermitteln stark eingeschränkt. Die bedarfsdeckende Versorgung mit essentiellen Aminosäuren stößt bei einer rein ökologischen Fütterung von Schweinen derzeit allerdings aufgrund mangelnder Verfügbarkeit regionaler Alternativen an ihre Grenzen (Witten et al., 2014). Witten et al. (2014) sind der Frage nachgegangen, inwiefern eine Deckung der Aminosäurelücke im ökologischen Landbau mit ökologisch erzeugten oder auch konventionellen Futtermitteln möglich ist. Was ist derzeitige Praxis und was sind Prognosen für die weitere Entwicklung? Als konventionelle Futtermittel werden v.a. Kartoffeleiweiß und Maiskleber eingesetzt, wobei Maiskleber, aufgrund der

hohen Methioningehalte, besonders für die Geflügelfütterung geeignet ist. Beide Futtermittel sind in viel zu geringen Mengen in ökologischer Qualität verfügbar. Ein starker Anstieg der Produktion ist nicht zu erwarten, da sie von der in etwa gleichbleibenden Nachfrage an Bio-Stärke abhängig ist. Abseits der Verfügbarkeitsgrenzen scheint eine 100 %-ige Versorgung mit ökologisch erzeugten Futtermitteln nicht problematisch zu sein (Sundrum et al., 2005; Witten et al., 2014), denn der globale Markt ist groß genug, was allerdings dem Ansatz der nachhaltigen und regionalen Tierproduktion im ökologischen Landbau widerspricht.

Seit 01.01.2022 ist die Ausnahmeregelung für den Einsatz konventioneller Eiweißfuttermittel stärker eingeschränkt worden. In der Anfangsmast von Schweinen, bis zu einem Gewicht von 35 kg, gibt es weiterhin diese Ausnahme, auch in der Verordnung (EU) 2018/848. Bestimmte nichtökologische Eiweißquellen, die nach bestimmten Vorgaben hergestellt wurden, sind dabei bis Ende 2026 erlaubt. Die EU-Kommission überwacht die Verwendung dieser Ausnahme-Futtermittel. Je nach Veränderungen auf dem Markt der ökologischen Eiweißfuttermittel, wird die Kommission diese Übergangsregelung (früher) beenden oder verlängern. So sieht es die Verordnung (EU) 2018/848 vor.

Zudem muss Raufutter zusätzlich zu der Tagesration von Schweinen angeboten werden - frisch, siliert oder getrocknet. Die allgemeine Auffassung ist, dass Luzerne und Klee, jeweils auch als Pellets, aber auch Getreidestroh und anderes dazuzählen. Das Raufutter dient der Beschäftigung der Schweine, die ein ausgeprägtes Futtersuch- und Futteraufnahmeverhalten zeigen. Es verlängert die Futteraufnahmedauer und stillt das Fressbedürfnis, wodurch insgesamt Verhaltensprobleme wie Kannibalismus und Schwanzbeißen reduziert werden (De Leeuw et al., 2008; Meunier-Salaün et al., 2001; Werner & Sundrum, 2008).

In ähnlicher Weise gilt die Vorgabe der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung, wonach das Alleinfutter von Sauen gegen Ende der Trächtigkeit einen Rohfasergehalt von mindestens 8 % in der Trockenmasse aufzuweisen hat, bzw. jede Sau täglich mindestens 200 g Rohfaser aufnehmen kann (TierSchNutzV, 2021). Hierbei stehen die Sättigung und die Risikominimierung für den mangelbedingten Erkrankungskomplex Mastitis-Metritis-Agalaktie im Vordergrund (De Leeuw et al., 2008; Kamphues et al., 2014).

Neben den Vorgaben, die bereits die Verordnung (EU) 2018/848 macht, haben Anbauverbände weitere engere Vorgaben für ihre Mitglieder erstellt. An dieser Stelle sei der Anbauverband Bioland e.V. beispielhaft als größter Anbauverband in Deutschland herangezogen (BÖLW, 2024). Bioland e.V. gibt seinen Mitgliedern vor, dass der betriebseigene, bzw. regionale (verbandsinterne), Futteranteil mindestens 50 % betragen muss. Ausnahmen stellen kleine Betriebe dar, wobei "klein" anhand der Tierzahl definiert ist (Bioland e.V., 2024).

Die Anbauverbände haben sich der Ausnahmeregelung für konventionelle Eiweißfuttermittel in der Regel angeschlossen, wenn Mangelernährung droht oder passende Eiweißfutter in ökologischer Qualität nicht verfügbar sind. Bioland e.V. erlaubt hierbei nur Kartoffeleiweiß ohne chemischen Lösungsmittelleinsatz (Bioland e.V., 2024).

2.1.2 Energie- und Nährstoffbedarf von Zuchtsauen

Der Energie- und Nährstoffbedarf von säugender Zuchtsauen wird maßgeblich durch die Ferkelzahl, das Alter bzw. die Lebendmasse und die Umgebungstemperatur bestimmt.

2.1.2.1 Energiebedarf

Der Erhaltungsbedarf einer 245 kg schweren Zuchtsau liegt bei 27,2 MJ ME (metabolisierbare Energie) pro Tag (GfE, 2006). Dieser wird mithilfe der Lebendmasse (LM) anhand folgender Formel berechnet:

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ/d)} = 0,44 * \text{LM}^{0,75}$$

Zusätzlich benötigen junge Sauen Energie für das eigene Körperwachstum, denn die modernen Sauenlinien sind nicht vor dem 4. Wurf ausgewachsen (GfE, 2006). Im Allgemeinen verfügen Sauen, wie jede Tierart, über einen thermoneutralen Bereich, in welchem keine zusätzliche Energie für die Wärmegenerierung oder Kühlung nötig ist. Dieser liegt für Sauen mit einer Lebendmasse von 185 – 225 kg zu Laktationsbeginn bei 19 °C. Für jedes Grad darunter werden täglich 0,6 MJ ME zusätzlich gebraucht. Sind die Sauen schwerer, brauchen sie 1 MJ ME zusätzlich je 10 kg, die sie schwerer sind. (Kamphues et al., 2014)

Der zusätzliche Energiebedarf für die Phase der Trächtigkeit unterscheidet sich von dem in der Laktation. In der Trächtigkeit ist der Energiebedarf deutlich

geringer, wobei die Entwicklung der Feten und Gesäugeleiste eine wichtige mitbestimmende Rolle spielt. In der Laktation benötigt die Sau dagegen für den Wurfzuwachs ihrer Ferkel deutlich mehr zusätzliche Energie. Pro kg Wurfzuwachs muss die Sau 29 MJ ME mehr aufnehmen. Damit werden dann 4,1 kg Milch produziert. Der Energiegehalt der Milch beträgt 5,0 MJ/kg. Der Teilwirkungsgrad der Energieumwandlung beträgt 70 %. Somit ergibt sich ein zusätzlicher Energiebedarf von 72,5 MJ ME pro Tag bei einem täglichen Wurfzuwachs von 2,5 kg. (GfE, 2006)

Bei den genannten Empfehlungen zur Energieversorgung wird zumeist von einer konventionellen Säugedauer von 21 bis 28 Tagen ausgegangen. Die Empfehlungen gliedern sich in Gewichtsklassen und sind gestaffelt in der Höhe des Wurfzuwachses von meistens 2,0 bis 3,0 kg pro Tag. In der Regel wird bei den Empfehlungen von einem physiologischen Lebendmasseverlust in der Laktation ausgegangen, der in der nachfolgenden Trächtigkeit wieder aufgeholt werden kann. Diese Mobilisierung von Körpersubstanz stellt eine zusätzliche Energiequelle neben der Energiebereitstellung über die Futteraufnahme dar. So wird beispielsweise bei 10 kg Körpersubstanzverlust eine Energieversorgung über die Fütterung von 76 MJ ME/Tag bei einem Wurfzuwachs von 2,0 kg empfohlen (245 kg LM). Bei 20 kg LM-Verlust ist die Energiezufuhr über das Futter nur noch zu 65 MJ ME/Tag notwendig. (GfE, 2006)

2.1.2.2 Bedarf an Rohprotein bzw. essentiellen Aminosäuren

Der Rohprotein-Bedarf ist eine vereinfachte nicht ganz korrekte Darstellung, denn das Aminosäuremuster der Futterproteine spielt eine viel konkretere Rolle für die Bedarfsdeckung (Stangl et al., 2014). Die Sau benötigt Aminosäuren in unterschiedlichem Umfang für den Muskelaufbau, die Entwicklung von Feten und die Milchbildung (GfE, 2006). Einige Aminosäuren können Schweine selbst synthetisieren (u.a. Arginin). Andere Aminosäuren müssen ohne Ausnahme dem Tierkörper von außen zugeführt werden, da für die nötige Bedarfsdeckung eigene Enzyme fehlen. Zu diesen essentiellen Aminosäuren gehören Lysin, Methionin, Threonin, Valin, Leucin, Isoleucin, Phenylalanin, Tryptophan und Histidin. Unter den essentiellen Aminosäuren gibt es eine Rangordnung je nach ihrem Vorkommen in der regulären Schweinefuttermischung. Eine Aminosäure, die als

erstes zu wenig verfügbar ist, gilt als erst-limitierend. Das ist meistens Lysin, gefolgt von Methionin (Stangl et al., 2014).

Säugende Sauen unterscheidet sich hinsichtlich des Aminosäurebedarfs von Mastschweinen. Ein Laktationsfutter sollte 180 g/kg Rohprotein aufweisen (88 % Trockensubstanz (TS)), wobei präcaecal verdauliches (pcv) Lysin bei 8,0 g/kg und Gesamt-Lysin bei 9,5 g/kg liegen sollte (Roth, 2014). Der Methionin- (+ Cystein-) Bedarf säugender Sauen ist deutlich höher als bei Mastschweinen. Während der Methionin- und Cysteingehalt im Mastfutter lediglich 53-56 % des pcv Lysins beträgt, ist die Relation im Säugefutter mit 60 % etwas geringer (Roth, 2014). Insgesamt entspricht das einem Bedarf im Futter von 8,3 g/kg Methionin + Cystein für Mastschweine (800 g Tageszunahme), bzw. 23,4 g/kg für säugende Sauen (GfE, 2006).

2.1.2.3 Rohfaser-Bedarf

Ein gewisser Gehalt an Rohfaser in der Futtermischung von Schweinen trägt zum Wohlbefinden der Tiere bei, da es länger sättigt und die Darmflora stärkt (Lindberg, 2014; Werner & Sundrum, 2008). Auch die zusätzliche Gabe von Raufutter begünstigt aufgrund hoher Rohfasergehalte diese positiven Effekte. Ein Rohfasermangel bei Zuchtsauen trägt außerdem, zusammen mit einem Bewegungsmangel, zu Verstopfungen bei, wodurch das Risiko für den Erkrankungskomplex Mastitis-Metritis-Agalaktie steigt (De Leeuw et al., 2008; Kamphues et al., 2014).

Roth (2014) empfiehlt insgesamt für laktierende Sauen einen Rohfasergehalt von 40 – 60 g/kg (88 % TS) im Alleinfutter.

2.1.2.4 Mineralstoff- und Wirkstoff-Bedarf

Innerhalb des Bedarfs an Mineralstoffen und Wirkstoffen wird im folgenden Abschnitt der Fokus auf Calcium (Ca) und das Ca : Phosphor (P) – Verhältnis gelegt. Wird Ca nicht in ausreichender Menge supplementiert, können Verzögerungen im Geburtsverlauf aufgrund von Wehenschwächen die Folge sein. Ein Ca-Mangel wirkt sich außerdem negativ auf die Kolostrumbildung in Form von Menge und Qualität aus. (Kamphues et al., 2014). Die GfE (2006) gibt einen Ca-Bedarf von 24,4 – 46,5 g/d in der Laktation an, der bei höherem Wurfzuwachs höher liegt. Ein Ca-Überschuss sollte vermieden werden, da sonst

die Phosphorverwertung sinkt, weniger Calcium in den Knochen eingelagert wird und sich schließlich das Wachstum reduziert. Das Ca : P – Verhältnis sollte zwischen 2:1 und 3:1 liegen (Roth, 2014). Die Futtermischung für laktierende Sauen sollte demnach - bezogen auf die Frischmasse (FM) - 7 – 8 g/kg Ca und 6 g/kg P enthalten (Kamphues et al., 2014).

2.2 Innovative proteinreiche Luzerneprodukte im Vergleich zu Körnerleguminosen als Eiweißfuttermittel in der ökologischen Zuchtsauenfütterung

In der angestrebten Fütterung mit ausschließlich ökologisch erzeugten Futtermitteln kommen neben einer Reihe von schwer verfügbaren, teuren, wenig regionalen oder mit der Humanernährung konkurrierenden Eiweißquellen – wie Fischmehl, Weizenkleber, Milchpulver, Volleipulver oder Erbsenprotein – vor allem Sojakuchen, Ackerbohnen und Erbsen zum Einsatz (Roth, 2014; Sundrum et al., 2005; Witten et al., 2014).

Diese Körnerleguminosen sind genauso wie die Grünleguminosen im ökologischen Anbau ein wichtiges Fruchtfolge-Glied aufgrund ihrer Fähigkeit, den Boden mit Stickstoff anzureichern. Diese Anreicherung mit Stickstoff geschieht durch eine Symbiose mit Rhizobium-Bakterien, die den Stickstoff aus der Luft binden. Grünleguminosen, wie Klee und Luzerne, weisen eine sehr viel höhere Stickstoff-Bindeleistung auf als Körnerleguminosen (Friedel et al., 2003).

2.2.1 Sojakuchen

Sojabohnen enthalten hohe Anteile an für Monogastrier essentiellen Aminosäuren. Daher gelten Sojabohnen bzw. daraus hergestellte Produkte als eine der wichtigsten Proteinquellen sowohl in der ökologischen als auch in der konventionellen Schweinefütterung (Sundrum et al., 2005). Die Verdaulichkeit liegt mit 84 % (Lysin), bzw. 86 % (Methionin) auf einem sehr hohen Niveau (Mosenthin & Sauer, 2000).

Sojakuchen ist ein Nebenprodukt der Ölgewinnung. Durch mechanische Pressung wird ein Großteil des Öls den Sojabohnen entzogen. Die chemische Extraktion ist im ökologischen Landbau nicht erlaubt, würde aber den Rohfettgehalt im Endprodukt noch deutlich weiter absenken können. Im Sojakuchen verbleibt ein hoher Anteil an Rohprotein (> 400 g/kg Trockenmasse (TM) (Lindermayer et al., 2011)), aber auch andere teils unerwünschte Inhaltsstoffe. Zum Beispiel steigen Trypsinhemmstoffe relativ an (Kamphues et al., 2014). Der Futterwert von Sojakuchen wird durch die Anwesenheit

Trypsininhibitoren reduziert, indem sie die Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit bei Schweinen herabsetzen (Chen et al., 2020). Zur Reduktion der Antinutritiva bietet sich eine Aufbereitung, wie beispielsweise die Toastung der Sojabohnen an (Sundrum et al., 2005). Bei dem Erhitzen der Sojabohnen werden die Trypsinhemmstoffe zerstört; zeitgleich muss allerdings auch die mögliche Proteinreduzierung aufgrund der Hitzeeinwirkung beachtet werden. Ein Maß für die richtige Erhitzung stellt unter anderem der Wert der Trypsininhibitoraktivität dar (TIA-Wert) (Bellof, 2013). Der TIA-Wert spielt daher eine wichtige Rolle zur Einschätzung des Futterwerts. In Deutschland lag der durchschnittliche TIA-Wert bei 4,53 mg/g Rohprotein in den Studien von Chen et al. (2020).

Insgesamt wird der Einsatz von Sojakuchen bis zu 20 % in der Mischung für laktierende Sauen empfohlen (Weber et al., 2020).

Sojakuchen wird nach wie vor zu einem überwiegenden Anteil aus Nicht-EU-Ländern importiert (van Krimpen et al., 2013). Der Import kann zwar potentiell den Bedarf decken, entspricht aber nicht den Zielen des ökologischen Landbaus (Witten et al., 2014). Erbsen wiederum, können zur Reduktion der Importe von Soja beitragen (Bellof & Specht, 2022). Außerdem ist zu erwarten, dass Sojakuchen zunehmend auch innerhalb der EU auf ökologische Weise erzeugt wird, beispielsweise in Rumänien oder in der Ukraine (Witten et al., 2014).

2.2.2 Ackerbohnen & Erbsen

Ackerbohnen besitzen mehr Rohprotein als Erbsen, aber weniger als Lupinen, wobei der Lysingehalt auf einem hohen Niveau liegt – doch kommt Methionin nur in geringer Konzentration vor (Durst et al., 2021; Sundrum et al., 2005).

Erbsen werden bereits vielfach in Europa angebaut und in der Fütterung von Schweinen und Geflügel eingesetzt (van Krimpen et al., 2013), da sie als vorrangig proteinliefernd und zur Fütterung gut geeignet gelten (Durst et al., 2021). Die Aminosäure-Verdaulichkeit liegt bei Erbsen bei 81 % (Lysin), bzw. 73 % (Methionin) (Mosenthin & Sauer, 2000).

Das Vorkommen der antinutritiven Inhaltsstoffe (insbesondere Tannine) in den Ackerbohnen und Erbsen ist in den weißblühenden Sorten geringer als in den

bunt blühenden (Durst et al., 2021). Tannine hemmen die Futteraufnahme, sowie die Nährstoffverdaulichkeit, aufgrund dessen der Einsatz in der Fütterung begrenzt ist.

Empfohlene Einsatzmengen belaufen sich in Futtermischungen säugender Sauen für Ackerbohnen auf 5-15 %, während die Grenze bei Ferkeln deutlich darunter liegt (Durst et al., 2021). Weber et al. (2020) beziffern die Einsatzgrenze für Erbsen in Säugefuttermischungen auf schätzungsweise 20 % in der Mischung. Van Krimpen et al. (2013) fanden heraus, dass Erbsen bei Absetzferkeln zu mindestens 8 % in der Gesamtration problemlos eingesetzt werden können. In der Aufzucht von Ferkeln konnten Erbsen zu 10 % im Ferkelaufzuchtfutter I und zu 20 % im Ferkelaufzuchtfutter II verwendet werden.

2.2.3 Innovative Luzerneprodukte

Insgesamt können Sojakuchen, Ackerbohnen und Erbsen aufgrund ihres geringen Methioningehaltes als Proteinquelle in der Fütterung von Schweinen den Methioninbedarf nicht allein decken (Ebert & Berk, 2013). Insbesondere der höhere Bedarf laktierender Zuchtsauen kann nicht allein durch erhöhten Einsatz der Körnerleguminosen gedeckt werden, eine Supplementierung von Methionin ist hierbei im Speziellen notwendig.

Das enge Lysin-Methionin-Verhältnis macht die Luzerne zu einer wertvollen Alternative gegenüber den Körnerleguminosen (Sommer & Sundrum, 2015; Weltin et al., 2014). Die Luzerne weist einen höheren Methionin-Gehalt pro 100 g Rohprotein auf als Sojabohnen. Fast zweimal höher ist dieser gegenüber den Erbsen (Lindermayer et al., 2011; Weltin et al., 2014). Damit werden Luzerneprodukte in der ökologischen Fütterung säugender Sauen unabdingbar.

Die Luzerneganzpflanze trägt schon jetzt in der ökologischen Schweinefütterung ihren Anteil zur Proteinversorgung durch ihren vorwiegenden Einsatz als Raufutter bei. Das Aminosäureprofil ist dabei sehr interessant, weswegen der Einsatz der Luzerne aktuell Gegenstand einiger Studien zur Entwicklung von ökologischen Proteinquellen ist (Bellof et al., 2021; Weltin et al., 2014). Die kleinkörnigen Leguminosen oder Grünleguminosen wie Rotklee oder Luzerne werden mehrmals im Jahr geschnitten und sind außerdem mehrjährig (Kolbe, 2008). Insgesamt ist der Futterwert für Schweine in einer frühen

Vegetationsnutzung bei Kleegrasmischungen höher als in einer späteren (Roth & Reents, 2001). Allerdings ist der Ertrag bei durchgehend früher Schnittnutzung (vor der Blüte) reduziert und die Überlebensfähigkeit der Pflanzen für die nächsten Nutzungsjahre leidet (Weltin et al., 2014).

Der Rohproteingehalt reicht in der Ganzpflanze von 169 bis 325 g/kg TM, abhängig von der Schnittnummer und dem Vegetationsstadium, in dem die Werbung stattfand (Beyer et al., 1977; Gawel & Grzelak, 2014; Hoischen-Taubner & Sundrum, 2016; LfL, 2021; Weltin et al., 2014). Vor der Blüte können sehr hohe Rohproteingehalte erreicht werden (Messinger, 2022). Der Lysingehalt beläuft sich dann auf 7 bis 18 g/kg TM. Methionin liegt zumeist im Bereich 2,2 bis 5,3 g/kg TM.

Die Luzerne-Einsatzmenge ist durch ihren Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen beschränkt, wobei hierbei die Saponine eine wichtige Größenordnung darstellen (Sen et al., 1998). Saponine stören beispielsweise die freiwillige Futteraufnahme, da sie die Schleimhaut reizen und für einen bitteren Geschmack sorgen, wobei noch viele weitere Beeinträchtigungen hinzukommen (Cheeke, 1971; Kalač et al., 1996; Sen et al., 1998; Szumacher-Strabel et al., 2019). Beeinflusst wird der Gesamt-Saponingehalt außerdem unter anderem durch Luzernesorte, Saison, Vegetationsstadium und Schnitzzahl (Sen et al., 1998; Weindl et al., 2021). Die Saponine sind innerhalb der Luzernepflanze vor allem in den Blättern konzentriert, Stängel und Blüten weisen einen geringeren Saponingehalt auf (Sen et al., 1998; Weindl et al., 2021). Durch eine Silierung der Luzerne lassen sich die Saponine umstrukturieren, sodass die Wirkungen reduziert werden bei gleichbleibendem oder teils erhöhtem Gesamt-Saponingehalt (Bellof et al., 2021; Kalač et al., 1996; Messinger et al., 2021; Szumacher-Strabel et al., 2019).

In den Blättern und Pflanzenspitzen der Luzerne ist generell mehr Protein enthalten als in den Stängeln (Edwards et al., 1979). Die Auftrennung von Luzerne in Blattprotein und faserreichen Rest wurde schon vielfach erforscht. Tabelle 2.1 stellt die schwankenden Nährstoffgehalte einiger Luzerneprodukte aus der Literatur dar.

Tabelle 2.1: Nährstoffzusammensetzung innovativer Luzerneprodukte aus der Literatur (g/kg TM)

Produkt	Rohprotein	Rohfaser	Lysin	Methionin
LB ^a	266			
LB ^e	262	185		
LBS ohne Silierhilfsmittel ^a	215			
LBS mit Silierhilfsmittel ^a	254			
LBS ^b	295	133	5,7	2,9
LBH ^b	198	218	9,4	2,9
LBH ^c	219	174	13,1	3,6
LBH ^d	201	202	10,0	3,1
LT ^e	268	188		

LB: Luzerneblatt, frisch; LBS: Luzerneblattsilage; LBH: Luzerneblatt, heißluftgetrocknet; LT: Luzernespitzen, frisch

^a (Shinners et al., 2007); ^b (Messinger et al., 2021); ^c (Pleger et al., 2020); ^d (Ritteser & Grashorn, 2015); ^e (Edwards et al., 1979)

2.2.3.1 Blätter

Die Auftrennung der Luzerne in Blätter und Stängel kann zu ca. 40 g mehr Rohprotein im Blattteilprodukt führen (242 – 351 g/kg TM) (Hoischen-Taubner & Sundrum, 2016), wohingegen sich der Rohfaser-Gehalt um 47 g verringert. Lysin und Methionin weisen einen Gehalt von 17,4 bzw. 2,8 – 5,0 g/kg TM auf (Messinger, 2022). Bereits Edwards et al. (1979) entwickelte eine Blatterntemaschine, mit der die Luzerneblätter von den Stängeln abgestreift werden konnten. Die Stängel wurden dabei erst im nächsten Durchgang eingeholt. Durch die Beerntung der Blätter konnte der Rohproteingehalt um 34 % im Vergleich zur Ganzpflanze gesteigert werden sowie der Rohfasergehalt um 33 % gesenkt werden.

Die Art und Weise der Konservierung stellt eine bedeutende Einflussgröße in der Nährstoffzusammensetzung der Blätter und der Futterqualität dar (Hoischen-Taubner & Sundrum, 2016). Die hohen Protein- und Calciumgehalte der Luzerne erschweren den Silierprozess. Der Zusatz von Milchsäurebakterien als Silierhilfsmittel kann den Siliererfolg verbessern. Durch Fehler in der Silierung der Blätter kann es zu einem Proteinabbau kommen (Weltin et al., 2014). Messinger et al. (2021) untersuchten die Nährstoffverdaulichkeit der Luzerneblätter:

Luzerneblattsilage (LBS) wies eine höhere Verdaulichkeit der Organischen Masse auf als Luzerneganzpflanzensilage (LS). Das könnte an dem reduzierten Rohfasergehalt liegen. In der Rohprotein-Verdaulichkeit schnitt die LBS allerdings schlechter ab als die LS. Hier liegt die Vermutung nahe, dass der erhöhte Saponingehalt in den Blättern zur Reduktion beiträgt (Messinger et al., 2021; Sen et al., 1998). Eine Heißlufttrocknung der Blätter führte bei Hoischen-Taubner & Sundrum (2016) ebenfalls zu einer Reduktion der Rohprotein-Verdaulichkeit (43 %).

Als größte Herausforderung in der Etablierung von Luzerneblättern stellte sich die Trennung von Blättern und Stängeln im großtechnologischen Maßstab dar (Maxa et al., 2021).

2.2.3.2 Spitzen

In den Spitzen ist der Saponingehalt möglicherweise geringer als in den Blättern. Diesbezüglich stellten Sen et al. (1998) fest, dass Blüten und Stängel geringere Gehalte des antinutritiven Inhaltsstoffs aufwiesen als die Blätter.

Edwards et al. (1979) erforschten neben der Blatterntetechnik auch den Hochschnitt zur Werbung von Luzernespitzen. Ein gewöhnliches Mähwerk wurde dafür auf mittlere Pflanzenhöhe angehoben. Bei einer zweiten Fahrt konnten dann die Stängel geworben werden. Die Entwicklung einer Doppelschnitttechnik zur gleichzeitigen Ernte von Spitzen und Stängeln kann hierbei Gegenstand weiterer Forschung sein. Das Material wurde im 2. bis 7. Schnitt geworben, als ca. 10 % des Bestands blühte. Das Luzernespitzenprodukt wies ähnliche Rohprotein- und Rohfaser-Gehalte auf, wie die Luzerneblätter. Da die Vergleichsganzpflanzen aus der Luzernespitzenenernte einen höheren Rohproteingehalt aufwiesen, konnte durch die Spitzenernte nur 21 % mehr Rohprotein gegenüber der Ganzpflanze generiert werden. Aufgrund der Herausforderung in der Ernte von Luzerneblättern wurde in dem Projekt „NovaLuz“ die Entwicklung der Luzernespitzen als Eiweißfuttermittel vorangetrieben. Der Futterwert und die Einsatzgrenzen dieses alternativen Eiweißfuttermittels wurden für die ökologischen Schweinefütterung in den folgenden Publikationen erforscht.

2.3 Methoden zur Ermittlung des energetischen Futterwerts

Zur Reduktion der Futterkosten und Umweltbelastung sowie für optimales Wachstum ist eine exakte Futterrationsberechnung entscheidend (Zhang & Adeola, 2017). Der Haupt-Kostentreiber in der Fütterung stellt die Versorgung mit Energie dar. (Kong & Adeola, 2014)

Der Energiegehalt eines Futtermittels allein gibt noch keine ausreichende Information über die Bioverfügbarkeit und damit den erforderlichen Einsatz, da Schweine nicht die gesamte Energie nutzen können (Kong & Adeola, 2014). Die Umsetzung der Energie aus dem Futter ist also nicht 1 : 1 möglich. Die Verdaulichkeit gibt an, zu welchem Grad die Nährstoffe des Futtermittels im Tier verbleiben. Zur verbesserten Futterkalkulation ist somit nicht nur der Nährstoffgehalt der Futtermittel wichtig, sondern auch die Verdaulichkeit dieser Nährstoffe. Beides zusammen ergibt den energetischen Futterwert. Ein Teil der Nährstoffe kann demnach nicht aufgenommen werden, sondern wird ausgeschieden. Diese Verdaulichkeitswerte sind tierart- und futtermittelspezifisch und können durch Verdaulichkeitsversuche ermittelt werden, indem dafür Kot gesammelt wird (Zhang & Adeola, 2017). Die Verdaulichkeit des Rohproteins, Rohfettes und der Organischen Masse kann nach der GfE (2006) zur Energiekalkulation herangezogen werden.

Verdaulichkeitsversuche zur Ermittlung neuartiger Futtermittel sind immer tiergebunden (in-vivo). Das heißt, in Deutschland ist ein Tierversuch nötig, der durch die zuständigen Behörden genehmigt werden muss. Darüber hinaus gibt es die In-Vitro-Analyse, deren ihren Vorteil darin besteht, dass keine Tiere notwendig sind. Das ist aufgrund heutiger gesellschaftlicher Werte die zunächst bevorzugte Methode. Die In-Vitro-Analyse verliert jedoch gegenüber dem klassischen Verdaulichkeitsversuch an Genauigkeit. Deswegen ist ein Vergleich mit Werten aus vorhergehenden Verdaulichkeitsversuchen von Nöten. Die In-Vitro-Analyse eignet sich demnach hervorragend für die Bestimmung der Verdaulichkeit von neuen Chargen bereits bekannter Futtermittel. Zur Beurteilung neuartiger Futtermittel eignet sich die In-Vitro-Analyse aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit nicht. In-vivo Verdaulichkeitsstudien sind die geläufigste Methode zur Schätzung der Verdaulichkeit (Zhang & Adeola, 2017).

Innerhalb der Verdaulichkeitsversuche gibt es im Übrigen verschiedene Methoden, die allesamt weit verbreitet sind. Im Folgenden soll darauf eingegangen werden, um die Methodenwahl der vorliegenden Verdaulichkeitsversuche (Kapitel 3.1) zu begründen.

2.3.1 Direkte Methode versus Differenzmethode

Die Direkte Methode kann zum Einsatz kommen, wenn das zu prüfende Futtermittel als alleinige Futterquelle eingesetzt werden kann. Dafür muss dieses Prüffuttermittel den Nährstoffbedarf der Schweine decken können. (Adeola, 2000)

In den Fällen, in denen der Nährstoffbedarf nicht durch das Prüffuttermittel allein gedeckt werden kann, wird die Differenzmethode verwendet (Kong & Adeola, 2014). Die Differenzmethode beinhaltet die Betrachtung einer Kontrollgruppe mit ausschließlicher Fütterung einer Basaldiät und einer Versuchsgruppe mit einer Kombination aus Basaldiät und Prüffuttermittel. Der Anteil des Prüffuttermittels sollte mindestens 25 % der gesamten Ration, bezogen auf die Organischen Masse, ausmachen (GfE, 2006).

2.3.2 Totalsammlung versus Indikator-Methode

Die Art und Weise wie die Nährstoffausscheidung ermittelt wird kann ebenfalls in zwei Methoden aufgeteilt werden. Beide werden sowohl innerhalb der direkten Methode als auch in der Differenzmethode verwendet. Entweder wird der gesamte Kot aufgesammelt und eine repräsentative Mischprobe daraus analysiert (Totalsammlung (total collection, TC)) oder die Index-/Indikatormethode (IM wird angewendet, sollte eine TC nicht möglich sein (Agudelo et al., 2010; Zhang & Adeola, 2017).

2.3.2.1 Totalsammlung

Die Totalsammlung führt zu den genauesten Verdaulichkeitswerten. Hierbei wird für fünf Tage der gesamte Kot gesammelt und gewogen (Agudelo et al., 2010). Die Futteraufnahme muss ebenfalls dokumentiert werden (Kong & Adeola, 2014). Dabei wird der Start der TC häufig mittels Marker-to-Marker-Methode definiert (Adeola, 2000; Kong & Adeola, 2014). Ein unverdaulicher farbiger Marker wird nach einer Adaptionszeit mit dem Futter vermengt gefüttert und bestimmt ab dem

Zeitpunkt des ersten Auftretens im Kot Start und Ende der Sammelperiode. Man nimmt dabei an, dass der Marker mit dem Futter wandert, ohne in die Phasen davor oder danach abzuwandern (Adeola, 2000). Der gesammelte Kot stellt dann den unverdaulichen Anteil des Futters dar, das zwischen der ersten und zweiten Gabe des Markers gefüttert wurde. Etablierte Marker sind Eisenoxid (Fe_2O_3), Chromoxid (Cr_2O_3) und Indigokarmin (Kong & Adeola, 2014).

Statt der Marker-to-Marker-Methode kann man die TC auch zeitbasiert durchführen. Der Start der TC ist dabei zeitlich direkt an die Adaptionsphase angeschlossen, zum Beispiel am nächsten Morgen. Dabei wird angenommen, dass eine konstante Futteraufnahme zu einer konstanten Kotausscheidung führt (Anderson et al., 2011; Lammers et al., 2008; Liu et al., 2012).

2.3.2.2 Indikator-Methode

Die Indikator-Methode (IM) wird mittels eines unverdaulichen Markers (Indikator) durchgeführt, der das Futter durch den Magen-Darm-Trakt begleitet, die Verdauung dabei nicht beeinflusst und letztendlich vollständig wieder ausgeschieden wird. Hierbei reicht eine Teilsammlung des Kots aus (Kong & Adeola, 2014). Die Teilsammlung des Kots kann zum Beispiel als eine tägliche Stichprobe erfolgen und sollte über wenigstens fünf Tage durchgeführt werden, um möglichst ähnliche Werte zur TC zu erreichen (Agudelo et al., 2010; Moughan et al., 1991). Trotz der Zusammenführung mehrerer täglicher Stichproben, weist die TC in der Regel eine höhere Verdaulichkeit der Trockenmasse auf (Jang et al., 2014).

Die am häufigsten verwendeten Marker sind Chromoxid (Cr_2O_3), Titandioxid (TiO_2) sowie säure-unlösliche Asche (acid-insoluble ash, AIA) (GfE, 2005; Jagger et al., 1992; McCarthy et al., 1974). Die Marker werden zu 0,1 bis 0,5 % der Ration eingesetzt (Kong & Adeola, 2014). Chromoxid ist der am häufigsten verwendete Marker (McCarthy et al., 1974). Der Einsatz von Chromoxid ist ab dem 3. Tag im Kot hellgrün sichtbar und ab dem 5. Tag konstant (Agudelo et al., 2010; Jang et al., 2014). Jagger et al. (1992) hebt Titandioxid als den geeignetsten Marker hervor. Der Einsatz von 1 g/kg reichte in ihrer Studie aus. Einsätze von 5 g/kg reduzierten die Schmackhaftigkeit der Ration für die Tiere. AIA besteht hauptsächlich aus Kieselsäure, also der oxidierten Form von Silizium, Siliziumdioxid (Sales & Janssens, 2003). McCarthy et al. (1974) fanden

heraus, dass die natürlich vorkommende Menge an AIA mit 0,19 % in gewöhnlichen Futtermitteln bereits aussagekräftige Ergebnisse liefern kann - in der Regel finden sich 0,6 bis 0,8 % AIA in Rationen für Mastschweine. AIA lieferte hierbei verlässlichere Ergebnisse als Chromoxid (McCarthy et al., 1974). Da die Laboranalysen sehr sensitiv sind, liegt die Wiederfindungsrate allerdings bei fast 100 %. (Sales & Janssens, 2003). Die Einsatzbeschränkungen dieser vorgestellten Marker werden in Kapitel 4.3 diskutiert.

2.4 Konditionsbeurteilung von Zuchtsauen unter ökologischen Haltungsbedingungen

Die Konditionsbeurteilung in der Zuchtsauenhaltung ist mittlerweile weit verbreitet und relevant für eine gute Reproduktionsleistung. Sowohl in der konventionellen Haltung als auch in der ökologischen Wirtschaftsweise bewerten Landwirte die körperliche Verfassung ihrer Zuchtsauen und leiten entsprechendes Fütterungs- und Wiederbelegungs-Management ab.

Im ökologischen Landbau ist aufgrund der vorgegebenen verlängerten Säugezeit von mindestens 40 Tagen eine veränderte Konditionsentwicklung in der Laktation zu beobachten.

2.4.1 Einfluss der Körperkondition auf die Reproduktionsleistung von Zuchtsauen

Zur Aktivierung der reproduktiven Hormonachse wird das metabolische Signal Leptin benötigt, welches von den Fettzellen synthetisiert wird, daher ist ein Mindestfettanteil im Körper der Zuchtsau unbedingt nötig (Roth, 2014).

Für einen guten Start in die erste Laktation ist eine optimale Kondition der Jungsauen notwendig. Farmer et al. (2017) fanden heraus, dass fettere Jungsauen (20 – 26 mm Rückenspeckdicke (RSD)) eine bessere Gesäugeentwicklung und größere Wurfzuwächse haben. Für primipare Sauen ist es schädlicher, am Ende der Trächtigkeit zu mager zu sein als zu dick (Farmer et al., 2017). Das galt auch für die Studie von Kim et al. (2016), in welcher Sauen mit ≥ 20 mm RSD am 107. Trächtigkeitstag eine bessere Reproduktionsleistung aufwiesen. Hierbei war die Säugezeit allerdings nur 21 Tage lang.

Andererseits zeigen verschiedene Studien, dass übermäßige Körperfettgehalte am Ende der Trächtigkeit zu Problemen bei der Abferkelung und zu mehr Totgeburten führen (Zaleski & Hacker, 1993). Außerdem können ein erhöhtes Auftreten des postpartalen Dysgalatie-Syndrom und Problemen im Bewegungsapparat die Folge sein (Dourmad et al., 2001). Es ist bekannt, dass eine exzessive Mobilisierung von Körperprotein mit Anöstrie assoziiert ist (GfE, 2006). Frühere Studien haben einen Zusammenhang zwischen hohen RSD-Verlusten während der Laktation und einem steigenden Anteil totgeborener

Ferkel (Maes et al., 2004), kleineren Wurfgrößen und Wurfzuwächsen (McKay, 1993) sowie einem verlängerten weaning-to-oestrus-interval (De Rensis et al., 2005) festgestellt.

Dazu kommt, dass große Gewichts- und RSD-Zunahmen in der Trächtigkeit zu einem höheren Verlust in der anschließenden Laktation führen (Young et al., 1990).

2.4.2 Energiebereitstellung aus der Mobilisierung von Körperreserven und der Futteraufnahme

Gründe für eine reduzierte Futteraufnahme sind oft gesundheitlich bedingt. Dabei kann ein Krankheitsgeschehen eine Rolle spielen, aber auch eine Überkondition, die sich in der vorhergehenden Trächtigkeit entwickeln konnte. Mullan & Williams (1989) fanden beispielsweise heraus, dass die freiwillige Futteraufnahme in der Säugezeit geringer ausfiel, wenn die Körperreserven, und damit die Kondition, vor der Abferkelung gesteigert worden waren. Zu viel Futter in der Trächtigkeit führt somit zu einer geringeren Futteraufnahme in der Säugezeit (Roth, 2014).

Nachdem die Futteraufnahme in der Laktation oft nicht ausreicht, um den Energiebedarf zur Erhaltung und Milchproduktion zu decken, kompensiert die Sau dies mit der Mobilisierung von körpereigenem Gewebe (GfE, 2006). Gerade bei hohem Wurfzuwachs steigt der LM-Verlust, da die benötigte Energie besonders dann nicht allein über die Futtermenge ausgeglichen werden kann (GfE, 2006). Die Mobilisierung von Körperreserven ist demnach eine notwendige Ergänzung zur Futteraufnahme für die Bedarfsdeckung in der Laktation. Die katabole Stoffwechselrate, die in physiologischer Weise in der ersten Säugewoche eintritt, ist außerdem dann deutlich höher, wenn die Sauen mit hohen Rückenspeckdicken in die Laktation starten (Einarsson & Rojkittikhun, 1993). Bei Kim et al. (2016) galt das für Sauen mit ≥ 20 mm RSD bei einer 21-tägigen Säugezeit.

Die Mobilisierung von Lebendmasse beinhaltet zunächst vorrangig Fettgewebe, schätzungsweise zu ca. 85 %. Der restliche Anteil besteht vermutlich in einer Proteinmobilisierung (GfE, 2006). Die Energiegewinnung je Kilogramm LM-Verlust beträgt damit etwa 20 MJ (im Rahmen eines 15 – 25 kg LM-Verlust) (GfE, 2006). Der Teilwirkungsgrad für die Mobilisierung ist höher als der für die

Energiegewinnung aus dem Futter und beträgt 0,89. Somit muss eine Sau für jedes mobilisierte Kilogramm ca. 25 MJ ME weniger über das Futter aufnehmen (GfE, 2006).

Es existieren unterschiedliche Aussagen in der Literatur zu der Frage wie hoch der tolerierbare Lebendmasseverlust in der Laktation sein darf. Die Mehrzahl der Studien bezieht sich hierbei auf eine konventionelle Säugedauer von 21 bis 25 Tagen. So wird ein Verlust von 10 – 20 kg, bzw. 5 – 10 % der Lebendmasse als Obergrenze angegeben (Kamphues et al., 2014; Roth, 2014). Dieser LM-Verlust kann in der nächsten Trächtigkeit ausgeglichen werden und verringert somit den Futterbedarf in der aktuellen Laktation (GfE, 2006).

2.4.3 Methoden der Konditionsbeurteilung

2.4.3.1 Erfassung der Lebendmasse

Die naheliegendste Methode ist die Gewichtserfassung der Zuchtsauen in regelmäßigen Abständen. Dafür bieten sich die Umstallung kurz vor der Abferkelung aus dem Wartestall in den Abferkelstall sowie zum Ende der Säugeperiode vom Abferkelstall in das Deckzentrum an. Nachteilig dabei ist allerdings, dass das Körpergewicht keine Rückschlüsse auf den Körperfettgehalt gibt. Es ist bekannt, dass die Lebendmasse diesen nicht akkurat wiedergibt (Hesse, 2003). Heutzutage sind die Zuchtsauen beispielsweise deutlich schwerer als frühere Zuchtlinien, weisen aber einen geringeren Körperfettgehalt auf. So kommt es, dass Sauen, die heute 300 kg wiegen, mager sind im Vergleich zu kleinrahmigen früheren Zuchtlinien, die mit 250 kg bereits fettleibig waren (Whittemore & Kyriazakis, 2006). Es sollten daher zusätzlich Methoden zur Beurteilung der Körperkondition angewendet werden.

2.4.3.2 Body Condition Scoring

Als einfachste Methode dient die Einordnung der Körperkondition der Zuchtsau in einen Body Condition Score (BCS) von mager (1) bis verfettet (5). Dafür wird das Tier visuell (adspektorisch) eingeschätzt (Hesse, 2003). Zur genaueren Einschätzung sollte ein Abtasten der hervorstehenden Knochenpunkte (Palpation) Teil der Beurteilung sein (Spanlang, 2011). Nachteilig ist hierbei die erforderliche subjektive Einschätzung des Landwirts oder des Gutachters, die von der Erfahrung sowie Interpretation der Skala abhängig ist. Auch hier kann

versehentlich eine gute Bemuskelung der heutigen Zuchtsauen mit einer Fettauflage verwechselt werden, wenn man bedenkt, dass heutige Zuchtlinien schwerer, aber zugleich magerer sind.

2.4.3.3 RSD-Messung

Da das Körperfett der Sau als Energielieferant in der Säugezeit gilt, liegt der Wunsch nahe, dieses möglichst genau zu erfassen und so den Konditionszustand der Sau zu beurteilen. Das Körperfett lagert sich unter anderem unter und zwischen den Hautschichten an (Hesse, 2003). Eine relativ einfach und kostengünstige Methode ist demnach die Speckdicke am Rücken der Tiere mittels Ultraschall zu messen. In der Schweinefleischproduktion findet ein ähnliches Verfahren Anwendung, wobei die Speckdicke der beiden Tierkörperhälften am Ende der Schlachtkette für die Preiskalkulation gemessen wird. Ebenfalls Anwendung findet die RSD-Messung in der Zuchtwertschätzung von Jungsauen. Die hier verwendete Methode kann für ältere Zuchtsauen genauso herangezogen werden. Die Referenzwerte bedürfen allerdings eine Anpassung an das Alter der Tiere. Mullan & Williams (1990) entwickelten eine Formel, die Rückschlüsse von der RSD auf den Gesamt-Körperfettgehalt zulässt.

Die verschiedenen Messmethoden unterscheiden sich hinsichtlich Zeitpunkt der Messung, Messgerät und Messstellen am Körper der Sau. Beim Vergleich der Rückenspeckdicke in verschiedenen Literaturquellen spielt genau das eine Rolle, denn die Messwerte sind von dem verwendeten Gerät und der Messmethode abhängig (Hesse, 2003). Mittels dem geläufigen Renco-Lean-Meater (Renco Corporation, Minneapolis, Minnesota, USA) wird die RSD per Ultraschall gemessen und direkt für den Anwender als Messwert ausgegeben - kostengünstig und bedienerfreundlich. Dagegen kann mittels bildgebendem Ultraschallgerät die RSD kontrolliert ausgemessen werden. Nachteilig ist bei der Bildgebung natürlich der Preis des Geräts und die nicht gerade einfache Anwendung. Abbildung 1 zeigt die Schichten, die für die RSD-Erfassung ausgemessen werden.



Abbildung 1: Beispiel-Aufnahme der RSD-Messung am Punkt C. Die Messung umfasst Epidermis mit Dermis, Subcutis und Fascia lumbodorsalis. Tiefer liegend: Musculus longissimus dorsi (außerhalb der Messung). Eigene Aufnahme.

Die Messstellen am Körper der Sau können auf unterschiedliche Weise definiert werden. Dieser Aufführung sei auf die Drei-Punkt-Methode und die P2-Methode beschränkt. Die Drei-Punkt-Methode ist unter 3.2 ausführlich beschrieben. Die P2-Methode beinhaltet nur einen Messpunkt, welcher dem Punkt C der Drei-Punkt-Methode entspricht (Hesse, 2003).

Dourmad et al. (2001) empfehlen aufgrund ihrer experimentell gewonnenen Daten eine Rückenspeckdicke von 19 – 22 mm vor der Abferkelung und 16 – 19 mm nach dem Absetzen.

3 Publikationen

3.1 Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs

Das Manuskript „Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs” wurde im Journal *Züchtungskunde* am 13.06.2024 erstmalig eingereicht und am 27.09.2024 von der Schriftleitung zur Veröffentlichung angenommen.

The manuscript „Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs” has been submitted June 13, 2024, in the Journal *Züchtungskunde* and has been accepted for publication on September 27, 2024.

Submitted June 13, 2024; Revised Juli 29, 2024 and September 18, 2024;
Accepted September 27, 2024

Article published in: *Züchtungskunde*

© 2024, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs

Original Article

English

Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs

Michal Elisabeth WEBER¹, P. A. WEINDL¹, G. BELLOF¹

¹ University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Faculty of Sustainable Agriculture and Energy Systems, Department of Animal Nutrition, Am Staudengarten 1, 85354 Freising, Germany

*Corresponding author:

Michal Elisabeth Weber, University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Faculty of Sustainable Agriculture and Energy Systems, Department of Animal Nutrition, Am Staudengarten 1, 85354 Freising, Germany, E-Mail: michal.weber@hswt.de

Funding: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), grant number: KL/21/04 (acronym: "NovaLuz")

Submitted to Züchtungskunde on June 13, 2024.

Summary

A digestibility trial was conducted with twenty growing male, castrated pigs (German Landrace) to determine the apparent digestibility of the crude nutrients of hot-air dried lucerne plant tips (LTH, crude protein (CP): 274 g/kg dry matter [DM]), lucerne plant tips silage (LTS, CP: 275 g/kg DM) and lucerne whole plant silage (LS, CP: 222 g/kg DM). The lucerne plant tips (LT) were defined as the upper 40% of the total aboveground plant, harvested using a special harvesting technique. The total faecal matter was collected in metabolic cages over five days. Digestibility values were calculated from the difference between nutrient intake and faecal output. The highest organic matter digestibility (OMD) and CP digestibility (CPD) were observed for LTS (69.5% OMD, 68.8% CPD), followed by LTH (64.4% OMD, 60.0% CPD) and LS (56.5% OMD, 52.9% CPD). The LT are a valuable protein source for pigs irrespective of the conservation method employed.

Keywords: apparent digestibility, lucerne, silage, growing pigs

Zusammenfassung

Scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe von eiweißreichen Luzerneprodukten für wachsende Schweine

In einem Verdaulichkeitsversuch mit 20 wachsenden männlichen, kastrierten Schweinen (Deutsche Landrasse) wurde die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe von heiß luftgetrockneten Luzernespitzen (LTH, Rohprotein (CP): 274 g/kg TM), Luzernespitzensilage (LTS, CP: 275 g/kg TM) und Luzerneganzpflanzensilage (LS, CP: 222 g/kg TM) geprüft. Als Luzernespitzen wurden die oberen 40% der oberirdischen Gesamtpflanze definiert, die mittels spezieller Hochschnitt-Erntetechnik gewonnen wurden. Die quantitative Kotsammlung erfolgte jeweils über fünf Tage in Stoffwechselkäfigen. Die Verdaulichkeitswerte ergaben sich aus der Differenz der Nährstoffaufnahme und -ausscheidung mit dem Kot. Die höchsten Verdaulichkeiten der Organischen Masse (OMD) und des Rohproteins (CPD) wurden für LTS (69,5% OMD, 68,8% CPD) gefunden, dicht gefolgt von LTH (64,4% OMD, 60,0% CPD) und LS (56,5% OMD, 52,9% CPD). Luzernespitzen stellen somit unabhängig von der verwendeten Konservierungsart eine wertvolle Eiweißquelle für die Fütterung von Schweinen dar.

Schlüsselwörter: scheinbare Verdaulichkeit, Luzerne, Silage, wachsende Schweine

Introduction

Organic farming is subject to the European Union's framework directives (REGULATION (EU) 2018/848) and regulations of the respective farming associations. As a result, specific requirements also apply to ration composition and feeding of farm animals. In particular, eliminating all conventional feed components presents a significant challenge in ensuring a sufficient protein and amino acid supply (BELLOF et al., 2021). Several recent studies have examined green legume products, typically harvested at vegetative development stages, for pig feeding, suggesting a significant potential to enhance protein and amino acid supply to pigs (SOMMER and SUNDRUM, 2015; BELLOF et al., 2021). Lucerne is identified as a protein-rich forage crop that has a higher crude protein content, particularly in its leaves and plant tips, rather than the whole plant (BELLOF et al., 2021).

A digestibility trial with growing pigs was conducted to determine the crude nutrient digestibility of lucerne plant tips (LT) harvested using a special high-cut harvesting technique. The results enable the use of these feedstuffs in pig feeding in the future in a needs-based and resource-saving manner. For this purpose, hot-air dried lucerne plant tips (LTH), lucerne plant tips silage (LTS), and lucerne whole plant silage (LS) were tested.

Material and methods

The digestibility trial took place from October 16, 2023, to December 7, 2023, at the Experimental Station of the Technical University of Munich in Thalhausen, Germany. The government of Upper Bavaria approved the animal experiment following § 8 (1) of the Animal Welfare Act (file number: ROB-55.2-2532.Vet_02-22-137). The implementation follows the specifications for digestibility trials of the GfE (2005).

Feedstuff

The LT were harvested on September 21, 2022, at the bud stage using a high cut (2nd main harvest year, fourth cut). The TOPCUT collect harvester, manufactured by Zürn Harvesting GmbH (Schöntal-Westernhausen, Germany),

cut the plant tips. Additionally, the whole lucerne plant was also harvested from the same field 10 cm above the ground. The following day, a batch of LT was hot-air dried and pressed into cobs at Futtertrocknung Lamerdingen eG (Lamerdingen, Germany). The drying process took about 5 minutes, with temperatures ranging from 200 to 600°C at the beginning of the drying drum and 100°C at its end.

A second batch was chopped. The chopped batch was manually filled and pressed into silage barrels with a capacity of 120 to 300 liters (storage density: 2.20 dt dry matter [DM]/m³ LTS). The whole lucerne plant was ensiled in the same way (storage density: 1.65 dt DM/m³ LS). The lactic acid bacteria product BONSILAGE® ALFA WS, produced by H. Wilhelm Schaumann GmbH (Pinneberg, Germany), was used as an ensiling agent *containing Lactobacillus paracasei*, *L. plantarum*, *Lactococcus lactis*, *L. buchneri*. After almost nine weeks, when the ensiling process was complete, the silages were portioned into 1 kg bags and vacuum-sealed.

A basal diet was designed to fully cover the control group's needs. In contrast, the other groups received the basal diet mixed with a test ingredient in a ratio of 75:25 (based on DM) to cover their needs. The pelleted basal diet was purchased from the compound feed company Meika Tierernährung GmbH (Großaitingen, Germany). Table 1 shows the composition and ingredients of the basal diet. All feed was organically produced in accordance with the requirements of REGULATION (EU) 2018/848.

Tab. 1. Composition, analysed ingredients of the supplemental feed mixture (basal diet)

Zusammensetzung und analysierte Inhaltsstoffe der eingesetzten Ergänzungsfuttermischung (basal diet)

Feedstuff		Basal diet
Corn	% FM ¹	42.72
Barley	% FM	25.00
Soybean cake	% FM	16.00
Peas	% FM	12.00
Molasses (Sugar beet)	% FM	2.50
Premix ²	% FM	1.00
Carbonated lime	% FM	0.50
Monocalcium phosphate	% FM	0.20
Animal feed salt	% FM	0.08
Analysed nutritional composition ³		
Dry matter (DM)	g/kg FM	887
Crude ash	g/kg DM	46
Acid-insoluble ash	g/kg DM	2.6
Crude protein	g/kg DM	176
Crude fibre	g/kg DM	42
Crude fat	g/kg DM	59
Starch	g/kg DM	547
Sugar	g/kg DM	51
Lysine	g/kg DM	8.2
Methionine	g/kg DM	2.4
Cystine	g/kg DM	2.9
Calcium	g/kg DM	5.7
Phosphor	g/kg DM	4.6

¹ FM: fresh mass

² The premix mixture provided the following per kilogram: Ca 240 g; P 20 g; Na 40 g; Mg 10 g; vitamin A 500000 I. E.; vitamin D3 50000 I.E.; vitamin E 8000 mg; vitamin B1 200 mg; vitamin B2 400 mg; vitamin B6 400 mg; vitamin B12 3000 mcg; nicotinic acid 3000 mg; pantothenic acid 1400 mg; folic acid 50 mg; biotin 15000 mcg; choline chloride 8000 mg; Fe 5000 mg; Cu 1000 mg; Zn 5000 mg; Mn 3000 mg; J 100 mg; Se 20 mg;

³ DM, crude nutrients, starch, sugar, and amino acids were analysed according to VDLUFA (2012); calcium and phosphor were analysed according to DIN EN ISO 11885:2009-09.

Animals

For the trial, twenty male, castrated growing pigs (German Landrace) from the experimental station's herd were housed in small groups of two or three pigs in eight pens. Their average body weight was 52 kg. Five animals or two pens each formed a feeding variant (control, LTH, LTS, and LS). The animals were vaccinated before housing, following current vaccination recommendations. After housing, the pigs were dewormed prophylactically with Flubenol® 5 % powder from Elanco GmbH (Cuxhaven, Germany). Beginning with stabling, the pigs were weighed weekly and at the beginning and end of the cage phase. The animals were inspected at least once a day. Animals in the metabolic cages were additionally scored for their health status.

Experimental design

Three days after stabling, adaptation to the test ingredients started. After a slow increase in LTH over nine days to 25 % of DM of the diet in the LTH group, a preparatory feeding period of ten days followed for this group and the control group. The animals in the control and LTH groups were then transferred to metabolic cages. The cage phase was divided into a 5-day acclimatization and a subsequent 5-day faecal collection period. The trial ended with the return to the finishing barn of the experimental station. The pigs in the LTS and LS groups were acclimatized to the silage-containing diet for four weeks before the ten-day preparatory feeding period. These pigs were then transferred to the cleaned and disinfected metabolic cages as a second round. The cage phase was the same as in the first round.

Dietary treatments

The animals were fed twice a day at eight-hour intervals, at 8 a.m. and 4 p.m. (nutritional level 2.5). In the pens, the pigs always had access to their trough, implying they had enough time to eat. In the cages, feeding lasted approximately two to three hours and depended on the behaviour of the animals. The feed intake was defined as completed when the animals laid down. Access to the trough was closed when the animals were not being fed. The remaining feed was usually offered a second time between the regular feeding times. The feed was weighed to the nearest 10 g (pen) or 1 g (cage). The control group received only

a basal diet to cover their needs. The LTH was presented as pellets during the pen phase and ground to meal with the basal diet for each animal during the cage phase using a common kitchen mixer (particle size on average 1 mm). The silages were presented separately from the basal diet so that refusals could be recorded correctly. Any feed residues in the feeding trough were recorded individually for each pig daily. Feed that was spilled during feeding was collected in a collection tray under the cage. The feed residues during the faeces collection period were recorded on the last day. Water was available to the animals for ad libitum consumption in bite nipple drinkers (pens) or bowl drinkers (cages).

Housing

The pens had a size of 6 m², a fully slatted floor, and a trough length of 3 m. Initially, the pens were equipped with jute sacks, hemp ropes, and natural or plastic teething stars. Starting with the preparatory feeding in the pens and continued during the cage phase, the animals were only offered non-ingestible materials such as teething balls. The cages (155 × 75 × 120 cm) could be individually adapted to the size of the individual pigs. A compartment-specific automatic temperature regulation system maintained the room temperature at 19–22°C. Air circulation was provided by underfloor ventilation with passive airflow. There was a day:night light program (12:12), and daylight was provided through several windows.

Data management

Before the trial started, the test ingredients were analysed by LKS mbH (Niederwiesa, Germany) regarding DM, crude nutrients, starch, sugar, and minerals. The amino acid pattern was analysed by AGROLAB LUFA GmbH (Kiel, Germany) according to the Commission Regulation (EC) No. 152/2009. Additionally, the quality of the silages was analysed by determining the fermentation acids according to the in-house method by LKS mbH (Niederwiesa, Germany) and the microbiological status (aerobic mesophilic bacteria, yeasts, and moulds) according to VDLUFA (2012). The DM concentration of the silages was corrected to reflect the possible losses of volatile substances using the following estimation equation established by WEIßBACH and STRUBELT (2008):

$$DM_c = DM_a + (1.05 - 0.059 * pH) * SCFA$$

$$+0.08 * LA + 0.77 * PD + 0.87 * BD + 1.00 * OA$$

DM_c is the corrected DM, DM_a is the analysed DM, pH is the pH value of the silage, SCFA means the sum of short-chain fatty acids (C₂ to C₆), LA stands for Lactic acid, PD is 1,2-Propanediol, BD is 2,3-Butanediol and OA stands for the sum of other alcohols (C₂ to C₄), values in g/kg fresh mass (FM).

The basal diet was analysed for DM, crude nutrients, starch, sugar, minerals, and several amino acids by LKS mbH (Niederwiesa, Germany). During the faecal collection period, the feed was sampled daily. The samples were frozen (basal diet and LTH) or gently dried at 40°C (LTS and LS). A mixed sample was prepared from the five samples for each feed during grinding using a 1 mm sieve. These mixed samples were then analysed in terms of the amount of crude nutrients at the laboratory of the Thünen Institute of Organic Farming (Westerau, Germany) according to the specifications of the VDLUFA (2012). These results were used to calculate the digestibility coefficients further. Over the last five days of the cage phase, the faeces were collected entirely and weighed twice a day (± 1 g). One subsample was used to determine the DM content at 103°C for four hours. The remaining faeces were frozen and then freeze-dried. The Gamma 1-16 LSCplus® freeze-drying system from Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH (Osterode am Harz, Germany) was used for freeze-drying. After freeze-drying, the samples were ground through a 1 mm sieve as a mixed sample from the five days. The mixed samples were then analysed the same way as the feed samples.

The calculation of the DM digestibility (DMD), organic matter digestibility (OMD), CP digestibility (CPD), and crude fat digestibility (CLD) was carried out according to the specifications of the GfE (2005). First, the apparent digestibility of the basal diet (DC_{basal diet}) was calculated using the values from the control group with the following equation:

$$DC_{\text{basal diet}} = \frac{\text{Input} - \text{Output}}{\text{Input}} * 100$$

The following applies:

$$\text{Input} = \text{DM intake (kg/d)} * \text{nutrient content in the feed (g/kg DM)}$$

$$\text{Output} = \text{DM excretion (kg/d)} * \text{nutrient content in the faeces (g/kg DM)}$$

The following equation was then used to determine the apparent digestibility of the test ingredient (DC_{TI}):

$$DC_{TI} = \frac{DM\% \text{ (total ration)} - DM\% \text{ (basal diet)} * (1 - a)}{a}$$

DM% (total ration) is the dry matter (%) in the total ration, which consists of the basal diet and the test ingredient. The DM% (basal diet) is the dry matter (%) in the basal diet. "a" stands for the nutrient proportion of the TI in the total ration (different for each nutrient) and is calculated using the following formula:

$$a = \frac{\text{nutrient content (TI)} * TI\% \text{ (total ration)}}{\text{nutrient content (total ration)}}$$

The data were evaluated as a single-factor analysis of variance using the SAS 9.4. statistical program (2013). The calculated data were given as least squares means (LS means) with standard error (SE). The differences between the groups were tested using the Tukey test. Significant differences were indicated by an error probability of $p \leq 0.05$.

The metabolizable energy content (ME) for the three test ingredients was calculated from the nutrient contents CP, crude lipid (CL), starch (S), sugar (Z), and organic matter (OM) of the samples taken during the trial (Tab. 2) and the digestibility coefficients shown in Table 4 using the formula for feed materials (GfE, 2006):

$$\begin{aligned} ME (MJ) = & 0.0205 * CP * CPD + 0.0398 * CL * CLD + 0.0173 * S + 0.016 * Z \\ & + 0.0147 * (OM * OMD - CP * CPD - CL * CLD - S - Z) \end{aligned}$$

Results

Feedstuff

Table 2 shows the nutritional composition of the lucerne products used, analysed before the beginning of the trial. Table 3 shows the quality parameters of the silages. The quality of the silages proved to be particularly good based on the reported nutrients, the fermentation acid content, and microbial examination. Due to harvesting the upper part of the lucerne, LTH and LTS have slightly lower crude ash content than the LS harvested close to the ground. The CP content is

significantly higher compared to the LS. The high cut significantly reduced the crude fibre content in the tips compared to the whole plant. The sugar content fell below the limit of quantification because of ensiling. Looking at the first-limiting amino acids for growth, lysine and methionine, the LT products proved richer in lysine, but the high cut could not increase methionine content. The high CP concentration in the LT is mainly reflected in the increased content of essential, non-first limiting amino acids. LTH and LTS have higher calcium values than LS. The potassium content is significantly lower than that of LS.

Tab. 2. Analysed nutritional composition¹ in the test ingredients dried lucerne plant tips (LTH), lucerne plant tips silage (LTS), and lucerne whole plant silage (LS)¹

Analysierte Inhaltsstoffe der Prüffuttermittel Luzernespitzen, heißluftgetrocknet (LTH), Luzernespitzensilage (LTS) und Luzerneganzpflanzensilage (LS)

Nutrient ²			LTH	LTS	LS
Dry matter	g/kg FM ³	(DM)	926	340	326
Crude ash	g/kg DM		90	85	93
Organic matter	g/kg DM		910	915	907
Crude protein	g/kg DM		274	267	216
Crude fibre	g/kg DM		139	139	203
Crude fat	g/kg DM		36	22	30
Starch	g/kg DM		12	15	9
Sugar	g/kg DM		97	n. d.	n. d.
Lysine	g/kg DM		12.8	13.4	10.8
Methionine	g/kg DM		4.5	4.3	3.4
Cysteine	g/kg DM		2.6	2.4	1.7
Threonine	g/kg DM		11.4	11.6	9.4
Asparagine	g/kg DM		28.8	29.7	21.6
Glutamine	g/kg DM		26.6	23.2	18.7
Proline	g/kg DM		14.8	15.4	11.7
Glycine	g/kg DM		12.8	12.8	10.8
Isoleucine	g/kg DM		11.5	12.3	9.7
Leucine	g/kg DM		19.2	20.3	16.3
Calcium	g/kg DM		19.0	18.1	12.4
Phosphor	g/kg DM		3.1	3.1	3.5
Sodium	g/kg DM		0.2	0.2	0.3
Magnesium	g/kg DM		3.6	3.6	3.8
Potassium	g/kg DM		14.8	15.8	23.6

¹ DM, crude nutrients, starch, and sugar were analysed according to VDLUFA (2012); minerals were analysed according to DIN EN ISO 11885:2009-09; amino acids were analysed according to Commission Regulation (EC) No. 152/2009.

² LTS and LS: DM and nutrients corrected regarding possible losses of volatile substances

³ FM: fresh mass; n. d.: not detected

Tab. 3. Analysed quality parameters of the test ingredients lucerne plant tips silage (LTS) and lucerne whole plant silage (LS)¹

Analysierte Qualität der Prüffuttermittel Luzernespitzensilage (LTS) und Luzerneganzpflanzensilage (LS)

Item		LTS	LS
Fermentation acids			
Lactic acid	g/kg DM	98.98	82.93
Acetic acid	g/kg DM	19.40	22.05
Propionic acid	g/kg DM	< 0.43	
Iso-butyric acid	g/kg DM	< 0.78	
Butyric acid	g/kg DM	< 0.28	
Iso-Valeric acid	g/kg DM	< 0.15	
Valeric acid	g/kg DM	< 0.31	
Alcohols			
Ethanol	g/kg DM	5.04	5.84
1,2-Propanediol	g/kg DM	1.81	1.94
Propanol	g/kg DM	< 1.14	
Microbiotic examination			
Product-typical aerobic bacterial flora	CFU ¹ /g	6,000	10,000
Spoilage-indication aerobic bacterial flora	CFU/g	3,000	10,000
Spoilage-indicating sporoacino-mycetes	CFU/g	< 500	2,000
Product-typical molds and black fungi	CFU/g	< 500	
Spoilage moulds	CFU/g	< 500	
Yeasts	CFU/g	< 500	

¹ CFU: colony forming unit

Animals

The average body weight of the pigs at transfer to the metabolic cages was 75.9 kg, with no significant differences between the groups. At the time of removal, the animals had an average weight of 83.9 kg. The control group's average body weight gain during the cage period was 700 g/d. The LTH animals gained the least weight at 663 g/d. The silage groups gained 913 g/d (LS) and 925 g/d (LTS). The differences between the groups are not statistically different.

One animal from each LTH and LTS groups dropped out of the trial prematurely due to injuries in the cage phase. One animal in the LS group was not included in the data analysis as it largely differed from the results of the other animals in this group and was thus marked as outlier (OMD 73% instead of 55%, > 600 g

less faecal FM, 4%points higher faecal DM, 100 g less faecal DM). In addition, this animal exhibited altered feeding behaviour with increased feed residues.

Feed intake

The daily feed quantity for the control group during cage housing was 2.32 kg/animal of the basal diet (fresh mass). If a test ingredient was fed, the animals received 1.88 kg (LTH), 1.93 kg (LTS), or 1.92 kg (LS) of basal diet (fresh mass) per day. The proportion of the test ingredient in the total ration was 25%, based on DM. This corresponds to fresh masses of 0.60 kg LTH, 1.75 kg LTS, and 1.82 kg LS per animal per day. The LTH were eaten in the pens until the next feeding. In the cage phase, however, they were not well accepted due to the shorter feed release; hence, grinding with the basal diet was used. In the ground state, the LTH were eaten entirely from the third day after the changeover.

Feed residues in the faecal collection period: In the control group, 1.2% of their DM feed ended up in the collection tray under the cage, unreachable for the pigs. However, all available feed was consumed entirely. The LTH group also had no acceptance problems, however 1.6% of the DM feed ended up unreachable in the collection tray. There were slight acceptance problems in the LTS and LS groups. On average, in both groups, a maximum of 1.0% of the daily DM feed was not eaten (residues in the trough). The residues outside the trough amounted to 2.0% (LTS) and 3.4% (LS).

The overall supply of organic matter was not significantly different between the groups. The control group was supplied with about the same amount of CP as the LS group but was significantly lower than the values of the two lucerne groups (control 394 g/d; LS 433 g/d; LTH 461 g/d; LTS 471 g/d; $p = .0068$) Crude fibre intake tended to be highest in the LS group (178 g/d; LTH 155 g/d; LTS 152 g/d; control 93 g/d; $p < .0001$).

Digestibility and calculated energy content

The basal diet's OMD was 92%, the CPD was 87%, and the CL was digested to 84%. The OMD of the total feed intake was between 83 and 87% for the test feed groups. Table 4 shows the crude nutrient digestibilities of the three test ingredients. The OMD for the two LT variants is comparable. By contrast, the LS tends to fall significantly. Regarding the CPD, significant differences are shown

between each test ingredient, for LTS displays the highest CPD followed by LTH and LS ($p < 0.05$).

The energy content confirms the picture outlined for the OMD (LTH 10.1 MJ ME/kg DM; LTS 10.8 MJ ME/kg DM; LS 8.7 MJ ME/kg DM).

Tab. 4. Apparent digestibility of organic matter (OMD), crude protein (CPD) and crude fat (CLD) for the test ingredients dried lucerne plant tips (LTH), lucerne plant tips silage (LTS), and lucerne whole plant silage (LS) (LS-Means and standard error (SE))

Scheinbare Verdaulichkeit der Organischen Masse (OMD), des Rohproteins (CPD) und des Rohfetts (CLD) der Prüffuttermittel Luzernespitzen, heißluftgetrocknet (LTH), Luzernespitzensilage (LTS) und Luzerneganzpflanzensilage (LS) (LS-Means und Standardfehler (SE))

Item	LTH	LTS	LS	SE	p^1
OMD	64.4 ^{a2}	69.5 ^a	56.5 ^b	± 1.88	0.0029
CPD	60.0 ^a	68.8 ^b	52.9 ^c	± 1.95	0.0061
CLD	43.9	61.7	59.6	± 6.32	0.3796

¹ probability; ² different indices indicate significant differences ($p < 0.05$)

Discussion

Feedstuff

There is little data available in the literature on the nutrient composition of LT. In the study by MAXA et al. (2021), very high CP and lysine values were achieved for LT from the first cut in 2020 and 2021 (292 and 318 g CP/kg DM, 15.7 and 16.5 g Lys/kg DM). This level could not be achieved with the LTH and LTS test ingredients from second cut in the present study, since the CP decreases with each cut (DLG, 2014). The methionine contents, on the other hand, are similar (4.3 and 4.4 g/kg DM). LT from small plot trials from the 2019/2020 harvest years of the same study had, on average, within four to six cuts, similarly high CP values as the present LTH and LTS (270 g/kg DM). However, the same lysine level was not achieved, whereas the methionine level was exceeded (4.0 g/kg DM). Differences in the sulfonic amino acid levels can depend on the sulphur supply of the plants (BECKER et al., 2015), which was not analysed further.

BECKER et al. (2021) reported that lucerne leaves from special leaf-stem separation had significantly higher CP concentrations in 2019/2020 (4th cut) than

LTH and LTS (on average 290/350 g/kg DM); the same applies to the lysine content (14.4/15.0 g/kg DM). However, the methionine contents in lucerne leaves and tips are similar (4.0/4.6 g/kg DM). In the digestibility studies of MESSINGER et al. (2021), dried lucerne leaves (per kg DM: 198 g CP; 9.4 g Lys; 2.9 g Met) had significantly lower CP, lysine, and methionine contents than LTH due to heat damage. By contrast, the ensiled lucerne leaves (per kg DM: 295 g CP; 5.7 g Lys; 2.9 g Met) had a high CP level, which was not reflected in the essential amino acids lysine and methionine. Lucerne leaves contain much CP (SOMMER and SUNDRUM, 2015), so the tips cannot reach this level as steams with lower CP content are part of the tips.

WELTIN et al. (2014) used a lucerne silage from special use in digestibility studies with growing pigs. The lucerne (2nd cut) was harvested and ensiled at the 'pre-bud' stage. The researchers recorded CP contents of 299 g/kg DM in the freshly harvested material. Protein losses occurred in the wilting process and, to a lesser extent, in the ensiling process. This also applied to the other harvests in the study by WELTIN et al. (2014). The CP and amino acid contents in the lucerne silage from special use correspond, except for the missing correction of possible losses of volatile substances, to the values of the present LS (per kg DM: 225 g CP; 12.0 g Lys; 3.3 g Met).

The CP content of the LS is above the corresponding table value of the LFL (2024) for lucerne cobs and green meal before budding (187 g CP/kg DM). The cut number is not available which could explain the difference. The nutrient composition of LS is comparable to other lucerne whole plant silages (MESSINGER et al., 2021; PLEGER et al., 2021a).

Lucerne contains relatively high calcium (Ca) levels in its leaves (MARKOVIC et al., 2009). The calcium content in the LT is comparable with that of the lucerne leaves used in MESSINGER et al. (2021). However, MARKOVIC et al. (2009) reported significantly higher contents of 21-32 g Ca/kg DM in the leaves and even in the whole plant. The lucerne leaves (approx. 29 g/kg DM) and whole plant (17 g/kg DM) also achieved significantly higher values in PLEGER et al. (2020, 2021b). The calcium content depends on the availability in the soil (MARKOVIC et al., 2009).

Feed intake

The GfE (2005) recommends a proportion of at least 25 % of the test ingredient concerning organic matter when a basal diet is fed. In the present study, the proportions were slightly below this mark (LTH 23.0 %; LTS 22.8 %; LS 22.6 %).

The GfE (2005) specifies that the test cannot be evaluated if the refusals exceed 10 % of the total feed on a DM basis. These values were achieved in this study. The animals well accepted the silages. Feed refusals in the cages were mainly due to the restrictive access to the feed trough which implicates less time for the feed intake. It was particularly noticeable in the LTH group that the animals consumed the test ingredient in many small portions, possibly due to reduced palatability caused by bitter substances or the compacted presentation as cobs. The LTH were well accepted in the pens until the next feeding. In the cages, however, this method of feeding presentation was ineffective. Grinding with the basal diet then proved to be a successful solution. The animals consumed the entire test ingredient within a short period.

In the study by WELTIN et al. (2014), fattening pigs consumed up to 50 % of the total DM ration of the LS without problems. Similarly, in this trial, there were no acceptance problems for the silage groups in the current trial.

The supply level was set to a nutritional level of 2.5 times maintenance requirements, following the specifications of the GfE (2005). The animals were supplied with 31 MJ ME daily during the cage phase. This allows an average daily body weight gain of 800 g to be achieved and thus corresponds to an average fattening performance. The selected level may already be associated with reduced OMD.

Digestibility

The tolerable deviation of the standard deviation of a maximum of 2 percentage points, according to GfE (2005), was observed. Thus, the standard deviation of the OMD of the total feed intake (basal diet + TI) is 0.48 for the LTH group, 1.08 for the LTS group, and 0.57 for the LS group. The coefficient of variance is 0.6 % (LTH), 1.2 % (LTS), and 0.7 % (LS).

Table 5 shows the digestibility of some selected crude nutrients of different lucerne products from the literature. LTH and LTS have a higher OMD than dried

lucerne leaves (LL) and ensiled lucerne leaves (LLS) in the study by MESSINGER et al. (2021). The generally higher digestibility of LT may be because LT have a lower content of antinutritive ingredients - such as saponins - than the leaves because GÖRSKI et al. (1984) discovered steams have a lower saponin content than leaves and LT consist of steams as well. The saponin composition of LT still requires further research. MESSINGER et al. (2021) found a higher digestibility of ensiled lucerne leaves than the preservation method of hot air drying. This discrepancy is also found to a small extent in LTH and LTS. The increased digestibility is possibly due to the conversion of the saponin fractions during the ensiling process (SZUMACHER-STRABEL et al., 2019). The digestibilities of the crude nutrients of the LS by MESSINGER et al. (2021) are at a similar level to the values achieved in the present study. A comparison with the LS analysed by WELTIN et al. (2014) shows - despite similar nutrient contents - a significantly higher OMD and CPD of the LS used in the present trial.

The results of the digestibility study confirm that an increased crude fibre content leads to a reduction in OMD (RODEHUTSCORD, 2008). Similarly, the lower CPD for the LS is also a consequence of the higher crude fibre content (BINDELLE et al., 2008).

Tab. 5. Apparent digestibility of organic matter (OMD) and crude protein (CPD) of lucerne products in the literature.

Scheinbare Verdaulichkeit der Organischen Masse (OMD) und des Rohproteins (CPD) von Luzerneprodukten aus der Literatur.

Item	MESSINGER et al. (2021)			WELTIN et al. (2014)
	LL ¹	LLS ¹	LS ¹	LS ²
OMD	45.0	63.0	53.6	37.0
CPD	42.7	58.0	56.3	44.1

¹ LL: dried lucerne leaves, LLS: ensiled lucerne leaves, LS: lucerne whole plant silage

² 2nd cut, chopped

Conclusions

In the present study, the digestibility by growing pigs of the crude nutrients of various lucerne products was determined. LTH and LTS are protein-concentrated lucerne products with comparatively high OMD. The digestibility values of LT were

higher than those of lucerne leaves. LT can be a valuable regional source of protein, particularly for organic pig feeding.

References

BECKER, K., A. RIFFEL und G. LEITHOLD (2015): Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne-Klee grasbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungs Zustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen - Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen. BÖLN Abschlussbericht.

BECKER, K., Y. SALOMON, S. WITTEN, H. BÖHM und K. AULRICH (2021): Düngungsversuch in Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. In: Bellof, G., P. A. Weindl und P. N. Weindl (Hrsg.): Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Schlussbericht zum BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073, 83-97.

BELLOF, G., P. A. WEINDL und P. N. WEINDL (2021): Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Schlussbericht zum BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073.

BINDELLE, J., P. LETERME und A. BULDGEN (2008): Nutritional and environmental consequences of dietary fiber in pig nutrition: a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* **12**, 69–80.

COMMISSION REGULATION (EC) (2009): Commission Regulation (EC) No 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed (Text with EEA relevance).

GFE - GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE – AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN (2005): Determination of digestibility as the basis for energy evaluation of feedstuffs for pigs. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* **14**, 207-213.

GFE (2006): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag.

GÖRSKI, P. M., M. JURZYSTA, S. BURDA, W. A. OLESZEK und M. PLOSZYSKI (1984): Studies on *Medicago lupulina* saponins. IV. Variation in the saponin content of *M. lupulina*. Acta Societatis Botanicorum Poloniae **53**, 543-550.

LfL – BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2024): Futterberechnung für Schweine. 28. Auflage. Access on June 4th, 2024. URL: <https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040157/index.php>

MAXA J., P. LIEBHARDT und S. THURNER (2021): Untersuchungen zur Blatt-Stängeltrennung und Konservierung von Grünleguminosen (Arbeitspaket Verfahrenstechnik (AP-Technik)). In: Bellof, G., P. A. Weindl und P. N. Weindl (Hrsg.): Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Schlussbericht zum BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073, 83-97.

MARKOVIĆ, J., R. ŠTRABANOVIĆ, M. CVETKOVIĆ, B. ANĐELKOVIĆ und B. ŽIVKOVIĆ (2009): Effects of growth stage on the mineral concentrations in lucerne (*Medicago sativa* L.) leaf, stem and the whole plant. Biotechnology in Animal Husbandry **25** (5-6), 1225–1231.

MESSINGER, D., P. A. WEINDL, K. AULRICH, L. PLEGER und G. BELLOF (2021): Determination of apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) products in growing pigs. Züchtungskunde **93**, 85-101.

PLEGER, L., P. N. WEINDL, P. A. WEINDL, L. S. CARRASCO, C. LEITAO, M. ZHAO, B. SCHADE, K. AULRICH und G. BELLOF (2020): Effects of increasing lucerne (*Medicago sativa*) leaf levels on the fattening and slaughtering performance of organic broilers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition **104**, 1317–1332.

PLEGER, L., P.A. WEINDL und G. BELLOF (2021a): Verdauungsversuche mit Grünleguminosen bei wachsendem Geflügel in Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Schlussbericht zum BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073, 120-126.

PLEGER, L., P. N. WEINDL, P. A. WEINDL, L. S. CARRASCO, C. LEITAO, M. ZHAO, K. AULRICH und G. BELLOF (2021b): Precaecal digestibility of crude protein and amino acids from lucerne (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) leaves and silages in broilers. *Animal Feed Science and Technology* **275**, 114856.

REGULATION (EU) 2018/848: Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30th May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007 in version from 14th June 2018. Access on June 4th, 2024. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R0848>

RODEHUTSCORD, M. (2008): Fütterung der Schweine, in: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

SAS 9.4 (2013): Software, Release 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC

SOMMER, H. und A. SUNDRUM (2015): Ganzpflanze und Blattmasse verschiedener Grünleguminosen als Eiweißquelle in der Schweinefütterung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Eberswalde, Tagungsband, 350-353.

SZUMACHER-STRABEL, M., A. STOCHMAL, A. CIESLAK, M. KOZŁOWSKA, D. KUZNICKI, M. KOWALCZYK und W. OLESZEK (2019): Structural and quantitative changes of saponins in fresh lucerne compared to lucerne silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **99**, 2243–2250.

VDLUFA (2012): VDLUFA Methodenbuch Band III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln einschl. 1.- 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA Verlag, Darmstadt.

WEIßBACH, F. und C. STRUBELT (2008): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Grassilagen als Substrat für Biogasanlagen. *Landtechnik* **63**, 210–211.

WELTIN, J., L. S. CARRASCO ALARCON, U. BERGER und G. BELLOF (2014): Luzernesilage aus spezieller Nutzung und technologischer Aufbereitung in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. Schlussbericht BÖLN-Projekt, FKZ 11OE077.

3.2 Lucerne (*Medicago sativa*) plant tips as protein feed for lactating sows in an organic farming system

Das folgende Manuskript “Lucerne (*Medicago sativa*) plant tips as protein feed for lactating sows in an organic farming system” wurde im Journal *Organic Agriculture* am 13. September 2024 zur Veröffentlichung eingereicht.

The following manuscript “Lucerne (*Medicago sativa*) plant tips as protein feed for lactating sows in an organic farming system” has been submitted to the Journal *Organic Agriculture* on September 13, 2024.

Lucerne (*Medicago sativa*) plant tips as protein feed for lactating sows in an organic farming system

Michal Elisabeth Weber, Peter Weindl, Gerhard Bellof

Affiliation of the authors: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising, Germany

Corresponding author: Michal Elisabeth Weber michal.weber@hswt.de

Statements and Declarations

Funding Declaration: This study was funded by Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF), grant number: KL/21/04 (acronym: "NovaLuz")

Acknowledgements: The authors would like to thank the technical and farm staff at the educational centre and experimental station for organic farming of Bayerische Staatsgüter Kringell for their assistance, particularly Matthias Lippl.

Submitted to *Organic Agriculture* on September 13, 2024.

Lucerne (*Medicago sativa*) plant tips as protein feed for lactating sows in an organic farming system

Abstract

Lucerne is rich in protein. The so-called lucerne plant tips can be separated from the rest of the plant through innovative harvesting methods. The subject of this feeding trial was the use of hot-air dried lucerne plant tips as a protein source in organic pig production. Twenty-two farrowing sows were fed either a control diet or a test diet containing lucerne plant tips (20 %, based on fresh mass) during an average lactation period of 45.8 days. The daily feed intake, the growth rate of the piglets, and the back fat change were measured.

Due to the great backfat thickness in the beginning (control group: 26.7 mm and lucerne group: 29.3 mm, $p = 0.22$), the daily feed intake was low in general. The test group showed a lower energy intake (control group: 81.4 MJ ME/d; lucerne group: 65.8 MJ ME/d, $p < 0.0001$), which shows the need for acclimatization to lucerne plant tips in gestation period. Nevertheless, lower growth of the piglets could not have been detected. The piglets' individual weight on day 42 for the control and lucerne groups was 13.6 kg and 13.3 kg, respectively ($p = 0.623$). That underlines the ruggedness of farrowing sows.

Keywords: Lucerne, protein feed, organic farming system, sows, suckling period, body condition

Introduction

Organic farming is subject to the framework directives of the European Union (Regulation (EU) 2018/848) and the respective farming associations. The Regulation (EU) 2018/848 predicts that animals should be fed with organic feedstuff from in-house production. In particular, organic pig production faces difficulties in feeding 100 % organic feedstuff. Regarding the need for essential amino acids (EAA), for example, methionine it is challenging to satisfy the need for EAA in feeding suckling sows with 100 % organic feedstuff.

One solution is to import organic-certificated feedstuffs rich in essential amino acids. For that, Regulation (EU) 2018/848 looks forward to increasing the part of regional or in-house cultivation and decreasing imports with negative environmental impacts.

Recent studies have been carried out on using green legume products in pig feeding, demonstrating a high potential for the protein and amino acid supply of pigs (Sommer and Sundrum 2015; Bellof et al. 2021). Lucerne is already part of the crop rotation of numerous organic farmings (Kolbe et al. 2008). Lucerne is a protein-rich fodder plant with a higher crude protein (CP) content in its leaves and tips than in the whole plant (Bellof et al. 2021). Lucerne also delivers a not insignificant part of the fiber, supporting the digestible tract of sows.

An innovative harvesting method called high-cut leads to a protein-enriched lucerne part product named lucerne plant tips (LTH). The plants were cut at a height of 60 % so that the upper 40 % could be collected as plant tips, hot-air dried or ensiled and pressed into pellets. Of course, crude fiber (CF) delivery is empowered by harvesting only the plant tips, but the CF in the tips is still essential for the rough feeding of sows. By reducing the fiber content, the digestibility of the lucerne increases, which improves the digestibility of nutrients and the energetic feeding value of this feedstuff (Weber et al. 2024). The present study aims to evaluate the use of LTH as a protein source in the concentrate mixture of suckling sows. The following questions were investigated: How do the lactating sows accept a concentrate mixture containing 20 % LTH in fresh mass? How does the use of LTH influence the lactation performance and the sows' body condition?

Material and methods

The experiment took place at the educational centre and experimental station for organic farming of Bayerische Staatsgüter Kringell (Hutthurm, Germany) from December 2022 to May 2023. The sows (mostly German Landrace) followed the Regulation (EU) 2018/848 rules. During the suckling period, 22 sows were fed either a lucerne diet containing 20 % LTH in fresh mass or a control diet. The sows were assigned to either group based on breed, parity, and farrowing date to ensure a similar distribution.

Feed

On September 21, 2022, the LTH were harvested (bud stage, 4th cut) using the high-cut technique from Zürn Harvesting GmbH (TOPCUT collect harvester, Schöntal-Westernhausen, Germany). The following day, the LTH underwent a hot-air drying and were pressed into pellets at Futtertrocknung Lamerdingen eG (Lamerdingen, Germany). The drying temperatures initially ranged from 200 to 600 °C and went down to 100 °C at the end of the drying drum. The process took roughly five minutes. The lucerne diet contained 20 % LTH on a as-fed basis. Both lactation diets were designed as isocaloric and isonitrogenous based on the supply recommendations (GfE 2006) and included the same basic feed components. Soybean cake was bought from the company Witzmannmühle (Aspach, Austria) and had a trypsin inhibitor activity (TIA) of 5.6 mg/g. Table 1 shows the nutrient composition of the main protein feedstuff used in the lactation diets.

The diets were mixed in-house and analyzed by LKS mbH (Lichtenwalde, Germany) regarding crude nutrients and AGROLAB LUFA GmbH (Kiel, Germany) regarding amino acids. Table 2 shows the ingredients and calculated nutrient composition of both lactation diets.

Table 1 Nutrient composition of the primary protein sources used in the lactation diets, analyzed

Item		LTH ^a	Soybean cake	Field beans
Dry matter	g/kg FM	926	927	872
Crude ash	g/kg DM	90	62	45
Crude protein	g/kg DM	274	465	311
Crude fiber	g/kg DM	139	45	116
Crude fat	g/kg DM	36	145	9
Starch	g/kg DM	12	34	410
Sugar	g/kg DM	97	83	18
Lysine	g/kg DM	12.8	28.3	19.1
Methionine	g/kg DM	4.5	6.2	2.0
ME	MJ/kg DM	10.3 ^b	17.0	13.9

^a lucerne plant tips, hot-air dried.

^b calculated based on digestibility trial for hot-air-dried lucerne tips (Weber et al. 2024)

Table 2 Ingredients (%) and calculated nutrient composition of the lactation diets (as-fed basis)

Item	Control diet	Lucerne diet
Ingredients		
Lucerne plant tips, hot-air dried	-	20.0
Soybean cake (14 % crude fat)	24.0	19.0
Field beans	6.0	5.0
Barley	52.4	19.0
Triticale	10.0	20.0
Corn	4.0	12.0
Soybean oil	-	2.0
Limestone	0.8	-
Monocalcium phosphate	-	0.2
Premix ^a	2.8	2.8
Nutrient composition, g/kg		
Dry matter	902	907
Crude ash	61	64
Crude protein	185	196
Crude fiber	49	57
Crude fat	46	64
Starch	402	332
Sugar	30	42
Lysine	9.57	9.75
Methionine	2.51	2.81
ME (MJ/kg)	13.17	13.16

^a The premix provided the following (per kg): Ca 175 g; P 45 g; Na 65 g; Mg 20 g; vitamin A 280000 I.E., vitamin D 37000 I.E., vitamin E 4000 mg; vitamin B1 65 mg; vitamin B6 90 mg; vitamin B12 15000 mcg; L-Carnitine 1250 mg; choline chloride 12000 mg; vitamin C 1600 mg; iron-(II)-sulfate 4000 mg; copper-(II)-sulfate 150 mg; dicopper chloride trihydroxide 150 mg; zinc oxide 1000 mg; zinc

chloride 1000 mg; manganese-(II)-oxide 600 mg; calcium iodate 60 mg; Sodium selenite 8 mg; Se 2.5 mg

Procedure

Ten days before farrowing, the sows were stabled in the farrowing house. The farrowing house was divided into three barns with eight pens each. Each pen contains an outlet with straw and sawdust on the inside. All sows were treated against endo- and ectoparasites. For passive immunization of the piglets, all sows got vaccinated against neonatal diarrhea (Suisen-G). All piglets received a navel disinfection. All piglets were vaccinated against Porcine Circovirus 2, *Mycoplasma hyopneumoniae*, and *E. coli* (STEC) during suckling. All piglets received an iron supplementation. At castration, the male piglets faced analgesia and inhalation anesthesia. The weaning took place after approximately 45.8 (± 4.9) days of suckling.

The feed blending of the gestation and lactation diets started from day 110 of gestation and ended at the end of the first week of suckling. The feed was offered two times daily. In the first week, the allocation increased to the energy level recommended by GfE (2006) based on the sow's live weight and the number of piglets. The sow was assigned to a feed curve according to her initial live weight. Feed curves were created for the weight classes 225, 245, 265, 285 and 305 kg. The stored number of piglets was adjusted to the actual number during the suckling phase. The allocation of the feed quantity could also be adjusted between 75 and 115 % of the feed curve depending on the condition and the sow's satiety.

The Spotmix-Feeding Automatic System (Schauer Agrotronic GmbH, Prambachkirchen, Austria) weighted the grounded meal for each individual and filled the trough with water (liquid feeding). The amount of water in the trough was not measurable but independent of the feeding amount. Further water is offered ad libitum for sows and piglets through nipple- and cup drinkers.

Sows with a low initial feed intake received a supplementary concentrate (13.3 MJ ME/kg; 12.6 g lysine/kg) in addition to the lactation diet in the first two weeks of suckling. Other feedstuffs included cow milk and skimmed milk. Some sows received approx. 2 liters of cow milk daily during the first week of suckling (8 out of 22) to ensure a good start. All sows were also offered an unrecorded amount

of maize silage as roughage presented in the and hay to build their nests at farrowing.

The piglets were offered an electrolyte drink in the piglet nest during the first few days of life. The piglets were accustomed to solid feed from the 2nd week of life by offering creep feed in the piglet nest. The piglet feed was provided in ground form, and the quantity was adjusted to increase consumption. The quantity presented was recorded. Leftovers could not be recorded as the feed mixes with the bedding. If the piglets grew apart within a litter or there was a lack of milk on the part of the mother sow, the piglets were given skimmed milk.

At weaning, feeding was switched off before the morning feed, and the sow moved to the mating center while the piglets stayed in the farrowing pen for one more week. Then, they were transferred to the farm's rearing pens.

Data

The trial started with farrowing and ended with weaning. Days 1 to 42 of suckling were considered for the evaluation because, after day 42, the number of sows got too small. The sows were weighted when stabling (approximately day 108 of gestation, six days before farrowing), at weaning, and on day 28. The weight of the pregnancy products was determined at birth and subsequently deducted from body weight. The gestation products consist of the weight of the dead and live piglets and a correction factor of 3 kg for birth by-products such as placenta and amniotic fluid. The exponential weight development of the fetuses in the last days before birth cannot be considered, as no literature data is available on this. The correction factor is derived from two control weights of the placenta and estimates. This subsequent correction allows the accurate weight of the sow to be derived after farrowing. The stress of weighing shortly after birth could thus be avoided.

Backfat was measured using a B-mode ultrasound scanner (linear probe, KX 5200V, Physia GmbH, 63263 Neu-Isenburg, Germany) with the three-point method on the animal's right side as used by Hesse (2003). The Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V. (LKV, Munich, Germany) taught the correct data collection via the three-point method. The B point is located in the middle of the shoulder blade and ham,

approximately 6 cm to the right of the spine. Point A is approximately 15 cm further cranial, without including the shoulder girdle muscles. Point C is 15 cm further caudal. An average of the three points reflects the thickness of the backfat. The linear probe was aligned perpendicular to the spine. Each measurement was saved as an image. The measurement points were centered at the uppermost edge of the image and the border between the connective tissue layer and the longissimus dorsi muscle. Overall, the backfat consists of the skin, the first (subcutis) and second fat layer (interfascial fat layer), and the underlying connective tissue (fascia lumbodorsalis) (Müller and Polten 2004). Backfat thickness was measured on average one day before farrowing and every 14 days until weaning.

Individual piglet weights were measured from farrowing every seven to 14 days. Piglet losses were weighted, and their causes were recorded in the herd register. In the first days of life, the litter was balanced. The live weights of sows and piglets and backfat thickness were calculated by interpolation for each suckling day. This made it possible to accurately reflect how live weight and backfat thickness developed.

The feed intake was recorded daily, and refusals were reoffered once and reweighted afterward. The health status of the sows was documented in the first days after farrowing. Body temperature was measured daily from rectal, and the staff evaluated behavior and food intake. The climatic conditions, temperature, and humidity were recorded at 12 different points in the barn and outlet.

The statistical analysis was conducted using SAS 9.4 (2013). A three-factor analysis was performed by group, parity, and time. The calculated data were given as least square means with standard error.

Results

Table 3 shows the analyzed nutrient composition of the lactation diets. The amount of CP and the energy level drift apart between the control and lucerne diets compared with the calculated nutrient composition. As a consequence, lysine and methionine also do.

Table 4 shows relevant parameters for the sows selected for the trial initially. Therefore, the groups did not significantly differ from each other. The sows in the control group were slightly heavier and showed a smaller backfat thickness. In the control group, slightly more piglets were born alive, and they were also marginally heavier. At farrowing, prostaglandin (Enzaprost), Oxytocin, Metamizol, Genabil, and Monzal were used to a limited extent. Five sows and five piglets needed antibiotic therapy for two to six days.

Table 3 Analyzed nutrient composition of the lactation diets (as-fed basis)^a

Item	Control diet	Lucerne diet
Dry matter	896	905
Crude ash	56	60
Crude protein	157	186
Crude fiber	52	59
Crude fat	44	69
Starch	422	340
Sugar	39	54
Lysine	8.43	9.67
Methionine	2.13	2.47
ME (MJ/kg) ^b	13.0	13.3

^a mean values from three samplings. DM, crude nutrients, sugar, and starch were analyzed according to VDLUFA (2012); the amino acids were analyzed according to Commission Regulation (EC) No 152/2009.

^b ME metabolizable energy calculated according to GfE (2006)

Table 4 Characteristic parameters for the sows selected for the trial (least square means and standard error)

Item		Control group		Lucerne group		p
Number of litters	n	11		11		
Average parity	n	3.2	($\pm$ 0.57)	3.2	($\pm$ 0.55)	0.94
Live weight 1 week a.p. ^a	kg	273.0	($\pm$ 7.51)	264.2	($\pm$ 7.27)	0.38
Live weight day 1 ^b	kg	247.8	($\pm$ 7.29)	241.5	($\pm$ 7.05)	0.51
Backfat thickness at farrowing	mm	26.7	($\pm$ 1.63)	29.3	($\pm$ 1.58)	0.22
Litter weight	kg	22.2	($\pm$ 1.35)	19.8	($\pm$ 1.31)	0.19
Liveborn per litter	n	14.3	($\pm$ 0.98)	13.8	($\pm$ 0.94)	0.73
Deadborn per litter	n	1.2	($\pm$ 0.67)	1.2	($\pm$ 0.65)	0.99

^a antepartum^b calculated live weight after farrowing: live weight a.p. *minus* litter weight *minus* 3 kg birth by-products

The effect of diet on the performance of sows is presented in Table 5. For five out of 11 sows in the lucerne group, the blending with the lucerne diet first started at farrowing because of a misunderstanding of the feeding system (Only the lactation feed lines were programmed, not the gestation feed line, but the gestation feed lines had the order to use lactation feed from the control silo from day 110 on.) This hard cut came together with the stress of farrowing, which intensified the tastiness problem of lucerne feed. The daily feed intake of all sows was below the recommended level (GfE 2006). The animals in the lucerne group consumed lower daily feed quantities compared to the control. These sows consumed more of the supplementary feed. Sows with a significantly low ME and nutrient intake also showed a slightly increased decrease in backfat thickness. The higher backfat thickness of the sows in the lucerne group stays present

throughout the lactation, though the backfat losses are bigger than the sows in the control group. The development of the backfat decrease regarding a two-week interval seems flattened out in the last two-week interval of the suckling period. The live weight of the lucerne group stays under the level of the sows in the control group throughout the suckling period, and the losses are higher here. The development of the live weight decrease regarding a two-week interval seems linear. In all observations regarding the last third of the suckling period, it must be noted that two gilts from each group got weaned before day 42 for management reasons. The mean live weight over both groups without the gilts on day 28 would have been 246.9 kg (standard deviation (SD): ± 22.2), and on day 42, 243.0 kg (SD: ± 25.3). The losses would be more linear because day 1 to 28 would have losses of about -10.6 kg (SD: ± 12.2).

The performance of sows regarding their piglets is shown in Table 6. The number of piglets per litter, the piglets' individual live weight, the litters' daily weight gain and the piglets' daily weight gain at the same level in both groups. Of 320 piglets born, 32 were dead. Of 288 liveborn piglets, 2 were given to other sows outside the trail. From 286 piglets starting the trail, 39 were crushed by the sow (13.5 %), 9 piglets were euthanized at the cause of anomalies or weakness, and 2 died. In total suckling piglet losses amount to 17.5 %. 236 piglets reached day 28. 14 of them were then selected for the Bavarian breed examination, so 222 piglets finished the full observation time.

Table 5 Diet effects on Performance of sows in the suckling period (least square means and standard error)

Item	Control group	Lucerne group	p
Feed intake			
Day 1 to 28, kg lactation mixture/d	5.7 (± 0.31)	4.0 (± 0.30)	<0.001
Day 1 to 42, kg lactation mixture/d	6.2 (± 0.24)	4.8 (± 0.23)	<0.001
Day 1 to 28, kg additional feed/d	0.09 (± 0.13)	0.22 (± 0.12)	0.42
Day 1 to 42, kg additional feed/d	0.02 (± 0.09)	0.14 (± 0.09)	0.35
Day 1 to 42, MJ ME/d	81.4 (± 2.83)	65.8 (± 2.68)	<0.001
Backfat thickness, mm			
Day 28	20.9 (± 1.90)	22.2 (± 1.84)	0.60
Day 42 ^a	17.7 (± 2.47)	20.5 (± 2.33)	0.40
Losses (day 1 to 28)	-5.8 (± 0.94)	-7.1 (± 0.91)	0.29
Losses (day 28 to 42) ^a	-2.1 (± 0.55)	-2.2 (± 0.52)	0.89
Losses (day 1 to 42) ^a	-7.6 (± 1.38)	-8.4 (± 1.30)	0.68
Live weight, kg			
Day 28	236.3 (± 8.53)	226.4 (± 8.25)	0.38
Day 42 ^a	242.4 (± 9.90)	237.2 (± 9.37)	0.69
Losses (day 1 to 28)	-11.5 (± 4.07)	-15.1 (± 3.94)	0.50
Losses (day 28 to 42) ^a	-5.5 (± 3.45)	-7.8 (± 3.26)	0.61
Losses (day 1 to 42) ^a	-13.0 (± 5.91)	-17.9 (± 5.59)	0.54

^a in each group, two gilts weaned before day 42

Table 6 Selected parameters regarding the performance of suckling piglets, least square means and standard error

Item	Control group		Lucerne group		p
Number of piglets per litter					
Day 4 ^a	12.4	(± 0.52)	11.4	(± 0.50)	0.169
Day 28	11.5	(± 0.47)	11.0	(± 0.46)	0.392
Day 42	9.9	(± 0.66)	9.0	(± 0.63)	0.303
Piglets live weight, kg					
Day 1	1.48	(± 0.080)	1.36	(± 0.077)	0.274
Day 28	8.84	(± 0.370)	8.16	(± 0.358)	0.169
Day 42	13.60	(± 0.546)	13.25	(± 0.517)	0.623
Litter weight gain, kg/d					
Day 1 to 28	2.94	(± 0.163)	2.61	(± 0.158)	0.134
Day 28 to 42	2.52	(± 0.286)	2.23	(± 0.280)	0.455
Day 1 to 42	2.63	(± 0.175)	2.28	(± 0.172)	0.143
Piglets weight gain, g/d					
Day 1 to 28	256	(± 11.76)	239	(± 11.37)	0.289
Day 28 to 42	275	(± 15.68)	268	(± 15.16)	0.713
Day 1 to 42	268	(± 10.88)	254	(± 10.52)	0.332

^a after litter balancing

Discussion

Feeding value of LTH

The literature holds rare studies about LTH. The LTH can be compared to the LTH from Bellof et al. (2021), who developed the first high-cut harvesting method for lucerne. The LTH is composed similarly to their results. As presented, LTH is mainly valued in the tight lysine-methionine balance compared to other equal main protein sources, for example, field beans. The feeding value of soybean cake is reduced because of the present trypsin inhibitors. Especially in Germany, soybean products show high TIA values. A high TIA value is directly linked to reduced digestibility of amino acids and crude protein in pigs (Chen et al. 2020). Of course, by interpreting Table 1, it should be said that these values are exemplary, which underlie waves of uncertainty through place, year, timeslot, and climate differences. The quality of the LTH depends on the leaves, as the leaves are the biggest part of the LTH. The quality of the leaves is influenced on the one hand by the harvest management (for example, number of cuts, time of harvest, location), and sorts and kinds on the other hand (Hoischen-Taubner et al. 2017). The saponins reduce the feeding value of lucerne products, but the high amount of antinutritional ingredients in its leaves is lower in the tips (Górski 1984). Lysine and methionine are the first limiting amino acids in the feeding of monogastrics. Comparing the nutrient content of the main organic feedstuff, it is obvious that the need for methionine cannot be met sufficiently (Zollitsch et al. 2004). So Lucerne is highly interesting for organic pig production because of the lack of essential amino acids (Sommer and Sundrum 2015; Weltin et al. 2014).

Calculation and analyses of the lactation diets

In the calculation of the feed mixtures, the protein level is higher than in the realized. The control diet, in particular, had less protein in the end. Because the amount of soybean cake is larger in the control diet, it indicates that the mix percentage was not reached at mixing. Less soybean cake than planned leads to less protein in the diet. Otherhanded, the energy level difference between control and lucerne diet was bigger than calculated. This could be due to the inaccuracy of sampling either the feedstuffs or the diets. The feed mixture for the lucerne group showed a little higher energy level than the control diet, which is reflected in a higher amount of mostly every nutrient parameter. When the diets

were calculated, the energy level of the LTH was estimated at 8.5 MJ ME/kg DM using digestibility values of lucerne meal since the exact values were not determined at this time. Soybean oil and a higher amount of corn were used to face the apparent need of balancing the energy level of the test diet. Weber et al. (2024) determined the exact digestibility quotient for this new feedstuff, leading to a higher energy level (Table 1). Consequently, the daily energy intake is also shown in the present trial, besides the kg per day. The lactation diets correspond to the recommendations of LfL (2024). The feeding contribution corresponds to GfE (2006).

Parameters in the beginning

The live weight correlates with the parity (Kecman 2016). For the 4th lactation, the GfE (2006) predicts a live weight of 245 kg at the lactation's beginning. The sows of the present trial show the expected live weight. The backfat thickness of the present sows is higher than in the literature showed. In the study by Bergsma et al. (2009) the sows display 17.6 mm and Weissensteiner et al. (2018) show a maximum of 15 mm before farrowing. But Bergsma et al. (2009) had a very high range from 7.5 mm to 38.0 mm. So fat sows are present everywhere, though the present trial includes fat sows on average. When comparing the backfat thickness in different literatures, the measuring management plays an important role as measuring depends on the used device and the measuring method (for example, P2-method, ABC-method) (Hesse 2003). At least Weissensteiner et al. (2018) used also a picture driven device with the measuring point a half width of a hand beside the spine. The P2-point measuring is comparable to the point C in the ABC-method (Hesse 2003). A high backfat thickness goes along with an increasing leptin-level in serum of the sows (Estienne et al. 2000) and fat sows had a lower feed intake than thin sows (Mullan and Williams 1989). The hormone leptin is implicated in feed intake regulation (Estienne et al. 2000).

The number of liveborn piglets in the present trial is on a high level compared to the literature for organic pig husbandry. In the studies by Weissensteiner et al. (2018), Beyga and Rekiel (2010), Young et al. (2016) and Bergsma et al. (2009) less piglets were born alive. Werner and Bussemas (2021) and Bussemas and Weißmann (2009) presented a similar level of 13 to 15.3 liveborn piglets. The

number of piglets born dead lays within the range of Werner and Bussemas (2021) and Bussemas and Weißmann (2009).

Development of the condition in relation to the daily feed intake

The backfat losses are slightly higher than one can find in the literature. But the values given in the literature are for mostly thinner sows (<25 mm) as one can see, for example, in the study by Bergsma et al. (2009) showing 14.4 mm in the average at weaning (-3.2 mm loss) with a range from 6.5 to 29.0 mm. Remember, the maximum at farrowing was 38.0 mm, so the thick sows lost 9 mm within 25 d of suckling (Bergsma et al. 2009). Sows with a high backfat thickness show greater losses in the lactation period. Mullan and Williams (1989) discovered that gilts with high body reserves at farrowing (171 kg live weight and 32 mm backfat thickness) mobilized more body reserves during lactation (-30,7 kg and -4,3 mm) than gilts with less body reserves. Also, Estienne et al. (2000) discovered that the fat sows (backfat thickness at farrowing: 28.1 mm) had greater backfat losses than thinner sows during lactation (-6.7 mm down to 21.8 mm at weaning compared to -1.8 mm down to 13.7 mm).

However, the live weight loss is independent of the backfat thickness at farrowing, as Estienne et al. (2000) found for at least the range of 12.6 to 20.6 kg losses. The live weight loss is significantly influenced by the growth rate of the litter (Werner and Bussemas 2021). In the present study the live weight losses are within the norm. GfE (2006) recommends a maximum of 10 kg losses within 25d of suckling for the presented litter growth rate. Kirchgeßner et al. (2011) recommend a live weight loss of 5 to 7.5 % and 10 to 20 kg, respectively. Kamphues et al. (2014) go up to manageable losses from 10 % of the live weight.

The feed intake is mainly defined through body condition and litter size and increases throughout the lactation period (Weissensteiner et al. 2018). The daily feed intake of all sows was below the recommended level of GfE (2006). The feed intake of the control group is similar to the feed intake from Werner and Bussemas (2021) who used a diet of 13.1 – 13.3. MJ ME/kg FM and needed 6.2 to 6.6 kg/d per sow. Weissensteiner et al. (2018) had slightly higher daily feed intakes though less weaned piglets (6.9 to 7.4 kg/d). Mullan and Williams (1989) discovered that gilts with high body reserves at farrowing had a lower food intake than sows with a low level of body reserves. Estienne et al. (2000) discovered a

leptin increase for fat sows (>25 mm), which went along with a lower feed intake. Besides the influence of the backfat thickness on the daily feed intake, a low feed intake also leads to a greater backfat loss.

The low ME and nutrient intake of the present sows could have contributed to an increased decrease in backfat thickness. A sow can often not cover her energy requirements from feed alone (NRC 1987). The sow's body reserves are made available for further milk production. Low feed intake results in greater body condition loss (J. M. Young et al., 2016). The small decrease in live weight and backfat thickness in the lucerne group could be reasoned by the higher amount of protein in their diet and the energy-rich supplementary feed. Also, these sows could compensate through higher intakes of maize silage if we assume that besides the same amount of maize silage, they better selected and left fewer residues. The significant difference regarding the feed intake of the lucerne group could be reasoned by the saponins and their negative influence on palatability (Sen et al. 1998). The sows were not given any time to get used to lucerne tips, although Lauer et al. (2023) has shown that this is necessary. For further research, LTH should be part of the gestation feed mixture for better adaptation. It is possible for fattening pigs to consume hot-air dried lucerne leaves up to 20 % in the feed mixture without performance problems (Messinger et al. 2021). Hot-air dried lucerne leaves were successfully used up to 10 % in the lactation diet of suckling sows in the studies of Werner and Bussemas (2021). They fed 1 % of the gestation diet with lucerne leaves for adaptation. LTH was used up to 20 % in the diet for rearing piglets by Lauer et al. (2023). Though the piglets showed an adaptation period in the form of slowing down in growth, the feed utilization was on the same level as in the control group.

Litter size and weight gain performance

The piglet losses were slightly higher than Weber et al. (2009) reported. They figured out that the losses increase with the increase in the litter size. In their study, the litter size was a little smaller, which solves the discrepancy in the losses.

The performance before the experiment took place was 10.9 weaned piglets per sow and litter. The lower number of weaned piglets in the experiment is caused by taking out piglets on day 28 for the country's genetic examination. No piglet

died after day 28. So, the number of piglets on day 28 refers to the actual weaned piglets.

The number of weaned piglets depends on the number of living piglets. In other studies with comparable numbers of live born piglets, the number of weaned piglets lies within the norm (Bussemas and Weißmann 2009; Werner and Bussemas 2021). The piglet losses during the suckling period were on the same level for similar farrowing systems (Nicolaisen et al. 2018; Werner and Bussemas 2021).

The growth performance decreases with increased litter size (Auldist et al. 1998). In the present study, the piglets' weight gain during the suckling period was at the same level in both groups but lower than in the studies by Werner and Bussemas (2021) and Baldinger et al. (2017), though both showing a greater litter size at weaning. Weissensteiner et al. (2018) registered similar daily growth rates for the piglets where the litter size was smaller than here. However, despite the smaller energy input in the lucerne group, both groups showed a similar piglet performance. This was also discovered by Mejia-Guadarrama et al. (2002). These authors showed a negative impact of low protein intake regarding the body weight loss of sows. Still, a low protein intake did not influence the piglets' growth rate. In the studies of Weissensteiner et al. (2018), there was also no negative influence of dietary treatment on litter weight gain when two different 100 % organic diets with the same energy level, but low or high protein levels were used. At contrast, Sulabo et al. (2010), who tested the effect of lactation diet intake on the piglets' performance, found that a restricted feed intake reduces significantly the body weight gain of the litters. Besides that, Noblet and Etienne (1989) correlated milk production with the piglets' growth. So even when the feeding does not bring sufficient energy for the milk production of the sows, the sows will be able to mobilize their body reserves to ensure the piglets grow best.

The creep feeding is no additional energy source for a higher growth rate as the intake of creep feed rather leads to smaller growth rates for the sow's milk delivers two-thirds more energy than the creep feed on a dry matter basis (Meyer 2008).

Conclusion

In this trial the lactation diet with 20 % LTH was compared to a control diet. At the cause of great backfat thickness in the beginning, the general lower feed intake is assumed. The acceptance of the lucerne-containing diet was lower than for the control diet. Due to the reduced palatability of the lucerne diet, these sows showed even lower feed intakes. Nevertheless, the sows fed the lucerne diet did approve nearly the same performance as the control group regarding body reserve mobilizations and piglets' growth. For further feeding recommendations, early acclimatization is advisable to improve acceptance. LTH must already be included in the gestation diet for successful use. LTH can be a useful protein feed for organic sow feeding delivering a meaningful part of protein and essential amino acids.

References

- Auldist DE, Morrish L, Eason P, King RH (1998) The influence of litter size on milk production of sows. *Anim Sci* 67:333–337. <https://doi.org/10.1017/S1357729800010109>
- Baldinger L, Bussemas R, Höinghaus K, Renger A, Weißmann F (2017) Effect of six 100 % organic feeding strategies differing in external input demand on animal performance and production costs of piglets before and after weaning. *Org Agr* 7:267–279. <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0157-3>
- Bellof G, Weindl PA, Weindl PN (2021) Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Project report BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073. <https://orgprints.org/id/eprint/42739/> Accessed 31 July 2024
- Bergsma R, Kanis E, Verstegen MWA, Van Der Peet–Schwering CMC, Knol EF (2009) Lactation efficiency as a result of body composition dynamics and feed intake in sows. *Livest Sci* 125:208–222. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.04.011>
- Beyga K, Rekiel A (2010) The effect of the body condition of late pregnant sows on fat reserves at farrowing and weaning and on litter performance. *Arch Anim Breed* 53:50–64. <https://doi.org/10.5194/aab-53-50-2010>
- Bussemas R, Weißmann F (2009) Verlängerte Säugezeit—Kein Schaden für die Sau und von Nutzen für die Ferkel. In: Mayer J, Alföldi T, Leiber F et al (ed) Tagungsband der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, February 2009, Zürich, Verlag Dr. Köster, pp 115–118
- Chen J, Wedekind K, Escobar J, Vazquez-Añón M (2020) Trypsin Inhibitor and Urease Activity of Soybean Meal Products from Different Countries and Impact of Trypsin Inhibitor on Ileal Amino Acid Digestibility in Pig. *J Am Oil Chem Soc* 97:1151–1163. <https://doi.org/10.1002/aocs.12394>

Commission Regulation (EC) No 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union, L 54. [https://eur-lex.europa.eu/legal-](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009R0152&qid=1722415441603)

[content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009R0152&qid=1722415441603](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009R0152&qid=1722415441603)

DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2014) DLG-Futterwerttabellen Schwein. 7th ed, DLG-Verlag, Frankfurt am Main

Estienne MJ, Harper AF, Barb CR, Azain MJ (2000) Concentrations of leptin in serum and milk collected from lactating sows differing in body condition. *Domest Anim Endocrinol* 19: 275-280. [https://doi.org/10.1016/s0739-7240\(00\)00082-5](https://doi.org/10.1016/s0739-7240(00)00082-5)

GfE – Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006) Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main

Górski PM, Jurzysta M, Burda S, Oleszek WA, Płoszyński M (1984) Studies on *Medicago lupulina* saponins. IV. Variation in the saponin content of *M. lupulina*. *Acta Soc Bot Pol* 53:543-550. <https://doi.org/10.5586/asbp.1984.050>

Hesse A (2003) Entwicklung einer automatisierten Konditionsfütterung für Sauen unter besonderer Berücksichtigung der Tierleistung. *FAL agricultural research: special issue* 253. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

Hoischen-Taubner S, Blume L, Sundrum A (2017) Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne und Perserklee. Project report, University Kassel-Witzenhausen. <https://orgprints.org/id/eprint/30426/>. Access 31 July 2024

Kamphues J, Wolf P, Coenen M, Eder K, Iben C, Kienzle E, Liesegang A, Männer K, Zebeli Q, Zentek J (2014) Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis. 12. Überarbeitete Auflage. M. & H. Schaper-Verlag, Stuttgart

Kecman J (2016) Qualifizierung und Quantifizierung von pränatalen und postnatalen maternalen Einflüssen auf die Entwicklung von Saugferkeln. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Kirchgeßner M, Roth FX, Schwarz FJ, Stang GI (2011) Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 13. neu überarbeitete Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main

Kolbe, H. (2008). Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden. <https://orgprints.org/id/eprint/15100/>

Lauer P, Weindl PA, Bellof G (2023) Einsatz von Luzernespitzen (heißluftgetrocknet) als Eiweißträger in der Aufzucht abgesetzter Ferkel. Tagungsband, Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 25.-27.04.2023, Fulda.

LfL – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2024) Futterberechnung für Schweine. 28. Auflage. <https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040157/index.php>
Accessed 4 June 2024

Mejia-Guadarrama CA, Pasquier A, Dourmad JY, Prunier A, Quesnel H (2002) Protein (lysine) restriction in primiparous lactating sows: effects on metabolic state, somatotropic axis and reproductive performance after weaning. J Anim Sci 80:3286–3300. <https://doi.org/10.2527/2002.80123286x>

Messinger D, Weindl PA, Bellof G (2021) Luzernetrockenblatt in der Mastschweinefütterung. In Bellof G, Weindl PA, Weindl PN (ed) Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Project report BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073. <https://orgprints.org/id/eprint/42739/> Accessed 31 July 2024

Meyer E (2008) Die Bedeutung der Beifütterung während der Sägezeit auf die Leistungen in der Ferkelaufzucht bei unterschiedlicher Fütterungstechnik und Körperkondition der Ferkel. Züchtungskunde 80:224-232.

Mullan BP, Williams IH (1989) The effect of body reserves at farrowing on the reproductive performance of first-litter sows. Anim Sci 48:449–457. <https://doi.org/10.1017/S0003356100040459>

Müller S and Polten S (2004) Vergleichsuntersuchungen zur Ultraschall-Speckdickenmessung beim Schwein im Rahmen der Eigenleistungsprüfung. Arch Anim Bree 47:249-263. <https://doi.org/10.5194/aab-47-249-2004>

Nicolaisen T, Lühken E, Fels M, Schulz J, Kemper N (2018) Gruppenhaltung und freie Abferkelbuchten für Sauen–Erste Ergebnisse aus dem Projekt Inno-Pig. In: Nds. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz in Zusammenarbeit mit dem Nds. Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, -Tierschutzdienst- (Hrsg) Tagungsband 11. Niedersächsisches Tierschutzsymposium, March 2018, Oldenburg, pp 59-66.

Noblet J, Etienne M (1989) Estimation of sow milk nutrient output. J Anim Sci 67:3352-3359. <https://doi.org/10.2527/jas1989.67123352x>

NRC (1987) Predicting Feed Intake of Food Producing Animals. National Academy Press, Washington, DC.

Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. Official Journal of the European Union, L 50, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848&from=EN>.

SAS 9.4 (2013) Software, Release 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC

Sommer H, Sundrum A (2015) Ganzpflanze und Blattmasse verschiedener Grünleguminosen als Eiweißquelle in der Schweinefütterung. In: Häring AM, Hörning B, Hoffman-Bahnsen R et al (Hrsg) Tagungsband zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, March 2015, Eberswalde, Verlag Dr. Köster, pp 130-133.

Sulabo RC, Jacela JY, Tokach MD, Dritz SS, Goodband RD, DeRouchey JM, Nelssen JL (2010) Effects of lactation feed intake and creep feeding on sow and piglet performance. J Anim Sci 88:3145–3153. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2131>

VDLUFA (2012) VDLUFA Methodenbuch Band III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln einschl. 1.- 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA Verlag, Darmstadt

Weber ME, Weindl PA, Bellof G (2024) Apparent digestibility of crude nutrients from protein-rich lucerne products for growing pigs. *Züchtungskunde* 96:432–444.

Weber R, Keil NM, Fehr M and Horat R (2009) Factors affecting piglet mortality in loose farrowing systems on commercial farms. *Livest Sci* 124:216–222. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.02.002>

Weissensteiner R, Baldinger L, Hagmüller W, Zollitsch W (2018) Effects of two 100% organic diets differing in proportion of home-grown components and protein concentration on performance of lactating sows. *Livest Sci* 214:211–218. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.006>

Weltin J, Carrasco Alarcon LS, Berger U, Bellof G (2014) Luzernesilage aus spezieller Nutzung und technologischer Aufbereitung in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. Project report BÖLN-Projekt, FKZ 11OE077. <https://orgprints.org/id/eprint/26279/> Accessed 31 July 2024

Werner D, Bussemas R (2021) Grünleguminosentrockenblatt in der Sauenfütterung. In Bellof G, Weindl PA, Weindl PN (ed) *Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM)*. Project report BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073. <https://orgprints.org/id/eprint/42739/> Accessed 31 July 2024

Young JM, Bergsma R, Knol EF, Patience JF, Dekkers JCM (2016) Effect of selection for residual feed intake during the grow/finish phase of production on sow reproductive performance and lactation efficiency. *J Anim Sci* 94:4120–4132. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0130>

Zollitsch W, Kristensen T, Krutzinna C, Macnaeihde F, Younie D (2004) Feeding for Health and Welfare: the Challenge of Formulating Well-balanced Rations in Organic Livestock Production. In: Vaarst M, Roderick S, Lund V, Lockeretz W (ed), *Animal health and welfare in organic agriculture*, pp 329-356. <https://doi.org/10.1079/9780851996684.0329>

4 Diskussion

4.1 Aktuelle Strategien zur Proteinversorgung in der ökologischen Schweinefütterung

Die Gesetzgebung ist mit dem Inkrafttreten der Verordnung (EU) 2018/848 den Empfehlungen gefolgt und hat die Ausnahmeregelung seit dem 01.01.2022 stärker eingeschränkt. In der ökologischen Schweinefütterung ist es nur noch in der Anfangsmast bis zu einem Gewicht von 35 kg ausnahmsweise erlaubt, bestimmte konventionelle Eiweißfuttermittel einzusetzen, um Schäden im Wachstum von Jungtieren zu vermeiden. Die EU-Kommission überwacht die Verwendung dieser Ausnahme-Futtermittel. Je nach Veränderungen auf dem Markt der ökologischen Eiweißfuttermittel wird die Kommission diese Übergangsregelung (früher) beenden oder verlängern.

Probleme, die in der Fütterung ohne Ausnahmeregelung auftreten können, teilen sich auf in a) einen Proteinüberschuss mit der damit verbundenen Belastung des Stoffwechsels, erhöhten Stickstoffausscheidungen, und vor allem erhöhten Futtermengen, da hochkonzentrierte Proteinfuttermittel wegfallen würden und b) einen Mangel an essentiellen Aminosäuren und den damit verbunden tierbezogenen Problemen wie Schwanzbeißen, Kannibalismus und Entwicklungsstörungen (Witten et al., 2014).

Die ausschließlich ökologische Fütterung bei Zuchtsauen wird allerdings zunehmend möglich, wenn auf robustere Zuchtlinien Wert gelegt wird, die im Vergleich zu den konventionellen Genetiken mittlere Fruchtbarkeitsleistungen aufzeigen sowie eine ausgeprägte Mütterlichkeit aufweisen. Diese Sauen zeigen eine hohe Anpassungsfähigkeit an die im Öko-Bereich verstärkt schwankende Nährstoffversorgung, da die Mobilisierung der Körpersubstanz einen gewissen Spielraum ermöglicht (u.a. Weissensteiner et al., 2018).

Eine Zulassung weiterer alternativer Proteinquellen im ökologischen Landbau, wie zum Beispiel Insekten, Bakterienprotein, Schlachtabfälle oder freie Aminosäuren, könnte ein weiterer Lösungsansatz sein (Witten et al., 2014). Es entwickelt sich aber auch verstärkt der Markt für regionale Proteinfuttermittel

durch mit der Reduktion der Ausnahmeregelung. Beispielsweise nimmt der Soja-Anbau in Süddeutschland sowie in Osteuropa zu.

Außerdem kann die Raufutter-Vorlage als zusätzliche Nährstofflieferung dienen, indem beispielsweise Luzernesilage, in einem frühen Vegetationsstadium geworben, oder Luzernespitzensilage als relativ nährstoffreiches Raufutter die Versorgungslücke zumindest teilweise reduzieren. Dafür entwickeln sich auch die Fütterungsstrategien weiter. Raufutter wird in die Rationsberechnung einbezogen und Einsatzgrenzen der Luzerneprodukte werden durch frühzeitige Gewöhnung (bereits im Ferkelalter) nach oben verschoben.

4.2 Luzerne als wertvolle Eiweißquelle in der ökokonformen Zuchtsauenfütterung

Die Nährstoffausdifferenzierung der Luzerne durch die Hochschnitt-Erntetechnik wurde in Kapitel 3 bereits ausführlich diskutiert. Der optimale Schnittzeitpunkt muss dabei zwischen einem möglichst frühen Zeitpunkt für eine hohe Ausbeute der wertgebenden Nährstoffe und einem möglichst späten Zeitpunkt für höheren Aufwuchs und damit einer ausreichenden Ertragsmenge abgewogen werden. Insgesamt sollte weiterhin untersucht werden, ob eine verbesserte Nährstoffverfügbarkeit im Boden zur weiteren Erhöhung der Rohprotein- und Lysingehalte in den Spitzen führen kann. Außerdem wäre eine weitere Erhöhung des Methioningehaltes erstrebenswert, da dieser in den Spitzen dieser Studien nur ähnlich hoch ausfiel wie in der Ganzpflanze.

Bei der Konservierung der empfindlichen proteinreichen Spitzen muss weiterhin auf eine schonende Trocknung bzw. gute Verdichtung bei der Silierung geachtet werden. Die Heißlufttrocknung führte bei den dargestellten Luzernespitzen, anders als beim Luzernetrockenblatt von Messinger et al. (2021), nicht zu einer Denaturierung. Hier kommt es auf eine abgestimmte Eingangs- und Ausgangstemperatur in Zusammenhang mit der Prozessdauer und einem möglichst geringen Feuchtegehalt des frischen Materials an (Turner et al., 2024). Die heißluftgetrockneten Spitzen muss allerdings mit ebenfalls geringerer Akzeptanz und Nährstoffverdaulichkeit gerechnet werden wie bei den heißluftgetrockneten Blättern bei Messinger et al. (2021). Da die Schweine in den Verdaulichkeitsversuchen die Luzernespitzen-Pellets ausgesprochen gut selektieren konnten, ist in weiteren Fütterungsversuchen eine Vermahlung mit den anderen Kraftfutterkomponenten und ein anschließendes Pelletieren empfehlenswert. Bei einer erfolgreichen Silierung der Luzernespitzen kommt es auf ein gutes Anwelken sowie eine gründliche Verdichtung des Materials an (Durst et al., 2021). Die hohen Protein- und Calciumgehalte der Luzerne erschweren den Silierprozess (Durst et al., 2021). Der Zusatz von Milchsäurebakterien als Silierhilfsmittel kann den Siliererfolg verbessern. Durch Fehler in der Silierung der Blätter kann es zu einem Proteinabbau kommen (Weltin et al., 2014). Die Silagen wurden von den Schweinen aufgrund des Milchsäure- und Feuchtegehaltes sehr gut akzeptiert.

In den vorgestellten Verdaulichkeitsuntersuchungen konnte ein ME-Gehalt von 10,1 MJ/kg TM für die heißluftgetrockneten Luzernespitzen bzw. 10,8 MJ/kg TM für die Luzernespitzensilage ermittelt werden (Kapitel 3.1). Damit liegen sie im oberen Bereich der für die Luzerne geltenden Energiegehalte. Im Einsatz in der Gesamtration wirkt Luzerne wie andere Kleearten jedoch energieverdünnend aufgrund der dennoch relativ geringen eigenen Energiegehalte von 6,62 – 11,1 MJ/kg TM (Baumgärtel, 2017; Hoischen-Taubner & Sundrum, 2016; Messinger et al., 2021).

Insgesamt tragen Luzerneprodukte verglichen mit den beschriebenen Körnerleguminosen durch die höheren Rohfasergehalte zu einem vermehrten Wohlbefinden der Schweine bei. Nichtsdestotrotz müssen hierbei die reduktiven Eigenschaften der erhöhten Rohfasergehalte gegenüber den Körnerleguminosen auf die Energie- und Nährstoffverdaulichkeit beachtet werden. Die Energie- und Nährstoffverdaulichkeit sinkt bei einem höheren Rohfasergehalt in der Futtermischung, bzw. Vorlage von Raufutter, aufgrund des energieverdünnenden Effekts. (Lindberg & Andersson, 1998; Werner & Sundrum, 2008). Rohfaser kann durch eine frühe Werbung vor der Knospe auf ein Minimum von 170 g/kg TM reduziert werden. Wird überständige Luzerne geworben, liegt der Rohfasergehalt bei bis zu 340 g/kg TM (Messinger, 2022). Insgesamt sind die Luzernespitzen jedoch im Vergleich zur Luzerneganzpflanze und zu Luzerneblättern aufgrund ihrer höheren Verdaulichkeit der Organischen Masse als regionale Proteinquelle in der ökologischen Schweinefütterung besser geeignet.

Luzerne trägt aufgrund des eigenen großen Ca : P – Verhältnisses zur weiteren Spreizung des Ca : P - Verhältnisses in der Futtermischung für Schweine bei. Körnerleguminosen weisen in dieser Hinsicht ein zum Phosphat verschobene Ca : P - Verhältnis auf (Durst et al., 2021). Luzerne kann also zum richtigen Verhältnis ausgleichend eingesetzt werden. Bei dem Einsatz von Luzerneprodukten muss bei der Futterkalkulation auf ein ausgewogenes Verhältnis geachtet werden.

In beiden vorgestellten Studien konnte eine reduzierte Akzeptanz gegenüber Luzernespitzen beobachtet werden, was dementsprechend bereits diskutiert wurde (Kapitel 3.1 und 3.2). Zur weiteren Bewertung der Luzerne als Futtermittel hinsichtlich ihrer Akzeptanz bei Schweinen wäre eine bessere Kenntnis über die

Saponin-Zusammensetzung in der Luzerne wünschenswert. Eine Analyse-methode ist derzeit noch nicht etabliert (Weindl et al., 2021). Hier bedarf es weiterer Forschung. Festzuhalten ist bis hierhin somit vor allem, dass eine ausreichende Gewöhnung an die Luzernespitzen erfolgen muss. Wie Lauer (2024) bereits zeigte, kann sich bei Aufzuchtferkeln schon nach kurzer Zeit ein Gewöhnungseffekt an den bitteren Geschmack einstellen. Die Einsatzmenge könnte demnach möglicherweise weiter erhöht werden können.

4.3 Kritische Bewertung der verwendeten Methodik zur Bestimmung der Verdaulichkeit

Für die Ermittlung des energetischen Futterwertes der Luzernespitzen wurde in der vorliegenden Verdaulichkeitsuntersuchung in einer Differenzmethode die Totalsammlung, kombiniert mit dem zeitbasierten Ansatz, zur Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit von Luzerneprodukten angewendet. Die Methodenwahl ist abhängig von dem Futtermittel und den verfügbaren Möglichkeiten (Zhang & Adeola, 2017). Im Folgenden soll die Wahl begründet und bewertet werden.

Die Direkte Methode konnte hierbei keine Anwendung finden, da die Luzernespitzen als alleinige Futterquelle den Energie- und Nährstoffbedarf der Schweine nicht decken können.

4.3.1 Totalsammlung statt Indikator-Methode

In diesem Fall fiel die Wahl auf die Totalsammlung im Gegensatz zur Index-/Indikatormethode, da die Totalsammlung bis heute als die genaueste Methode gilt. Bei der IM wird zwar deutlich Arbeitszeit eingespart, da eine stichprobenartige Kotsammlung möglich ist. Die IM muss aber mit exakten Laboranalysen des Markers im Futter sowie im Kot einhergehen (Kong & Adeola, 2014). Die stichprobenartige Kotsammlung führt häufig zu unterschätzten Verdaulichkeitswerten gegenüber der Totalsammlung (Everts et al., 1986; Jang et al., 2014; Wang et al., 2016). Eine mögliche Ursache kann in Ungenauigkeiten in der stichprobenartigen täglichen Probennahme liegen, wenn die Ausscheidung von Nährstoffen und Markern wohlmöglich im Tagesverlust stark schwankt (Zhang & Adeola, 2017). Eine andere Ursache stellt die Wiederfindungsrate des Markers dar, welche unter 100 % liegt (Mroz et al., 1996). Möglicherweise werden Marker aufgrund ihrer Feinheit im Magen-Darm-Trakt zurückgehalten und nicht vollständig ausgeschieden (Moore, 1957). (Zhang & Adeola (2017) deuten außerdem an, dass die Qualität der Laboranalysen nicht ausreichend sein könnte.

Eine Überlegung war es, AIA zusätzlich zur Totalsammlung zu untersuchen und die Differenzmethode damit zu unterstützen. AIA kommt in jeder Futtermischung

vor, der Anteil muss allerdings durch Zusatz weiterer Stoffe erhöht werden. Wang et al. (2016) verwendeten beispielsweise 20 g/kg AIA zur Untersuchung von Fasereffekten. Insgesamt steht bei der Verwendung von AIA allerdings eine mögliche Absorption im Verdauungstrakt im Raum, wovon insbesondere bei Erhöhung der AIA durch externe Zugabe auszugehen ist. Aus diesem Grund wurde auf die exakte und vollständige Kotsammlung, anstelle der IM, in den vorliegenden Verdaulichkeitsuntersuchungen Wert gelegt. Schließlich wird selbst bei einer Indikatormethode eine Totalsammlung empfohlen, da eine Stichprobensammlung nur begrenzt informativ und zuverlässig ist (Zhang & Adeola, 2017).

4.3.2 Zeitbasiert statt Marker-to-Marker

In jedem Fall ist gewünscht, dass der gesammelte Kot genau dem aufgenommenen Futter entspricht. Man geht dabei davon aus, dass ein Marker gleichmäßig mit dem Futter durch den Verdauungstrakt wandert. Die Genauigkeit dessen ist bisher kaum bewiesen und ebenso wenig widerlegt. Gleichzeitig geht man bei dem zeitbasierten Ansatz davon aus, dass der Kot, der einen Tag später gesammelt wird, dem zuletzt aufgenommenen Futter entspricht. Da die Dauer der Verdauung jedoch durch verhältnismäßig viele Parameter beeinflusst wird, könnte es sein, dass der Kot nicht zu 100 % zu der aufgezeichneten Futtermenge passt (Liu et al., 2012). Sowohl die Marker-to-Marker Methode als auch der zeitbasierte Ansatz offenbaren somit weiteren Forschungsbedarf. In den vorliegenden Verdaulichkeitsuntersuchungen wurde der zeitbasierte Ansatz gegenüber dem Einsatz eines unverdaulichen Markers favorisiert.

Der Marker Titandioxid, der bei dem Vorgänger-Projekt "Grünlegum" verwendet wurde, konnte hier nicht mehr eingesetzt werden, da Titandioxid seit Februar 2022 in Lebensmitteln nicht mehr zugelassen ist (Verordnung (EU) 2022/63). Die Tiere sollten am Ende des Versuchs der Lebensmittelproduktion wieder zugeführt werden, um den größtmöglichen Nutzen aus der Verwendung der Schweine zu gewährleisten. Der alternative Marker Chromoxid liefert sehr variable Daten, was zumeist auf eine schlechte Wiederfindungsrate zurück geschlossen wird (Jagger et al., 1992). Chromoxid ist zwar weit verbreitet, weist aber eine schlechte Wiederholbarkeit auf (Vohra, 1972). Außerdem gibt es durch mögliche technische Fehler bei der Analyse des Markers die Gefahr der Falscheinschätzung der

Verdaulichkeit (de Silva, 1985). Aus diesen Gründen wurde Chromoxid als Marker für die Marker-to-Marker Methode ausgeschlossen.

Bisher ist der zeitbasierte Ansatz noch wenig erforscht (Zhang & Adeola, 2017). Nur Lammers et al. (2008) verglich notwendigerweise beide Methoden, da der abrupte Einsatz des Eisenoxid-Markers im Futter nur wenig Akzeptanz unter den Versuchstieren fand. In den fünf durchgeführten Experimenten mit steigenden Anteilen eines Prüffuttermittels wurde daher ab dem dritten Experiment der Marker weggelassen. Die Kotsammlung startete stattdessen zeitbasiert einen Tag nach der Anfütterungsphase. Der ermittelte Energiegehalt des Prüffuttermittels blieb dabei unbeeinflusst.

Abschließend ist anzumerken, dass die Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit Nachteile in Form von Ungenauigkeiten aufweist, weil die Verdaulichkeit aufgrund der mikrobiellen Produktion neuer Nährstoffe im Verdauungstrakt unterschätzt wird. Die sogenannten endogenen Verluste unterscheiden die scheinbare Verdaulichkeit von der wahren Verdaulichkeit. Die scheinbare Verdaulichkeit muss somit um die endogenen Verluste korrigiert werden. Dafür bedarf es allerdings noch der Entwicklung von Methoden, welche die endogenen Verluste bestimmen können (Zhang & Adeola, 2017).

4.4 Beurteilung der Kondition und Fütterungsstrategie ökologisch gehaltener Zuchtsauen – Aspekte für eine Neubewertung

4.4.1 Einfluss der Kondition auf Reproduktionsleistung

Die Mobilisierungsrate von Körpergewebe bei Sauen kann erheblich variieren (Sterning et al., 1990). Ebenso stark variiert auch die Höhe des LM-Verlusts trotz ähnlicher Futteraufnahmen und Wurfgrößen (Sterning et al., 1990). Sauen können sich auch beträchtlich in ihrer RSD am Ende der Trächtigkeit unterscheiden, so hatten die Sauen bei Bergsma et al. (2009) Rückenspeckdicken von 7,5 – 38,0 mm.

Es lässt sich nicht pauschal schlussfolgern, dass hohe RSD-Verluste in der Säugezeit negativ zu beurteilen sind. Zumindest hatten die Sauen mit ≥ 20 mm RSD eine bessere Reproduktionsleistung bei 21 Tagen Säugezeit als dünnere Sauen, verloren aber mehr Speck bis zum Absetzen (Kim et al., 2016). Auch in der eigenen Studie zum Einsatz von Luzernespitzen in der ökologischen Sauenfütterung (Kapitel 3.2) führten die erhöhten RSD-Werte zum Ende der Trächtigkeit nicht offensichtlich zu Problemen bei der Abferkelung, einer erhöhten Totgeburtenrate oder kleineren Wurfgrößen. Die leicht höheren RSD-Verluste in der Säugezeit waren mit keinem geringeren Wurfzuwachs verbunden. Die Wirkung von numerisch erhöhten Körpersubstanzverlusten auf die Wiederbelegung, folgende Trächtigkeit und nachfolgende Laktation ist bereits belegt (De Rensis et al., 2005; GfE, 2006; Maes et al., 2004; McKay, 1993). Jedoch sollten die Effekte für relativ zur Kondition erhöhten Körpersubstanzverlusten weiter erforscht werden. Die Körpersubstanzverluste sollten gegebenenfalls daher besser in Relation zur Lebendmasse und RSD gesehen werden.

Übermäßig fette Sauen scheinen also nicht direkt problematisch zu sein, wenn auch damit zu rechnen ist, dass sie mehr Gewicht und Fett verlieren als bisher empfohlen (Estienne et al., 2000; Mullan & Williams, 1989; L. G. Young et al., 1990). Demnach sind die Empfehlungen zu deutlich geringeren Zielwerten für die RSD zum Zeitpunkt der Abferkelung ebenfalls hinterfragbar.

4.4.2 Fütterung und Körperkondition

Des Weiteren scheint die verlängerte Säugezeit die Höhe der Körpersubstanzverluste und damit verbundene mögliche negative Effekte abzupuffern. Bisher wurde davon ausgegangen, dass die Tiere beim Absetzen deutlich leichter sind als zu Beginn der Laktation. Möglicherweise ist das aber nur bei konventioneller Säugedauer gesichert. Ein Hinweis dafür liefert die eigene Studie (Kapitel 3.2), in der die LM-Verluste der Sauen am Ende der Säugezeit unter den empfohlenen Obergrenzen blieben - zeugen doch auch die RSD-Verluste von einer gewissen Stagnation nach dem 28. Säugetag. Die Sauen scheinen sich innerhalb der verlängerten Säugezeit zu erholen (Bussemas & Weißmann, 2009). Dabei könnte die Fütterung eine entscheidende Rolle einnehmen. Wo zunächst eine hohe Kondition die Futteraufnahme reduziert und zu großen LM-Verlusten in den ersten Wochen führt, entwickelt sich möglicherweise in den weiteren Säugewochen durch die folgende hohe Futteraufnahme ein zunehmender Energieüberschuss. Hierbei bleibt zu prüfen, ob die Milchleistung, die ihren Höchstpunkt in vorangegangenen Studien in der 3. Woche bei einer konventionellen Säugedauer erreicht hat, bis zum Ende der verlängerten Säugezeit (6. Woche) kontinuierlich abnimmt oder stagniert. Denn zum einen werden die Ferkel größer, brauchen also mehr Energie, zum anderen nehmen sie vermehrt das Beifutter auf, sodass ihr Energiebedarf zunehmend nicht mehr allein über die Milch gedeckt werden muss. Somit könnte die Sau bereits in der Säugezeit ihre Körperreserven wieder auffüllen.

Der Energiebedarf in der Laktation wurde in Kapitel 2.1.2.1 dargestellt. Die Richtwerte beziehen sich allerdings auf eine konventionelle Säugedauer (GfE, 2006). Generell liegt der Hauptfokus bei der Fütterung säugender Sauen bis heute darauf, die Futteraufnahme zu maximieren (Einarsson & Rojkittikhun, 1993). Die Fütterung wird in der Regel auch bei einer verlängerten Säugezeit auf einem sehr hohen Niveau fortgeführt, um die Körpersubstanz-Verluste möglichst gering zu halten (Bussemas & Weißmann, 2009; Weissensteiner et al., 2018). Möglicherweise ist jedoch bei einer längeren Säugedauer mit einer Abnahme des Bedarfs zu rechnen. Insgesamt könnte es dadurch also zu einem Energieüberschuss in den letzten Wochen der Säugezeit kommen, was die Regeneration der Sauenkondition ermöglichen würde.

In der vorgestellten Studie (Kapitel 3.2) liegt die empfohlene tägliche Futteraufnahme bei 7,5 – 7,7 kg FM (Erhaltungsbedarf (245 kg LM): 27,2 MJ ME + Leistungsbedarf (2,5 kg Wurfzuwachs): 72,5 MJ ME / Futterenergie: 13,0 – 13,3 MJ/kg FM). Insgesamt lag die Futteraufnahme damit auf einem geringeren Niveau im Vergleich zu den Richtwerten der GfE (2006). Daher können hieraus keine eindeutigen Belege für die genannten Thesen abgeleitet werden. Es sollte Gegenstand weiterer Forschung sein, die Konditionsentwicklung und Milchproduktion in der verlängerten Säugezeit engmaschiger zu beobachten, um die Notwendigkeit einer angepassten Futterkurve für den möglichen geringeren Leistungsbedarf gegen Ende der verlängerten Säugezeit zu beurteilen.

4.4.3 Methodik

In der vorgestellten Studie (Kapitel 3.2) wurde die Lebendmasse vor der Abferkelung und nach dem Absetzen, sowie am 28. Tage der Säugeperiode erfasst. Zusätzlich wurde die RSD anhand eines bildgebenden Ultraschall-Verfahrens mittels Drei-Punkt-Methode ca. alle zwei Wochen erfasst. Auf die Erfassung des BCS wurde aus den genannten Gründen in Kapitel 2.4.3.2 verzichtet.

Bei der Beurteilung der Lebendmasse spielt es eine große Rolle, ob diese vor der Abferkelung oder direkt im Anschluss erfasst wurde. Zur besseren Aussagekraft ist die Lebendmasse nach der Abferkelung im Vergleich zur Lebendmasse beim Absetzen geeigneter. Jedoch ist dem Verfahren der erhöhte Stress der Sauen kurz nach der Abferkelung, sowie die erhöhte Unfallgefahr im Handling mit ferkelführenden Sauen gegenüberzustellen. Daher wurde sich dagegen entschieden und stattdessen auf eine mathematische Korrektur der Lebendmasse um die Ferkelgewichte und die Geburtsprodukte Wert gelegt.

Da die Lebendmasse wie schon beschrieben, keine Rückschlüsse auf den Körperfettgehalt gibt (Hesse, 2003), das Körperfett jedoch als Hauptenergielieferant nach der Futterenergie fungiert, wurde zusätzlich die RSD-Messung durchgeführt. Die RSD liefert wertvolle objektive Informationen zum Körperfettgehalt der Sauen. Der Vergleich mit Referenzwerten hängt jedoch stark von der angewandten Messmethodik ab (siehe Kapitel 2.4.3.3) Für weitere Forschungsvorhaben wäre eine vereinheitlichte Messmethodik wünschenswert.

Insgesamt sind genaue Informationen über den Verlauf des Konditionszustandes wesentlich von Bedeutung für eine angepasste Fütterungsstrategie. Eine Kombination der verschiedenen Methoden wird empfohlen (Spanlang, 2011). Die Referenzwerte für die jeweiligen Methoden, die im konventionellen Haltungssystem entwickelt wurden, scheinen jedoch für die verlängerte Säugezeit im ökologischen Haltungssystem nicht ohne Weiteres übertragbar zu sein.

5 Zusammenfassung

In dem Verdaulichkeitsversuch wurde die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe von heißluftgetrockneten Luzernespitzen (CP: 274 g/kg TM), Luzernespitzensilage (CP: 275 g/kg TM) und Luzerneganzpflanzensilage (CP: 222 g/kg TM) geprüft. Als Luzernespitzen wurden die oberen 40 % der oberirdischen Gesamtpflanze definiert, die mittels spezieller Hochschnitt-Erntetechnik geerntet wurden. Bei 20 wachsenden männlichen, kastrierten Schweinen (Deutsche Landrasse) wurde jeweils über fünf Tage der gesamte Kot in Stoffwechselkäfigen gesammelt. Die höchsten OMD und CPD wurden für LTS (69,5 % OMD, 68,8% CPD) gefunden, dicht gefolgt von LTH (64,4 % OMD, 60,0 % CPD) und LS (56,5 % OMD, 52,9 % CPD). Der kalkulierte Energiegehalt bestätigt das für die Verdaulichkeit der Organischen Masse skizzierte Bild (LTH 10,1 MJ ME/kg TM; LTS 10,8 MJ ME/kg TM; LS 8,7 MJ ME/kg TM).

In dem Fütterungsversuch wurde die Verwendung der heißluftgetrockneten Luzernespitzen als Eiweißfuttermittel in der ökologischen Sauenfütterung geprüft. 22 säugende Sauen erhielten entweder eine Kontrollfuttermischung oder eine Versuchsfuttermischung mit Luzernespitzen (20 %, bezogen auf die Frischmasse) während einer durchschnittlichen Laktationszeit von 45,8 Tagen. Die tägliche Futteraufnahme, die Wachstumsrate der Ferkel und die Veränderung des Rückenspecks wurden gemessen. Aufgrund der großen Rückenspeckdicke zu Beginn (Kontrollgruppe: 26,7 mm; Luzernegruppe: 29,3 mm, $p = 0,22$) lag die tägliche Futteraufnahme bei allen Sauen auf einem niedrigen Niveau. Die Versuchsgruppe zeigte eine geringere Energieaufnahme (Kontrollgruppe: 81,4 MJ ME/d; Luzernegruppe: 65,8 MJ ME/d, $p < 0,0001$). Dennoch zeigten die Sauen der Luzernegruppe hinsichtlich der LM-Mobilisierung und des Ferkelwachstums die gleiche Leistung wie die Kontrollgruppe. Die durchschnittlichen Lebendmassen der Ferkel an Tag 42 betrugen für die Kontroll- bzw. die Luzernegruppe 13,6 kg bzw. 13,3 kg ($p = 0.623$). Ziel sollte es daher sein, die Empfehlungen zur Kondition von Zuchtsauen auf die Umstände in der ökologischen Haltung hin zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Zur weiteren Bewertung der Luzerne als Futtermittel hinsichtlich ihrer Akzeptanz bei Schweinen wäre eine bessere Kenntnis über die Saponin-Zusammensetzung in der Luzerne wünschenswert. Hier bedarf es weiterer Forschung. Festzuhalten

ist aufgrund der Erkenntnisse aus den durchgeführten Versuchen (Kapitel 3) somit vor allem, dass eine ausreichende Gewöhnung an die Luzernespitzen erfolgen muss. Dafür sollten Luzernespitzen, siliert oder heißluftgetrocknet, bereits frühzeitig in der Fütterung von Ferkeln und in der Tragefuttermischung von Zuchtsauen enthalten sein. Luzernespitzen können ein sinnvolles Eiweißfuttermittel für die ökologische Schweinefütterung darstellen, da sie durch ihren hohen Gehalt an Rohprotein, Lysin und Methionin einen wertvollen Beitrag zur Bedarfsdeckung liefern.

6 Summary

In the digestibility trial, the apparent digestibility of the crude nutrients of hot-air dried lucerne tips (CP: 274 g/kg DM), lucerne plant tips silage (CP: 275 g/kg DM) and lucerne whole plant silage (CP: 222 g/kg DM) was tested. The lucerne plant tips were defined as the upper 40 % of the total above-ground plant, harvested using a special high-cut harvesting technique. The total faecal matter was collected in metabolic cages over five days. The highest OMD and CPD were observed for LTS (69.5 % OMD, 68.8 % CPD), followed by LTH (64.4 % OMD, 60.0 % CPD) and LS (56.5 % OMD, 52.9 % CPD). The calculated energy content confirms the picture outlined for the digestibility of the organic matter (LTH 10.1 MJ ME/kg DM; LTS 10.8 MJ ME/kg DM; LS 8.7 MJ ME/kg DM).

In the feeding trial, the use of hot-air dried lucerne plant tips as a protein feed in organic sow feeding was tested. Twenty-two farrowing sows were fed either a control diet or a test diet containing lucerne plant tips (20 %, based on fresh mass) during an average lactation period of 45.8 days. The daily feed intake, the growth rate of the piglets and the back fat change were measured. Due to the great backfat thickness in the beginning (control group: 26.7 mm; lucerne group: 29.3 mm, $p = 0.22$), the daily feed intake was generally low. The test group showed a lower energy intake (control group: 81.4 MJ ME/d; lucerne group: 65.8 MJ ME/d, $p < 0.0001$). Nevertheless, the sows in the lucerne group showed the same performance as the control group in terms of body weight mobilisation and piglet growth. The individual piglets' live weight on day 42 for the control and lucerne groups was 13.6 kg and 13.3 kg, respectively ($p = 0.623$). Implying that the recommended condition of sows should be reviewed especially for organic farming and to adapt them if necessary.

For further evaluation of lucerne as a feedstuff with regard to its acceptance by pigs, better knowledge of the saponin composition in lucerne would be desirable. Further research is needed here. Based on the trials' findings (Chapter 3), sufficient adaption with lucerne plant tips must occur. To this end, lucerne plant tips, ensiled or hot-air dried, should be included early in the feed of piglets and in the gestation feed of sows. Lucerne plant tips can be a useful protein feedstuff for organic pig feeding, as their high content of crude protein, lysine, and methionine is a valuable contribution to fulfilling the pigs' nutrient requirements.

7 Literaturverzeichnis

- Adeola, O. (2000). Digestion and Balance Techniques in Pigs. In *Lewis AJ, Southern LL (Hrsg.). Swine Nutrition* (2. Aufl., S. 903–916). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781420041842.ch40>
- Agudelo, J., Lindemann, M., & Cromwell, G. L. (2010). A comparison of two methods to assess nutrient digestibility in pigs. *Livestock Science*, 133, 74–77. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.029>
- Anderson, P., Kerr, B., Weber, T., Ziemer, C., & Shurson, G. (2011). Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *Journal of animal science*, 90, 1242–1254.
<https://doi.org/10.2527/jas.2010-3605>
- Baumgärtel, T. (2017). Rohrnährstoffgehalte und Proteinqualität in Rotklee und Luzerne (frisch und siliert) in Abhängigkeit von der Anwelkdauer. *Tagungsband der 61. Jahrestagung der AGGF in Berlin/Paulinenaue*, 153–156.
- Bellof, G. (2013). Heimische Sojaprodukte in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere. *FiBL Deutschland e.V., Frankfurt*.
<https://orgprints.org/id/eprint/24970/>
- Bellof, G., & Specht, M. (2022). Szenarien für den Anbau und die Verwertung von Leguminosen und Körnerraps in Deutschland im Jahr 2030. *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*.
<https://doi.org/10.12767/buel.v100i2.417>

- Bellof, G., Weindl, P., & Weindl, P. (2021). *Schlussbericht zum Thema Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM), BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073.*
<https://orgprints.org/id/eprint/42739/>
- Bergsma, R., Kanis, E., Verstegen, M. W. A., Van Der Peet–Schwering, C. M. C., & Knol, E. F. (2009). Lactation efficiency as a result of body composition dynamics and feed intake in sows. *Livestock Science*, 125(2–3), 208–222.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.04.011>
- Beyer, M., Chudy, A., Hoffmann, B., Hoffmann, L., Jentsch, W., Laube, W., Nehring, K., & Schiemann, R. (1977). *Das DDR-Futterbewertungssystem. Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs für Fütterung und Futterplanung mit einer Anleitung zu ihrem Gebrauch.* VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Bioland e.V. (2024). *Bioland-Richtlinien. Fassung vom 13./14. März 2024.*
Bioland e.V. Verband für organisch-biologischen Landbau.
https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien_fuer_Erzeuger_und_Hersteller/Bioland-Richtlinien_2024-03_.pdf
- BÖLW. (2024). *Branchenreport 2024.* Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V.
https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Zahlen_und_Fakten/Broschuere_2024/BOELW_B Branchenreport2024.pdf
- Bussemas, R., & Weißmann, F. (2009). Verlängerte Säugezeit—Kein Schaden für die Sau und von Nutzen für die Ferkel. *Tagungsband der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 11.-13.02.2009, Zürich.*

- Cheeke, P. R. (1971). Nutritional and physiological implications of saponins: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 51(3), 621–632.
<https://doi.org/10.4141/cjas71-082>
- Chen, J., Wedekind, K., Escobar, J., & Vazquez-Añón, M. (2020). Trypsin Inhibitor and Urease Activity of Soybean Meal Products from Different Countries and Impact of Trypsin Inhibitor on Ileal Amino Acid Digestibility in Pig. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 97(10), 1151–1163.
<https://doi.org/10.1002/aocs.12394>
- De Leeuw, J. A., Bolhuis, J. E., Bosch, G., & Gerrits, W. J. J. (2008). Effects of dietary fibre on behaviour and satiety in pigs: Symposium on 'Behavioural nutrition and energy balance in the young'. *Proceedings of the Nutrition Society*, 67(4), 334–342. <https://doi.org/10.1017/S002966510800863X>
- De Rensis, F., Gherpelli, M., Superchi, P., & Kirkwood, R. N. (2005). Relationships between backfat depth and plasma leptin during lactation and sow reproductive performance after weaning. *Animal Reproduction Science*, 90(1–2), 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.01.017>
- de Silva, S. S. (1985). Evaluation of the Use of Internal and External Markers in Digestibility Studies. In C.Y. Cho, C.B. Cowey, T. Watanabe (Hrsg.), *Finfish Nutrition in Asia. Methodological Approaches to Research and Development*, (S. 96–102). International Development Research Centre, Ottawa.
- Dourmad, J.-Y., Étienne, M., & Noblet, J. (2001). Measuring backfat depth in sows to optimize feeding strategy. *Productions Animales*, 14, 41–50.

- Durchführungsverordnung (EU) 2020/464 der Kommission vom 26. März 2020 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der für die rückwirkende Anerkennung von Umstellungszeiträumen erforderlichen Dokumente, der Herstellung ökologischer/biologischer Erzeugnisse und der von den Mitgliedstaaten bereitzustellenden Informationen (Text von Bedeutung für den EWR), 098 OJ L (2020).
http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2020/464/oj/deu
- Durst, L., Freitag, M., & Bellof, G. (2021). *Futtermittel für landwirtschaftliche Nutztiere*. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- Ebert, U., & Berk, A. (2013). *Buntblühende Wintererbsen in der Schweinefütterung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus*. Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen GmbH, Visselhövede und Friedrich-Löffler-Institut, Braunschweig.
- Edwards, R. H., Knuckles, B. E., Miller, R. E., Currence, D. H., De Fremery, D., & Kohler, G. O. (1979). Use of leaf enriching harvesting methods to increase the yield of leaf protein concentrate from lucerne. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30(6), 558–565.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740300603>
- Einarsson, S., & Rojkittikhun, T. (1993). Effects of nutrition on pregnant and lactating sows. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 48, 229–239. <https://doi.org/10.1530/biosciproc.14.0016>
- Estienne, M. J., Harper, A. F., Barb, C. R., & Azain, M. J. (2000). Concentrations of leptin in serum and milk collected from lactating sows differing in body condition. *Domestic Animal Endocrinology*, 19(4), 275–280.
[https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00082-5)

- Everts, H., Smits, B., & Jongbloed, A. W. (1986). Effect of crude fibre, feeding level and body weight on apparent digestibility of compound feeds by swine. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 34, 501–503.
- Farmer, C., Martineau, J.-P., Méthot, S., & Bussi res, D. (2017). Comparative study on the relations between backfat thickness in late-pregnant gilts, mammary development and piglet growth. *Translational Animal Science*, 1(2), 154–159. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0018>
- Friedel, J. K., Pietsch, G., & Freyer, B. (2003). Stickstoffversorgung optimieren! *ERNTE - Zeitschrift für Landwirtschaft und  kologie*, 5, 30–31.
- Gawe , E., & Grzelak, M. (2014). Protein from lucerne in animals supplement diet. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12, 314–319.
- GfE. (2005). Gesellschaft f r Ernährungsphysiologie. Ausschuss f r Bedarfsnormen der Gesellschaft f r Ernährungsphysiologie. Determination of digestibility as the basis for energy evaluation of feedstuff for pigs. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, 14, 207–213.
- GfE. (2006). Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen*. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- Hesse, A. (2003). Entwicklung einer automatisierten Konditionsf tterung für Sauen unter besonderer Berücksichtigung der Tierleistung. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 253, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)*.
- Hoischen-Taubner, S., & Sundrum, A. (2016). *Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne und Perserklee, Schlussbericht Projekt 11OE055*. Universität Kassel.

- Jagger, S., Wiseman, J., Cole, D. J. A., & Craigon, J. (1992). Evaluation of inert markers for the determination of ileal and faecal apparent digestibility values in the pig. *British Journal of Nutrition*, 68(3), 729–739. <https://doi.org/10.1079/BJN19920129>
- Jang, Y. D., Lindemann, M. D., Agudelo-Trujillo, J. H., Escobar, C. S., Kerr, B. J., Inocencio, N., & Cromwell, G. L. (2014). Comparison of direct and indirect estimates of apparent total tract digestibility in swine with effort to reduce variation by pooling of multiple day fecal samples. *Journal of Animal Science*, 92(10), 4566–4576. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6570>
- Kalač, P., Price, K. R., & Fenwick, G. R. (1996). Changes in saponin content and composition during the ensilage of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Food Chemistry*, 56(4), 377–380. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00185-9](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00185-9)
- Kamphues, J., Wolf, P., Coenen, M., Eder, K., Iben, C., Kienzle, E., Liesegang, A., Männer, K., Zebeli, Q., & Zentek, Prof. Dr. J. (2014). *Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis* (12. Aufl.). M. & H. Schaper GmbH, Hannover.
- Kim, K. H., Hosseindoust, A., Ingale, S. L., Lee, S. H., Noh, H. S., Choi, Y. H., Jeon, S. M., Kim, Y. H., & Chae, B. J. (2016). Effects of Gestational Housing on Reproductive Performance and Behavior of Sows with Different Backfat Thickness. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(1), 142–148. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0973>
- Kolbe, H. (2008). *Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau*. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden. <https://orgprints.org/id/eprint/15100/>

- Kong, C., & Adeola, O. (2014). Evaluation of Amino Acid and Energy Utilization in Feedstuff for Swine and Poultry Diets. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27, 917–925. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.r.02>
- Lammers, P., Kerr, B., Weber, T., Dozier, W., Kidd, M., Bregendahl, K., & Honeyman, M. (2008). Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *Journal of animal science*, 86, 602–608. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0453>
- Lauer, P. (2024). *Einsatz von Luzernespitzen als Eiweißfuttermittel in der Fütterung abgesetzter Ferkel, Masterarbeit*. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.
- LfL. (2021). *Futterberechnung für Schweine* (26. unveränderte Auflage). Hrsg. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- Lindberg, J. E. (2014). Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-15>
- Lindberg, J. E., & Andersson, C. (1998). The nutritive value of barley-based diets with forage meal inclusion for growing pigs based on total tract digestibility and nitrogen utilization. *Livestock Production Science*, 56(1), 43–52. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00146-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00146-8)
- Lindermayer, H., Preißinger, W., & Probstmeier, G. (2011). Schweinefütterung mit heimischen Eiweißfuttermitteln. *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft* (LfL). https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_39080.pdf.

- Liu, P., Souza, L. W. O., Baidoo, S. K., & Shurson, G. C. (2012). Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 90(13), 4925–4932. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4604>
- Maes, D. G. D., Janssens, G. P. J., Delpitte, P., Lammertyn, A., & De Kruif, A. (2004). Back fat measurements in sows from three commercial pig herds: Relationship with reproductive efficiency and correlation with visual body condition scores. *Livestock Production Science*, 91(1–2), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.015>
- Maxa, J., Liebhardt, P., & Thurner, S. (2021). Untersuchungen zur Blatt-Stängeltrennung und Konservierung von Grünleguminosen (Arbeitspaket Verfahrenstechnik (AP-Technik)). In Bellof, G., Weindl, P., & Weindl, P. (2021). *Schlussbericht zum Thema Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM)*. BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073 (S. 83–97).
- McCarthy, J. F., Aherne, F. X., & Okai, D. B. (1974). Use of HCl insoluble ash as an index material for determining apparent digestibility with pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 54(1), 107–109. <https://doi.org/10.4141/cjas74-016>
- McKay, R. M. (1993). Prewaning losses of piglets as a result of index selection for reduced backfat thickness and increased growth rate. *Canadian Journal of Animal Science*, 73(2), 437–442. <https://doi.org/10.4141/cjas93-046>

- Messinger, D. (2022). *Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Mastschweinefütterung*. Ludwig-Maximilians Universität München.
- Messinger, D., Weindl, P. A., Aulrich, K., Pleger, L., Weindl, P. N., & Bellof, G. (2021). *Determination of apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne (Medicago sativa) and red clover (Trifolium pratense) products in growing pigs*.
- Meunier-Salaün, M. C., Edwards, S. A., & Robert, S. (2001). Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1), 53–69. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00196-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00196-1)
- Moore, J. H. (1957). Diurnal variations in the composition of the faeces of pigs on diets containing chromium oxide. *British Journal of Nutrition*, 11(3), 273–288. <https://doi.org/10.1079/BJN19570045>
- Mosenthin, R., & Sauer, W. C. (2000). Stand der Forschung zur Bestimmung praecaecaler Aminosäurenverdaulichkeiten beim Schwein. *Tagungsband 6. Tagung Schweine- und Geflügelernährung*, 21.-23.11.2000, Wittenberg.
- Moughan, P. J., Smith, W. C., Schrama, J., & Smits, C. (1991). Chromic oxide and acid-insoluble ash as faecal markers in digestibility studies with young growing pigs. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 34(1), 85–88. <https://doi.org/10.1080/00288233.1991.10417796>
- Mroz, Z., Bakker, G. C. M., Jongbloed, A. W., Dekker, R. A., Jongbloed, R., & van Beers, A. (1996). Apparent digestibility of nutrients in diets with different energy density, as estimated by direct and marker methods for pigs with or without ileo-cecal cannulas. *Journal of Animal Science*, 74(2), 403–412. <https://doi.org/10.2527/1996.742403x>

- Mullan, B. P., & Williams, I. H. (1989). The effect of body reserves at farrowing on the reproductive performance of first-litter sows. *Animal Science*, 48(2), 449–457. <https://doi.org/10.1017/S0003356100040459>
- Mullan, B. P., & Williams, I. H. (1990). The chemical composition of sows during their first lactation. *Animal Science*, 51(2), 375–387. <https://doi.org/10.1017/S0003356100005523>
- Pleger, L., Weindl, P. N., Weindl, P. A., Carrasco, L. S., Leitao, C., Zhao, M., Schade, B., Aulrich, K., & Bellof, G. (2020). Effects of increasing alfalfa (*Medicago sativa*) leaf levels on the fattening and slaughtering performance of organic broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(5), 1317–1332. <https://doi.org/10.1111/jpn.13353>
- Ritteser, C., & Grashorn, M. (2015). Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energiefuttermittel für die Hühnermast. *Endbericht BÖLN-Projekt FKZ 2811OE070*.
- Roth, F. X. (2014). Schweinefütterung. In *Kirchgeßner Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis* (14. Aufl., S. 243–255). DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a.M.
- Roth, F. X., & Reents, H. J. (2001). Futterwert von frischem und siliertem Klee gras aus ökologischem Anbau für Mastschweine. In *Tagungsband 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 6.-8. März 2001, Weißenstephan*. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Sales, J., & Janssens, G. (2003). Acid-insoluble ash as a marker in digestibility studies: A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12(3), 383–401. <https://doi.org/10.22358/jafs/67718/2003>

- Sen, S., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1998). Alfalfa Saponins and Their Implication in Animal Nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(1), 131–140. <https://doi.org/10.1021/jf970389i>
- Shinners, K. J., Herzmann, M. E., Binversie, B. N., & Digman. (2007). Harvest Fractionation of Alfalfa. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 713–718. <https://doi.org/10.13031/2013.23125>
- Sommer, H., & Sundrum, A. (2015). Ganzpflanze und Blattmasse verschiedener Grünleguminosen als Eiweißquelle in der Schweinefütterung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 17. - 20. März 2015, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- Spanlang, U. (2011). *Zusammenhang zwischen BCS (Body Condition Score) und weiteren Körpermerkmalen sowie der Aufzuchtleistung von laktierenden Zuchtsauen*. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Stangl, G. I., Schwarz, F. J., Roth, F. X., Südekum, K.-H., & Eder, K. (2014). *Kirchgeßner Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis* (14. Aufl.). DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a.M.
- Sterning, M., Rydhmer, L., Eliasson, L., Einarsson, S., & Andersson, K. (1990). A Study on Primiparous Sows of the Ability to Show Standing Oestrus and to Ovulate after Weaning. Influences of Loss of Body Weight and Backfat during Lactation and of Litter Size, Litter Weight Gain and Season. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 31(2), 227–236. <https://doi.org/10.1186/BF03547566>
- Sundrum, A., Schneider, K., & Richter, U. (2005). *Possibilities and limitations of protein supply in organic poultry and pig production*. University of Kassel, Witzenhausen. <https://orgprints.org/id/eprint/10983/>

- Szumacher-Strabel, M., Stochmal, A., Cieslak, A., Kozłowska, M., Kuznicki, D., Kowalczyk, M., & Oleszek, W. (2019). Structural and quantitative changes of saponins in fresh alfalfa compared to alfalfa silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2243–2250. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9419>
- Thurner, S., Bellof, G., & Vögele, M. (2024). *Entwicklung und Erprobung eines innovativen Verfahrens zur Produktion von hochwertigem heimischen Eiweißfutter aus Luzerne sowie Luzerne- und Klee gras für Schweine und Wiederkäuer*. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF).
- TierSchNutzTV - Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (2021). <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschnutztv/BJNR275800001.html>
- van Krimpen, M. M., Bikker, P., van der Meer, I. M., van der Peet-Schwering, C. M. C., & Verelijken, J. M. (2013). *Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products*. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle (2008). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/889/oj/deu>

- Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates, 150 OJ L (2018). <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/deu>
- Verordnung (EU) 2022/63 der Kommission vom 14. Januar 2022 zur Änderung der Anhänge II und III der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich des Lebensmittelzusatzstoffs Titandioxid (E 171) (Text von Bedeutung für den EWR), 011 OJ L (2022). <http://data.europa.eu/eli/reg/2022/63/oj/deu>
- Vohra, P. (1972). Evaluation of Metabolizable Energy for Poultry. *World's Poultry Science Journal*, 28(2), 204–214. <https://doi.org/10.1079/WPS19720004>
- Wang, T., Ragland, D., & Adeola, O. (2016). 0986 Investigations of marker and fiber effects on energy and nutrient utilization in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 94(suppl_5), 473. <https://doi.org/10.2527/jam2016-0986>
- Weber, M., Preißinger, W., & Bellof, G. (2020). *Praxisinformation „Ackerbohnen, Körnerfuttererbsen, Süßlupinen und Sojabohnen in der Schweinefütterung“* (2. Aufl.). Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Berlin.
- Weindl, P. A., Kirn, A. I., & Bellof, G. (2021). Saponine in der Luzernepflanze: Gehalte und Wirkungen beim monogastrischen Tier. In *Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung (GRÜNLEGUM). Schlussbericht zum BLE-Projekt, FKZ: 2815OE039, 2815OE077, 2815OE079, 2815OE076, 2815OE073.*

- Weissensteiner, R., Baldinger, L., Hagmüller, W., & Zollitsch, W. (2018). Effects of two 100% organic diets differing in proportion of home-grown components and protein concentration on performance of lactating sows. *Livestock Science*, 214, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.006>
- Weltin, J., Carrasco Alarcon, L. S., Berger, U., & Bellof, G. (2014). Luzernesilage aus spezieller Nutzung und technologischer Aufbereitung in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. *Endbericht BÖLN-Projekt, FKZ 11OE077*. <http://orgprints.org/26279/1/2627911OE077-hswt-bellof-2014-luzernesilagetierernaehrung.pdf>
- Werner, C., & Sundrum, A. (2008). Zum Einsatz von Raufutter bei Mastschweinen. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 320*, 61–68.
- Whittemore, C., & Kyriazakis, I. (2006). Growth and Body Composition Changes in Pigs. In Kyriazakis, I. & Whittemore, C. T. (Hrsg.) *Whittemore's Science and Practice of Pig Production* (3. Aufl., S. 65–103). Blackwell Publishing Ltd, Oxford. <https://doi.org/10.1002/9780470995624.ch3>
- Witten, S., Paulsen, H. M., Weißmann, F., & Bussemas, R. (2014). *Praxisbefragung zur Aminosäurelücke und praktische Möglichkeiten zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Monogastrier in der Fütterung im Ökologischen Landbau* (Bd. 23). Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- Young, J. M., Bergsma, R., Knol, E. F., Patience, J. F., & Dekkers, J. C. M. (2016). Effect of selection for residual feed intake during the grow/finish phase of production on sow reproductive performance and lactation efficiency. *Journal of Animal Science*, 94(10), 4120–4132. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0130>

- Young, L. G., King, G. J., Walton, J. S., McMillan, I., Klevorick, M., & Shaw, J. (1990). Gestation energy and reproduction in sows over four parities. *Canadian Journal of Animal Science*, 70(2), 493–506. <https://doi.org/10.4141/cjas90-061>
- Zaleski, H. M., & Hacker, R. R. (1993). Variables related to the progress of parturition and probability of stillbirth in swine. *The Canadian Veterinary Journal*, 34.
- Zhang, F., & Adeola, O. (2017). Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Animal Nutrition*, 3(4), 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.008>

8 Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. Gerhard Bellof für die Überlassung des Dissertationsthemas und sein entgegengebrachtes Vertrauen danken. Seine hervorragende Betreuung, die Entwicklung der Fragestellungen und die stetige Unterstützung haben entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Desgleichen möchte ich mich auch bei Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle dafür bedanken, dass ich an der LMU München als externe Doktorandin promovieren konnte. Ihre freundliche und professionelle Betreuung hat mir die Erstellung dieser Arbeit sehr erleichtert.

Besonderer Dank gilt Peter Weindl für seine fachliche Anleitung und praktische Hilfestellungen während der gesamten Versuchsphase. Seine Unterstützung war von unschätzbarem Wert.

Auch Holger Weller möchte ich für seine tatkräftige Hilfe und wertvolle Anleitung, insbesondere im Stall, herzlich danken. Seine Unterstützung war eine große Hilfe in zahlreichen Situationen.

Ein weiterer Dank gilt Johannes Büchler, der sich während der Weihnachtszeit um die Trocknung der Gefrierproben gekümmert hat. Diese besondere Unterstützung war entscheidend für den weiteren Verlauf der Arbeit.

Mein Dank gilt auch Markus Weber, Melanie Piepenstock, Justin und Maxe, die mich während der Verdauungsversuche bei der Käfigmontage, Ein- und Ausstallung, bei Wochenend-Diensten sowie der Stallreinigung tatkräftig unterstützt haben. Ebenso danke ich den Herren der Versuchsstation Thalhausen, Herrn Gerhard Kammermeier und seinem Team, für ihre wertvolle Mitarbeit.

Herrn Matthias Lippl möchte ich ebenfalls für seine Betreuung und Durchführung des Fütterungsversuchs in Kringell danken. Sein Engagement und das seiner Kollegen haben maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Ein besonderer Dank gilt Rosa Rößner, Alina Schramm, Bella und Benedikt, mit denen ich oftmals Erfahrungen austauschen konnte.

Nicht unerwähnt bleiben sollen auch all Jene, die in den Bereichen Futterproduktion, Probenmanagement und Verwaltung durch praktische, fachliche oder persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Meinen Eltern Klaus und Monika Bamberger, meinen Geschwistern Joel, Anne und Boas, sowie meinem Ehemann Samuel Weber möchte ich von Herzen für ihre bedingungslose Liebe und Unterstützung danken. Ohne ihren Rückhalt wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Zuletzt möchte ich Gott für seine Gnade und all die vielen Menschen, die für mich gebetet haben, danken. In seiner Führung habe ich stets Halt gefunden.