

Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Mastschweinefütterung

von Diana Messinger

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

**Grünleguminosen als Eiweiß- und Raufuttermittel in
der ökologischen Mastschweinefütterung**

von Diana Messinger
aus Fürth

München 2022

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.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Mathias Ritzmann

Tag der Promotion: 12. Februar 2022

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT.....	4
2.1 Methoden zur Bestimmung der scheinbaren Nährstoffverdaulichkeiten beim wachsenden Schwein	4
2.2 Grünfutter und -konserven als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Mastschweinefütterung	7
2.2.1 Besonderheiten der ökologischen Schweinemast	7
2.2.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen der ökologischen Schweinemast	7
2.2.1.2 Futteraufnahme, Nährstoff- und Energiebedarf in der Schweinemast	11
2.2.2 Grünfutter und -konserven als potenzielle Eiweißfuttermittel in der ökologischen Schweinemast.....	15
2.2.2.1 Konservierungsverfahren.....	15
2.2.2.2 Inhaltsstoffe und Futterwert	19
2.2.2.3 Antinutritive Inhaltsstoffe.....	25
2.2.3 Grünfutter und -konserven als Raufuttermittel in Futterrationen von Mastschweinen	30
2.2.4 Einfluss von Grünfutter und -konserven in der Mastschweinefütterung auf die Produktqualität	32
2.2.5 Grünfutter und -konserven in der praktischen Mastschweinefütterung	35
3. PUBLIKATIONEN	38
3.1 Verdauungsversuch: Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe von Luzerne- (<i>Medicago sativa</i>) und Rotkleeprodukten (<i>Trifolium pratense</i>) bei wachsenden Schweinen	38
3.2 Leistungsversuch: Effekte verschiedener Luzerneprodukte (<i>Medicago sativa</i>) auf die Mast- und Schlachtleistung ökologischer Mastschweine	66
4. DISKUSSION.....	104
4.1 Verdaulichkeitsbestimmung von Grünleguminosenprodukten beim wachsenden Schwein	104
4.2 Einfluss antinutritiver Inhaltsstoffe von Grünleguminosenprodukten beim wachsenden Schwein	106

4.3 Heißlufttrocknung und Silierung als Konservierungsmethoden für Luzerne im frühen Reifestadium	109
4.4 Luzerneprodukte in der praktischen Schweinefütterung	113
4.5 Einfluss von Luzerneprodukten in der Mastschweinefütterung auf die Produktqualität.....	115
4.6. Einfluss von Luzerneprodukten in der Mastschweinefütterung auf die Darmgesundheit.....	118
4.7 Zusammenführende Diskussion beider Versuche	120
4.8 Schlussfolgerungen	123
5. ZUSAMMENFASSUNG	125
6. SUMMARY	128
7. LITERATURVERZEICHNIS	130
8. DANKSAGUNG.....	158

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AS	Aminosäure(n)
Cys	Cystein
dNfE	Verdaulichkeit der stickstoff-freien Extraktstoffe
dOS	Verdaulichkeit der Organi-schen Substanz
dXP	Verdaulichkeit des Rohpro-teins
EU	Europäische Union
GfE	Gesellschaft für Ernährungs-physiologie
His	Histidin
Ile	Isoleucin
ILT	Institut für Landtechnik und Tierhaltung
LB	Luzerneblatt
LBS	Luzerne-Blattsilage
Leu	Leucin
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LG	Luzerne-Ganzpflanze
LM	Luzernemehl
LS	Luzernesilage/Luzerne-Ganzpflanzensilage
Lys	Lysin
ME	Umsetzbare Energie
Met	Methionin

NfE	Stickstofffreie Extraktstoffe
pcd	Praecaecale Verdaulichkeit
PD	Potenzialdifferenz
Phe	Phenylalanin
PPO	Polyphenoloxidase
RB	Rotkleeblatt
RG	Rotklee-Ganzpflanze
RM	Rotkleemehl
RS	Rotkleesilage/ Rotklee-Ganz-pflanzensilage
TGD	Tiergesundheitsdienst
Thr	Threonin
TI	Trypsininhibitoren
TM	Trockenmasse
TMR	Totale-Misch-Ration
Trp	Tryptophan
TS	Trockensubstanz
Tyr	Tyrosin
TZ	Tageszunahmen
Val	Valin
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Trocknungssysteme für die Grünfütterrocknung (Trapp, 1958)	15
Abbildung 2: Chemische Strukturen verschiedener Aglykone der Luzernesaponine (Tava und Avato, 2006, eigene Überarbeitung)	26

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Inhaltstoffgehalte von auserwählten Luzerne- und Rotkleeprodukten (g/kg TM) ..	20
Tabelle 2: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der Organischen Substanz und des Rohproteins von Luzerne- und Rotkleeprodukten bei wachsenden und adulten Schweinen.....	23
Tabelle 3: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der NfE von getrocknetem Luzerneblatt (LB), Luzerne-Blattsilage (LBS), Luzernesilage (LS) und Rotkleesilage (RS) bei wachsenden Schweinen (LS-Mittelwerte, Standardfehler (SE)).....	104
Tabelle 4: Merkmale der Farbe des Koteletts (K) aus dem <i>musculus longissimus dorsi</i> sowie Specks (S) und pH-Wert als Kennzeichen der Fleischbeschaffenheit (Least square (LS)-Mittelwerte und Standardfehler (SE)).....	116

1. EINLEITUNG

Die Markt- und Versorgungslage in Deutschland zeigt, dass der Konsum von Schweinefleisch im Jahr 2020 weiterhin rückläufig ist. So wurde im Jahr 2020 mit 45,5 kg 1,3 kg weniger Schweinefleisch pro Kopf verbraucht. Auch die Covid-19-Pandemie hat Auswirkungen auf die Fleischproduktion sowie den Handel (BLE, 2021). Um die Ausbreitung des Virus zu verlangsamen, wurde die Gastronomie in Deutschland geschlossen, was zu einem Einbruch des Fleischabsatzes, besonders dem des Rindfleisches sowie Edelteilen, führte. Beim Schweinefleisch wirkte sich der Wegfall der Gastronomie geringer aus, da Haushalte vorzugsweise das günstigere Schweinefleisch kauften (BLE, 2020, 2021). So kam es im Jahr 2020 zu einer gesteigerten Nachfrage von privaten Haushalten im Handel nach Fleisch, Wurst und Geflügel um 8,1 % verglichen zum Vorjahr (BLE, 2021). Die Pandemie steigerte zudem den Trend zur gesunden Ernährung und Nachhaltigkeit, der durch wachsende Transformations-Bewegungen wie Fridays for Future schon vor der Pandemie erkennbar war. So stieg der Verkauf von Bio-Frischeprodukten in Deutschland im Jahr 2020 an wie noch nie zuvor. Insbesondere die Nachfrage nach Bio-Gemüse und –Fleisch wuchs an. So wurde im Jahr 2020 über 50 % mehr Bio-Fleisch gekauft (BÖLW, 2021). Grund hierfür war neben dem Tierwohl, der Gesundheit und Nachhaltigkeit zudem der Wunsch, regionale Betriebe unterstützen zu wollen (BÖLW, 2021; BMEL, 2020). Das Angebot bei Bio-Schweinefleisch konnte jedoch nicht gedeckt werden, während auf die Nachfrage von Bio-Rindfleisch mit höheren Schlachtzahlen an Bio-Milchkühen und Umstellung von konventionellen auf ökologische Betriebe reagiert wurde. Die Pandemie führt auch vor Augen, wie bedeutend regionale und stabile Lieferketten und kurze Wege sind. Eine internationale Abhängigkeit hierbei kann insbesondere im Lebensmittelsektor schnell problematisch werden. Futtermittel für Schweine zu importieren, stellt im Pandemiefall sowie anderen Faktoren, wie z.B. die Klimakrise, keine Lösung für eine nachhaltige Ernährung der Bevölkerung dar (BÖLW, 2021). Auch die EU-Öko-Verordnung gibt an, überwiegend im eigenen Betrieb oder regional erzeugte Futtermittel in der ökologischen Schweinefütterung einzusetzen und verbietet den Einsatz synthetischer Aminosäuren (AS) ((VERORDNUNG (EU) 2018/848; VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007). Dies stellt die ökologische Landwirtschaft in der bedarfsgerechten Eiweiß- und AS-Versorgung von Schweinen vor eine große Herausforderung (SCHUMACHER et al., 2011). Aufgrund des ausgewogenen AS-Profiles sowie der leichten Verfügbarkeit sind derzeit Produkte aus der Verarbeitung von Sojabohnen die am häufigsten eingesetzten Eiweißfuttermittel (WANG et al., 2011). Jedoch stammt nur 56 % des Rohproteins (XP), das im europäischen ökologischen Landbau verwendet wird, aus europäischer Herkunft (FRÜH et al., 2015). Da in der Europäischen Union für eine bedarfsgerechte ökologische Schweinefütterung quantitativ und qualitativ nicht ausreichend Eiweißfuttermittel verfügbar ist, wurde die Ausnahmeregelung, die besagt, dass 5 % konventionell erzeugte Eiweißfuttermittel für die Monogastrierfütterung eingesetzt werden darf, bis Ende 2021 verlängert

(DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2021/181). Ein möglicher Lösungsansatz für diese Problematik könnte der Einsatz von Grünleguminosen wie Luzerne oder Rotklee darstellen. Im Gegensatz zur Sojabohne ist Luzerne weniger anspruchsvoll bezüglich Wärme und Wasser und eignet sich für den Anbau an verschiedenen Standorten auf der Welt, darunter vielen europäischen Regionen (BLUME et al., 2021; LI und BRUMMER, 2012). Aufgrund ihrer Stickstoff bindenden Eigenschaften ist sie vor allem in der ökologischen Fruchtfolge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit etabliert und dient somit zur Vermeidung oder Reduzierung des Einsatzes von Stickstoffdüngern (KOLBE, 2008; DEUTSCHE AGRARFORSCHUNGSALLIANZ, 2012). Der Anteil an wertvollen Nährstoffen in der Luzerne kann durch den Schnitt und das Vegetationsstadium beeinflusst werden (MARKOVIC et al., 2008; MARKOVIĆ et al., 2009; HANSON et al., 1963). Folglich kann die Luzerne-Ganzpflanze (LG) in einem sehr frühen Vegetationsstadium (vor der Knospe) sogar Gehalte von bis zu 299 g XP/kg TM, 18 g Lysin (Lys)/kg TM und 5,3 g Methionin (Met)/kg TM sowie 217 g Rohfaser (XF)/kg TM erreichen (WELTIN et al., 2014). Der Einsatz von Luzerne als einheimische Proteinressource ist für Wiederkäuer und Pferde gut etabliert (RADOVIĆ et al., 2009). Bei Geflügel und Schwein beschränkt sich dieser aufgrund des hohen XF-Gehaltes und der damit verbundenen geringeren Verdaulichkeit bisher hauptsächlich als Raufutterkomponente, Beschäftigungsmaterial für Schweine sowie Umwultanreicherung für Geflügel in Form von Ballen (BLUME et al., 2021). WÜSTHOLZ et al. (2017a) zeigten jedoch, dass die Verwendung von Luzernesilage (LS) aus „früher Nutzung“ als Eiweißfuttermittel für Schweine vielversprechend ist. Gleichzeitig würden Grünleguminosen als Ganzpflanzen-Silagen die rechtlichen Vorgaben als Raufuttervorlage erfüllen (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). Die geringere Verdaulichkeit aufgrund des hohen XF-Gehaltes kann durch die Trennung der Blatt- von der Stängelmasse verbessert werden. Die Trennung stellt eine Möglichkeit dar, den XF-Gehalt im Vergleich zur Ganzpflanze von Luzerne bei gleichzeitiger Erhöhung der XP-Gehalte und Aufkonzentration der AS-Gehalte zu reduzieren, da die Konzentration der XP sowie AS in den Blättern höher ist als in den Stängeln oder der ganzen Pflanze (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; SOMMER und SUNDRUM, 2014; SOMMER und SUNDRUM, 2015). Luzerne enthält andererseits wie die meisten Leguminosen sekundäre Inhaltsstoffe, die Saponine, die insbesondere bei Monogastriern antinutritive Effekte, vor allem eine reduzierte Futteraufnahme und eine Wachstumsdepression, verursachen (OUYANG et al., 2016; SEN et al., 1998; CHEEKE, 1983, 1996). Durch die Silierung kann es jedoch zu Umbauprozessen im Saponingehalt kommen (SZUMACHER-STRABEL et al., 2019). Es zeigte sich allerdings, dass der Einsatz bereits geringer Luzerneblatt (LB)-Anteile in der Broilermast zu Akzeptanzproblemen und Wachstumsdepressionen sowie Verfärbungen der Schlachtkörper führen (PLEGER et al., 2021; PLEGER et al., 2020).

Die Untersuchungen der vorliegenden Dissertation zielten darauf, das Potenzial von Grünleguminosen als Protein- und Raufutterquelle für wachsende Schweine zu erforschen. Hierfür

wurden verschiedene Luzerne- und Rotkleeconserven ausgewählt. Da über die scheinbare In-vivo-Verdaulichkeit von Grünleguminosenconserven, insbesondere einzelner Pflanzenbestandteile, für Schweine keine aktuellen Daten zu finden sind, wurde die scheinbare In-vivo-Rohnährstoffverdaulichkeit von getrockneten LB, Luzerne-Blattsilage (LBS), Luzerne-Ganzpflanzensilage (LS) und Rotklee-Ganzpflanzensilage (RS) in einem Verdauungsversuch bestimmt. Weiterhin wurde die Wirkung steigender LB-Anteile in Alleinfuttermischungen sowie der Einsatz von LS-Anteilen an der Gesamtration auf die Mast- und Schlachtleistung untersucht. Dabei sollten mögliche Zusammenhänge zwischen dem Saponingehalt der Luzerneconserven und der Mast- und Schlachtleistung aufgezeigt werden. Da es durch den hohen Carotinoid-Gehalt in Luzerne zu Verfärbungen des Schlachtkörpers bei Broilern kam (CASTAÑEDA et al., 2005; PLEGER et al., 2020), sollte ebenfalls ein Augenmerk auf die Auswirkungen der Luzerneconserven auf die Fleisch- und Fettfarbe der Mastschweine gelegt werden.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1 Methoden zur Bestimmung der scheinbaren Nährstoffverdaulichkeiten beim wachsenden Schwein

Eine bedarfsgerechte und ressourcenschonende Versorgung der Schweine mit Energie und Nährstoffen ist für ein optimales Wachstum, die Minimierung der Futterkosten und die Reduktion der Umweltbelastung durch die Schweinefleischproduktion unerlässlich. Da Schweine nicht den gesamten Energie- und Nährstoffgehalt von Futterzutaten nutzen können, sind genaue Informationen über die Verdaulichkeit und Verwertung von Futtermitteln erforderlich (KONG und ADEOLA, 2014). Setzt man die verdaute Menge ins Verhältnis zur aufgenommenen Menge des betreffenden Nährstoffes, erhält man die Verdaulichkeit. Da außer den unverdaulichen Nahrungsbestandteilen, auch Produkte aus dem Stoffwechsel, wie Teile von Verdauungsekreten oder abgestoßene Darmzellen, im Kot enthalten sind, wird der wahre Wert der Verdaulichkeit verfälscht. Es wird von einer scheinbaren Verdaulichkeit gesprochen (KIRCHGEßNER et al., 2011). Für Nährstoffe, die nicht oder nur in sehr geringem Umfang ins Darmlumen sezerniert werden (XF, Stickstofffreie Extraktstoffe (NfE) und Rohfett (XL)), ergeben sich realistische Werte. Für XP liegt die scheinbare Verdaulichkeit aufgrund gewisser Mengen endogener Herkunft im Kot niedriger als die wahre Verdaulichkeit (KAMPHUES et al., 2009). Mit steigendem XP-Gehalt der Ration wird das Verhältnis zwischen verdaulichem Protein und endogenen N-Verlusten im Kot größer, sodass die errechnete scheinbare Verdaulichkeit zunimmt, obwohl die wahre Verdaulichkeit gleich bleibt (KIRCHGEßNER et al., 2011).

Die Methode zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Energie und Nährstoffen ist unter Berücksichtigung der zu untersuchenden Bestandteile, der Futterinhaltsstoffe und der verfügbaren Versuchseinrichtung auszuwählen. Traditionell sind In-vivo-Verdaulichkeitsstudien die gängigste Methode zur Abschätzung der Verdaulichkeit (ZHANG und ADEOLA, 2017). Hierbei können direkte oder Differenzverfahren angewendet werden (ZHANG und ADEOLA, 2017; KONG und ADEOLA, 2014). Die direkte Methode wird in Betracht gezogen, wenn das zu testende Futtermittel der alleinige Bestandteil der Ration ist. Dieses Futtermittel enthält hierbei die zu untersuchenden Inhaltsstoffe. Diese Methode kann jedoch nicht für alle Futtermittel eingesetzt werden. Bestimmte Futtermittel können aufgrund einer geringen Schmackhaftigkeit und antinutritiver Faktoren sowie hoher XP- und Ballaststoffgehalte, nicht über einen längeren Zeitraum alleine an Schweine verfüttert werden. Ebenso können Futtermittel nur einen geringen Anteil der zu untersuchenden Inhaltsstoffe bzw. Bestandteile aufweisen. Außerdem kann es möglich sein, dass nicht alle zu untersuchenden Inhaltsstoffe durch nur ein Futtermittel bereitgestellt werden können. In diesen Fällen wird das Differenzverfahren angewandt. Hierbei wird eine Grundration und eine Testration zusammengesetzt, wobei ein Teil der Grundration durch

Futtermittel, welche genauer untersucht werden sollen, ersetzt wird. Auch kann der Grundration ein Prüffuttermittel zugelegt werden. In einem ersten Versuch wird hierbei die Verdaulichkeit einer Basaldiät bestimmt und in einem weiteren Versuch die Ration geprüft. Dabei wird angenommen, dass es keine Wechselwirkung zwischen den Verdaulichkeitswerten der Inhaltsstoffe des Prüffuttermittels und der Basaldiät gibt (KONG und ADEOLA, 2014). Auch ist ein Ersatz von Grundration durch gestaffelte Zulagen möglich, die Verdaulichkeit wird dann regressionsanalytisch berechnet (Regressionsverfahren) (KONG und ADEOLA, 2014; KIRCHGEßNER et al., 2011).

Sowohl bei der direkten als auch bei der indirekten Methode kann die Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe mit Hilfe der Gesamtsammel- oder Index- bzw. Indikatormethode bestimmt werden (KONG und ADEOLA, 2014; GFE, 2005). Gegenstand dieser Methoden bilden mindestens drei bis vier Versuchstiere, um die Aussagekraft und die Sicherheit der Ergebnisse zu erhöhen. Wenn das Testfutter weniger als die Hälfte der Ration ausmacht, sollte die Anzahl der Wiederholungen sogar sechs betragen (GFE, 2005; KIRCHGEßNER et al., 2011). Die Gesamtsammel-methode erfordert eine sorgfältige Erfassung und Aufzeichnung der Futteraufnahme und des Kotabsatzes, um die Inhaltsstoffe im aufgenommenen Futter und im ausgeschiedenen Kot zu ermitteln. Mit diesen Messungen kann die Verdaulichkeit des Inhaltsstoffes berechnet werden (GFE, 2005; KONG und ADEOLA, 2014). Hierfür werden die Schweine einzeln in Stoffwechselläufige bzw. -kisten untergebracht. Einer Anpassungszeit von mindestens 7 Tagen folgen 7 bis 10 Tage Fäkalsammlung (KIRCHGEßNER et al., 2011). Diese kann mit einer Marker-zu-Marker-Sammel-methode oder einem „zeitbasierten“ Ansatz durchgeführt werden. Bei der Marker-zu-Marker-Methode wird eine farbige und unverdauliche Verbindung, wie Eisenoxid, Chromoxid und Indigkarmin, zu Beginn und am Ende der Sammelperiode eingeführt. Die Sammelperiode beginnt und endet mit der Beobachtung des Marker gefärbten Kots (KONG und ADEOLA, 2014). Aufgrund der begrenzten Informationen über die Zuverlässigkeit des zeitbasierten Ansatzes, wird die Marker-zu-Marker-Methode für die fäkale Gesamtsammlung bei Schweinen empfohlen (ZHANG und ADEOLA, 2017). Die Indikatormethode vermeidet dieses mühsame Verfahren, erfordert jedoch eine genaue chemische Analyse des eingesetzten Indikators im Futter und im Kot (KONG und ADEOLA, 2014). Diese Methode wurde für die vorliegende Studie herangezogen. Der Indikator muss vollständig unverdaulich und nicht resorbierbar, nahezu homogen im Futter und im Kot verteilt sein, den Verdauungstrakt gleichmäßig passieren sowie vollständig ausgeschieden werden (KIRCHGEßNER et al., 2011; GFE, 2005). Die üblich verwendeten unverdaulichen Präparate Chromoxid, Titandioxid und säureunlösliche Asche sowie natürliche Substanzen wie Lignin werden in Konzentrationen von 0,1 bis 0,5 % zugesetzt (GFE, 2005; JAGGER et al., 1992; MOUGHAN et al., 1991; OLUKOSI et al., 2012). Es erfolgt ebenfalls eine Anpassungsphase an das Futter, wobei diese bei Fütterung einer faserreichen Nahrung zu

verlängern ist (GFE, 2005), da es zu einer Diskrepanz in der Darmpassagerate zwischen Markern und niedrig verdaulichen Verbindungen kommen kann (CLAWSON et al., 1955). Daraufhin werden die Tiere in Stoffwechselkäfige eingestallt, an die sie sich 3-7 Tage gewöhnen können. Anschließend erfolgt eine Fäkalsammelphase von mindestens 5 Tagen (GFE, 2005; AGUDELO et al., 2010). Mit den analysierten Werten für die Nährstoff- oder Energiekonzentration sowie der Konzentration der unverdaulichen Verbindung im Futter und dem gesammelten Kot wird die Verdaulichkeit des Inhaltsstoffes berechnet (GFE, 2005).

2.2 Grünfutter und -konserven als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Mastschweinefütterung

2.2.1 Besonderheiten der ökologischen Schweinemast

2.2.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen der ökologischen Schweinemast

Die ökologische Produktion untersteht besonderen Rahmenrichtlinien der Europäischen Union (EU) und Richtlinien der Anbauverbände, wie Bioland, Naturland und Demeter. Der EU-Rechtsrahmen für die ökologische Landwirtschaft wird regelmäßig überarbeitet oder ergänzt. Die neue EU-Öko-Verordnung (VERORDNUNG (EU) 2018/848) ist seit dem 17. Juni 2018 in Kraft und sollte ab 1. Januar 2021 von allen Bio-Unternehmen und Kontrollstellen und -behörden in der EU angewendet werden. Mit der Initiative der EU-Kommission wird der Zeitpunkt der Anwendung auf den 1. Januar 2022 verschoben. Bis dahin gilt die aktuelle EG-Öko-Verordnung (VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008) (BÖLW, 2020). In den EU-Rechtsvorschriften wird auch die tierische Erzeugung reglementiert. Hier werden unter anderem Vorschriften zur Herkunft, zu Haltungspraktiken und Unterbringung sowie zum Futtermittel definiert.

Herkunft

Ökologische Tiere müssen in ökologischen Betrieben geboren und aufgezogen worden sein. Unter bestimmten Voraussetzungen können jedoch zu Zuchtzwecken nichtökologische Tiere in einen ökologischen Betrieb eingestellt werden, jedoch nur, wenn ökologische Tiere nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008; VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007; VERORDNUNG (EU) 2018/848). Wenn ein Bestand neu aufgebaut wird, müssen nichtökologische Ferkel, die bei der Einstellung in den Bestand weniger als 35 kg wiegen, nach dem Absetzen gemäß den ökologischen Produktionsvorschriften aufgezogen werden. Dies gilt auch bei Erneuerung eines Bestandes. Hierbei wird die Zahl der weiblichen ausgewachsenen Schweine pro Jahr auf bis zu maximal 20 % des Bestandes begrenzt, vorausgesetzt der Bestand beträgt mehr als 5 Schweine (VERORDNUNG (EU) 2018/848; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). Diese Regelung wird von Bioland auf einen Zukauf von Jungsauen sowie Zuchtebern von nur 10 % des Bestandes verschärft (BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2020). Zudem sind für die ökologische Produktion geeignete Rassen auszuwählen. Bei der Wahl der Rasse soll unter anderem auf die Anpassungsfähigkeit an die örtlichen Bedingungen, ihrer Vitalität und ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten oder Gesundheitsproblemen, wie Stress-Syndrom der Schweine, geachtet werden. Einheimische und regional verbreitete Rassen und Linien sollen hierbei bevorzugt werden (VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008; VERORDNUNG (EU) 2018/848). In der ökologischen Schweinehaltung werden weitestgehend die gleichen

Herkünfte eingesetzt wie in der konventionellen Produktion (KALM und HARDER, 2003; WERNER, 2009). Dabei wurde bei einer Befragung von 73 Mastschweinehaltern festgestellt, dass der größte Teil der Kreuzungen aus der Vaterlinie Pietrain besteht, was ein deutlicher Hinweis auf die Bedeutung des Muskelfleisch-Anteils auch in der ökologischen Vermarktung ist. Sauenlinien aus gefährdeten Rassen, wie Bentheimer, Angler Sattelschwein und Schwäbisch Hällisches Schwein, sind mit 20 % vertreten. Den größten Anteil mit 25 % stellte die Kreuzung Deutsche Landrasse * Pietrain dar (LÖSER und DEERBERG, 2004)

Unterbringung und Haltung

In der ökologischen Tierhaltung sollen die artspezifischen und artgerechten Bedürfnisse berücksichtigt werden. Folglich muss ein ausreichendes Platzangebot, das natürliches Stehen, bequemes Abliegen und Umdrehen ermöglicht, gewährleistet sein (VERORDNUNG (EU) 2018/848; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). Somit muss Mastschweinen bis zu 35 kg eine Stallfläche von 0,6 m²/Tier, bis zu 50 kg eine Stallfläche von 0,8 m²/Tier, bis zu 85 kg eine Stallfläche von 1,1 m²/Tier und bis zu 110 kg eine Stallfläche von 1,3 m²/Tier zur Verfügung stehen. Bei einem Gewicht über 110 kg muss eine Fläche von 1,5 m²/ Tier gewährleistet werden. Den Tieren muss zudem ständiger Zugang zu Freigelände gewährt werden, sofern die Witterungsbedingungen dies zulassen. Dieses reicht für Schweine mit einem Lebendgewicht von 50 kg bis 110 kg von 0,6 bis 1,0 m²/Tier (DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2020/464; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). In der DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2020/464 wird zudem ab dem 01.01.2022 gefordert, dass das Freigelände nach Möglichkeit durch Bäume oder Wälder für Schweine attraktiv zu gestalten ist. Es muss ein Zugang zu Unterständen gewährleistet werden, durch die die Schweine ihre Körpertemperatur regulieren können. Der Tierbestand ist auch an Flächen gebunden. Pro Hektar bewirtschafteter Fläche darf der Grenzwert von 170 kg Stickstoff im Jahr nicht überschritten werden, was 14 Mastschweinen pro Hektar und Jahr entspricht (VERORDNUNG (EU) 2018/848; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). In den Nationalen Richtlinien von Bioland, Naturland und Demeter ist jedoch vorgegeben, dass nur 110-112 kg Stickstoff bzw. 10 Mastschweine pro Jahr und Hektar anfallen bzw. gehalten werden dürfen (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2014). Im Vergleich zu den gesetzlichen Vorgaben der ökologischen Schweinemast, wird den Mastschweinen aus konventioneller Haltung nur die Hälfte des Platzangebotes an Stallfläche geboten. Lediglich bei einem Durchschnittsgewicht von 110 kg werden mit 1,0 m² pro Tier zwei Drittel der ökologischen Flächenvorgabe geboten (RICHTLINIE 91/630/EWG). In der Nationalen Gesetzgebung wird den Tieren geringfügig mehr Fläche zur Verfügung gestellt (TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG). Die Stallböden in ökologisch wirtschaftenden Betrieben müssen glatt, aber rutschfest sein. Für mindestens die Hälfte der Stallfläche darf kein Spaltenboden oder Gitterrost eingesetzt werden. Die Ruhefläche muss eine geschlossene Boden-

fläche aufweisen und ausreichend mit Stroh oder anderem geeigneten Naturmaterial eingestreut sein. Zudem müssen Schweinen Bewegungsflächen zum Misten und zum Wühlen zur Verfügung stehen. Das Gebäude muss reichlich natürliche Belüftung und ausreichenden Tageslichteinfall gewährleisten (VERORDNUNG (EU) 2018/848; VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008).

Fütterung

Ebenso gelten spezielle Vorschriften für die Fütterung von ökologisch gehaltenen Tieren. Die Tiere sind mit ökologischen Futtermitteln zu füttern, die mindestens zu 20 % im eigenen Betrieb oder in anderen ökologischen Betrieben im gleichen Gebiet erzeugt wurden (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008; VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007). Ab dem 01.01.2022 beträgt der Anteil mindestens 30 % an betriebseigenen oder regional erzeugten Futtermitteln (VERORDNUNG (EU) 2018/848). Die nationalen Anbauverbände Bioland, Naturland und Demeter fordern sogar einen Mindestanteil von 50 % an Futtermitteln aus dem eigenen oder regionalen Betrieben (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2014; BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2020; NATURLAND - VERBAND FÜR ÖKOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2021). Bei einem Bestand von unter 60 Mastschweinen dürfen 80 % des Futters zugekauft werden, jedoch nur von durch Bioland zertifizierten Futtermittelfirmen (BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2020). Die Rahmenrichtlinien erschweren durch den eingeschränkten Einsatz von konventionellen und importierten Futtermitteln insbesondere eine bedarfsgerechte Eiweiß- und AS-Versorgung der Schweine und Geflügel (BELLOF und ANDERSSON, 2008; SCHUMACHER et al., 2011; WITTEN et al., 2014). Durch die Differenz zwischen AS-Bedarf und -Versorgung entsteht die sogenannte AS-Lücke (WITTEN et al., 2014). Aufgrund dieser Problematik ist es nach der noch bis 31.12.2021 geltenden VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008 sowie den Anbauverbänden gestattet, bei drohender Mangelernährung oder nicht verfügbarer ökologisch erzeugter Eiweißfuttermitteln 5 % konventionelle Eiweißfuttermittel innerhalb eines Jahres einzusetzen. BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V. (2020) beschränkt die zulässigen Komponenten jedoch auf Kartoffeleiweiß für Schweine. Im Gegensatz zur VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008 ist bei Bioland der Einsatz von konventionellem Futter nur in der Anfangsmast bis zu einem Gewicht von 50 kg erlaubt. Zudem setzen Bioland schon ab dem 01. Januar 2022, Naturland erst ab dem 01. Januar 2027 auf den vollständigen Verzicht von konventionellen Eiweißfuttermitteln (BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2020; NATURLAND - VERBAND FÜR ÖKOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2021). Laut der ab 01.01.2022 geltenden VERORDNUNG (EU) 2018/848 ist jedoch die Verwendung nichtökologisch erzeugter Eiweißfuttermittel von 5 % auf die Fütterung von Ferkeln bis 35 kg mit bestimmten Eiweißverbindungen bis zum 31. Dezember 2026 möglich, wenn diese nicht als ökologisch erzeugte Eiweißfuttermittel verfügbar sind und ohne chemische Lösungsmittel produziert oder aufbereitet wurden. Im Hinblick auf die schrittweise Ab-

schaffung dieser abweichenden Regelungen soll die Kommission die Verwendung dieser Erzeugnisse überwachen und dabei die Entwicklung der Verfügbarkeit ökologischer/biologischer Eiweißfuttermittel auf dem Markt berücksichtigen (DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2020/464). Der Kommission wird die Befugnis übertragen, ab 1. Januar 2025 auf der Grundlage der Informationen über die Verfügbarkeit von ökologischen Eiweißfuttermitteln für Geflügel und Schweine auf dem Unionsmarkt diese Übergangsregelung früher zu beenden oder über diesen Zeitpunkt hinaus zu verlängern (VERORDNUNG (EU) 2018/848).

Zudem ist die Verwendung synthetischer AS zur Eiweißergänzung in der ökologischen Schweinefütterung untersagt (VERORDNUNG (EU) 2018/848; VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007), was eine Ergänzung von Futtermischungen mit L-Lys oder DL-Met verhindert. Dies ist in der konventionellen Fütterung möglich (DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 469/2013; DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2020/997). Eine weitere Einschränkung verursacht die Vorschrift, dass keine chemisch-synthetischen Lösungsmittel in der Futtermittelherstellung eingesetzt werden dürfen. Zudem sind genetisch veränderte Produkte nicht zulässig (VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007; VERORDNUNG (EU) 2018/848). Somit ist der Einsatz von Soja- oder Rapsextraktionsschrot in der ökologischen Schweinefütterung ausgeschlossen. Als Alternativen bieten sich getoastete Sojabohnen und Soja- sowie Sonnenblumenkuchen an, wobei deren Einsatz nicht ganz unumstritten ist (WEISSMANN et al., 2006; BELLOF, 2013).

Zur Deckung des ernährungsphysiologischen Bedarfs wird zudem vorgeschrieben, der Tagesration von Schweinen frisches, getrocknetes oder siliertes Raufutter beizugeben (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008; BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V., 2020). Zu Grünfutter und Raufutter zählt Luzerne und –grünmehl, Klee und –grünmehl sowie Grünfutter aus Futterpflanzen, Grünmehl, Silage, Heu, Getreidestroh und Wurzelgemüse für Grünfutter (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). Raufutter ist zudem dazu geeignet, das Wohlbefinden von Schweinen zu verbessern, indem die Sättigung erhöht sowie die Futtersuch- und Fressmotivation reduziert wird und damit verbundene Verhaltensprobleme vermieden werden können (KALLABIS und KAUFMANN, 2012).

2.2.1.2 Futteraufnahme, Nährstoff- und Energiebedarf in der Schweinemast

Ein optimales Wachstum ist neben der genetischen Veranlagung, dem Geschlecht und Entwicklungsstadium besonders von einer bedarfsgerechten Versorgung der Schweine mit Energie und Nährstoffen abhängig. Eine ressourcenschonende und bedarfsgerechte Versorgung trägt auch zur Minimierung der Futterkosten, Reduktion der Emissions- und Stoffwechselbelastungen sowie Stereotypien bei. Eine Schweinemast sollte in mehrere Phasen (zwei- besser dreiphasig) unterteilt sein, um dem veränderten Bedarf der Mastschweine gerecht zu werden. Hierbei ist in erster Linie das sich ändernde Verhältnis von Energie zu Protein zu beachten.

Protein- und Aminosäure(AS)bedarf

Das Wachstum der Schweine setzt sich aus dem Protein- und Fettansatz zusammen. In welchem Umfang Protein und Fett gebildet wird, hängt von der Eiweiß- und Energieversorgung ab. Schweine haben im eigentlichen Sinne keinen Bedarf an XP, sondern einen Bedarf an AS (KIRCHGEBNER et al., 2011). Hierbei benötigen sie vor allem essenzielle AS, weshalb vor allem auf die Qualität des Futtereiweißes zu achten ist (KIRCHGEBNER et al., 2011). Die für das Schwein essenziellen AS sind Lys, Met, Threonin (Thr), Valin (Val), Leucin (Leu), Isoleucin (Ile), Phenylalanin (Phe), Tryptophan (Trp) und Histidin (His). Lys ist dabei häufig die erstlimitierende AS in Futtermischungen für Schweine, gefolgt von den schwefelhaltigen AS Met sowie Met + Cystein (Cys), Thr und Trp (BOISEN, 2003; ZOLLITSCH et al., 2004). Betrachtet man jedoch die AS-Gehalte der wichtigsten ökologischen Eiweißfuttermittel (Erbsen, Ackerbohnen, Lupinen, Sojabohnen), so wird deutlich, dass es an ökologischen Eiweißquellen mit ausreichendem Gehalt an mehreren essenziellen AS, insbesondere Met und Cys, fehlt (ZOLLITSCH et al., 2004), so dass unter ökologischen Fütterungsbedingungen meist Met die erstlimitierende AS darstellt. Ökologische Futtermittel, die für eine ausgewogene AS-Versorgung von Bio-Schweinen und -Geflügel hilfreich sein könnten (z.B. Kartoffeleiweiß, Maiskleber, Ölsaatenkuchen, Hefe, Milchtrockenprodukte), sind nicht in ausreichender Menge verfügbar und daher relativ teuer (ZOLLITSCH et al., 2004). Semi-essenzielle AS können durch Umwandlung anderer AS gebildet werden, wie Cys aus Met und Tyrosin (Tyr) aus Phe, wodurch eine Unterversorgung der beiden AS durch ein Überangebot an Met und Phe kompensiert werden kann. Die Unterversorgung mit einer einzelnen essenziellen AS verhindert die Nutzung der ausreichend zur Verfügung stehenden AS (WESSELING, 2004). Der AS-Bedarf erschließt sich aus der Erhaltung der normalen Körperfunktionen und der Leistung, wie Wachstum. Der Bedarf für das Wachstum ist neben der Qualität des Futterproteins sowie der Höhe des Proteinansatzes von der praecaecalen Verdaulichkeit (pcd) der AS abhängig. Die Empfehlungen zur Versorgung mit praecaecal verdaulichen AS basieren auf Angaben der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). Lys wird hierbei als Referenz für die anderen essenziellen AS verwendet, unter anderem wegen des hohen Bedarfs für den Proteinansatz, aber auch, weil sie die am besten untersuchte erstlimitierende AS in Bezug auf den Bedarf ist (WESSELING, 2004;

KIRCHGEßNER et al., 2011). So werden Empfehlungen aller anderen essenziellen AS durch ihre Relation zu Lys abgeleitet. Die Anforderungen der Tiere an ihre AS-Versorgung sind besonders in der Anfangsmast hoch (GFE, 2006), was eine Umsetzung in der Praxis erschwert. Grundsätzlich ist es möglich den Bedarf an AS von Schweinen mit 100 % ökologisch hergestellten Futtermitteln durch verschiedene Fütterungsstrategien zu decken (SUNDRUM et al., 2005). Jedoch wird die 100 %-Biofütterung in der Praxis noch nicht vollständig umgesetzt (SCHUMACHER et al., 2011). In der konventionellen Haltung wird der hohe Bedarf an AS größtenteils durch importierte Sojaprodukte und synthetische AS im Mineralfutter gedeckt. Es besteht jedoch ein Mangel an ökologisch erzeugten Futtermitteln mit ausreichendem Gehalt an essenziellen AS, insbesondere Met und Cys (ZOLLITSCH et al., 2004). Insbesondere im Jungtierbereich können dadurch tiergesundheitliche Probleme und Leistungseinbußen auftreten (WITTEN et al., 2014; SCHUMACHER et al., 2011). Der Mangel an Met beim Mastschwein führt weniger zu Einbußen in der Mastleistung, resultiert jedoch in einem niedrigeren Proteinansatz (WEIßMANN et al., 2005). Die aufgrund ihres AS-Musters interessanten Eiweißfuttermittel sind entweder Importware, sehr teuer, nicht Richtlinien-konform oder nur in geringen Mengen verfügbar (WELTIN et al., 2014). Dies hat entweder zur Konsequenz, dass der Bedarf an essenziellen AS über erhöhte XP-Gehalte in der Ration gedeckt werden oder auf konventionell erzeugte Futtermittel zurückgegriffen werden muss. Ersteres führt zu einer sinkenden Futtermittelverwertung sowie zu einer Beanspruchung des Stoffwechsels und zu einer erhöhten Stickstoffausscheidung (WITTEN et al., 2014). Um das AS-Defizit abzumildern, bedarf es daher anderer Lösungsansätze.

Energiebedarf

Der Energiebedarf umfasst den Bedarf für die Erhaltung sowie für die Leistung. Der Erhaltungsbedarf setzt sich aus dem Grundumsatz, d.h. die Energie, die die Körperfunktionen bei Neutraltemperatur und weitgehender Ruhe aufrechterhält, sowie den Energiebedarf für Futtermittelaufnahme, Verdauungsarbeit und für Wärmeregulation zusammen (KIRCHGEßNER et al., 2011). Er wird neben der Lebendmasseentwicklung durch Haltungsbedingungen, insbesondere durch die Umgebungstemperatur, beeinflusst. So kann eine Freilandhaltung von Mastschweinen durch erhöhte Bewegungsaktivität und Witterungsumstände den Erhaltungsbedarf erhöhen (HÖRNING et al., 2011). Der Leistungsbedarf entspricht dem Körperzuwachs, bestehend aus dem Energiebedarf für den Proteinansatz und Fettansatz. Da es durch die jeweiligen Stoffwechselwege zu Verlusten kommt, muss hierbei ein Teilwirkungsgrad für die Synthese von Protein und Fett mit einbezogen werden. Das sich im Laufe der Mast verändernde Protein-Fett-Verhältnis des Körperzuwachses bedingt somit unterschiedliche Energiegehalte. Mit zunehmender Lebendmasse steigt der Energiebedarf relativ zum Proteinbedarf. Im Schweinebereich wird die Energiebewertung der Futtermittel sowie die Angaben von Bedarfszahlen auf

Grundlage der umsetzbaren Energie durchgeführt. Die Empfehlung zur Versorgung von Mastschweinen in Abhängigkeit von Lebendmasse und täglichen Zunahmen der GFE (2006) bilden die Grundlage für Rationsberechnungen. Die Empfehlungen decken sowohl den Erhaltungsbedarf als auch den gewünschten Leistungsbedarf. Die Empfehlungen unterscheiden sich dabei für weibliche und kastrierte männliche Tiere aufgrund des höheren Energiebedarfs wegen des vor allem höheren Fettanteils im Zuwachs von Börgen (KIRCHGEßNER et al., 2011). Im Gegensatz zur bedarfsgerechten Versorgung von Mastschweinen in der Anfangsmast mit limitierenden AS, stellt die bedarfsgerechte Energie- und Mineralstoffversorgung von Schweinen in der ökologischen Landwirtschaft kein Problem dar (SCHUMACHER et al., 2011). Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der Einsatz von rohfaserreichen Futterbestandteilen, wie es mit der gesetzlich vorgeschriebene Raufuttermischung einhergeht, eine Verringerung der Energiekonzentration im Futter und eine Reduzierung der Energieverdaulichkeit der Gesamtration mit sich zieht (WERNER und SUNDRUM, 2008).

Futteraufnahme

Um eine bedarfsgerechte Energie- und Nährstoffversorgung sicherzustellen, muss das Futteraufnahmevermögen mitberücksichtigt werden. Die Futteraufnahme als begrenzender Faktor ist vor allem bei hochleistenden Tieren, wie Schweinen in der Anfangsmast, relevant. In der Anfangsmast sind daher ein ad libitum-Zugang zum Futter und relativ hoch konzentrierte Rationen erforderlich. Die freiwillige Futteraufnahme der Schweine wird von Ernährungsfaktoren, wie Energiekonzentration, Proteingehalt und AS-Bilanz sowie dem Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen, und nicht-diätetischen Faktoren beeinflusst. Diese umfassen das Geschlecht und Körpergewicht des Tieres, den Gesundheitszustand, die Futtermittelverarbeitung, thermische Umgebung und physisches Management (KIRCHGEßNER et al., 2011; LI und PATIENCE, 2017). Mit zunehmender Lebendmasse steigt die Futteraufnahme an. Dies ist einerseits durch die körperliche Entwicklung und andererseits durch den steigenden Energiebedarf begründet. Männliche Kastraten können im Laufe der Mast mehr Futter aufnehmen als weibliche Tiere, was mit einer höheren Zuwachsrate, jedoch ebenso einem stärkeren Verfettungsgrad und einer schlechteren Futtermittelverwertung einhergeht (KIRCHGEßNER et al., 2011). Ein wesentlicher Regulationsfaktor für den Futtermittelverzehr von Schweinen ist die aufgenommene Energiemenge. Mit steigender Energiedichte des Futtermittels geht die Futteraufnahme zurück, durch Senkung der Energiedichte durch rohfaserreiche Futterbestandteile erhöht sich der Verzehr. Die Aufrechterhaltung eines angemessenen Verhältnisses aller essenziellen AS zur verfügbaren Energie ist darüber hinaus erforderlich, um die Futteraufnahme und die Wachstumsrate bei Schweinen aufrechtzuerhalten (LI und PATIENCE, 2017). Durch eine Begrenzung der Futteraufnahme und/oder Verdünnung der Rationen kann eine unerwünschte Verfettung bei Schweinen in der Endmast vermieden werden. Neben der bedarfsgerechten Energie- und Nährstoffaufnahme

über die Futtermittelaufnahme ist jedoch auch die Sättigung zu berücksichtigen. Durch die gesetzlich vorgegebene Raufuttermittelvorgabe kann in der ökologischen Landwirtschaft die Sättigung bei einer begrenzten Futtermittelaufnahme gewährleistet werden (BELLOF et al., 1998). Über das Raufuttermittelaufnahmevermögen ist nur wenig in der Literatur bekannt. Es werden Aufnahmen von 16 % bis 49 % berichtet (BELLOF et al., 1998; WÜSTHOLZ et al., 2017a; CARLSON et al., 1999). Um eine bedarfsgerechte und ressourcenschonende Rationsgestaltung sicherzustellen, bedarf es besonders in der ökologischen Schweinefütterung neben einer genauen Untersuchung der Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel auch an der Kenntnis über die Futtermittelaufnahme der Rationen und deren Einflussfaktoren. So kann durch verschiedene Fütterungsstrategien auf eine 100 %-Biofütterung hingearbeitet werden (SUNDRUM et al., 2005).

2.2.2 Grünfutter und -konserven als potenzielle Eiweißfuttermittel in der ökologischen Schweinemast

2.2.2.1 Konservierungsverfahren

Um Grünfutter sowie Grünleguminosen über das ganze Jahr nutzen zu können, müssen diese konserviert werden. Hierbei stehen vor allem die Heißlufttrocknung und die Silierung im Vordergrund.

Die Konservierung durch die Heißlufttrocknung beruht auf dem schnellen Entzug von Wasser, um somit ein trockenes und lagerfähiges Futtermittel zu gewinnen. Dabei wird das durch heiße Luft in einen dampfförmigen Zustand gesetzte Wasser durch einen heißen Luftstrom abgeleitet. In Abbildung 1 sind verschieden Trocknungssysteme, die bei der Grünfuttertrocknung im Laufe der Jahre in Anwendung kamen, schematisch dargestellt. Heutzutage wird die Heißlufttrocknung typischerweise in Trommeltrocknern durchgeführt (ADAPA et al., 2007), bei dem die

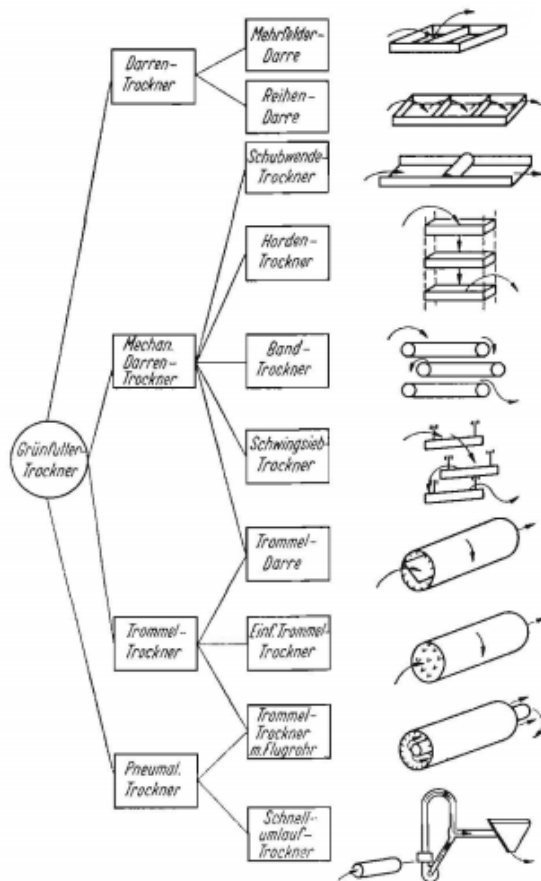


Abbildung 1: Trocknungssysteme für die Grünfuttertrocknung (TRAPP, 1958)

Luft Eintrittstemperaturen bis 800 °C und die Luftaustrittstemperatur bis ca. 100 °C reichen (GÖRNER, 1958; SOKHANSANJ et al., 1998). Hierbei wird das Erntegut auf einen Restfeuchtegehalt von 7-12 % (GÖRNER, 1958; LFL, 2016) gebracht. Ein wesentlicher Vorteil der künstlichen Trocknung zur natürlichen Trocknung ist das Erlangen sehr hoher Qualitäten bei geringem Wetterisiko. Wenn es das Wetter jedoch ermöglicht, sollte das Erntegut aus Kosten- und Energieeffizienzgründen vorab vorgewelkt werden (LFL, 2016), da hierdurch weniger Wasser verdampft werden muss und geringere Transportkosten aufgrund des geringeren Gewichtes anfallen. Auch eine Freilegung feuchter Teile durch Zerkleinerung des zu trocknenden Gutes begünstigt die Trocknung (ADAPA et al., 2004; TRAPP, 1958). Um größere Nährstoffverluste zu vermeiden, ist es jedoch ratsam, die Vorwelkzeit nicht über zwei Tage auszudehnen (TRAPP, 1958). In der Praxis zeigt sich hierbei ein optimales Anwelken

auf zwischen 40 % TS für kurze Schönwetterperioden und kurze Transportwege und 50 % TS für optimale Witterungsbedingungen und weite Transportwege. Ziel der Konservierung von

Grünfütter ist es Nährstoffverluste zu reduzieren. Im Vergleich zu anderen Konservierungsverfahren ermöglicht die Heißlufttrocknung einen weitgehenden Erhalt von Substanz, Nährstoffgehalt und Güte des Grünfutters (FRANKE, 1959). Durch den schnellen Wasserentzug wird der Abbau von Kohlenhydraten und Eiweiß verhindert (FRANKE, 1959; TRAPP, 1958). Jedoch kann es durch zu heiße und unsachgemäße Trocknung zu einem Verlust an Protein in den Blättern kommen (ZHENG et al., 2005) und die Verdaulichkeit des XPs (dXP) bis zu 21 % vermindert werden (FRANKE, 1959). Starke Erwärmung während der Trocknung kann zu der sogenannten Maillard-Reaktion im Erntegut führen, wodurch die Verdaulichkeit der AS für Schweine reduziert wird (GONZÁLEZ-VEGA et al., 2011). Bei diesem Prozess kondensiert zunächst ein reduzierender Zucker mit freien Aminogruppen von AS, vor allem Lys (MARTINS et al., 2001). Die Zwischenprodukte der Maillard-Reaktion können Folgereaktionen eingehen. Eine der wichtigsten Reaktionen ist der Strecker-Abbau, der zu einem irreversiblen Abbau der AS führt und oft von einer unerwünschten Verfärbung durch die einsetzende Melanoidin-Bildung begleitet ist (ANGRICK und REWICKI, 1980). ADAPA et al. (2004) empfiehlt eine getrennte Trocknung von Luzerneblättern und -stängeln, da diese unterschiedlich schnell trocknen und so zu Verlust an Produktqualität des nährstoffreichen Blattmaterials führt. Um Lager- und Transportkosten zu reduzieren kann Grünmehl bzw. Luzernemehl (LM) zu Pellets gepresst werden.

Die Silierung kann von allen Betrieben ohne hohen Energie- und Kostenaufwand hergestellt werden, weshalb sich diese Konservierungsform besonders in der ökologischen Landwirtschaft eignet. Eine lagerstabile Konservierung in Form der Silierung basiert auf der Umwandlung der in der Pflanze enthaltenden Kohlenhydrate zu Milchsäure durch Milchsäurebakterien und der damit einhergehenden Absenkung des pH-Wertes. Grundlage bildet hierbei ein rascher Luftabschluss, der durch eine hohe Verdichtung und sorgfältigen Siloabdeckung erreicht wird, sowie eine schnelle Senkung des pH-Wertes auf 3,8 bis 5,0, abhängig von TS-Gehalt und Fruchtart (PITT, 1990; GALLER, 2011). Der Silierprozess kann in verschiedene Phasen gegliedert werden. In der aeroben Phase wird der eingeschlossene Sauerstoff durch Pflanzenatmung und aerobe Mikroorganismen verbraucht. Die Fermentationsphase beginnt, wenn die silierte Masse anaerob geworden ist. Während dieser Phase konkurrieren verschiedene anaerobe Mikroorganismen um die verfügbaren Nährstoffe. In gut konservierter Silage dominieren die Milchsäurebakterien, was zu einem Absinken des pH-Wertes durch die Anreicherung von Milchsäure führt und leitet die stabile Phase oder Lagerungsphase ein. Durch Öffnen des Silos beginnt die aerobe Abbauphase. Aerobe, säurestabile Organismen vermehren sich und verstoffwechseln Zucker und Milchsäure zu CO₂, Wasser und Wärme (ROOKE und HATFIELD, 2003; PITT, 1990; DRIEHUIS und ELFERINK, 2000). Durch mittleres Anwelken (30 bis 40 % TS) kann durch Entstehung von Essigsäure die aerobe Stabilität nach dem Öffnen des Silos verbessert werden (GALLER, 2011). Der Gärverlauf wird neben dem Trockenmassegehalt

im Wesentlichen durch das Verhältnis von Zucker zur Pufferkapazität (Z/PK-Quotient) beeinflusst, wobei die Pufferkapazität vor allem vom Eiweiß- und Mineralstoffgehalt sowie Schmutzanteil im Futter abhängt. Der Zuckergehalt ist neben der botanischen Zusammensetzung (Leguminosenanteil) vom Schnittzeitpunkt (XF-Gehalt) und dem Anwelkgrad abhängig. Je niedriger der Z/PK-Quotient ist, desto höher muss der Anwelkgrad sein (GALLER, 2011). Aufgrund ihrer hohen Pufferkapazität, besonders bedingt durch den hohen Proteingehalt, bei gleichzeitig geringem Gehalt an Zucker zählen Grünleguminosen, insbesondere Luzerne zu den schwer vergärbaren Futterpflanzen (LFL, 2016). Durch ein Anwelken auf einen TS-Gehalt von 30 bis 40 % und/oder den Zusatz von Silierhilfsmitteln kann dennoch eine stabile Silage erzeugt werden (LFL, 2016; ALBRECHT und BEAUCHEMIN, 2003). Um zudem eine Verdichtung des Futters und einen höheren Futterwert zu gewährleisten, sollten Leguminosen im Knospenstadium geerntet werden, um den XF-Gehalt in der Silage unter 25 % in der Trockensubstanz nicht zu überschreiten. Um die Pufferkapazität durch Verschmutzung nicht noch weiter zu erhöhen, muss außerdem auf die Schnitthöhe geachtet werden (GALLER, 2011). Um die Verdichtung zu begünstigen, hat sich in der Monogastrierfütterung das starke Zerkleinern des Ernteguts mit einem Feldhäcksler und den Einsatz spezieller Ballenpressen (LT Master, Göweil, Kirchschatz bei Linz, Österreich) erwiesen (WELTIN et al., 2014). Das Zerkleinern hat eine Vergrößerung der Oberfläche sowie einen Saftaustritt zur Folge, was durch die vermehrte Substratbereitstellung für Milchsäurebakterien zu einer schnelleren pH-Senkung führt. Das Silieren von LB wird durch den höheren XP-Gehalt zusätzlich erschwert, ist jedoch ebenfalls möglich (SHINNERS et al., 2007; SIKORA et al., 2019). Rotklee besitzt im Vergleich zur Luzerne trotz schlechter Pufferkapazität aufgrund höherer Zuckerkonzentrationen (OWENS et al., 1999a; OWENS et al., 1999b) einen höheren Z/PK-Quotienten (GALLER, 2011), weshalb der pH-Wert von Rotkleesilage (RS) um 0,2 bis 0,5 Einheiten niedriger liegt als von LS (OWENS et al., 1999a). Jedoch trocknet Rotklee aufgrund eines höheren Wassergehalts in den Stängeln langsamer als Luzerne (OWENS et al., 1999a; PITT, 1990), weshalb er aufgrund des längeren Welkens einem höheren Wetterrisiko ausgesetzt ist (ALBRECHT und BEAUCHEMIN, 2003). Die Länge der Trocknungsphase beeinflusst den Eiweißabbau bzw. die Veränderung der XP-Fraktion (ROSCHE, 2018), weshalb die biochemischen Veränderungen in Silagen gegenüber dem Ausgangsmaterial deutlich höher liegen als bei einer technischen Trocknung (ROSCHE, 2018). Um Grünleguminosen in Form von Silage als Eiweißfuttermittel einsetzen zu können, muss deshalb besonders auf einen raschen und erfolgreichen Silierverlauf geachtet werden. Durch „gute fachliche Praxis“ kann der Proteinabbau reduziert werden. Dieser wird durch externe Faktoren wie pH-Wert, Osmolalität bzw. Trockensubstanzgehalt und Temperatur während der Silierung und interne Faktoren, wie proteinbindende Tannine oder proteinschützende Agenzien (z.B. das Enzym Polyphenoloxidase (PPO)), beeinflusst (HOEDTKE et al., 2010). Rotklee weist bei

gleicher Trockensubstanz und gleichem Gesamtstickstoffgehalt eine signifikant niedrigere proteolytische Aktivität auf als Luzerne (HOEDTKE et al., 2010), vermutlich aufgrund der enthaltenen PPO (JONES et al., 1995).

Eine andere Möglichkeit der Konservierung sowie der Erhöhung des Proteingehalts in Luzerne ist die Proteinisolierung aus Luzernepresssaft (ANDURAND et al., 2010; GRIESE et al., 2014). Frisch geerntete Luzerne wird zunächst durch Kaltpressung sowie anschließender Erhitzung zur Koagulierung der Proteine bearbeitet. Das Luzerneproteinkonzentrat wird letztendlich durch das Abzentrifugieren dieser Proteine, Trocknung der so erhaltenden Paste bei niedriger Temperatur und anschließendem Pelletieren hergestellt (GRIESE et al., 2014). Diese Art der Konservierung spielt in der vorliegenden Studie jedoch keine Rolle.

2.2.2.2 Inhaltsstoffe und Futterwert

Das Etablieren von weitgehend geschlossenen Nährstoffkreisläufen sowie das Verbot des Einsatzes mineralischer Stickstoffdünger in der ökologischen Landwirtschaft (VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007) lassen Leguminosen einen wichtigen Bestandteil in der Fruchtfolge insbesondere der ökologischen Betriebe werden. Körner- und Grünleguminosen können über eine Symbiose mit Rhizobium-Bakterien Luftstickstoff fixieren, wobei die Fixierungsleistung von Futterleguminosenbeständen, wie Klee und Luzerne, höher ist als die der Körnerleguminosenbestände und von Pflanzenart, Sorte sowie den Standort- und Wachstumsbedingungen abhängt (Friedel et al.). Der Luftstickstoff dient den Leguminosen zum Aufbau von Proteinen und leistet einen Beitrag zur Stickstoffversorgung von Böden. Mehrjährige Futterleguminosen, wie Luzerne, Rotklee und andere Kleearten (KOLBE, 2008), werden während der Vegetationsperiode mehrmals geerntet, wobei eine höhere Futterqualität durch das Ernten der Leguminosen in einem früheren Reifestadium und ein häufiges Ernten erreicht werden, dies jedoch zu einem geringeren Gesamtertrag und einer geringeren Persistenz führen kann (WIERSMA et al., 1998; BÖHM und AULRICH, 2019; WELTIN et al., 2014). Neben der Pflanzenart und der Schnittnutzung beeinflusst auch das Konservierungsverfahren die Futterqualität (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). Im Vergleich zu den Körnerleguminosen weisen Grünleguminosen, die in einem frühen Erntestadium (vor der Knospe bis in der Knospe) geerntet werden, Met-Gehalte auf, die bezogen auf 100 g XP über dem des Sojaproteins und fast doppelt so hoch als im Erbsenprotein im Fall der Luzerne bzw. mehr als doppelt so hoch bei Rot- und Weißklee liegen, bei gleichzeitig verhältnismäßig geringem XF-Gehalt (WELTIN et al., 2014). Luzerne und Rotklee erreichen im Vergleich zum Weißklee höhere Met- und Lys-Gehalte in der Blattmasse sowie die höchsten XP-Erträge (dt/ha) für die Ganzpflanze und Blattmasse (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). Auch für eine Nutzung im frühen Erntestadium scheinen durch ihre Wuchshöhe Luzerne und Rotklee besser zur Beerntung und zur Trennung der Blatt- und Stängelmasse geeignet zu sein. Folglich liegt die Aufmerksamkeit in der vorliegenden Arbeit neben Rotkleekonserven insbesondere auf den Einsatz von Luzernekonserven als Eiweiß- und Raufuttermittel in der ökologischen Schweinefütterung.

Inhaltstoffe von Luzerne- und Rotkleeprodukten

In Tabelle 1 sind beispielhaft verschiedene Luzerne- und Rotkleeprodukte (LG, LM, LS, LB, LBS, Rotklee-Ganzpflanze (RG), Rotkleemehl (RM), RS, Rotkleeblätter (RB)) und ihre Inhaltsstoffgehalte (XP, XL, XF, Rohasche (XA), Lys und Met) dargestellt.

Tabelle 1: Inhaltstoffgehalte von auserwählten Luzerne- und Rotkleeprodukten (g/kg TM)

Merkmal	TM (g/kg)	XP	XL	XF	XA	Lys	Met	Lys/100 g XP	Met/100 g XP
LG ¹	180	299	43	217	113	18,0	5,3	6,0	1,8
LM ²	900	250	36	215	130	6,5	3,8	2,6	1,5
LS ¹	450	225	29	306	106	12,0	3,3	5,3	1,5
LB ³	939	298	42	115	112	17,4	5,0	5,8	1,7
LB ⁴	901	219	44	174	111	13,1	3,6	6,0	1,6
LBS ⁵	197	293	46	141	121	14,3	6,6	4,9	2,2
RG ²	180	209	40	202	102	10,5	3,3	5,0	1,6
RM ²	900	180	32	230	100	4,5	2,9	2,5	1,6
RS ⁶	475	190	23	182	139	9,8	2,8	5,2	1,5
RB ⁶	887	262	40	125	101	14,2	4,3	5,4	1,6

¹ LG: frisch, 2.Schnitt; LS: Silage aus LG, WELTIN et al. (2014)

² LM: 1. Schnitt, Knospe; RG: 2./3.Schnitt, Knospe; RM: 1.Schnitt, Knospe; BEYER et al. (1977)

³ frisch geerntete LB bei 50 °C 24 h im Trockenschrank getrocknet, Knospe; eigene Untersuchungen (eingereicht)

⁴ getrocknet, 4.Schnitt, Mitte Blüte; PLEGER et al. (2020)

⁵ RÜGHEIMER (1985)

⁶ RS: 2.Schnitt, Knospe; RB: getrocknet, 4.Schnitt, Beginn Blüte; PLEGER et al. (2021)

Um Grünleguminosen als Eiweißfuttermittel in der ökologischen Landwirtschaft einsetzen zu können, ist vor allem der XP-, Met-, Lys- und der XF-Gehalt von Bedeutung. Hierbei spielt die Kenntnis über den Einfluss des Vegetationsstadiums eine wichtige Rolle. So kann die Spannweite der XP-Gehalte ökologisch und konventionell erzeugter LG von 169 bis 325 g/kg TM (WELTIN et al., 2014; HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; BEYER et al., 1977; LFL, 2021a; GAWEŁ und GRZELAK, 2014) reichen, wobei die höchsten XP-Gehalte durch die Ernte vor der Blüte erreicht werden können. Im Verlauf von vor der Knospe bis zur Vollblüte/ Ende der Blüte verringert sich der XP-Gehalt der Luzernepflanze. Auch spielt hierbei, wie zuvor beschrieben, der Schnitt eine Rolle, was sich in den Aufzeichnungen von BEYER et al. (1977) (1.Schnitt, vor der Knospe bis Vollblüte: 260-175 g/kg TM; 2.- 4. Schnitt, vor der Knospe bis Beginn Blüte: 278–220 g/kg TM) und LFL (2021a) (1. Schnitt, Knospe bis Ende Blüte: 216-169 g/kg TM; 2. und folgende Schnitte, Knospe bis Ende Blüte: 222–189 g/kg TM) zeigt. Gleichmaßen verhält es sich mit den Met- und Lys-Werten. Auch hier werden unterschiedliche Werte berichtet (Met: 2,2-5,3 g/kg TM; Lys: 7,0-18,0 g/kg TM) (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; WELTIN et al., 2014). Die XF-Gehalte verhalten sich jedoch gegenläufig zu den XP- und Lys-/Met-Gehalten. So können hier Gehalte von 170 bis 340 g/kg TM auftreten (WELTIN et al.,

2014; HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; BEYER et al., 1977; LFL, 2021a; GAWEL und GRZELAK, 2014). Der niedrigste Gehalt liegt bei der Ernte im Vegetationsstadium „vor der Knospe“ vor (BEYER et al., 1977; LFL, 2021a).

HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM (2016) zeigten, dass durch eine Blatt-Stängel-Trennung eine Erhöhung des XP-Gehaltes von durchschnittlich 40 g/kg TM in der Blattmasse (mittlerer XP: 283 g/kg TM) im Vergleich zur GP (mittlerer XP: 244 g/kg TM) erreicht werden kann. Dieser variiert ebenfalls abhängig vom Vegetationsstadium zwischen 242 und 351 g/kg TM (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; RÜGHEIMER, 1986; JENTSCH et al., 1991; SHINNERS et al., 2007; SIKORA et al., 2019; WECKE et al., 1987), während die Met-Gehalte zwischen 2,8 und 5,0 g/kg und der Lys-Gehalt bei 17,4 g/kg TM liegt (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; MESSINGER et al., 2021). Neben der Steigerung des XP-Gehaltes kann gleichzeitig der XF-Gehalt des LB (XF: 125 g/kg TM) um durchschnittlich 47 g/kg TM reduziert werden (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). Mit 97,5 bis 196 g/kg TM (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; JENTSCH et al., 1991; RÜGHEIMER, 1986; WECKE et al., 1987) liegt dieser deutlich niedriger als bei der GP.

Jedoch können durch die Konservierung mit Heißlufttrocknung oder Silierung sowie durch das Pelletieren die hohen Gehalte an XP, Lys und Met gemindert werden. So berichten auch HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM (2016) von einer minimalen Reduktion des Trockenguts zum Anwelkgut von im Mittel 4 g/kg, jedoch von einer Reduktion der Pellets zum Anwelkgut von im Mittel 22 g/kg. Folglich weisen getrocknete LB XP-Gehalte von 201 bis 287 g/kg TM, Lys-Gehalte von 10,0 bis 14,1 g/kg TM, Met-Gehalte von 3,1 bis 3,7 g/kg TM auf (JENTSCH et al., 1991; PLEGER et al., 2020; RITTESER und GRASHORN, 2015). Gleichzeitig scheint der XF-Gehalt im oberen Bereich der LB bzw. leicht höher zu liegen (112-218 g/kg TM) (JENTSCH et al., 1991; PLEGER et al., 2020; MESSINGER et al., 2021; RITTESER und GRASHORN, 2015). Da es bis jetzt kaum Informationen zur Nährstoffzusammensetzung von LBS gibt, kann nur aus den verfügbaren Werten geschlossen werden. Hier erzielte SHINNERS et al. (2007) in einem Silierversuch bei einem Ausgangsmaterial mit 266 g XP/kg TM ohne Silierzusatz einen Gehalt an XP von 215 g/kg TM, mit Silierzusatz sogar 254 g XP/kg TM. RÜGHEIMER (1986) berichten sogar von LBS mit 288 bis 293 g XP/kg TM bei XF-Gehalten von 113 bis 141 g/kg TM, die den Werten der LBS aus den eigenen Untersuchungen (XP: 295 g/kg TM, XF: 133 g/kg TM (MESSINGER et al., 2021)) entsprechen. Für die LS finden sich Werte von 165 bis 245 g XP/kg TM, mit Lys-Gehalten von 6 bis 13 g/kg TM, Met-Gehalten von 3,1 bis 3,8 g/kg sowie XF-Gehalte zwischen 212 und 349 g/kg TM (BAUMGÄRTEL, 2017; PLEGER et al., 2020; WELTIN et al., 2014; LFL, 2021a). Auch hier kann die Konservierung zu Einbußen des XP-Gehalts des Silierguts zum Erntegut führen (WELTIN et al., 2014). Die Qualität hängt wie zuvor beschrieben vom Silierergebnis und einer Ernte im frühen Vegetationsstadium ab.

Im Vergleich zur Luzerne weisen Rotklee und seine Konserven insgesamt niedrigere XP-, Lys- und Met-Gehalte auf, wie Tabelle 1 verdeutlicht. Auch hier sind abhängig vom Vegetationsstadium Schwankungen im Nährstoffgehalt verzeichnet. HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM (2016) berichten eine Reduktion des XP-Gehaltes der Ganzpflanzenproben im Vegetationsverlauf um 8,4 %. So reichen die XP-Gehalte von 160 (1.Schnitt, Mitte der Blüte) bis 311 g/kg TM (mittlerer XP-Gehalt des 2.Schnitts der Sorte Taifun) bei XF-Gehalten von 172 bis 296 g/kg (1.Schnitt, Vollblüte) (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; BEYER et al., 1977; LFL, 2020). Ebenso wie bei der LG sind in BEYER et al. (1977) und LFL (2020) die absteigenden XP-Gehalte und steigenden XF-Gehalte während des Vegetationsverlaufes gut dargestellt. Die Konzentration von Met kann zwischen 1,9 und 3,6 g/kg TM liegen, die von Lys zwischen 7,2 und 11,2 g/kg TM (BEYER et al., 1977; HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016).

Durch die Silierung des Rotkleees erhält man Konserven mit ähnlichen Gehalten an XP und XF wie die der unsilierten GP (XP: 158 – 263 g/kg TM; XF: 178 – 259 g/kg TM) (BAUMGÄRTEL, 2017; BAYAT et al., 2010; PRESTO ÅKERFELDT et al., 2019; PLEGER et al., 2021). Durch eine Blatt-Stängel-Trennung kann wie bei der Luzerne eine Erhöhung der XP- sowie Met- und Lys- und eine Reduktion der XF-Gehalte erfolgen (siehe Tabelle 1). Folglich sind Werte von 217 bis 311 g XP/kg TM, 14,2 bis 15,3 g Lys/kg TM sowie 2,5 bis 4,3 g Met/kg TM bei einem XF-Gehalt von 125 bis 130 g/kg TM möglich (PLEGER et al., 2021; HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016).

Daneben enthalten Luzerne- und Rotkleeerzeugnisse relativ hohe Mineralstoffgehalte, besonders der Gehalt an Calcium (Ca) liegt auf einem hohen Niveau (LG/LS/LB: 10,0 – 32,0 g Ca/kg TM, 2,4 – 3,4 g Phosphor (P)/kg TM; RG/RS/RB: 13 – 17 g Ca/kg TM, 2,5 – 3,2 g P/kg TM) (LFL, 2021a; MARKOVIĆ et al., 2009; PLEGER et al., 2020; PLEGER et al., 2021). Luzerne und Rotklee sind ebenfalls reich an Carotinoiden, wie Xantophyllen und Carotin (PONTE et al., 2004a; CASTAÑEDA et al., 2005; NOZIÈRE et al., 2006; LIVINGSTON et al., 1968), mehrfach ungesättigten Fettsäuren und Vitaminen (GAWEL und GRZELAK, 2012; VAN DORLAND et al., 2008; SEN et al., 1998; GAWEL und GRZELAK, 2014).

Futterwert von Luzerne- und Rotkleeerzeugnissen

Die Luzerne- und Rotkleeerzeugnisse wirken energieverdünnend und leisten nur einen geringen Beitrag zu Energieversorgung von Schweinen. Die ME-Gehalte der Luzerne und ihren Konserven liegen in einem Bereich von 6,62 bis 11,1 MJ/kg TM (LG: 7,4; LS: 7,92-8,73; LB: 6,62-11,1; LBS: 9,87 MJ ME/kg TM) (BAUMGÄRTEL, 2017; HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; JENTSCH et al., 1991; MESSINGER et al., 2021). Die ME-Gehalte der Rotkleeerzeugnisse reichen von 5,6 bis 10,32 MJ/kg TM (RG: 7,34; RS: 9,54-10,32, RB: 5,6-9,3 MJ ME/kg) (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; BAUMGÄRTEL, 2017; MESSINGER et al., 2021). Die in Tabelle 1

aufgezeigten Gehalte an Lys und insbesondere Met pro 100 g XP der Luzerne- und Rotklee-Produkte sind jedoch vergleichbar, teilweise sogar von höherem Niveau als das von Sojaprodukten (5,8-6,2 g Lys/100 g; 1,3-1,5 g Met/100 g) (WELTIN et al., 2014; LINDERMAYER et al., 2011). Im Vergleich zu den Met-Gehalten pro 100 g XP der Erbse (7,0-7,3 g Lys/100 g; 0,9-1,1 g Met/100 g) (LINDERMAYER et al., 2011; WELTIN et al., 2014) liegen die Met-Gehalte pro 100 g XP insbesondere der Luzerneprodukte sogar teilweise fast doppelt so hoch.

In Tabelle 2 werden In-vivo-Verdaulichkeitswerte für OS und XP unterschiedlicher Luzerne- und Rotklee-Produkte und deren XF- und XP-Gehalte aufgeführt. Da in der vorliegenden Arbeit die scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit beim Schwein im Vordergrund steht, werden nur Verdaulichkeitswerte des Schweines aufgezeigt.

Tabelle 2: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der Organischen Substanz und des Rohproteins von Luzerne- und Rotklee-Produkten bei wachsenden und adulten Schweinen

Merkmal	VQ OS	VQ XP	XP	XF
Luzerne ¹	-	74	278	199
LM ¹	-	66	270	190
LS gehäckselt ²	43	52	250	226
LS extrudiert ²	72	70	283	176
LB frisch ³	63	67	284	196
LB getrocknet ³	64	66	266	190
LBS ⁴	77	75	288	113
LBS ⁵	63	58	295	133
RK ⁶	-	63	209	202
RM ⁶	-	52	200	215
RS ⁵	69,9	69,3	263	178

¹ BEYER et al. (1977), 2./3./4. Schnitt, vor der Knospe

² BERGER (2012), LS gehäckselt: 2. Schnitt, LS extrudiert: 4. Schnitt, wachsende Schweine

³ JENTSCH et al. (1991), adulte Schweine

⁴ RÜGHEIMER (1985), wachsende Schweine, 2. Schnitt

⁵ MESSINGER et al. (2021), wachsende Schweine, LBS: 3. Schnitt, Beginn Knospenbildung, RS: 5. Schnitt, Mitte der Knospenbildung

⁶ BEYER, 2. und 3. Schnitt, Knospe

Die in Tabelle 2 dargestellten dXP liegen auf einem mittleren bis hohen Niveau. Durch die Zunahme des XF-Gehaltes im Vegetationsverlauf nimmt die Verdaulichkeit der Energie und Organischen Substanz (dOS) der Luzerne- und Rotklee-Produkte ab, was Untersuchungen von ROTH und REENTS (2001) über den Einfluss des Schnittzeitpunkts von Klee-Grasmischungen

auf den Futterwert von Monogastrieren bestätigen. Auch in den Aufzeichnungen von BEYER et al. (1977) kann dies beobachtet werden. Neben den hohen XP-Gehalten bestärkt dies die Nutzung der Luzerne und des Rotklee in einem frühen Vegetationsstadium, wenn sie als Proteinfuttermittel für Schweine eingesetzt werden soll. Auch die Heißlufttrocknung so wie das Pelletieren kann die dXP durch Hitzeschädigung verringern (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). So wurde in den eigenen Untersuchungen ein deutlich geringerer Verdaulichkeitsquotient (VQ) für XP von LB (43 %) ermittelt als in Tabelle 2 dargestellt ist (MESSINGER et al., 2021).

2.2.2.3 Antinutritive Inhaltsstoffe

Neben den vielversprechenden Inhaltsstoffen enthalten Luzerne und Rotklee jedoch auch antinutritive Inhaltsstoffe, wie Saponine, Trypsininhibitoren (TI) und Tannine sowie zusätzlich im Rotklee PPO und Phenole. Diese können deren Futterwert verringern.

Saponine

Saponine kommen in vielen verschiedenen Futter- und Nutzpflanzen vor, wobei vor allem die Luzernesaponine und in geringem Maße Kleesaponine von Bedeutung sind (CHEEKE, 1996). Diese stellen die wichtigsten antinutritiven Faktoren in der Luzerne dar (SEN et al., 1998). Die Einschränkung der optimalen Nutzung dieser proteinreichen Pflanze durch die ungünstigen Auswirkungen der Luzernesaponine auf die Tierleistung haben den Fokus auf die Untersuchung dieser antinutritiven Inhaltsstoffe in der Luzerne gelenkt (SEN et al., 1998). Rotklee enthält dagegen auch Saponine (OLESZEK und STOCHMAL, 2002; OLESZEK und JURZYSTA, 1986), die jedoch weniger besorgniserregend sind als die der Luzerne (CHEEKE, 1996).

Saponine bestehen aus einer Zuckerkomponente die glykosidisch mit einem hydrophoben Aglykon (Sapogenin) verbunden ist. Die Zuckerkomponente enthält hierbei normalerweise Glukose, Galaktose, Glucuronsäure, Xylose, Rhamnose, Arabinose oder Methylpentose, während das Aglykon triterpenoid oder steroid sein kann. Die Oligosaccharidkette kann an die C3-Position (monodesmosidisch) und zusätzlich an der C26- oder C28-Position (bidesmosidisch) gebunden sein (OLESZEK et al., 1990; FRANCIS et al., 2002). Es wurde ebenfalls von Tridesmosiden berichtet, deren Oligosaccharidketten an der C3-, C23- und C28-Position anknüpften (OLESZEK et al., 1992). Die Aglykone der Luzerne bestehen ausschließlich aus einem Triterpenskelett. Dazu gehören Medicagensäure, Zanhicsäure, Oleansäure, Hederagenin, Bayogenin und Soyasapogenole (A-F) (Abbildung 2), wobei A, B und E die natürliche Form darzustellen scheinen (OLESZEK, 2000; SEN et al., 1998; TAVA und AVATO, 2006; MASSIOT et al., 1988; HUHMANN und SUMNER, 2002). Folglich ergibt sich die große Komplexität der Saponinstruktur aus der Variabilität der Aglykonstruktur, der Art der Seitenketten und deren Position am Aglykon (FRANCIS et al., 2002). Als Aglykone der Rotkleesaponine wurden Soyasapogenol B, C, D, E und F in den Wurzeln (OLESZEK und JURZYSTA, 1986), sowie nur Soyasapogenol B in den Samen (OLESZEK und STOCHMAL, 2002) identifiziert.

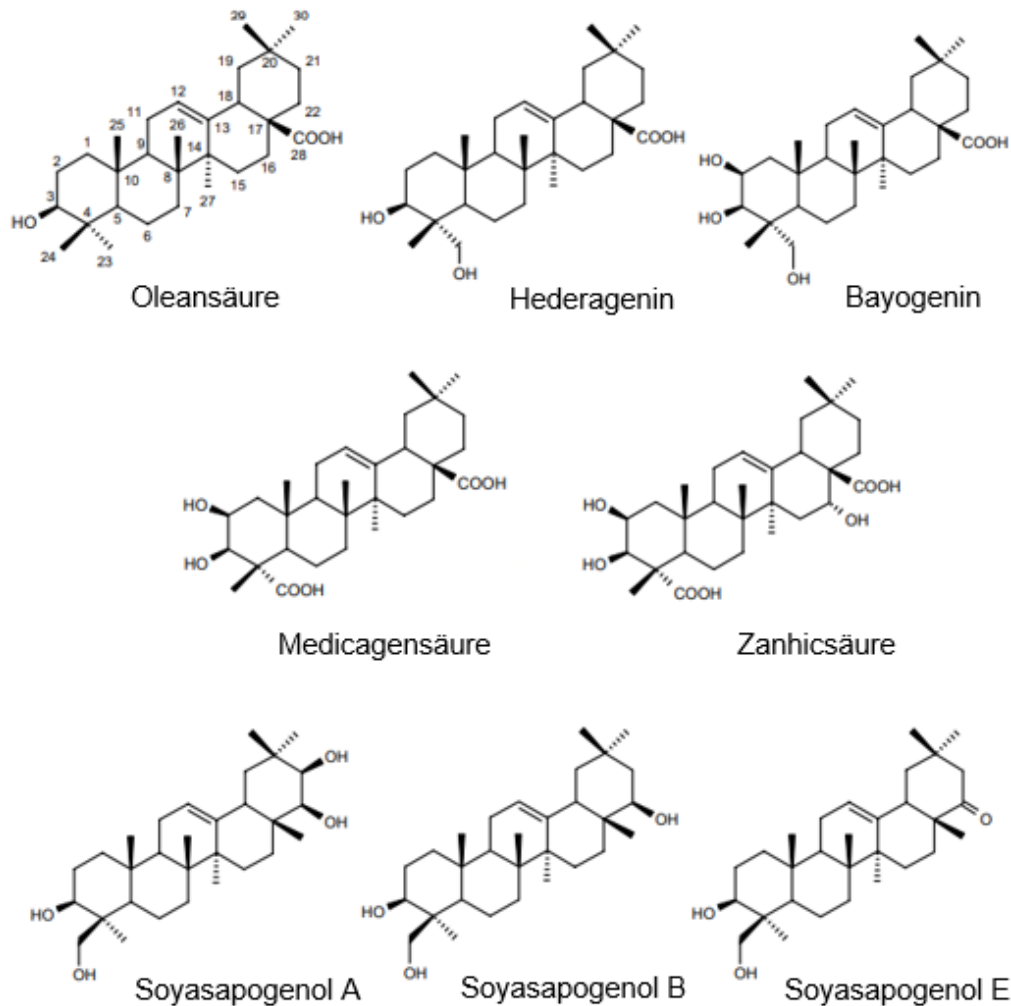


Abbildung 2: Chemische Strukturen verschiedener Aglykone der Luzernesaponine (TAVA und AVATO, 2006, eigene Überarbeitung)

Die Biologische Aktivität hängt sowohl von der Menge als auch von der chemischen Struktur, demnach von der Aglykonstruktur, sowie der Länge und Zusammensetzung der Kohlehydratseitenketten der einzelnen Verbindungen ab (PRICE et al., 1987; SZUMACHER-STRABEL et al., 2019). Die aus ernährungsphysiologischer Sicht wichtigsten biologischen Aktivitäten sind die verringerte Futteraufnahme, der Bittergeschmack und die Schleimhautreizung, modulierende Effekte auf die Permeabilität der Darmmembran, eine verringerte Verdauung sowie Nährstoffabsorption, ein verringertes Wachstum, Auswirkungen auf den Cholesterinstoffwechsel und hämolytische Eigenschaften (CHEEKE, 1983, 1996; OLESZEK, 2000; SZUMACHER-STRABEL et al., 2019; KALAČ et al., 1996; CHEEKE, 1971; SEN et al., 1998).

Die Wachstumsdepression scheint hauptsächlich auf die verringerte Futteraufnahme luzernehaltiger Futtermischungen zurückzuführen zu sein (CHEEKE, 1983). Hierbei stellen der bittere Geschmack sowie die den Rachen- und Verdauungstrakt reizende Wirkung die Hauptfaktoren für die verringerte Futteraufnahme monogastrischer Tiere dar. Aber auch die Auswirkungen

auf die Passagerate könnte diese beeinflussen (CHEEKE, 1983, 1996; LEAMASTER und CHEEKE, 1979; SEN et al., 1998). Sensorische Tests mit menschlichen Freiwilligen zeigten, dass Zanhicsäure-Tridesmosid das bitterste und rachenreizendste Saponin aus verschiedenen aus der Luzerne isolierten Saponinen war (OLESZEK et al., 1992). Aber auch ihre Fähigkeit mit mukosalen Zellmembranen zu interagieren und dadurch Permeabilitätsänderungen oder den Verlust der Aktivität membrangebundener Enzyme sowie eine Verringerung der Potenzialdifferenz (PD) zu verursachen, kann zu Auswirkungen auf das Tierwachstum durch die beeinflusste Verdauung und Absorption anderer Nährstoffe führen (OLESZEK, 2000; OLESZEK et al., 1994). Der Einfluss von Luzernesaponinen auf die transmurale PD im Dünndarm von Säugetieren war von allen getesteten pflanzlichen Glykosiden am höchsten (GEE et al., 1989), wobei Zanhicsäure-Tridesmosid die höchsten Raten der PD-Abnahme zeigte (OLESZEK et al., 1994). Zudem kann durch die Bildung schwer verdaulicher Saponin-Protein-Komplexe die Verdaulichkeit von Proteinen herabgesetzt werden (POTTER et al., 1993; FRANCIS et al., 2002). IKEDO et al. (1996) zeigten, dass deren In-vitro-Verdaulichkeit verringert war. Auch Studien an Ratten mit Luzerne-Proteinkonzentraten konnten dies bestätigen (HEGSTED und LINKSWILER, 1980). Zudem können Saponine die proteolytische Aktivität von Verdauungsenzymen wie Trypsin und Chymotrypsin hemmen (ISHAAYA und BIRK, 1965; SHIMOYAMADA et al., 1998). Ebenfalls können Saponine im Gastrointestinal-Trakt unlösliche Komplexe mit Cholesterin oder Gallensäuren, die für die Cholesterinabsorption notwendig sind, bilden. Dies führt zu einer Senkung des Serum- oder Plasmacholesterinspiegel, resultierend aus einer verringerten Absorption von endogenem und exogenem Cholesterin und/oder einer Erhöhung der fäkalen Steroidausscheidung (CHEEKE, 1983, 1971; SHI et al., 2014). Die Fähigkeit von Saponinen Komplexe mit Cholesterin zu bilden, kann weiterhin durch eine Permeabilitätsänderung der Erythrozytenmembran auch eine Hämolyse zur Folge haben (CHEEKE, 1971). So kommt es durch die Wechselwirkung der Luzernesaponine mit dem membranständigen Cholesterin sowie anderen membranständigen Bestandteilen zu einer resultierenden Konformationsänderung, die vermutlich die enzymatische Aktivität nur gering beeinflusst, aber die Schädigung der Membranstruktur verstärken kann. Es wird angenommen, dass die Hämolyse nicht nur auf die Wechselwirkung mit Cholesterin allein zurückzuführen ist, sondern auch durch die Wechselwirkungen des Saponins mit den verschiedenen Membranbestandteilen die Assoziation von Cholesterin mit Phospholipiden aufgebrochen wird und in der Folge eine Hämolyse stattfindet (ASSA et al., 1973).

Der Saponingehalt sowie deren Zusammensetzung wird durch verschiedene Faktoren bestimmt (SZAKIEL et al., 2011). In der Pflanze kommen Saponine in verschiedenen Bestandteilen wie Blättern, Blüten, Samen, Stängeln und Wurzeln vor (TAVA und AVATO, 2006), wobei deren Konzentration in Blättern höher ist als in den Stängeln und Blüten (SEN et al., 1998). Folglich weisen die Blätter der Luzerne- und Rotkleepflanze höhere Saponinkonzentrationen

auf als deren Ganzpflanze. Deren Gehalt in der Luzerne wird durch die Sorte, den Standort, den Schnitt und die Anzahl der Blätter (HANSON et al., 1963) sowie das Vegetationsstadium (SEN et al., 1998) beeinflusst. Nach TAVA et al. (1999) und PECETTI et al. (2006) können auch die Wachstumsaison, das Wachstumsjahr, möglicherweise als Folge des Grasnarbenalters, und klimatische Faktoren eine wichtige Rolle spielen. Auch die Konservierungsmethode hat Einfluss auf die Zusammensetzung und den Gehalt der Saponine (KALAČ et al., 1996; SZUMACHER-STRABEL et al., 2019). So beobachteten SZUMACHER-STRABEL et al. (2019) in einer Studie strukturelle und quantitative Veränderungen von Saponinen während des Silierprozesses in zehn Luzernesorten. Die Silierung führte in allen zehn Luzernesorten zu einem höheren Gesamtsaponingehalt als im frischen Material, bei Betrachtung der einzelnen Saponine fiel jedoch auf, dass manche Konzentrationen sanken, während andere zunahmen oder konstant blieben. Somit hat neben der Fütterung unterschiedlicher Komponenten (Ganzpflanze, Blätter) die Futterwerbung Einflüsse auf deren antinutritive Wirkung.

Trypsininhibitoren (TI)

Zu den sekundären Inhaltsstoffen einer Pflanze zählen ebenso Proteaseinhibitoren, wie z.B. TI. Sie reagieren mit Trypsin, wodurch sie die proteolytische Aktivität dieses Verdauungsenzyms hemmen, was ebenso die Hemmung anderer Verdauungsenzyme, die durch Trypsin aktiviert werden, nach sich zieht (KIRCHGEßNER et al., 2011). Aus der Luzernepflanze konnten TI isoliert werden (BROWN und RYAN, 1984; CHIEN und MITCHELL, 1970), wobei diese in den Blättern in der höchsten Konzentration vorhanden waren und der Gehalt mit zunehmender Reife der Pflanzen zunahm (CHANG et al., 1978). Ihre ernährungsphysiologischen Auswirkungen auf Tiere sind jedoch nicht bekannt (CHANG et al., 1978). NORIOKA et al. (1988) fanden auch in Rotklee Samen eine geringe TI-Aktivität. In Studien von MALIAR et al. (2011) wurden verschiedene Futterpflanzen, darunter *Medicago sp.* und *Trifolium sp.*, auf Proteinasehemmung getestet. Während die Untergruppen der *Medicago*-Vertreter die niedrigste durchschnittliche TI-Aktivität zeigten, wies eine Untergruppe der *Trifolium*-Vertreter die höchste durchschnittliche TI-Aktivität im Vergleich zu Schwarztee-Extrakt auf.

Tannine

Tannine gehören zur Gruppe der Polyphenole, aufgrund ihrer Ableitung von Phe und einigen Pflanzen auch Tyr ebenfalls unter dem Begriff Phenylpropanoide zusammengefasst (HELDT, 2005). Neben dem positiven Effekt der Tannine, nämlich dem Schutz der Proteine vor dem Abbau während des Silierprozesses (ALBRECHT und MUCK, 1991), führen sie zu einer geringen dXP bei monogastrischen Tieren (JANSMAN et al., 1993; ORTIZ et al., 1993). Dies ist auf die Bindung der Tannine an das Futterprotein, das körpereigene Protein und direkt an die Enzymproteine im Verdauungstrakt zurückzuführen (VAN LEEUMEN et al., 1995). Außerdem haben verschiedene Studien gezeigt, dass Tannine toxische und wachstumshemmende Effekte bei

verschiedenen Tierarten haben (DOLLAHITE et al., 1962; GLICK und JOSLYN, 1970; RAYUDU et al., 1970). Tannine werden jedoch beim Silieren teilweise abgebaut (GEFROM et al., 2013; LORENZ et al., 2010). Silagen können daher die AS-Versorgung für Nichtwiederkäuer verbessern, ohne den antinutritiven Einfluss der Tannine zu zeigen (KOFAHL, 2009). Tannine werden auch durch thermische Prozesse beeinflusst (SERRANO et al., 2009). Im Vergleich zu anderen Grünleguminosen weisen Luzerne und Rotklee jedoch geringe Gehalte an kondensierten Tanninen auf (Rotklee: 0,27-1,7 % TM, Luzerne 0,07-0,5 % TM) (BARRY und MCNABB, 1999; HAMACHER et al., 2015), weshalb ihre Bedeutung als antinutritive Inhaltsstoffe in Luzerne und Rotklee vermutlich als gering erachtet werden kann.

Polyphenoloxidase (PPO)

Die PPO oder auch Tyrosinase ist ein kupferhaltiges Enzym, das in den Thylakoiden der Chloroplasten enthalten ist. Durch Schneiden oder Zerkleinern der Blätter während der Ernte und des Silierens katalysiert diese die Oxidation von ebenfalls in den Blättern vorhandenen Phenolen zu *o*-Chinonen unter Verbrauch von molekularem Sauerstoff (GIERUS, 2009). Diese sind jedoch hochreaktive, elektrophile Moleküle, die entweder zu Melaninen polymerisieren oder - ähnlich wie Tannine - mit anderen nukleophilen Molekülen (z.B. Proteinen) eine Verbindung eingehen können (GIERUS, 2009; LEE et al., 2004; LEE et al., 2007). Diese Bräunungsreaktion wird auch bei der Ernte von RB beobachtet, weshalb JONES et al. (1995) darauf schließt, dass PPO ebenfalls im Rotklee enthalten ist. In weiteren Untersuchungen wurden nur bei Rotklee im Vergleich zu anderen Leguminosen, darunter auch Luzerne, eine messbare lösliche PPO-Aktivität gefunden. In RS war der Proteinabbau um 40 % geringer als in LS, trotz gleichem TS-Gehalt, pH-Wert-Verlauf während der Silierung und erreichtem End-pH-Wert der Silagen. Folglich führt die PPO zu einer geringeren Proteolyse während des Silierens (JONES et al., 1995; LEE et al., 2004; SULLIVAN und HATFIELD, 2006; HATFIELD und MUCK, 1999) bei Rotklee im Vergleich zur Luzerne. Ebenso kann sie im Hinblick auf die Proteinabbaubarkeit im Pansen zur Reduzierung des raschen Proteinabbaus bei Wiederkäuern beitragen, was zu einer besseren Stickstoff Nutzung bei Rotklee führt (LEE et al., 2007; GIERUS, 2009; BRODERICK et al., 2001).

2.2.3 Grünfutter und -konserven als Raufuttermittel in Futtrationen von Mastschweinen

Das Angebot von Raufutter, wie Grünfutter sowie Luzerne und Rotklee und deren Konserven, sind in der ökologischen Schweinemast gesetzlich vorgeschrieben (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008), vergleiche Kapitel 2.2.1.1). Dies trägt zur Optimierung der Nutzung von betriebseigenen Ressourcen und der Verringerung des Futtermittelzukaufs bei, kann jedoch zu negativen und positiven Auswirkungen in der Schweinefütterung führen. Über das Raufutteraufnahmevermögen wird nur wenig in der Literatur berichtet. Bisherige Untersuchungen zur Aufnahme von Grünfutter und -konserven zeigten unterschiedliche Ergebnisse. Während nach KELLY et al. (2007) das Raufutterangebot (Kleegrasssilage) mit maximal 5 % an der Gesamtration von den Schweinen nur unzureichend genutzt wurde, zeigten andere Studien moderate Silageaufnahmen von 6 bis ca. 20 % bezogen auf die Trockenmasse der Tagesration (BELLOF et al., 1998; BIKKER und BINNENDIJK, 2012; CARLSON et al., 1999; PRESTO ÅKERFELDT et al., 2018). Diese Werte wurden sogar noch mit 24-49 % Silageaufnahme an der Gesamtration (WÜSTHOLZ et al., 2017a; URDL et al., 2009; DANIELSEN et al., 1990) übertroffen. Für Luzernegrünmehlpellets geben URDL et al. (2009) Verzehrmenngen von 29 % an der Gesamtfutteraufnahme an, während LEAMASTER und CHEEKE (1979) der Meinung sind, dass Luzernegrünmehl nur in moderaten Mengen (bis zu 20 %) in der Futtration eingesetzt werden kann, ohne die Wachstumsrate zu beeinflussen. Dies bestätigten KASS et al. (1980b). Nur eine entsprechend hohe Aufnahme von Raufuttermitteln kann ein nennenswerter Beitrag zur Deckung des Nährstoffbedarfs liefern (BELLOF et al., 1998). Hierbei ist jedoch ebenfalls die Kenntnis über die Futterinhaltsstoffe in der Gesamtration von großer Bedeutung (WERNER und SUNDRUM, 2008). Hohe Anteile an rohfaserreicherem Raufutter an der Gesamtration führen in der Schweinefütterung jedoch zur Energieverdünnung und einer reduzierten Verdaulichkeit der Gesamtration (WERNER und SUNDRUM, 2008; BINDELLE et al., 2008; KERR und SHURSON, 2013), was Auswirkungen auf die Zunahmen der Schweine und ein verzögertes Erreichen des angestrebten Schlachtgewichts zur Folge hat (ČANDEK-POTOKAR et al., 1998). So gehen KASS et al. (1980a) von einer wachstumshemmenden Wirkung bei wachsenden Schweinen bei einem XF-Gehalt von mehr als 7 bis 10 % der Ration aus. Zudem führt die Rauffutteraufnahme zu einer stärkeren Ausbildung des Verdauungstraktes. So wird in der Literatur bei steigenden Anteilen von XF von Gewichtszunahmen des gesamten Verdauungstraktes, Magens, Dünndarms, Blinddarms (Caecum) und Dickdarms (Colon) sowie von einer Zunahme der Länge des Colons berichtet (JØRGENSEN et al., 1996; KASS et al., 1980b; POND et al., 1988; ANUGWA et al., 1989). Diese Tatsache hat eine Reduzierung des Ausschlagungsgrades zur Folge (BELLOF et al., 1998; POND et al., 1988; SAPPOK et al., 2008). Diesen negativen Aspekten des erhöhten Einsatzes von Raufutter bzw. XF stehen vielfältige positive Effekte für die Schweinemast und Ferkelerzeugung gegenüber. Der erhöhte XF-Gehalt in der Futtration durch die Zugabe von

Raufutter führt zu einer anhaltenden Sättigung der Schweine und zu einer verlängerten Zeitspanne der Futteraufnahme (BERGERON et al., 2000; MEUNIER-SALAÜN et al., 2001; KALLABIS und KAUFMANN, 2012; LEEUW et al., 2008). So kann durch eine Rauffuttervorlage eine Sättigung bei einer begrenzten Kraffutteraufnahme gewährleistet werden, um eine unerwünschte Verfettung in der Endmast vermeiden zu können (ČANDEK-POTOKAR et al., 1998; HANSEN et al., 2006; BELLOF et al., 1998). Dies kann zu einer Verminderung der hierbei auftretenden Unruhe durch Futtersuchverhalten und aggressiven Verhaltensweisen in der Gruppe beitragen (WERNER und SUNDRUM, 2008; MEUNIER-SALAÜN et al., 2001; PRESTO ÅKERFELDT et al., 2018). Zudem können Schweine ihr Wühl- und Erkundungsverhalten durch das Angebot von Raufutter ausleben. Folglich dient die Vorlage von Raufutter als Präventivmaßnahme, um Stereotypen und Kannibalismus, wie Schwanzbeißen, vorzubeugen und wirkt zur Verbesserung des Tierwohls mit (MEUNIER-SALAÜN et al., 2001; BERGERON et al., 2000; KALLABIS und KAUFMANN, 2012; LINDBERG, 2014). XF trägt zudem zur Stabilisierung der Darmgesundheit bei (WERNER und SUNDRUM, 2008). Durch bakterielle Fermentation der Ballaststoffkomponenten im distalen Teil des Darms entstehen kurzkettige organische Säuren, die zum einen durch Stimulierung der Proliferation von Epithelzellen, wie bereits erwähnt, das Wachstum des Verdauungstrakts fördern (MONTAGNE et al., 2003), zum anderen mit einer Verschiebung in der Mikrobiota korrelieren. So wird das Wachstum von im Darm vorhandenen bakteriellen Pathogenen gehemmt und erwünschte Keime, wie Laktobazillen, können im Wachstum gefördert werden (LINDBERG, 2014; WERNER und SUNDRUM, 2008; WENK, 2001). Raufutter kann somit durch seine präbiotische Wirkung das Auftreten von Durchfallproblemen mindern und den Einsatz von Antibiotika reduzieren (LINDBERG, 2014). Zudem wird durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt der Digesta die peristaltische Aktivität erhöht, dadurch die Transitzeit sowohl im Dünndarm und Dickdarm verkürzt und somit die Möglichkeit einer Verstopfung vermieden (WENK, 2001). Neben dem gesundheitsfördernden Effekt des Raufutters können durch die als Folge des Mikrobenwachstums erhöhte organische Bindung von Stickstoff im Kot Nährstoffverluste bei der Lagerung verringert bzw. die Nährstoffverfügbarkeit für das Pflanzenwachstum erhöht werden (WERNER und SUNDRUM, 2008).

2.2.4 Einfluss von Grünfutter und -konserven in der Mastschweinefütterung auf die Produktqualität

Der Einsatz von Grünfutter und -konserven in nennenswerten Anteilen kann sich auf die Qualität des Fleisches der Schweine in Bezug auf das Fettsäuremuster und den Cholesteringehalt auswirken. Die Zusammensetzung der Fettsäuren im Futter reflektiert und beeinflusst das Fettsäuremuster im Muskel- und Fettgewebe (MADSEN et al., 1992; LESKANICH et al., 1997; KRACHT et al., 1996; WOOD et al., 2008). Neben Ölsaaten, wie z.B. Leinsamen und Raps, können auch Grünfutter, wie z. B. Gras oder Luzerne, hohe Anteile an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, unter anderem Linol- und Linolensäure, enthalten (WOOD et al., 2003; GAWEL und GRZELAK, 2012). Fettsäuren wie Linolensäure und α -Linolensäure sind für den Menschen essenziell und müssen daher über die Nahrung zugeführt werden (FAO, 2010). Studien zeigen, dass der Einsatz von Grünfutter und -konserven, wie Klee-, Gras-, und Luzernesilage sowie Luzernegrünmehl, den Gehalt an Omega-3-Fettsäuren und mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Fettgewebe der Schweine erhöhen können (HANSEN et al., 2006; BELLOF et al., 1998; WELTIN et al., 2014; RUDOLPH et al., 2011). So kann durch die Verwendung von Futtermitteln mit geeigneten Fettsäuremustern gesünderes Fleisch mit einem höheren Gehalt an ungesättigten Fettsäuren und Omega-3-Fettsäuren erzeugt werden. Gleichzeitig bleibt ein möglichst enges Verhältnis von Omega-6-Fettsäuren zu Omega-3-Fettsäuren im Fleisch erhalten, was ernährungsphysiologisch wünschenswert ist (RILEY et al., 2000; FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010; DEPARTMENT OF HEALTH, 1994). Auf der anderen Seite kann ein zu hoher Gehalt an ungesättigten Fettsäuren zu einer höheren Lipidoxidation während der Lagerung und folglich zu negativen Auswirkungen auf die organoleptische Qualität sowie zu einer Qualitätsverschlechterung, insbesondere bei rohen oder haltbaren Produkten, und zu Problemen bei der Verarbeitung führen (EDWARDS, 2005; WOOD et al., 2003; HANSEN et al., 2006; PFALZGRAF et al., 1995; JONSÄLL et al., 2000). Die ebenfalls in Grünfutter enthaltenen Antioxidantien könnten jedoch diese nachteilige Auswirkung verhindern (WOOD et al., 2003; GAWEL und GRZELAK, 2012; BEN AZIZ et al., 1968; LEBRET, 2008; MONAHAN et al., 1990; PFALZGRAF et al., 1995; LOPEZ-BOTE et al., 1998). So kamen auch KARWOWSKA et al. (2008) durch gezielte Untersuchungen des Redoxpotenzials und der Fettoxidation von Schweinefleisch zur Auffassung, dass die Ergänzung des Schweinefutters mit einem Luzerne-mehlextrakt keinen Einfluss auf die potenzielle Redox- und Lipidoxidation von Schweinefleisch hatte. SHI et al. (2014) zeigten sogar, dass die Aufnahme von Luzernesaponin-Extrakt die Aktivität einiger antioxidativer Enzyme beim Absatzferkel steigerte.

Zudem ist bekannt, dass die in der Luzerne enthaltenen Saponine den Serum- und Plasma-cholesterinspiegel senken und die Ausscheidung von Cholesterin aus dem Körper erhöhen können (GAWEL und GRZELAK, 2012; CHEEKE, 1983; FRANCIS et al., 2002; KOZERA et al., 2016). Auch scheinen die Saponine Auswirkungen auf den Cholesteringehalt von Eiern und dem

Fleisch von Masthühnern zu haben (PONTE et al., 2004b; CARRASCO et al., 2018; WELTIN et al., 2014; CHEEKE, 1983). Bezüglich einer vergleichenden Cholesterin senkenden Wirkung im Schweinefleisch wird in der Literatur wenig berichtet. WELTIN et al. (2014) stellen einen geringfügig niedrigeren Cholesteringehalt im Schweinefleisch bei der Fütterung von LS fest. Dieser ließ sich jedoch statistisch nicht absichern. Weitere Untersuchungen hierzu sind nötig, um diesen für die menschliche Ernährung wünschenswerten Effekt beim Masthuhn auch beim Schwein zu verifizieren.

Hinsichtlich der sensorischen Eigenschaften von Schweinefleisch ist der IMF-Gehalt das herausragende Kriterium, da er die Zartheit, Weichheit und den allgemeinen Geschmack von Schweinefleisch verbessert (ABEL et al., 2007; AFFENTRANGER et al., 1996; FERNANDEZ et al., 1999). Ein erhöhter, nicht sichtbarer IMF-Gehalt wird deshalb vom Verbraucher bevorzugt (FERNANDEZ et al., 1999; AFFENTRANGER et al., 1996). Um jedoch die sensorischen Eigenschaften zu beeinflussen, ist ein IMF-Gehalt von 2-2,5 % nötig (AFFENTRANGER et al., 1996; FERNANDEZ et al., 1999). Es wurde festgestellt, dass die Ernährung einen deutlich größeren Effekt auf den IMF-Gehalt ausübt als die Genetik der Schweine (SUNDRUM et al., 2011; CAMERON et al., 2000). Mit rohfaserreichem Grundfutter, wie Luzerne, Rotklee, Gras und ihren Konserven, kann, wie bereits erwähnt, eine Nährstoffrestriktion bei gleichzeitiger Sättigung erzielt werden. Dadurch kann bei ausreichendem Angebot an essenziellen AS und restriktivem Energieangebot der Fettansatz begrenzt werden. In der Literatur zeigt sich, dass durch den Einsatz von Grünleguminosen, insbesondere Kleegrassilage und LS zudem ein höherer IMF erzielt lässt (WELTIN et al., 2014; BELLOF et al., 1998; BEIN und AICHINGER, 2010). Die Ursache hierfür ist jedoch nicht genau definiert. Auch wurde ein höherer IMF beim Einsatz von Körnerleguminosen, wie Ackerbohne und Lupine, festgestellt (SUNDRUM et al., 2000; SUNDRUM et al., 2011; SUNDRUM et al., 2004b). Hier wurde ein spezifischer Effekt der Lupine oder deren spezifisches AS-Muster kombiniert mit der Gesamtversorgungssituation als Ursache diskutiert (SUNDRUM et al., 2004b). SUNDRUM et al. (2011) bestätigte, dass eine Fütterung, die auf einer begrenzten Verfügbarkeit von essenziellen AS in der Ration, Einschränkungen in den Leistungsmerkmalen (geringere Ausprägung der Fleischfläche) durch eine deutliche Erhöhung des IMF-Gehalts kompensieren, ohne die Menge an subkutanem Fett zu erhöhen, und dadurch das Fleisch bezüglich der Essensqualität verbessern kann. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass antagonistische Beziehungen zwischen Faktoren, die die Proteinbildung erhöhen, und Faktoren, die den IMF-Gehalt verbessern, es notwendig machen, dass die Landwirte entscheiden, welchem Faktor die höchste Priorität eingeräumt werden sollte. Der erhöhte IMF-Gehalt von mit Grünleguminosenprodukten gefütterten Schweinen könnte ebenfalls durch ein reduziertes Energie-Eiweiß-Verhältnis oder ein Defizit an limitierten AS begründet werden (SUNDRUM et al., 2000; WANG et al., 2018b). Aber auch eine verlängerte Mastdauer, um das

entsprechende Mastgewicht zu erreichen, ohne die Mastintensität zu senken, muss als Ursache einer Erhöhung der IMF-Gehalte, die hierbei wahrscheinlich mit dem Alter zusammenhängt, in Betracht gezogen werden (LEBRET et al., 2001). Das Potenzial von Grünleguminosen bezüglich einer erhöhten IMF-Bildung sowie deren Ursache bedarf weiterer Untersuchungen.

2.2.5 Grünfutter und -konserven in der praktischen Mastschweinefütterung

In der konventionellen Mastschweinehaltung beschränkt sich der Einsatz von Grünfutter und -konserven aufgrund des hohen XF-Gehaltes und der damit verbundenen geringeren Verdaulichkeit bisher hauptsächlich auf Beschäftigungsmaterial für Schweine. Nun wird dies sogar rechtlich festgehalten. Ab dem 01.08.2021 muss Beschäftigungsmaterial zukünftig für alle Schweine organisch und faserreich sein. Dies kann insbesondere Stroh, Heu, Sägemehl oder eine Mischung dieser Materialien sein (TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG). In der ökologischen Mastschweinehaltung wird sogar gefordert, dass der Tagesration für Schweine frisches, getrocknetes oder siliertes Raufutter beigegeben wird (VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008). Jedoch wurde nach Angaben von SUNDRUM et al. (2004a) diese Forderung nur von wenigen Betrieben konsequent gehandhabt. Silage, Heu und Getreide- bzw. Gemüse-Ausputz wurde nur vereinzelt in den Betrieben gefüttert. In einer Status quo-Erhebung von RAHMANN et al. (2004) wurden Grundfuttermittel auf 74 % von 35 ökologisch wirtschaftenden Schweinemastbetrieben verfüttert. Die Hälfte dieser Betriebe setzte Grassilage ein, gefolgt von Grün- oder Weidefutter mit 31 %. Aufgrund der saisonalen Abhängigkeit wurde hier vermutlich keine tägliche Raufutternorm umgesetzt (WERNER und SUNDRUM, 2008). Drei dieser Betriebe beschränkten die Grundfutternorm auf die Anfangsmast. In den Untersuchungen von BENNINGER (2007) erhielten die Mastschweine nur eines von 6 Betrieben Raufuttermittel wie Heu oder Silage. Aber nicht nur die Pflicht zur Raufutternorm, sondern auch das Anstreben einer 100 %-Biofütterung, beschränkte Importmöglichkeiten und der hohen Preise sowie der daraus resultierenden AS-Lücke fordern einen hohen Anteil betriebseigener Futtermittel für die Nährstoffversorgung der Schweine zu nutzen und zu optimieren (WERNER und SUNDRUM, 2008). Hier bieten sich Luzernegrünmehl sowie Silagen aus Klee- und Luzerne an, die einerseits als Raufutter genutzt werden können, andererseits einen Anteil zur Protein- und AS-Versorgung der Tiere beitragen können (WITTEN et al., 2014). In Österreich wurden laut Angaben von WITTEN et al. (2014) 75 % der österreichischen Schweine bereits zu 100 % mit ökologisch erzeugtem Futter versorgt, wobei Klee- bzw. LS als Grundfutter eingesetzt wurde. Die Frage nach der Verdaulichkeit sowie Nutzbarkeit verschiedener Anteile von Grünfutter und -konserven für Monogastrier wurde bis heute in zahlreichen Studien untersucht. WEISSMANN (2003) und WEISSMANN et al. (2005) untersuchten die Freilandmast auf dem Fruchtfolgeglied Klee-Gras. Es zeigte sich, dass Klee-Gras keinen nennenswerten Beitrag zur Energieversorgung der Mastschweine leisten kann. Es wurde dem extensiven Fütterungsregime entsprechend akzeptable Tageszunahmen (TZ), jedoch eine inakzeptable Futtermittelverwertung erreicht. Während der Muskelfleischanteil bei den Kastraten deutlich zu niedrig war, zeigten die weiblichen Tiere gute bis akzeptable Muskelfleischanteile im Verhältnis zu den Leistungen der intensiven bzw. extensiven Genotypen. Eine Praxisbefragung von CHRISTMANN et al. (2015) zeigte jedoch, dass sich die Weidehaltung bei Schweinen zu bewähren scheint, wobei hier weniger die

Ausschöpfung des Futterwerts der Weide, sondern mehr das Tierwohl und der Werbeaspekt eine Rolle spielt. Zudem zeigten Studien der letzten Jahre, dass Klee(gras)silage für die Schweinemast generell geeignet ist (RUDOLPH et al., 2011; WALLENBECK et al., 2014; SOMMER und SUNDRUM, 2015; SOMMER und SUNDRUM, 2013; BEIN und AICHINGER, 2010; HANSEN et al., 2006). So stellten RUDOLPH et al. (2011) in einem Praxisversuch fest, dass der Einsatz von Kleegrassilage positive Auswirkungen auf die Fettsäurezusammensetzung, den Magerfleischanteil sowie den Futterverbrauch hat. Auch BEIN und AICHINGER (2010) erzielten in ihren Untersuchungen mit frischem Klee gras im Durchschnitt ähnliche TZ wie die reine Krafftuttergruppe und konnten somit eine Krafftutterersparnis von ca. 10 kg TM pro Tier erreichen. Es wurde jedoch festgestellt, dass die Klee grassschweine eine niedrigere Ausschachtung sowie einen niedrigeren Muskelfleischanteil aufwiesen. Andererseits wurde ein höherer IMF und eine höhere Rückenmuskelfläche sowie ein höheres Speckmaß erzielt. HANSEN et al. (2006) erreichten bei einer eingeschränkten Fütterung von Bio-Getreide (70 %) plus Klee grassilage ad libitum eine ähnliche Schlachtleistung wie bei der ad libitum Krafftuttergruppe. Jedoch wiesen sie darauf hin, dass die durch die Silage höhere Aufnahme von mehrfach ungesättigten Fettsäuren zu Ranzigkeit und Problemen während der Lagerung und Verarbeitung des Fleisches führen kann. Dass auch früh geworbene Luzerne Potenzial als Eiweißfutter für Schweine hat, zeigten WÜSTHOLZ et al. (2017a) in einem Mastversuch mit LS. Auch hier kann bis zu 1 dt Krafftuttermischung pro Mastschwein sowie andere Eiweißfuttermittel, insbesondere in der Mittel- und Endmast, eingespart werden (WELTIN et al., 2014). Die Verfütterung von Luzerne grünmehlpellets (5 bis 7 % geschrotet in betriebsüblicher Futtermischung) führte in Praxisversuchen bei Mastschweinen zu durchweg hohen TZ und erzielte einen höheren Magerfleischanteil als bei der Kontrollgruppe (RUDOLPH et al., 2011). THACKER und HAQ (2008) weisen jedoch darauf hin, dass Luzerne grünmehl während der Wachstumsphase auf weniger als 7,5 % der Ration begrenzt werden sollte, um die Leistung von Schweinen zu maximieren, während es möglich ist, während der Endmastperiode bis zu 15 % der Ration zu verfüttern, ohne dass dies negative Auswirkungen auf die Leistung der Schweine hat. LEAMASTER und CHEEKE (1979) sind der Meinung, dass LM bis zu etwa 20 % des Getreides in einer Schweinediät ersetzen kann, ohne die Wachstumsrate zu beeinträchtigen. CHEN et al. (2014) hingegen beschrieben eine lineare Reduktion der durchschnittlichen Tageszunahme bei Erhöhung des LM-Anteils (bis zu 20 %). Eine Separierung der Blatt- und Stängelmasse kann den Futterwert der Blattmasse deutlich aufwerten. Die mittels In-vitro-Verfahren bestimmte pcd des XPs und der essenziellen AS wird durch den in der Blattmasse höheren XP- und Energiegehalt und gleichzeitig reduzierten XF-Gehalt erhöht und somit die Verfügbarkeit von essenziellen AS gesteigert (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). Jedoch wiesen die Autoren darauf hin, dass in der Praxis aufgrund der in der Studie stark variierenden Nährstoff- und Energiegehalte der LB-Masse Analysen von repräsentativen Sammelproben nötig sind, um die Qualität einschätzen

und richtig nutzen zu können. Durch das Erstellen von Mischungen aus den Hofkomponenten und unterschiedlichen Anteilen der LB-Masse sowie deren In-vitro-Verdaulichkeitsbestimmung konnte festgestellt werden, dass durch das Einmischen der LB-Masse in allen Rationen die Versorgung mit XP und in den meisten Rationen die dXP im Vergleich zur beprobten hofeigenen Futterration verbessert wurde sowie Futterrationen entsprechend den Versorgungsempfehlungen für ökologisch gehaltene Tiere erstellt werden können (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). Auch LINDBERG und CORTOVA (1995) und LINDBERG und ANDERSSON (1998) konnten keine negative Beeinflussung der dXP von Rationen, die Luzerne- bzw. Luzerneblattemehl bis 20 % Anteil an der Ration enthielten, aufzeigen. Somit scheint die Blattmasse von Grünleguminosen für die ökologische Schweinehaltung im Hinblick auf die Versorgung mit essenziellen AS eine vielversprechende Alternative zu sein (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; SOMMER und SUNDRUM, 2015). Jedoch sind noch Fütterungsversuche nötig, um die Verträglichkeit sowie die Auswirkungen hoher Blattmasseanteile auf die Mast- und Schlachtleistung zu prüfen (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016). Studien von RÜGHEIMER (1986) zeigten, dass der Einsatz von LBS einen Teil des AS-Bedarfs der Schweine zu decken vermag. Auch der Einsatz einer Mischsilage aus Maiskorn-Spindel-Gemisch (CCM) und LB führen ohne negativen Einfluss auf den Schlachtkörperwert zu einer Einsparung von traditionellen Eiweißfuttermitteln (WECKE et al., 1988). Aufgrund der durch die in den Blättern vorkommenden antinutritiven Saponine hervorgerufene Leistungsdepressionen beim Einsatz von getrocknetem LB beim Geflügel (PLEGER et al., 2020; PEDERSEN et al., 1972; RITTESER und GRASHORN, 2015) wurde ein Akzeptanzversuch mit ansteigenden Anteilen LB in der Ration mit wachsenden Schweinen durchgeführt (MESSINGER et al., 2019). Hierbei zeigte sich, dass Schweine weniger empfindlich auf die antinutritiven Inhaltsstoffe reagieren. So war ein Einsatz bis zu 15 % LB an der Alleinfuttermischung in der Anfangsmast möglich.

3. PUBLIKATIONEN

3.1 Verdauungsversuch: Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit der Rohnährstoffe von Luzerne- (*Medicago sativa*) und Rotkleeprodukten (*Trifolium pratense*) bei wachsenden Schweinen

Das folgende Manuskript „Determination of apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) products in growing pigs” wurde am 4. Februar 2021 zur Begutachtung im Journal “Züchtungskunde” eingereicht und am 17. August 2021 von der Schriftleitung zur Veröffentlichung angenommen.

The following manuscript "Determination of apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) products in growing pigs" has been submitted for revision in the Journal “Züchtungskunde” on February 4th, 2021 and has been accepted for publication on August 17th, 2021.

Submitted February 4th, 2021; Revised March 21th, 2021 and May 20th, 2021; Accepted August 17th, 2021

Article published in: Züchtungskunde

© 2021, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Determination of apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) products in growing pigs

Original Article

English

Apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne and red clover products in pigs

Determination of apparent total tract digestibility of nutrients of lucerne (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) products in growing pigs

DIANA MESSINGER¹, P. A. WEINDL¹, KAREN AULRICH², LYDIA PLEGER¹, PETRA NICOLE WEINDL¹, & G. BELLOF^{1*}

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

²Johann Heinrich von Thünen-Institute, Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

*Corresponding author:

Gerhard Bellof, University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Faculty of Sustainable Agriculture and Energy Systems, Am Staudengarten 1, 85354 Freising, Germany; Tel: +49-8161-716482; Fax: +49-8161-716482; E-mail: gerhard.bellof@hswt.de

Submitted to Züchtungskunde in February 2021.

Abstract

In a digestibility trial with 24 growing pigs (Danish Landrace x Duroc; male, castrated) the apparent crude nutrient digestibility of organically produced lucerne and red clover products was determined. The products (dried lucerne leaf (LL): 198 g crude protein (CP) per kg dry matter (DM); lucerne leaf silage (LLS): 295 g CP/kg DM; lucerne whole plant silage (LS): 213 g CP/kg DM; red clover whole plant silage (RCS): 263 g CP/kg DM) were fed to the animals together with a compound feed adapted for the whole plant or leaf material. Titanium dioxide was added to this supplement, which was used as an inert marker for the digestibility calculation. Differences were found in feed intake throughout the sampling phase in the metabolic cages. The whole plant silages (LS: 53.6 % digestibility of organic matter (dOM), 56.3 % digestibility of crude protein (dCP); RCS: 69.9 % dOM, 69.3 % dCP) as well as the LLS (63.0 % dOM, 58.0 % dCP) showed a higher dOM and dCP than the LL (45.0 % dOM, 42.7 % dCP). It was suspected that the saponins, which are mainly enriched in the leaves, influence the feed intake and digestibility of the leaf products. The quality and method of preserving feed also affected digestibility test feedstuffs.

Keywords: Lucerne, red clover, leaves, silage, apparent digestibility, saponins, growing pigs

Zusammenfassung

Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit der Rohnährstoffe von Luzerne- und Rotkleeprodukten bei wachsenden Schweinen

In einem Verdaulichkeitsversuch mit 24 wachsenden Schweinen (Dänische Landrasse * Duroc; männlich, kastriert) wurde die scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit von ökologisch erzeugten Luzerne- und Rotkleeprodukten bestimmt. Die getrockneten Luzerneblätter (LL; 198 g Rohprotein (CP) pro kg Trockenmasse (TM); 218 g Rohfaser (CF)/kg TM), die Luzerne-Blattsilage (LLS; 295 g CP/kg TM; 133 g CF/kg TM), die Luzerne-Ganzpflanzensilage (LS; 213 g CP/kg TM; 236 g CF/kg TM) und die Rotklee-Ganzpflanzensilage (RCS; 263 g CP/kg TM; 178 g CF/kg TM) wurden den Tieren zusammen mit für die Ganzpflanzen oder das Blattmaterial angepassten Ergänzungskraftfuttermischungen verfüttert. Diesen wurde Titandioxid zugesetzt, das als inerte Marker für die Verdaulichkeitsberechnung verwendet wurde.

Es wurden Unterschiede in der Futteraufnahme während der Kotsammelphase in den Stoffwechselkäfigen festgestellt. Die Ganzpflanzensilagen (LS: 53.6 % Verdaulichkeit der organischen Masse (dOM), 56.3 % Verdaulichkeit des Rohproteins (dCP); RCS: 69.9 % dOM, 69.3 % dCP) sowie die Luzerne-Blattsilage (63.0 % dOM, 58.0 % dCP) zeigten eine höhere Verdaulichkeit von dOM und dCP als das Luzernetrockenblatt (45.0 % dOM, 42.7 % dCP). Es wird vermutet, dass die in den Produkten enthaltenen Saponine, die hauptsächlich in den Blättern angereichert sind, maßgeblich die Futteraufnahme und Verdaulichkeit der Blattprodukte beeinflussen. Daneben beeinträchtigte die Qualität und Art der Konservierung der Futtermittel die Verdaulichkeit der Prüffuttermittel.

Schlüsselwörter: Luzerne, Rotklee, Blätter, Silage, scheinbare Verdaulichkeit, Saponine, wachsende Schweine

Introduction

Organic feeding is subject to the framework directives of the EU. In particular, the aim of completely dispensing with conventional feed components makes it difficult to ensure a protein and amino acid (AA) supply in line with requirements (BELLOF and ANDERSSON, 2008), additionally, supplementary roughage for pigs is demanded (COUNCIL REGULATION (EC) No 834/2007; REGULATION (EU) 2018/848 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL; COMMISSION REGULATION (EC) No 889/2008). Lucerne and red clover not only fulfil the requirement of regional roughage but also have potential for the protein and AA supply of pigs. This was shown by the feeding trials with lucerne silage in fattening pigs by WELTIN et al. (2014). An increase in the crude protein (CP) content with a reduction in the crude fibre (CF) content can be achieved by a very early cutting date of lucerne (WELTIN et al., 2014). SOMMER und SUNDRUM (2015) even proposed a separation of leaves and stem for green legumes to optimize this effect. This makes lucerne and red clover products appear interesting as protein and roughage sources in organic pig feeding. However, PLEGER et al. (2020; 2021) show in a digestion and fattening trial with broilers, which was also carried out as part of the "GRUENLEGUM" project (grant number 2815OE039), on the basis of analyses that lucerne products contain antinutritional saponins that can lead to acceptance problems and reduce digestion.

In the literature of the 1970s and 1980s, extensive data exists on the chemical composition and crude nutrient digestibilities in pigs of preserved lucerne and red clover differentiated for different stages of development. However, in recent years, despite varietal development and progress, little has been reported on the apparent in vivo digestibility of lucerne and red clover products for pigs. The study aimed to investigate the potential of red clover whole plant silage (RCS) and lucerne whole plant silage (LS) from early cuttings in comparison to lucerne leaf silage (LLS) and dried lucerne leaf (LL) by determining the crude nutrient digestibility for growing pigs.

Material and methods

The trial was performed between October and December 2018 at the trial station Zurnhausen of the University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf. The University Animal Welfare Committee, in accordance with the animal welfare legislation (ethics approval number ROB 55.2-2532.Vet_02-18-70) approved the study.

Feed production

In 2018 lucerne and red clover products were obtained for the digestive trial on two dates in early July and late September. For this purpose, the organically farmed fields near to Freising were planted.

In early July, the 3rd cutting of the lucerne variety “Plato” (BBCH 55 (HACK et al., 1992)) in the 2nd year of use was harvested using a prototype leaf harvester (Co. Trust’ing, Nantes, France). The harvest material was then ensiled freshly harvested and with molasses (approx. 2.5%, based on the fresh mass) as a silage aid using a baling press (LT Master, GÖWEIL Maschinenbau GmbH, Kirchsschlag bei Linz, Austria).

In addition, fresh lucerne leaves were dehydrated by hot air at a drying time of 2-5 min. and processed into cobs at a forage drying company (Futtertrocknung Lamerdingen eG, Lamerdingen, Germany). The drying temperature was between 200 and 600°C at the inlet and 100°C at the outlet of the drying drum.

The harvest of the 3rd cutting of the lucerne variety “Catera” (BBCH 60 (HACK et al., 1992)) in the 1st year of use was used for the production of whole plant silage of lucerne. For this purpose, the lucerne was chopped with a disc mower in early July 2018 and then immediately bedded. The following day, the dewy wilted crop was raked with a double rotary rake and harvested at noon with a self-propelled chopper (Claas Jaguar 900 Speedstar) with a minimum cutting length. Ensiling was also carried out with the bale press described above.

The final trial harvest took place at the end of September 2018. The red clover stand (1st year of use, 5th cut, variety “Taifun”, BBCH 51 (HACK et al., 1992)) was used for harvesting wilted whole plant silage. The harvesting process followed the same scheme as described in the previous section. The target dry matter (DM) content of 40% could not be fully achieved. Since the Göweil round baler was not immediately available, the harvest had to be temporarily stored in the field in separate silo stacks. It was not until a week later that the machine was available again and the re-ensiling could take place. The red clover whole plant silage could be pressed sufficiently despite the relatively low DM content.

The basal feed mixtures, which comprised of the respective supplements for the leaf material (lucerne) and the whole plant material (lucerne or red clover), consisted of 100% eco-compatible Commodities (Table 1) and were produced by the feedstuff company Meika Tierernährung GmbH (Großaitingen, Germany). These mixtures contained titanium dioxide (TiO₂) (0.35 % as fed basis) as an indigestible marker and were presented in a pelleted form. In combination with the legume products to be tested, the daily ration was tailored to the needs. The basal feed was designed isocaloric and isonitrogenous (Table 1).

Animals and housing

Twenty-four castrated piglets of a two-breed crossbred (Danish landrace x Duroc) were obtained from an organically managed pig farm with an average body weight (BW) of 31 kg. The pigs were randomly divided into pairs in pens during the adaptation to the different feedstuffs and held individually in metabolic cages (WOETHO GmbH, Teningen, Germany) throughout the collection periods. The pens (400 cm x 155 cm) consisted of a concrete floor in the feeding and dunging area, including two feeding troughs at the front of the pen, a roughage rack in the middle, and a water nipple in the dunging area. The metabolic cages (155cm x 75cm x 120cm) were located in the supply corridor of the animal facility. From an animal facility temperature of less than 15 °C, a thermostatically controlled oil burner was used to heat. The regulator was set at 18 °C.

At the pig farm, the piglets were already given an iron supplement and were treated for *Mycoplasmas* and *Lawsonia intracellularis*. After an acclimation period of seven days, the pigs were given an injection of ivermectin against endo- and ectoparasites subcutaneously.

The average BW of the pigs at the start of the experiment was 49.1 kg in batch 1, 49.0 kg in batch 2, and 63.5 kg in batch 3. Each batch included two groups of pigs in eight cages (four pigs of each group). All pigs were individually checked each day by the staff for diseases and injuries and all pens were mucked out daily. During the trial period, the pigs had no access to straw.

Dietary treatments and experimental design

The digestibility of the four test feeds, LL, LLS, LS, and RCS, was determined in a differential test according to the guidelines of the GFE (2005) with three runs (DG 1 - 3). Each experimental period lasted 20 to 24 days, including ten to 14 days of adaption in the pens and ten days in the metabolism cages, five days of which were acclimatisation to the cages, and five days of faecal collection (sampling period). Eight of the pigs were randomly selected for the first experimental period (DG 1 = 20 days) in which they received a control diet containing only the basal feed (C) (respective supplements for the leaf material; n = 4 pigs, and the whole plant material; n = 4 pigs). Another 16 pigs were submitted to a dietary treatment in which the basal

feed was mixed with either LLS (n = 4 pigs) or LS (n = 4 pigs) in a second experimental period (DG 2 = 24 days) and LL (n = 4 pigs) or RCS (n = 4 pigs) in a third experimental period (DG 3 = 22 days). They were fed restrictively twice a day every eight hours. The silage was portioned into rations per pig or pen and vacuum-packed in plastic bags. In the cages, the pigs were given an hour to eat the test feed at each meal. The remaining feed was weighed back if necessary. During the droppings collection period, each pig's faeces in the metabolism cage was weighed, mixed and frozen, one sample each morning at the same time. The digestive tests were carried out at a nutritional level of 2.5. The basal feed accounted for an average of 69 % of the amount of feed so that the silage or LL inclusion was on average 31 % on a DM basis. The test feed (except for the lucerne leaf cobs) was administered separately from the basal diet to be able to re-weigh it correctly if necessary. The daily feed rations corresponded to 1.35/1.34 kg (DG 1) and 1.07/1.08 kg (DG 2 + 3) of basic feed (respective supplements for the whole plant material/leaf material), combined with 0.45/0.43 kg of LS/LLS (DG 2) and 0.38/0.70 kg of RCS/LL (DG 3).

Analytical methods

Samples of the various basal diets were taken and pooled each time the feed rations were weighed. The faeces samples were freeze-dried, ground, and pooled for each pig and period before analysis. The test feedstuffs and diet samples were milled through a 1.0 mm sieve. The DM and crude nutrients, including sugar and starch, were analysed following COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009. All samples were ground through a 0.5 mm sieve to analyse AAs, minerals and TiO₂. The contents of AAs in the feedstuffs and diets were determined through HPLC according to COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009 concerning sample preparation by hydrolysis. The following derivatisation and chromatography were carried out according to COHEN and MICHAUD (1993). The adapted analysis method was recently published in detail by WITTEN et al. (2020). After microwave-assisted digestion and determination using atomic absorption spectroscopy, the feedstuffs and diets were additionally analysed for minerals but the phosphorus content was analysed photometrically according to COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009. The analysis of CP and AA in the faeces was carried out in accordance with COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009. The concentration of TiO₂ in the diets and faeces was determined photometrically after acid hydrolysis (BRANDT and ALLAM, 1987). No correction of the dry matter concentration for possible losses of volatile substances due to drying was carried out for the moist test feeds.

Calculations of nutrient utilisation

To estimate the nutrient utilisation, the apparent digestibility of organic matter (OM), CP, crude fat (CL), and CF was calculated. The apparent digestibility of the control diet and the treatment

diets was calculated using titanium dioxide as an indigestible marker as described by the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology (GFE, 2005):

$$DC_{T/C} (\%) = 100 - 100 * I_{T/C} / I_F * N_F / N_{T/C} \quad (1)$$

where $DC_{T/C}$ is the digestibility coefficient of the nutrient in the test diet or control diet (%) and $I_{T/C}$, I_F , $N_{T/C}$ and N_F are the concentrations of indicator and nutrient in test diet or control diet and faeces (g/kg).

The digestibility of the crude nutrients in the test ingredient was calculated by difference according to the following equation (GFE, 2005):

$$DC_{Ingr} (\%) = [DC_T (\%) - DC_C (\%) + (1 - a)] / a \quad (2)$$

where DC_T and DC_C are the digestibility of nutrients from the test diet and the control diet, determined according to (1). a is the proportion of each nutrient by the test ingredient to the test diet.

Statistical analysis

The statistical evaluation was carried out with the statistics program SAS 9.4 (2013) according to the procedure GLM (General linear model). The effect of test feeds (LL, LLS, LS, RCS) as fixed effect on all variables was analysed according to the following model:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Y_{ij} : Observed value;

μ : General constant;

α_i : Effects of i test feed, $i = LL, LLS, LS, RCS$;

E_{ij} : Associated error.

The calculated data were shown as the least square means (LS-means) with standard error (SE). Differences between groups were tested by the Tukey test. Significant differences were shown from an error probability of $p \leq 0.05$.

Results

The ingredients, the analysed nutritional composition and the energy value of the basal feed are given in Table 1. The basal feed corresponded to the calculated nutrient compositions, only the metabolisable energy (ME) content (calculated according to GFE (2006) based on the crude nutrient digestibility determined in the digestion test) was slightly lower and the lysine content higher than planned. Table 2 summarises the nutrient composition of the test feeds used in the experiment. The LLS had a lower DM and CF content, but a higher CP content than the LS. The dried lucerne leaves obtained from the same material had a lower CP than the two silages. The analysed nutrient composition of the RCS fell between the values of the two lucerne silages. The AA composition of the test feeds was different. The content of cysteine, methionine, and lysine in % CP of the two whole plant silages and the dried lucerne leaves were approximately at the same level. The content of these AAs in % CP of LLS was much lower than that of the other test feeds, especially the content of lysine. The sum of all analysed AAs in % CP of LLS was also clearly lower than that of the other test feeds, with RCS showing the highest content.

Due to the disdain of the test food and diarrhoea, three animals (one each from the feeding group with LL, LLS, and RCS) were not included in the evaluation. Otherwise, the experiment was free of disturbances.

The pigs fed the RCS diet consumed the highest proportion of silage with 26.3 % of the total DM intake, followed by LL-fed pigs with 24.0 %. The pigs fed with the LS diet used a higher proportion of silage than the pigs fed with the LLS diet, 23.2% compared to 20.3% of the total DM intake. All test feed groups increased over the period in the metabolism cage.

Statistical differences were found for the apparent digestibility of OM, CP, and CF (dOM, dCP, dCF) in the test feeds (Table 3). All test feeds differ significantly in the dOM. The OM was more digestible in RCS and LLS than in LS and LL. However, the dOM of the silages may be put into perspective by the lack of correction of the dry matter concentration for the possible losses of volatile substances due to drying. CP was significantly less digestible in LL than in RCS and also less digestible than in LLS and LS. No significant differences were found in LLS and LS. The CF was significantly less digestible in LL and LS than LLS and RCS. Despite large numerical differences, no statistically proven differences between the groups could be found in the digestibility of CL (dCL).

The ME of the test diets was calculated according to GFE (2006) based on the crude nutrient digestibility determined in the digestion test. The calculated ME content of the RCS was 10.32 MJ/kg DM, closely followed by the content of the LLS with 9.87 MJ/kg DM. LS and LL showed lower contents, with LL bringing up the rear (LS: 7.92 MJ/kg DM; LL: 6.62 MJ/kg DM). The

"digestible residue" required for the correct determination of the ME was calculated according to the derivation described in GFE (2008). This resulted in a "digestible residue" of 222 g/kg DM for LL, 298 g/kg DM for LLS, 325 g/kg DM for LS and 409 g/kg DM for RCS.

Discussion

Content of nutrients

The test feed RCS showed a very high CP content, well above the range reported for organically and conventionally produced red clover silage, whereas the CF content was lower (BAUMGÄRTEL, 2017; BAYAT et al., 2010; PRESTO ÅKERFELDT et al., 2019). The high quality of this silage was also confirmed by the lysine and methionine contents, which were higher than the values found in earlier studies by BEYER et al. (1977) for freshly harvested red clover in the bud. The CP, CF, methionine, and lysine contents of LS (Table 1) were comparable to those described in the literature (BAUMGÄRTEL, 2017; WÜSTHOLZ, 2017). The crude nutrient composition of LLS was almost identical to the lucerne leaf silage from RÜGHEIMER (1986), which was used for the animal feeding trials. The CP content corresponded to the high contents expected in the literature (RÜGHEIMER, 1986; SHINNERS et al., 2007; SIKORA et al., 2019). However, a higher CP content and a lower CF content were expected for the LL, because of the values found in the literature. Higher methionine and especially lysine contents were also reported (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; JENTSCH et al., 1991; PLEGER et al., 2020; RITTSER, 2016). HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM (2016) also found very heterogeneous CP contents of wilted material, dry material, and pellets from the same charge, with the lowest being that of pellets. Possible reasons for the large discrepancy could be storage and transport as well as process losses due to the slow process speed until further processing in the dry forage plant, high airspeeds as well as heavy abrasion during pressing. Loss of heat-labile AAs, especially lysine, could also have occurred due to the intensive heat exposure necessary for drying the water-rich starting material (HENK und LAUBE, 1969a).

The different total AA content of silages can be explained by processes before (especially wilting and chopping of the silage) and during ensiling (HOEDTKE et al., 2010). The processes of proteolysis and desmolysis that take place during this process lead to a loss of pure protein and thus to an increase in the easily soluble non-protein nitrogen fraction. The extent of protein degradation during wilting is greater in lucerne than in red clover (OWENS et al., 1999a; OWENS et al., 1999b). HOEDTKE et al. (2010) described that a reduction of protein degradation in silages can be achieved by external factors such as pH value, osmolality, or DM content and temperature during ensiling. MERCHEN and SATTER (1983) reported that wilting and ensiling had little effect on the total nitrogen content of lucerne but led to significant changes in the profile of nitrogenous compounds in the feed. However, losses of N-containing fractions with the silo leachate or gaseous losses in the form of NH₃ after opening the silo can also occur (HOEDTKE et al., 2010). SIKORA et al. (2019) compared lucerne leaf silage, stem silage, and whole plant silage. The leaf silages showed higher levels of protein degradation than stem and whole plant silages. In all silages, the available protein content decreased continuously during

ensiling. Although leaf silages experienced the largest decrease in available protein content over time, leaf silages had higher available protein contents than the whole plant and stem silages throughout the ensiling period.

Feed intake

Already CHEEKE (1983) pointed out the limited use of alfalfa meal especially by monogastrics due to the effects of saponins on feed intake. In the chicken fattening trial by PLEGER et al. (2020), a decrease in feed intake was observed with increasing proportions of LL. As a possible reason for this, they suspect antinutritional saponins on the basis of analyses of LL. Consequently, there could be an analogy between the experiments. The difference in feed intake could therefore also be due to the low palatability (bitterness) of lucerne (LEAMASTER and CHEEKE, 1979; CHEEKE, 1983), which is caused by secondary ingredients contained in lucerne, the so-called saponins. Red clover, on the other hand, also contains saponins (OLESZEK and JURZYSTA, 1986; OLESZEK and STOCHMAL, 2002) but these are less worrying than those of lucerne (CHEEKE, 1996). This would explain why RCS was best accepted. In the group fed with LL, one pig was removed from the experiment because it rejected the LL, therefore the proportion of LL eaten in the total feed was shifted. If this animal were to be included in the study, the proportion would be lower (about 18 %). According to this study, the LL was accepted the least, followed by the LLS and the LS. One reason for the lower uptake of lucerne leaf products compared with LS could be that antinutritional saponins (e.g. zanhic acid, medicagenic acid) are found mainly in the leaves (CHEEKE, 1983; PLEGER et al., 2020; SEN et al., 1998). The different feed intake of the two lucerne leaf products may be due to the different methods of preservation. SZUMACHER-STRABEL et al. (2019) observed in a study structural and quantitative changes of saponins during ensiling in ten lucerne varieties, showing significant degradation of three out of five detected zanhic acid glycosides including zanhic acid tridesmoside. Lower zanhic acid contents of the LS compared to the LL are also observed in the study by PLEGER et al. (2021). Similarly, the effects of saponins on the passage rate of ingesta (CHEEKE, 1983) as well as high ammonia and butyric acid levels in silages, effects of clostridial fermentation, could reduce feed intake (PITT, 1990). Overall, the silage intake corresponded to the values reported by WÜSTHOLZ (2017) in the initial fattening period.

Digestibility

In addition to the nutrients contained in the test feeds, digestibility is also decisive for their feed value in pigs. In the literature, the results of various in vivo digestion experiments in pigs with clover grass silage or clover-rich grass silage and lucerne products were described. In the studies of ROTH und REENTS (2001) as well as BELLOF et al. (1998) the dOM of clover grass silage or clover-rich grass silage was below the value for the dOM of RCS from our investigations. While the results for the dOM of the LL and LS of our investigations were in the upper

range of the values reported from the literature (BERGER, 2012; RÜGHEIMER, 1986; WELTIN et al., 2014), the LL was clearly below the values determined by JENTSCH et al. (1991). The dCP of RCS was approximately comparable to the digestibility determined by COLUMBUS und ZAUSCH (1967) for fresh red clover at the beginning of the flowering as well as by BELLOF et al. (1998) for clover grass silage and by BEYER et al. (1977) for red clover cut in the bud and wilted red clover silage of the 1st cut before bloom. ROTH und REENTS (2001) and URDL et al. (2009) reported lower values for clover grass silage and BEYER et al. (1977) also showed lower values for the first and further cuts of wilted red clover silage, the crop of which was harvested at the beginning of bloom. The dCP determined for LLS and LS was at the same level. These values were higher than the dCP determined in vivo by WELTIN et al. (2014) as well as the values determined by BERGER (2012) for the chopped lucerne silage. However, the dCP of the extruded lucerne silage of BERGER (2012) and the LLS of RÜGHEIMER (1986) was higher than the values determined by our studies. BEYER et al. (1977) also gave dCP of 75% for lucerne cut before budding. At an advanced stage of ripening, this only showed values of 63 - 69% as well as, for LS of the 1st cut before bloom values of 68% and higher cuts at the beginning of flowering only 62 %, which were more comparable with the data from our tests. For dried lucerne, BEYER et al. (1977) and JENTSCH et al. (1991) showed higher values than those for the LL of our investigations. While the dCL of the clover products determined by BELLOF et al. (1998) and BEYER et al. (1977) was significantly higher, the dCL of the clover grass silages considered by ROTH und REENTS (2001) was comparable to that of our studies. The dCL of LL established by JENTSCH et al. (1991) was lower, the values determined by BEYER et al. (1977) for lucerne meal were higher than the value of our investigations. BEYER et al. (1977) found a digestibility of 46% for lucerne and 43-44% for LS of the 3rd cut at the beginning of bloom, which corresponded to that of the LLS and LS of our investigations and to that of COLUMBUS und ZAUSCH (1967) for the lucerne cut in the bud. However, BEYER et al. (1977) showed higher results for earlier ripening stages of lucerne, as did WELTIN et al. (2014) and BERGER (2012). The dCF of RCS was higher than the values reported in the literature by BELLOF et al. (1998), ROTH und REENTS (2001) and BEYER et al. (1977), whereas the digestibility of LL was lower than that of LL considered by JENTSCH et al. (1991). However, BEYER et al. (1977) showed similar digestibility for lucerne meal in bud and at the beginning of bloom, but an even higher digestibility for dried alfalfa before bud. The dCF of the LLS corresponded to the values described by JENTSCH et al. (1991) for fresh lucerne leaf and was in the range described by RÜGHEIMER (1986) for LLS. The CF of LS was less digestible than that of LLS and on a par with LL. It was approximately comparable to the dCF of the extruded silage from BERGER (2012). BEYER et al. (1977) reported a dCF of LS of 40 to 45 %, for unpreserved alfalfa of the 3rd cut (in bloom) 35 %, which agrees with the own investigations.

The pre-treatment of feed, such as hot-air drying, can impair the digestibility of crude nutrients (HENK und LAUBE, 1968; PRYM und WEISSBACH, 1985). Strong heating during drying may lead to the Maillard reaction in the crop, which reduces the digestibility of AAs for pigs (GONZÁLEZ-VEGA et al., 2011). In this process, a reducing sugar first condenses with free amino groups of AAs, especially lysine (MARTINS et al., 2001). Also, intermediates of the Maillard reaction may undergo subsequent reactions. One of the most important reactions is Strecker degradation, which leads to an irreversible breakdown of AAs and is often accompanied by an undesired discolouration due to the onset of melanoidin formation (ANGRICK und REWICKI, 1980). The high temperatures during hot-air drying of lucerne leaves may have led to such reactions, which would explain the low digestibility. However, the LL did not discolour. Pelleting probably had little or no effect on digestibility, as can be seen in the studies by HENK und LAUBE (1969b). However, HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM (2016) showed that the content of in vitro pre-caecal digestible CP in pellets was lower than in dry and wilted material of the same batch.

The digestibility results as well as comparisons with the literature confirm that the feed value correlates significantly with the CF content in terms of digestibility (ROTH und REENTS, 2001). With increasing CF content the digestibility of OM decreases. This is due to the increasing proportion of cell wall substances and their stronger lignification. CHEN et al. (2014) showed that the nutrient total tract digestibility in fattening pigs decreases linearly with an increase in lucerne fibre. The dCP is also negatively influenced by increasing CF contents in the ration, presumably due to a worsened enzymatic cleavage, accelerated intestinal passage and fixation of feed nitrogen by increasingly formed intestinal bacteria (KIRCHGEßNER et al., 2011: 98–104).

In addition to the CF content, protein concentration and a balanced AA pattern can also influence the dCP of pigs. A reduction of CP concentration in the diet from 16% to 12% reduced the dCP of growing pigs (KERR and EASTER, 1995). In contrast, a balanced AA pattern in a diet with low CP concentration improved the N-Retention (KERR and EASTER, 1995). These findings could explain the similar protein digestibility of the two lucerne silages despite different CP contents since the proportion of AA in the CP content was higher in the LS than in the LLS while the CP content was lower. RCS also showed high CP digestibility with a lower CP content than LLS. This silage showed a very high proportion of AA in the CP content.

Antinutritional ingredients such as protease inhibitors, tannins, saponins and lectins can also influence protein utilisation and impair digestion (MAKKAR, 1993). Saponins can irritate the membranes of the mouth and digestive tract. This can affect the absorption of nutrients. Saponins interact with the mucosal cell membranes, causing permeability changes or the loss of activity of membrane-bound enzymes, which may affect the digestion of nutrients (OLESZEK et al., 1994). The influence of lucerne saponins on the transmural potential difference in the small

intestine of mammals was highest of all plant glycosides tested (GEE et al., 1989), with zanhic acid tridesmoside showing the highest rates of potential difference decrease (OLESZEK et al., 1994). PLEGER et al. (2021) demonstrated lower pc digestibility values of LL compared to LS, analogous to our investigations, whereby they assume the reason to be the higher contents of zanhic acid glycosides in LL than in LS. Saponins impair protein digestibility (FRANCIS et al., 2002). POTTER et al. (1993) suspected that the reduction of protein digestibility by saponins was caused by the creation of difficult to digest saponin-protein complexes.

Not only nutritional factors can influence digestibility but also animal factors such as breed and age/BW (LI, 2013). The total tract digestibility of energy or nutrients is higher ($P < 0.01$) in adult sows than in growing pigs (LE GOFF and NOBLET, 2001). Within a weight of 60 to 65 kg BW, the digestible energy content is representative of the entire growing-finishing period. Likewise, STEIN and NYACHOTI (2003) and EVERTS et al. (1986) suggest that for BW greater than 60 to 70 kg digestibility is not affected by age, BW and physiological condition. ROTH und KIRCHGESSNER (1984), however, recommend digestion experiments for the fattening range with a BW of 50 to 60 kg. JØRGENSEN et al. (2007) also found that digestibility was only slightly influenced by age when large amounts of soluble dietary fibre were fed, whereas diets with high levels of insoluble fibre resulted in the highest digestibility of dietary fibre in sows compared to growing pigs. GFE (2005) described that digestibility in the range of 30 to 90 kg is largely unaffected by BW if the adaptation period of high-fibre feed is sufficiently long. A period of up to 3 weeks is recommended for feeds rich in fermentable carbohydrates. The weight of the pigs from our studies differed in the last two rounds (49 kg to 62/63 kg). Therefore, a different influence may have taken place.

GFE (2005) recommended that at least 4 replicates should be used for test feeds which are the only energy-containing part of the ration. If the test feed was less than half the ration, the number of replicates should be 6. This recommendation could not be fulfilled due to the requirements of the university animal welfare committee in accordance with animal welfare legislation. Besides, digestibility values obtained by differential calculations are very susceptible, even for small errors in the data set, when low inclusion levels are used. This was also recognized earlier in studies on estimating the digestibility of feed components by difference calculation (HØØK PRESTO et al., 2011; IVARSSON et al., 2012). URDL et al. (2009) also pointed to the occurrence of uncertainties in the determination of digestion quotients by the difference method and therefore made use of the method proposed by RUTZMOSER et al. (2007) for calculating digestibility.

The ME content of RCS was higher than the values found in the literature for clover grass silage and red clover whole plant (BELLOF et al., 1998; HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; ROTH und REENTS, 2001). The ME content of LS was comparable to that described by

HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM (2016) for lucerne whole plant. The ME content of LLS almost reached or even exceeded the values reported in the literature for fresh lucerne leaf (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016; JENTSCH et al., 1991), while the ME content of LL was significantly lower than the values reported by JENTSCH et al. (1991) for dried lucerne leaves.

Conclusions

The whole plant silages from lucerne and red clover as well as the lucerne leaf silage showed a higher digestibility for organic matter and crude protein than the dried lucerne leaves. It was assumed that the different accumulation of certain anti-nutritional saponins, especially in the leaves, due to the different preservation methods was a contributing factor. The quality of feed in terms of crude protein content, amino acid content and crude fibre content also plays a decisive role. In this context, attention must also be paid to proper preservation. The influence of the crude fibre content on digestibility and the higher crude protein content in young material implies the use of lucerne at an early stage of vegetation. Further research on lucerne saponins is necessary to be able to use lucerne as a protein feed for pigs in a targeted manner. Due to the many influencing factors, a forage analysis of crop growth is important for the practical use of legumes to ensure that the animals receive the nutrients they need.

Acknowledgments

This study was funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) on the basis of a decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany on the Federal Office for Agriculture and Food (BLE; grant number 2815OE039). The authors would like to thank the technical staff of the participating laboratories for their excellent support.

References

- ANGRICK, M. und D. REWICKI (1980): Die Maillard-Reaktion. *Chemie in unserer Zeit* **14**, 149–157.
- BAUMGÄRTEL, T. (2017): Rohnährstoffgehalte 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.
- BAYAT, A. R., M. RINNE, K. KUOPPALA, S. AHVENJÄRVI, A. VANHATALO and P. HUHTANEN (2010): Ruminant large and small particle kinetics in dairy cows fed red clover and grass silages harvested at two stages of growth. *Animal Feed Science and Technology* **155**, 86–98.
- BELLOF, G. und R. ANDERSSON (2008): Geflügelernährung in der ökologischen Landwirtschaft. Tierernährung im Öko-Landbau-Fütterungspraxis. *Ökologie & Landbau* **146**, 28–30.
- BELLOF, G., C. GAUL, K. FISCHER und H. LINDERMAYER (1998): Der Einsatz von Grassilage in der Schweinemast. *Züchtungskunde* **70**, 372–388.
- BERGER, U. (2012): Kleegrassilage aus spezieller Nutzung in der ökologischen Schweinefütterung. Masterarbeit, Studiengang Agrarmanagement, Technische Universität München, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.
- BEYER, M., A. CHUDY, B. HOFFMANN, L. HOFFMANN, W. JENTSCH, W. LAUBE, K. NEHRING und R. SCHIEMANN (1977): Das DDR-Futterbewertungssystem, Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs für Fütterung und Futterplanung mit einer Anleitung zu ihrem Gebrauch, 4. Aufl. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- BRANDT, M. und S. M. ALLAM (1987): Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldhalaufschluß. *Archives of Animal Nutrition* **37**, 453–454.
- CHEEKE, P. R. (1983): Biological properties and nutritional significance of legume saponins. TELEK L. und H. D. GRAHAM (Eds.), *Leaf Protein Concentrates*. Avi Publishing Company Inc., 396–414.
- CHEEKE, P. R. (1996): Biological effects of feed and forage saponins and their impacts on animal production. WALLER, G. R. und Y. YAMASAKI (Eds.), *Saponins used in food and agriculture*. Plenum Press, 377–385.
- CHEN, L., L. X. GAO and H. F. ZHANG (2014): Effect of Graded Levels of Fiber from Alfalfa Meal on Nutrient Digestibility and Flow of Fattening Pigs. *Journal of Integrative Agriculture* **13**, 1746–1752.

- COHEN, S. A. and D. P. MICHAUD (1993): Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid chromatography. *Analytical biochemistry* **211**, 279–287.
- COLUMBUS, A. und M. ZAUSCH (1967): Verdaulichkeit und biologische Eiweißwertigkeit verschiedener Sorten Luzerne, Rotklee und Grünerbsen bei Schweinen. *Archives of Animal Nutrition* **17**, 555–576.
- 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-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0152&from=EN>.
- COMMISSION REGULATION (EC) NO 889/2008: of 5 September 2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic Production, labelling and control. *Official Journal of the European Union*, L 250, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R0889&from=EN>.
- COUNCIL REGULATION (EC) NO 834/2007: of 28 June 2007 on organic production and labelling of organic products and repealing Regulation (EEC) No 2092/91. *Official Journal of the European Union*, L 189, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0834&from=EN>.
- EVERTS, H., B. SMITS und A. W. JONGBLOED (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.
- FRANCIS, G., Z. KEREM, H. P. S. MAKKAR and K. BECKER (2002): The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition* **88**, 587–605.
- GEE, J. M., K. R. PRICE, C. L. RIDOUT, I. T. JOHNSON and G. R. FENWICK (1989): Effects of some purified saponins on transmural potential difference in mammalian small intestine. *Toxicology in Vitro* **3**, 85–90.
- GFE (2005): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. 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.

- GFE (2008): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Prediction of Metabolisable Energy of compound feeds for pigs. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, 199–204
- GONZÁLEZ-VEGA, J. C., B. G. KIM, J. K. HTOO, A. LEMME and H. H. STEIN (2011): Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. *Journal of animal science* **89**, 3617–3625.
- HACK, H., H. BLEIHOLDER, L. BUHR, U. MEIER, U. SCHNOCK-FRICKE, E. WEBER und A. WITZENBERGER (1992): Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. – Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd* **44**, 265–270.
- HENK, G. und W. LAUBE (1968): Untersuchungen zur Heißlufttrocknung von Grünfutter. *Archiv für Tierernährung* **18**, 437–448.
- HENK, G. und W. LAUBE (1969a): Untersuchungen zur Heißlufttrocknung. *Archiv für Tierernährung* **19**, 289–298.
- HENK, G. und W. LAUBE (1969b): Untersuchungen zur Heißlufttrocknung von Grünfutter. *Archiv für Tierernährung* **19**, 385–394.
- HOEDTKE, S., M. GABEL und A. ZEYNER (2010): Der Proteinabbau im Futter während der Silierung und Veränderungen in der Zusammensetzung der Rohproteinfraktion. *Übersichten zur Tierernährung* **38**, 157–179.
- HOISCHEN-TAUBNER, S. und A. SUNDRUM (2016): Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne und Perserklee. *Schlussbericht BÖLN-Projekt, FKZ 110E055*.
- HØØK PRESTO, M., K. LYBERG and J. E. LINDBERG (2011): Digestibility of amino acids in organically cultivated white-flowering faba bean and cake from cold-pressed rapeseed, linseed and hemp seed in growing pigs. *Archives of Animal Nutrition* **65**, 21–33.
- IVARSSON, E., R. ANDERSSON and J. E. LINDBERG (2012): Digestibility of fibre sources and molecular weight distribution of fibre fractions in ileal digesta of growing pigs. *Archives of Animal Nutrition* **66**, 445–457.
- JENTSCH, W., R. SCHIEMANN und W. WIESEMÜLLER (1991): Zur energetischen Verwertung von Luzerneblatt durch adulte Schweine. *Archiv für Tierernährung* **41**, 237–244.
- JØRGENSEN, H., A. SERENA, M. S. HEDEMANN and K. E. BACH KNUDSEN (2007): The fermentative capacity of growing pigs and adult sows fed diets with contrasting type and level of dietary fibre. *Livestock Science* **109**, 111–114.

- KERR, B. J. and R. A. EASTER (1995): Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *Journal of animal science* **73**, 3000–3008.
- KIRCHGEßNER, M., F. X. ROTH, F. J. SCHWARZ und G. I. STANGL (2011): *Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis*, 13. Aufl. DLG-Verlag.
- LE GOFF, G. and J. NOBLET (2001): Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Journal of animal science* **79**, 2418–2427.
- LEAMASTER, B. R. and P. R. CHEEKE (1979): Feed preferences of swine: Alfalfa meal, high and low saponin alfalfa, and quinine sulfate. *Canadian Journal of Animal Science* **59**, 467–469.
- LI, Y. (2013): Evaluation of Collection Method and Diet Effects on Apparent Digestibility and Energy Values of Swine Diets. M.S. thesis, University of Nebraska.
- MAKKAR, H. P.S. (1993): Antinutritional factors in foods for livestock. *BSAP Occasional Publication* **16**, 69–85.
- MARTINS, S. I.F.S., W. M.F. JONGEN and M. A.J.S. VAN BOEKEL (2001): A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology* **11**, 364–373.
- MERCHEN, N. R. and L. D. SATTER (1983): Changes in nitrogenous compounds and sites of digestion of alfalfa harvested at different moisture contents. *Journal of Dairy Science* **66**, 789–801.
- OLESZEK, W. and M. JURZYSTA (1986): Isolation, chemical characterization and biological activity of red clover (*Trifolium pratense* L.) root saponins. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* **55**, 247–252.
- OLESZEK, W., J. NOWACKA, J. M. GEE, G. M. WORTLEY and I. T. JOHNSON (1994): Effects of some purified alfalfa (*Medicago sativa*) saponins on transmural potential difference in mammalian small intestine. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **65**, 35–39.
- OLESZEK, W. and STOCHMAL A. (2002): Triterpene saponins and flavonoids in the seeds of *Trifolium* species. *Phytochemistry* **61**, 165–170.
- OWENS, V. N., K. A. ALBRECHT and R. E. MUCK (1999a): Protein degradation and ensiling characteristics of red clover and alfalfa wilted under varying levels of shade. *Canadian Journal of Plant Science* **79**, 209–222.
- OWENS, V. N., K. A. ALBRECHT, R. E. MUCK and S. H. DUKE (1999b): Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Science* **39**, 1873–1880.

- PITT, R. E. (1990): Silage and Hay Preservation. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service **5**.
- PLEGER, L., P. N. WEINDL, P. A. WEINDL, L. S. CARRASCO, C. LEITAO, M. ZHAO, K. AULRICH and G. BELLOF (2021): Precaecal digestibility of crude protein and amino acids from alfalfa (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) leaves and silages in broilers. *Animal Feed Science and Technology* **275**, 114856.
- PLEGER, L., P. N. WEINDL, P. A. WEINDL, L. S. CARRASCO, C. LEITAO, M. ZHAO, B. SCHADE, K. AULRICH and G. BELLOF (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**, 1317–1332.
- POTTER, S. M., R. JIMENEZ-FLORES, J. POLLACK, T. A. LONE and M. D. BERBER-JIMENEZ (1993): Protein-saponin interaction and its influence on blood lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **41**, 1287–1291.
- PRESTO ÅKERFELDT, M., J. NIHLSTRAND, M. NEIL, N. LUNDEHEIM, H. K. ANDERSSON and A. WALLENBECK (2019): Chicory and red clover silage in diets to finishing pigs—influence on performance, time budgets and social interactions. *Organic Agriculture* **9**, 127–138.
- PRYM, R. und F. WEISSBACH (1985): Analytische Möglichkeiten zur Kennzeichnung des Rückganges der Proteinverdaulichkeit bei der Heißlufttrocknung von Grünfütter. *Archives of Animal Nutrition* **35**, 515–526.
- 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>.
- RITTESER, C. (2016): Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energie- und Proteinfuttermittel für die Bio-Hühnermast. Dissertation, Universität Hohenheim.
- ROTH, F. X. und M. KIRCHGESSNER (1984): Verdaulichkeit der Energie und Roh Nährstoffe beim Schwein in Abhängigkeit von Fütterungsniveau und Lebendgewicht. *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde* **51**, 79–87.
- ROTH, F. X. und H. J. REENTS (2001): Futterwert von frischem und siliertem Klee gras aus ökologischem Anbau für Mastschweine. Beitrag zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 461–464.
- RÜGHEIMER, R. (1986): Herstellung von Luzerneblattkonservaten und deren Einsatz in der Schweinefütterung. Dissertation, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.

- RUTZMOSE, K., A. OBERMAIER, M. URDL und L. GRUBER (2007): Ein Verfahren zur Auswertung von Verdauungsversuchen mit Beifutter am Beispiel von Getreidetrockenschlempe. VDLUFA-Schriftenreihe. Kongressband **2007**, 565–571.
- SEN, S., H. P. S. MAKKAR and K. BECKER (1998): Alfalfa saponins and their implication in animal nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **46**, 131–140.
- SHINNERS, K. J., M. E. HERZMANN, B. N. BINVERSIE and M. F. DIGMAN (2007): Harvest fractionation of alfalfa. *Transactions of the ASABE* **50**, 713–718.
- SIKORA, M. C., R. D. HATFIELD and K. F. KALSCHUR (2019): Fermentation and chemical composition of high-moisture lucerne leaf and stem silages harvested at different stages of development using a leaf stripper. *Grass and Forage Science* **74**, 254–263.
- SOMMER, H. und A. SUNDRUM (2015): Ganzpflanze und Blattmasse verschiedener Grünleguminosen als Eiweißquelle in der Schweinefütterung. Häring, A. M., B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape, & G. Trei (Eds.), *Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Eberswalde, 17.-20. März 2015. Verlag Dr. Köster, 350–353.
- STEIN, H. H. and M. NYACHOTI (2003): Animal effects on ileal amino acid digestibility. R. O. Ball (Ed.), *Proc. 9th Intl. Symp. Digest. Phys. in Pigs* **1**, 223–241.
- SZUMACHER-STRABEL, M., A. STOCHMAL, A. CIESLAK, M. KOZŁOWSKA, D. KUZNICKI, M. KOWALCZYK and W. OLESZEK (2019): Structural and quantitative changes of saponins in fresh alfalfa compared to alfalfa silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **99**, 2243–2250.
- URDL, M., L. GRUBER, A. SCHAUER, E. ZENTNER, I. MÖSENBACHER-MOLTERER, G. HUBER, W. WENZL und B. STEINER (2009): Bestimmung der Eiweißverdaulichkeit von Kleesilage und Luzernegrünmehl durch Mastschweine. Abschlussbericht Kleeschwein, Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 3546, Lehr- und Forschungszentrum Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein.
- 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.
- WITTEN, S., H. BÖHM and K. AULRICH (2020): Effect of variety and environment on the contents of crude nutrients and amino acids in organically produced cereal and legume grains. *Organic Agriculture* **10**, 199–219.

WÜSTHOLZ, J. K. (2017): Silage von jung genutzter Luzerne (*Medicago sativa*) als heimisches Proteinfutter in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. Dissertation, Universität Kassel.

Table 1: Composition, analysed ingredients and calculated ME contents of the supplemental feed mixtures (LLP¹, WPS²) used in the digestion trials

Tabelle 1: Zusammensetzung, analysierte Inhaltsstoffe und kalkulierte ME-Gehalte der in den Verdauungsversuchen eingesetzten Ergänzungsfuttermischungen (LLP, WPS)

Feedstuff		Basal feed LLP	Basal feed WPS
Soybean cake	g/kg	110	110
Sunflower cake	g/kg	80	105
Peas	g/kg	123	135
Triticale	g/kg	177	160
Barley	g/kg	240	180
Corn	g/kg	165	200
Soybean oil	g/kg	30	35
Wheat bran	g/kg	17	17
Molasses (Sugar beet)	g/kg	25	25
Premix ³	g/kg	30	30
Titanium dioxide	g/kg	3.5	3.5
Analysed nutritional composition			
Dry matter	g/kg	900	891
Crude ash	g/kg DM	66	64
Crude protein	g/kg DM	187	185
Crude fat	g/kg DM	67	61
Crude fibre	g/kg DM	50	50
Starch	g/kg DM	466	471
Sugar	g/kg DM	53	55
Methionine	g/kg DM	2.9	3.0
Lysine	g/kg DM	9.3	9.8
Cystine	g/kg DM	3.3	3.3
Threonine	g/kg DM	7.0	7.1
Tryptophan	g/kg DM	2.0	2.2
Valine	g/kg DM	8.9	8.8
ME	MJ/kg DM	14.38	15.04

ME: metabolizable energy (calculated according to GFE (2006) based on the crude nutrient digestibility determined in the digestion test)

¹basal feed of lucerne leaf products

²basal feed of the whole plant silage

³The premix mixture provided the following per kilogram: Ca, 265 g; P, 50g; Na, 50 g; Mg, 10 g; HCl insoluble ash, 44 g; vitamin A, 250000 IU; vitamin D3, 75000 IU; vitamin E, 2500 mg; vitamin B1, 75 mg; vitamin B6, 100 mg; vitamin B12, 1000 mcg; vitamin K3, 50 mg; folic acid, 20 mg; calcium-D-pantothenate, 300 mg; nicotinic acid, 600 mg; biotin, 2500 mcg; choline chloride, 7500 mg; Fe, 5000 mg; Cu, 400 mg; Zn, 3000 mg; Mn, 3500 mg; J, 100 mg; Se, 15 mg.

Table 2: Analysed nutritional composition (g/kg DM) in the test feedstuffs dried lucerne leaf (LL), lucerne leaf silage (LLS), lucerne silage (LS) and red clover silage (RCS)

Tabelle 2: Analysierte Nähr- und Inhaltsstoffgehalte (g/kg TM) der Prüffuttermittel Luzerne-Trockenblatt (LL), Luzerne-Blattsilage (LLS), Luzerne-Silage (LS) und Rotklee-Silage (RCS)

Item	LL	LLS	LS	RCS
Dry matter	914	213	443	293
Crude ash	121	116	122	124
Crude protein	198	295	213	263
Crude fat	25	47	26	34
Crude fibre	218	133	236	178
Starch	32	67	15	12
Sugar	50	n. d. ¹	n. d.	n. d.
Lysine	9.4	5.7	12.7	15.1
Methionine	2.9	2.9	3.4	4.0
Cystine	1.8	1.4	1.9	2.1
Threonine	8.6	4.7	10.1	12.6
Tryptophan	3.2	3.0	2.4	3.8
Leucine	14.2	13.5	16.8	21.6
Isoleucine	7.8	7.5	9.7	11.3
Valine	10.3	9.7	12.7	15.4
Arginine	8.8	3.6	4.1	11.2
Histidine	3.9	2.1	4.2	5.7
Phenylalanine	9.5	8.9	11.1	13.9
Tyrosine	5.9	3.0	4.9	8.0
Alanine	10.6	15.3	12.3	15.2
Glycine	9.5	8.7	10.4	13.9
Serine	8.2	3.9	8.7	11.8
Proline	14.0	6.1	14.4	25.1
Aspartic acid	22.0	9.5	21.5	30.5
Glutamic acid	19.5	11.5	17.3	25.2
Calcium	17.3	16.4	18.4	15.5
Phosphorus	3.6	3.8	4.0	3.4
Sodium	0.2	0.6	0.1	0.1
Magnesium	3.8	4.0	2.7	4.9
Potassium	32.2	40.0	34.0	34.9

¹ n.d, not detected

y (%) of the crude nutrients from dried lucerne leaf (LL), lucerne leaf silage (LLS), alfalfa silage (LS) and red clover (RCS) (LS-means, standard error (SE))

Verdaulichkeit (%) der Rohnährstoffe aus Luzerne-Trockenblatt (LL), Luzerne-Blattsilage (LLS), Luzerne-Silage (LS) und Rotklee (RCS) für aufzunehmenden Schweinen (LS-Mittelwerte, Standardfehler (SE))

				Test feed				
LLS	LS	RCS	p	LL	LLS	LS	RCS	p
79.7 ^{ab}	78.6 ^{ab}	81.6 ^a	< 0.0001	45.0 ^d	63.0 ^a	53.6 ^c	69.9 ^b	< 0.0001
1.91	1.65	1.91		1.91	1.91	1.65	1.91	
73.7 ^a	75.0 ^a	77.3 ^a	< 0.0001	42.7 ^c	58.0 ^b	56.3 ^b	69.3 ^a	< 0.0001
2.70	2.34	2.70		2.70	2.70	2.34	2.70	
67.0 ^a	68.3 ^a	64.5 ^a	< 0.0001	27.1 ^a	45.0 ^a	41.1 ^a	27.5 ^a	< 0.0001
6.58	5.70	6.58		6.58	6.58	5.70	6.58	
51.7 ^a	40.7 ^b	58.6 ^a	< 0.0001	35.1 ^b	65.5 ^a	34.4 ^b	65.9 ^a	< 0.0001
3.56	3.08	3.56		3.56	3.56	3.08	3.56	

Superscript letters indicate significant differences (p < 0.05)

3.2 Leistungsversuch: Effekte verschiedener Luzerneprodukte (*Medicago sativa*) auf die Mast- und Schlachtleistung ökologischer Mastschweine

Das folgende Manuskript „Growth performance and carcass traits of growing pigs consuming different alfalfa (*Medicago sativa*) products in organic farming systems” wurde am 25. März 2022 im Journal „Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Sciences” eingereicht.

The following manuscript "Growth performance and carcass traits of growing pigs consuming different alfalfa (*Medicago sativa*) products in organic farming systems" has been submitted for revision in the Journal "Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Sciences" on March 25th, 2022.

Growth performance and carcass traits of growing pigs consuming different alfalfa (*Medicago sativa*) products in organic farming systems

Diana Messinger^a, Peter Andreas Weindl^a, Karen Aulrich^b, Lydia Pleger^a, & Gerhard Bellof^{a*}

^a*University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Faculty of Sustainable Agriculture and Energy Systems, Am Staudengarten 1, 85354 Freising, Germany*

^b*Johann Heinrich von Thünen-Institute, Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany*

**Corresponding author:*

Prof. Dr. Gerhard Bellof, University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Faculty of Sustainable Agriculture and Energy Systems, Am Staudengarten 1, D-85354 Freising, Germany; Tel: +49-8161-716482; Fax: +49-8161-716482; E-mail: gerhard.bellof@hswt.de

Submitted to Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Sciences in March 2022.

Growth performance and carcass traits of growing pigs consuming different alfalfa (*Medicago sativa*) products in organic farming systems

Abstract

In a feeding trial, the effects of dried alfalfa leaf (AL) and alfalfa silage (AS) on growth performance and carcass traits were investigated. 20 Danish Landrace x Duroc (DLD) pigs were fed complete feed mixtures, of which 10 received proportions of AL (up to 20 %). Another 20 DLD received AS and a supplementary feed, of which 10 received a proportion of AL of up to 15 % of the ration. Only in the finishing phase were the planned proportions of AS in the total daily DM ration consumed. Average daily weight gains ($P < 0.001$) as well as meat area ($P = 0.040$) and muscle thickness ($P < 0.001$) of the complete feed groups were significantly higher than those of the silage groups. The composition of intramuscular fat and back fat of the animals in the alfalfa groups was shifted in favour of omega-3 fatty acids. The use of 20 % AL in the complete feed seems to be feasible.

Keywords

Alfalfa, leaves, silage, saponins, organic farming, pig feeding

Introduction

Organically managed farms are subject to the framework guidelines of both the EU and the respective farming associations. Accordingly, special requirements are also placed on feeding. In particular, the renunciation of conventionally produced feed and the use of regionally produced feed (COMMISSION REGULATION (EC) NO 889/2008; COUNCIL REGULATION (EC) NO 834/2007) represents a challenge. Above all, the supply of proteins and amino acids to monogastric animals in line with their needs is made more difficult as a result (BELLOF and ANDERSSON, 2008). SCHUMACHER et al. (2011) indicated particularly the insufficient availability of high-quality protein feeds, the resulting inadequate coverage of requirements with essential amino acids, and the resulting problems with animal health (tail biting, aggressiveness, growth depression) as possible weak points from the point of view of farmers, feed manufacturers, and experts from science and consulting. With classic grain legumes, the supply of essential amino acids can only be marginally guaranteed for quality and quantity reasons (SCHUMACHER et al., 2011). In addition, fresh, dried or ensiled roughage must be added to the pigs' daily ration (COMMISSION REGULATION (EC) NO 889/2008; COUNCIL REGULATION (EC) NO 834/2007; REGULATION (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council). The forage legume alfalfa is used in organic crop rotation due to its ability to fix atmospheric nitrogen. Alfalfa not only fulfils the requirement for the use of regional roughage but also shows high potential as a high-quality protein feed in organic pig feeding. Pre-bud to in-bud alfalfa has high crude protein (XP), as well as lysine and methionine contents comparable to soy protein contents on a 100 g XP basis while maintaining low crude fibre (XF) content (WELTIN et al., 2014). SOMMER and SUNDRUM (2015) even suggest a separation of leaf mass and stem for green legumes to specifically exploit the higher concentration of protein and amino acids with reduced XF content in the leaf. To use alfalfa year-round, preservation is required. Here, hot air drying or ensiling can be considered. The feeding trials with alfalfa silage in fattening pigs conducted by WÜSTHOLZ et al. (2017) show that alfalfa silage from special use can represent considerable potential for feeding fattening pigs in an eco-compliant manner. However, the potential could not be fully realised due to a worm infestation. MESSINGER et al. (2019) state that an alfalfa leaf percentage of up to 15 % of the total ration in initial fattening is possible. However, PLEGER et al. (2020) point out that even a 5 % alfalfa leaf content in broiler diets can have negative effects on chicken performance due to anti-nutritive saponins and carcass colour due to carotenoids. The hypothesis was that the use of alfalfa products in organic pig feeding ensures a supply of proteins and amino acids in line with requirements, due to the high protein content, while complying with the framework guidelines of the EU Regulation on organic production, and thus leads to growth and carcass performance comparable to conventionally fed pigs. The proposed research project will thus investigate the effect of dried alfalfa leaf, alfalfa silage, and

the combination of both alfalfa products as a protein and roughage source on growth performance, carcass traits and pork quality in growing-finishing pigs.

Material and methods

Dried alfalfa leaf and alfalfa silage production

Dried alfalfa leaves

North of Munich in the community of Eching (OT Dietersheim) a conversion area in the 2nd year of use was planted with the alfalfa variety "Paola". It was used in the vegetation stage BBCH 51 (HACK et al., 1992) with an average growth height of 45 cm. Harvesting took place on two dates at the beginning of August 2019 using a leaf harvester (Co. Trust'ing, Nantes, France). Overall, the crop was very well suited for harvesting with the above mentioned technique. Most of the leaves and the sparsely lignified upper shoot sections could be separated from the whole plant. After the harvest was completed, the crop was loaded and transported by truck to a forage drying company (Futtertrocknung Lamerdingen eG, Lamerdingen, Germany). There, the material was then dried promptly until storage stability was achieved and pressed into cobs. The drying temperature was between 200 and 600°C at the inlet and 100°C at the outlet of the drying drum.

Alfalfa whole plant silage

In 2018, alfalfa whole plant silage was obtained for the trial in early July and late September. For this purpose, organically farmed fields near Freising were harvested.

In early July 2018, the alfalfa (1st main crop year, 3rd cut, variety "Catera", BBCH 60 (HACK et al., 1992), alfalfa whole plant silage (AS2)) was mowed using a disc mower and then immediately bedded. The following day, the dewy wilted crop was raked using a double rotary rake and harvested at noon using a self-propelled chopper (Claas Jaguar 900 Speedstar) with minimum chop length. The crop was then ensiled using a baling press (LT Master, GÖWEIL Maschinenbau GmbH, Kirchsschlag near Linz, Austria).

The last harvest of alfalfa (1st main crop year, 5th cut, variety Catera, BBCH 51 (HACK et al., 1992), alfalfa whole plant silage (AS1)) for experimental purposes took place at the end of September 2018. Harvesting followed the same scheme as described in the previous section. The target DM content of 40 % could not be achieved. As the Göweil corn baler was not immediately available, the crop had to be temporarily stored in the field in separate silage piles. A week passed before the machine was available again and the re-baling could take place. However, the alfalfa whole plant silage could be pressed well despite a relatively low dry matter content.

Feeding trial

The feeding trial with fattening pigs was carried out between August 2019 and January 2020 at the experimental station of the University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf. 40

male castrates of a two-breed crossbred (Danish Landrace * Duroc) with an average weight of 30 kg were stabled in pairs in 20 solid floor fixed pens. They stemmed from an organically managed pig production farm. The pens were designed so that the pigs could use a front feeding area, a middle lying area with a rubber mat, and a rear wet area. The rubber mat served as a substitute for bedding. This choice ensured that no bedding was eaten. Manure was removed every other day. If the temperature in the stable fell below 15 °C, a thermostatically controlled oil burner was used for heating. At the farm of origin, the piglets had already been given an iron supplement and treated against *Mycoplasma* and *Lawsonia intracellularis*. After an acclimation period of 21 days, the pigs were subcutaneously injected ivermectin against endo- and ectoparasites. The animals were randomly divided into four feeding groups (n=10). For the three fattening phases initial phase (30-60 kg), growing phase (60-85 kg) and finishing phase (85 to 110 kg) adapted concentrate feed mixtures were prepared using a mobile feed mixing unit. All feed mixes consisted almost exclusively of eco-compatible commodities, only the mixed soybean oil of the mobile feed mixing plant was of conventional origin. Table 1 shows the composition of the feed mixtures. [Table 1 near here] The animals of control group A and group B received complete feed mixtures. The complete feed of group B contained dried alfalfa leaf (AL) in the proportions 15 % (initial phase) and 20 % (growing and finishing phase). The animals of groups C and D were fed alfalfa whole plant silage (AS) and a supplement adapted to the silage (lower protein but higher energy than the complete feed mixtures). Again, an AL portion of 15 % (initial and growing phase) and 10 % (finishing phase) was mixed into the ration of group D. The supplements were adapted to the increasing silage consumption with the increasing age of the animals. For the initial phase, an average silage intake of 20 % of the total daily dry matter intake was assumed. For the growing and finishing phase, 30 % silage intake was assumed, according to the results of the study of WÜSTHOLZ et al. (2017). The recommendations of the GfE (2006) for fattening pigs served as a basis for the compilation of the daily rations. A performance level of an average daily increase of 800 g was assumed. The mixtures or rations of all fattening phases could not be designed iso-energetically, since a low energy content (metabolic energy, ME) had to be calculated for the alfalfa products. However, the lysine and methionine content was calculated to be approximately the same across all groups (Table 1). Between the mixtures of the groups in all fattening phases, the shift in protein feed towards alfalfa can be seen. All concentrates were fed restrictively twice daily. The amount of concentrates given was based on the current body weight of the animals in the respective pen and was increased weekly. The silage was also fed twice daily by a feeding robot (Athos, HETWIN Automation Systems GmbH, Langkampfen, Austria) in feeding troughs. As this robot was still in a pilot phase, the silage was first reweighed by hand and the amount of feed corrected if necessary. Remains of the silage were removed and reweighed once a day. The small amounts of silage distributed by the animals on the rubber mats could not be measured exactly. Accordingly, the silage consumption per pen and not the exact silage

intake was determined. Concentrate was weighed once daily for each box and back weighed daily if necessary. Animals from groups that did not receive silage were given straw to meet the legally required roughage intake. By weighing the animals weekly, the weight development could be controlled. All weights of the offered and leftover fodder, as well as the weighing of the animals, were documented.

The animals were fattened up to the target weight of 110 kg. After about 24 hours of fasting, the animals were slaughtered on seven slaughter dates at the experimental slaughterhouse of the Bavarian State Research Centre for Agriculture (LfL), Grub. At the slaughterhouse, the carcass characteristics (lean meat content, pH values, conductivity, etc.) were recorded in accordance with the standard of the performance-testing institute (LPA standard). In addition, meat and bacon samples were taken from each animal's cutlet (*musculus longissimus dorsi*), subjected to colour analysis, and sent to the laboratory of the Thuenen-Institute of Organic Farming (Trenthorst) for further examination of product quality (cholesterol content, intramuscular fat content, fatty acid pattern in intramuscular fat). In addition, liver and intestinal samples were taken and histologically examined by the Bavarian Animal Health Services (TGD), Grub.

The colour analysis was performed with a Minolta spectrophotometer. The brightness (L), redness (a^*), yellowness (b^*), chromaticity (C) as well as hue angle/colour angle (h) were determined.

Chemical analysis

One mixed sample each of the feed components, as well as the complete feed mixtures, the alfalfa leaves and the alfalfa silage, were analysed in the laboratory of the Thuenen-Institute of Organic Farming (Trenthorst). The samples were dried at 40°C and ground by a 1.0 mm sieve either for crude nutrient analysis or by a 0.5 mm sieve for amino acid and mineral analysis. The analysis of the crude nutrients, including starch and sugars, was conducted in accordance with COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009. The contents of amino acids were determined through HPLC according to COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009 concerning sample preparation by hydrolysis. The subsequent derivatisation and chromatography were performed according to COHEN and MICHAUD (1993). The adapted analytical method was recently published by WITTEN et al. (2020). After microwave-assisted digestion and determination by atomic absorption spectroscopy, all samples were additionally examined for minerals. The phosphorus content, however, was determined by the photometric method in compliance with COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009. The fat extraction from the meat and back fat samples was performed by organic solvent mixture (chloroform/methanol: 2:1) for 16 h and 4°C. After extraction, the fatty acids were esterified by TMSH (trimethylsulfoniumhydroxid, Sigma-Aldrich®) according to SCHULTE and WEBER (1989). The resulting fatty acid methyl ester (FAME) was resolved using gas chromatography equipped with a flame ionization

detector (GC 7890 A, Fa. Agilent Technologies) on a CP-Sil 88 column (50m x 0.25mm, 0.2 µm, Fa. Agilent Technologies). Peaks were identified by comparison of retention times with FAME standards (Supelco 37 component FAME mix CRM 47885, linoleic acid methyl ester mix cis/trans CRM 47791, docosapentaenoic acid methyl ester CRM 47563, Sigma-Aldrich®). The results were expressed as “g individual FAME 100 g⁻¹ total FAME”. Cholesterol was determined using an enzymatically test kit according to the instructions (Boehringer Mannheim, R-Biopharm). The content of intra-muscular fat was determined after acid hydrolysis according to procedure B described in the methods of the COMMISSION REGULATION (EC) NO 152/2009.

Furthermore, Saponins in the test diets AL, as well as AS1 and AS2, were analysed by ultra-high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry (UPLC-HRMS) at the Twistaroma laboratory, Illkirch, France. The exact procedure was described in detail by PLEGER et al. (2020).

Statistical analysis

The statistical evaluation was performed with the statistical program SAS 9.4 (2013) according to the GLM (General linear model) method. For feeding and growth performance characteristics a one-way analysis of variance (fixed effect: “group”) was chosen. Carcass traits characteristics were fitted as a two-way analysis of variance (fixed effects: “group” and “slaughtering date”). The calculated data are displayed as least square mean (LS mean) with standard error (SE). The differences among the groups were tested with the Tukey test. Differences with a level of significance below 0.05 were considered significant.

Results

Feed analysis

The results of the analysis of the dried alfalfa leaves (AL2), as well as their starting material (AL1) (dried in a drying cabinet at 50 °C for 24 h), are shown in Table 2. The XP content of the starting material was only slightly below the target level of 30 %. Likewise, the lysine and methionine concentrations reached or exceeded the target values of > 15 g Lys/kg DM and > 5 g Met/kg DM. However, clear differences between the XP, XF and amino acid concentrations of the starting material and the dried alfalfa leaves pressed into cobs could be observed. While the XP content was reduced, the XF content determined in the alfalfa leaf cobs sample increased. The reduction of the XP concentration was also confirmed in reduced amino acid contents, especially for lysine. Losses also occurred in methionine, cysteine, threonine, and tryptophan, although to a lesser extent. The ratio of amino acids to the XP content of the starting material as well as the alfalfa leaf cobs remained almost the same. The biggest difference was in lysine and aspartic acid. [Table 2 near here]

The analytical results of the two alfalfa whole plant silages are also shown in Table 2. AS2 had a higher DM content and XF content than AS1. However, the XP content was lower. There were also differences in the amino acid content. The ratio of total amino acid content to XP content was lower in AS1 (64.6 %) than in AS2 (78.6 %). The ratio of individual amino acid contents to the XP content, such as lysine, is also lower than in AS2. It was switched to the AS2 because of odour deviation and acceptance difficulties of the AS1. Analyses revealed the clear detection of biogenic amines, especially gamma-aminobutyric acid, cadaverine, 4-aminobutyric acid, and 3-amino-1-propanol. The content of biogenic amines in the AS2 was lower.

The ME contents were calculated based on the nutrient digestibilities determined in the digestion trial by MESSINGER et al. (2021). The NE contents were calculated according to NOBLET (2006). The ME content and NE content of AL1 was slightly higher than that of AL2, that of AS1 slightly higher than that of AS2.

The analytical results of the concentrate mixtures used are listed in Table 1.

Table 3 shows the relative contents of the most important putatively identified saponins. In AL, particularly high contents were found for azukisaponin V and 3-GlcA-28-ara-rha-xyl-medicagenic acid. However, other saponins occurred at higher concentrations in the silages. These included for AS1 Medicagenic acid 3-O-b-D-glucuronide and Medicagenic acid, and for AS2 hex-HexA-hederagenin, azukisaponin V, 3-GlcA-28-Glc-hederagenin, and 28-xyl-rha-ara-medicagenic acid (saponin abbreviations see Table 3). The relative content of all analysed saponins of the respective alfalfa products shows large differences, with AS2 presenting the highest values and AL the lowest values. [Table 3 near here]

Feeding trial

The number of animal losses was low (one animal of group C and one animal of group D were excluded because of limited growth). There were no significant differences between the feeding groups.

The average daily total feed and concentrate intake per animal, as well as the silage intake and its share of the total ration are shown in Table 4. The calculated intake of relevant nutrients is also given. The amount of concentrated feed, which was adjusted weekly to the weight development and the planned silage intake, was completely consumed after an adaption phase of approx. 2.5 weeks. The silage groups (C and D) were fed significantly less concentrate than the complete feed groups (A and B) in all fattening phases ($P < 0.001$). The animals of group A were also fed significantly less feed in the growing phase than the animals of group B. Otherwise, there were no significant differences ($p < 0.05$) between the groups. Despite the tendency of lower silage intake of group D compared to group C across all phases, no significant differences are discernible ($P = 0.128$, $P = 0.539$ and $P = 0.534$). In the initial phase, the animals from the silage groups show a significantly lower total feed consumption than the animals from the complete feed groups ($P < 0.001$). Silage and complete feed groups are on about the same level here, and also in the other fattening phases. There are no significant differences between the silage groups and the complete feed groups in the growing and finishing phase ($P = 0.070$ and $P = 0.519$). In the initial phase, the share of silage consumption in the total feed intake is only 7 % and 4 % (based on DM), respectively, which is significantly lower than the planned 20 % level. In the growing phase, too, the proportion of silage in total feed intake, at 20 % and 17 % respectively, is below the planned 30 %. In the finishing phase, the planned level of 30 % is almost reached with 28 % and 26 % respectively. [Table 4 near here]

Table 5 describes the average body weights of the fattening pigs at the beginning of the trial, at the end of the respective fattening phases, the fattening period as well as the daily gains (DG) achieved in the fattening trial, of the individual phases and over the entire fattening period. The stabling in, the changeover to the respective fattening phases, and the stabling out took place in all groups on average at the planned weights. There were significant differences in the duration of the fattening period. Group D was significantly different from the other groups ($P < 0.001$). The DG of the complete feed groups showed a typical growth curve, while the silage groups show a steady decrease in DG over the phases. The control group achieved a gain of 831 g per day over the entire period. The animals in group B were approx. 60 g lower, the animals of group C again approx. 30 g lower. Group D achieved the lowest DG with 618 g. This was significantly different from the other groups ($P < 0.001$). In addition, the DG of group C were significantly lower than group A. The DG at the level of the individual fattening phases also showed significant differences. In the initial phase, the DG of group D were significantly

lower than those of the complete feed groups ($P=0.020$). Group C showed no significant differences from the other groups. In the growing phase, all groups differed significantly from each other ($P<0.001$). In the finishing phase, group D showed significantly lower gains to group A and group C ($P=0.034$). [Table 5 near here]

Table 6 shows the average total feed consumption and concentrate consumption per kg gain of the respective fattening phase and averaged over all phases. While the total feed consumption per kg gain of the groups hardly differed in the initial phase ($P=0.074$), all groups differed from each other significantly in the growth phase ($P<0.001$). Here, group D consumed 3.53 kg DM for one kg gain, while group A only needed 2.29 kg DM. In the final phase, only group D differed significantly from the other three groups ($P=0.001$). Across all phases, the total feed consumption of the alfalfa groups was significantly higher than that of the control, but that of group D was again significantly higher than that of B and C ($P<0.001$). The concentrate consumption per kg gain of group C was significantly lower than the rest of the groups in the initial and the finishing phases ($P=0.006$ and $P<0.001$). In the growing phase, the control group and group C required significantly less concentrate per kg of growth than the alfalfa groups, with group D requiring significantly more concentrate than group B ($P<0.001$). Across all phases, the concentrate consumption per kg of growth of group C was significantly lower than that of the remaining groups, with the alfalfa leaf groups, especially group B, having the highest concentrate consumption ($P=0.001$). [Table 6 near here]

Carcass yield

Table 7 shows selected characteristics of the carcass value. The complete feed groups had a carcass weight of approx. 85 kg, whereas the silage groups only had a carcass weight of approx. 82 to 83 kg ($P=0.198$). This was also reflected in the carcass percentage. While the complete feed groups achieved 79.9 % and 78.6 %, the value for the silage groups was only 77.5 % and 76.7 % ($P=0.013$). Groups A and B showed a lean meat content of approx. 58 %, whereas groups C and D only achieved a lean meat content of approx. 56 % ($P=0.061$). The characteristic muscle thickness was between 44.7 mm (D) and 54.2 mm (A). The complete feed groups were significantly larger than the silage groups ($P<0.001$). For the trait "meat area" D was significantly different from the complete feed groups, group C only from B ($P=0.040$). There are hardly any differences in the "fat area" characteristic ($P=0.730$). [Table 7 near here]

Histological examinations of liver and intestinal samples showed no significant feeding influences.

Product quality

Meat condition measured by pH 45 min and 24 h after death and electrical conductivity after 24 h in the chop and ham was at an unobjectionable level. Conductivity and pH showed no statistically confirmed feeding influences.

Intramuscular fat (IMF) content is presented in Table 7. There were no statistically reliable feeding influences in the intramuscular content ($P=0.455$).

Tables 8 and 9 show the content values of important fatty acids and fatty acid groups, respectively, in g per 100 g FAME of the meat from the back muscle (*musculus longissimus dorsi*) and the back fat of the animals. The content of monounsaturated fatty acid (MUFA) in the pork and back fat was higher than that of saturated fatty acid (SFA) in all feeding groups. The complete feeding groups showed a higher content of SFA ($P=0.032$ and $P<0.001$) and a lower content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in both muscle and back fat than the silage groups ($P=0.632$ and $P=0.003$), especially D. Here, the differences were only not statistically reliable for PUFA in muscle. The content of polyunsaturated eicosapentaenoic acid (EPA), docosapentaenoic acid (DPA), and docosahexaenoic acid (DHA) in g per 100g FAME of back fat were higher in the alfalfa groups than in the back fat of group A ($P=0.012$, $P=0.001$ and $P=0.143$). The values of DHA, however, could not be statistically verified. There were hardly any differences in the muscle ($P=0.535$, $P=0.204$ and $P=0.688$). The alpha-linolenic acid (18:3) content was higher in both the muscle and back fat of the alfalfa groups than in the muscle and back fat of the control ($P<0.001$). The alfalfa groups also had statistically higher levels of the sum of n-3 in muscle and fat than the control ($P<0.001$). The content of n6 in the back fat of the silage groups was statistically higher than that of group B ($P=0.014$). [Table 8 and 9 near here]

Discussion

Quality of the alfalfa products

The XP and methionine content of AL2 were comparable to the values described in the literature, but the XP content was more in the lower range and the methionine content in the upper range. The lysine value found in the literature could not be reached (HOISCHEN-TAUBNER and SUNDRUM, 2016; JENTSCH et al., 1991; PLEGER et al., 2020; RITTESER, 2016). The alfalfa leaves dried in the drying oven (AL1) have significantly higher XP, lysine, and methionine content compared to AL2. These values are more comparable to those found in the upper range of the literature. Methionine is higher. Content of fibre is lower compared to AL2 and is in the lower range of values found in the literature. Also, HOISCHEN-TAUBNER and SUNDRUM (2016) noticed very heterogeneous CP contents of wilted, dry material and pellets from the same batch. Here, the pellets showed the lowest content. Possible causes could be storage and transport losses, a consequence of the overall slow process speed until further processing in the dry feed plant. Earlier mechanical damage could have caused high losses in the continuous dryer of fine, protein-rich alfalfa components during hot air drying due to high air velocities and during pressing to produce cobs due to heavy abrasion. The high pressure and heating during pressing resulted in a change in the composition of the dried green forage, especially the content of fibre, probably due to a change in the solubility of the fibre fraction (HENK and LAUBE, 1969b). According to HENK and LAUBE (1968), hot air drying of green forage resulted in only minor losses of crude nutrients and no significant changes in composition. Heat-labile amino acids, especially lysine, may also have been lost due to the intense heat required to dry the water-rich feedstock (HENK and LAUBE, 1969a).

Most of the analytical values of AS2 were comparable to those described in the literature (BAUMGÄRTEL, 2017; WÜSTHOLZ et al., 2017), but the content of fibre was significantly lower. Lysine content was also slightly lower than described in the literature. The AS1, however, showed XP and fibre contents almost reaching the values of freshly cut alfalfa (WÜSTHOLZ et al., 2017). The DM content is also significantly lower than the AS2 and values found in the literature. However, the silage, which appeared to be of higher quality due to the high XP content combined with low fibre content, exhibited odour deviation and encountered acceptance difficulties. High levels of biogenic amines were found, particularly gamma-aminobutyric acid, cadaverine, 4-aminobutyric acid, and 3-amino-1-propanol. The concentration of biogenic amines (mono-, di- and polyamines) in silage depends mainly on the crop at harvest, the ensiling process, and the silage. They are products of enzymatic decarboxylation of amino acids occurring during the ensiling process by the action of plant proteases and peptidases, as well as enzymes of various lactic acid bacteria (LAB), clostridia, and other genera (SCHERER et al., 2015). No ensiling aid was used for either silage. The difference here was that the AS1 harvest

was first temporarily stored in the field in separate silage piles. Only one week later could the re-silaging take place using a Göweil corn baler. This may have led to seepage losses and thus to losses of easily soluble substances such as sugar, which serves as a substrate for lactic acid fermentation. The fairly moist ensiled material may also have led to losses of leachate. This, as well as the presumably renewed entrapment of oxygen, could have led to a slower decrease in pH value. As a result, other anaerobic bacteria, such as Clostridia, which are prevalent in silages containing less than 30 % DM (PITT, 1990) may not have been inactivated quickly enough. Important factors in reducing or preventing Clostridia growth are a rapid and sufficient drop in pH and a reduction in the a_w value or increase of the osmotic pressure of a crop, e.g., by increasing the dry matter content through wilting (WIERINGA, 1958). Cadaverine is decarboxylated to a significant extent from L-lysine, which explains the lower lysine content compared with AS2. The low ratio of the total amino acid content to the XP content can also be explained by the formation of biogenic amines.

The ME contents of AS were comparable to those described by HOISCHEN-TAUBNER AND SUNDRUM (2016) for alfalfa whole plants and by MESSINGER et al. (2021). The ME content of AL was lower than the values reported by JENTSCH et al. (1991) for dried alfalfa leaves but higher than the ME content of AL reported by MESSINGER et al. (2021). Due to the lower fibre contents of AL1 and 2 to AS1 and 2, and higher starch and sugar contents, one would expect higher ME contents for AL than for AS. The ME values were calculated using the digestibility quotients obtained from MESSINGER et al. (2021) as mentioned earlier. The digestibility values of AL were much lower than those of AS due to possible preservation and saponin influences.

Feeding trial

According to LFL (2021), DG of 750 g are currently achieved in organic pig fattening at medium performance levels. For farms with a high performance level, even 800 g DG are considered possible. The feed mixtures and daily rations calculated for the present study were designed for an average daily weight gain of approx. 800 g. This was even exceeded by group A, group B approached the high level, and group C almost reached the medium level. Group D could not reach the low performance level of 700 g but exceeded the performance achieved by WÜSTHOLZ et al. (2017). Due to the high performance level of group A, environmental factors can be excluded as reasons for this low performance.

Therefore, reasons should rather be sought in feed intake, quality, and presentation form. Silage intake in the initial phase and growing phase was lower than expected. In the finishing phase, it almost reached the assumed values. The very high alfalfa silage intake of WÜSTHOLZ et al. (2017) could not be reached, the values are more similar to the intake of clover grass silage reported by BELLOF et al. (1998). These differences could be due to the fact that the animals in the studies of WÜSTHOLZ et al. (2017), in contrast to the pigs in our study, were

adapted to alfalfa silage in the rearing phase. Also in earlier own experiments MESSINGER et al. (2021), the pigs had already been accustomed to red clover silage at piglet age. Here, high intakes of red clover and alfalfa silage were also achieved immediately, although higher for red clover than for alfalfa. It is worth considering whether adaptation of alfalfa silage as well as alfalfa leaves would have had an effect on feed intake at piglet age. WÜSTHOLZ et al. (2017) found that silage presentation form can also affect intake. However, the silage from our studies was also chopped.

Furthermore, AS1 was initially fed because of its apparently better quality. However, this encountered acceptance difficulties, and an odour deviation were noticed. Based on analyses, high levels of biogenic amines were found, which may contribute to reduced silage intake and utilization by the animal (DRIEHUIS et al., 2018; PITT, 1990). The higher silage intake in the finishing phase may have been favoured by low ambient temperatures, as silage intake by pigs is higher at low temperatures in fall and winter than at high temperatures in summer (BELLON et al., 1998).

The anti-nutritional constituents contained in alfalfa, the saponins, may lead to depression of feed intake, due to bitterness and thus low palatability (CHEEKE, 1983; LEAMASTER and CHEEKE, 1979; SEN et al., 1998). LEAMASTER and CHEEKE (1979) demonstrated in a study, on the one hand, that alfalfa meal is less palatable to pigs and is rejected even at 1 % of the diet when the animals are given a choice of alfalfa-free feeds. On the other hand, alfalfa meal with low saponin content was preferred to the type with high saponin content. It was also noted in a previous study MESSINGER et al. (2021) that separately fed alfalfa leaf cobs were received differently by the pigs, and in some cases were completely disdained. The saponin content of alfalfa is influenced by variety, location, cutting, and number of leaves (HANSON et al., 1963). Several studies showed that anti-nutritive saponins are mainly found in alfalfa leaves (CHEEKE, 1983; PLEGER et al., 2020; SEN et al., 1998). Both silages showed higher levels of various medicagenic acid glycosides than AL, as also described by PLEGER et al. (2021). These are considered the most anti-nutritive active of all alfalfa saponins (KALAC ET AL., 1996; SZUMACHER-STRABEL et al., 2019). However, semi-quantitative saponin analysis of the alfalfa products in this study barely detected glycosides of zanhic acid, which were shown to be the most irritating to the throat and the most bitter of all compounds tested in a study with human volunteers (OLESZEK et al., 1992). In addition, the total content of all analysed saponins was higher in silages than in AL. SZUMACHER-STRABEL et al. (2019) observed structural and quantitative changes of saponins during the ensiling process in ten alfalfa varieties in a study. Ensiling resulted in higher total saponin content in all ten alfalfa varieties than in fresh material. One explanation for this is thought to be that stable complexes formed with membrane sterols are dissolved by enzymatic activities during ensiling, making the saponins more available. How-

ever, when looking at the individual saponins, it was noticeable that some concentrations decreased while others increased or remained constant. For example, five of the seven medicagenic acid glycosides were not changed, while the remaining saponins disappeared completely. Although AS1 and two were not obtained from the same crop as AL, ensiling may have resulted in higher total saponin content and structural and quantitative changes in individual saponins in the silages. At the beginning of the present study, the concentrate AL was not completely absorbed by group B and C. After 2.5 weeks, back weighing was no longer necessary. Because AL was mixed into the concentrate, the pigs were not able to separate it. This, the low level of zanhic acid glycosides, and the restrictive feeding could represent reasons for complete consumption. Consideration should also be given to whether pigs can become accustomed to the bitterness. The higher total saponin, as well as medicagenic acid contents in the silages, could have influenced silage intake as well. However, isolation of individual compounds and study of their biological activity is more fundamental for determining the quality of alfalfa-derived silage (SZUMACHER-STRABEL et al., 2019).

CHEEKE (1976) suggested that reduced feed intake is the main reason for the growth inhibitory effect of saponins. In addition, saponins may have other growth-retardant effects. These would be, first, irritation of the membranes of the mouth and digestive tract and impaired nutrient absorption, and second, their effects on digestibility and inhibition of cellular metabolism (CHEEKE, 1983). Previous studies showed that young pigs had similar gains on an alfalfa-free diet as on a 15 % low saponin diet, but there was a suppression of growth on a 15 % high saponin diet (CHEEKE et al., 1977). However, LEAMASTER and CHEEKE (1979) believe that alfalfa meal can replace up to about 20 % of the grain in a swine diet without affecting growth rate. However, at higher alfalfa concentrations, the growth rate decreases. MESSINGER et al. (2019) also showed in an acceptance trial with alfalfa dried leaf that use up to 15 % is feasible in the initial phase of pigs. CHEN et al. (2014), by comparison described a linear reduction in average DG by increasing alfalfa meal levels (up to 20 %). In this study, a proportion of up to 20 % of AL in the ration seems to be possible, but the higher DG in the initial phase than group A at a proportion of 15 % AL in the ration were no longer achieved in the growing and finishing phases. In group D, the proportion of alfalfa and thus presumably the saponin content or the proportion of anti-nutritive active saponins in the ration seems to be too high, as clear differences to group B and C were evident. The DG of group C showed that young harvested alfalfa also has potential as a source of protein for fattening pigs in the form of silage.

In addition, the groups consumed different amounts of nutrients (Table 4). The intake of fibre of the three alfalfa groups, with the exception of group C in the initial phase of fattening, was always higher than that of the control, but only in the growing and finishing phase of fattening did the silage groups achieve higher fibre intakes than B. This can be explained by the low consumption of silage. According to KASS et al. (1980), in general, fibre content of more than

7 to 10 % XF of the diet has a growth inhibitory effect on growing pigs. The main factor for this is energy dilution by fibre. Other reasons include fibre-mineral interactions, decreased nitrogen and energy utilization, and increased ingesta passage (CALVERT, 1991). Also, BELLOF et al. (1998) confirmed that the use of staple feeds in organic swine fattening leads to a decrease in DG as expected due to lower energy density. CHEN et al. (2014) showed that nutrient digestibility in finishing pigs decreased linearly with an increase in alfalfa fibre. It was intended to consider the energy dilution effect when calculating feeds and rations, but this could not be achieved, partly due to the lack of feed analyses at the start of the trial and also due to the lower silage intake. Group D consumed an average of 10 % less energy per day than the control across all phases, and group C an average of 6 % less (Table 4). However, the intake of ME should be viewed with caution due to the lack of an equation for the supplemental feed mixture (high protein and fat content). The equation recommended by GFE (2006) applies only to feeds with certain XP (150-250 g/kg DM), XF (below 80 g/kg DM), and crude fat (below 60 g/kg DM) contents. Fibre-containing feeds lose a greater proportion of their energy content as heat (heat gain) due to microbial fermentation in the intestine of the pig. However, this generated heat could be used at low ambient temperatures to meet the increased maintenance needs of the pig, minimizing the amount of other nutrients or body tissues that must be oxidized to generate heat. The addition of 10 % alfalfa meal reduced DG by only 1 % in a cold environment (10°C), compared with 3 and 5 % in environments of 22.5 and 35°C, respectively (STAHLY and CROMWELL, 1986). This could explain the DG of group C in the finishing phase, which were close to the control. While groups A and B consumed almost equal amounts of XP, groups C and D received estimated less XP than the two complete feed groups in the initial and growing phase. However, intakes of XP were higher in the finishing phase than in A and B. Lysine intake is highest in group A, followed by groups B, C, and D, which had the lowest intakes across the phases, while methionine intake was slightly lower in the silage groups than in the complete feed groups only in the first two phases. The GFE (2006) supply recommendations for fattening pigs at average daily intakes of 800 g were not met in groups B and C for lysine, due to the production of the alfalfa products as well as silage intakes. Also, the energy supply recommendation per day cannot be met especially in group C. Pre-treatment of forages, such as hot air drying, can affect the digestibility of crude nutrients (HENK and LAUBE, 1968; PRYM and WEISSBACH, 1985), which, in addition to the aforementioned impairment of nutrient digestion by saponins, may be one reason for the poorer performance of group B compared to the control. RÜGHEIMER (1986) found that lower lysine intake had little effect on gain performance, but the composition of the gain changed. Absorbed amino acids are not only available for meat formation or protein accumulation; maintenance requirements must also be met before performance can be achieved (WESSELING, 2004). An indication that the silage groups were undersupplied with amino acids, or that amino acids instead of protein supplementation met maintenance requirements, was also shown by the numerical or significant differences in

lean meat percentage, meat area, and meat thickness. These carcass traits characteristics define lean tissue deposition, which in turn equates to protein tissue deposition. This theory is supported by the fact that there were no significant differences and only slightly higher numerical differences in fat thickness and fat area between the silage and complete feed groups. The approximately equal fat tissue deposition was also reflected in the lean meat content. The approximately 2 % higher lean meat content in the complete feed groups is not significant but is nevertheless relevant for the payment of farmers in Germany. Restricted fattening intensity, as achieved by the use of roughage, leads to lower carcass fatness or an increase in lean meat content when the fattening period is extended to a final fattening weight of max. 120 kg body weight (BW) which is common in intensive fattening (LEBRET et al., 2001). The fat gain reduced by roughage use as observed in BELLOF et al. (1998) and WÜSTHOLZ et al. (2017) did not occur. This effect with constant meat gain only occurs if the concentrate mixture has a balanced nutrient composition. In particular, a lack of essential amino acids leads to a limitation of protein accumulation and an increased fat accumulation (BELLOF et al., 1998; RÜGHEIMER, 1986). The slight decrease of the slaughtering percentages depending on the amount of roughage input due to stronger formation (and increased filling degree) of the gastrointestinal tract is shown as described in the literature (BELLOF et al., 1998; WÜSTHOLZ et al., 2017) also in our study. Here again, the lower silage intake from group D compared to C can be seen. The positive aspect of a high proportion of silage in the daily ration of the pigs is the achievement of a targeted nutrient restriction in the final phase with simultaneous saturation of the animals. Feeding times are extended and the need for rooting is satisfied so that stereotypes can be reduced (MEUNIER-SALAÜN et al., 2001; PRESTO et al., 2018).

Product quality

The parameters of product quality were not affected by feeding alfalfa silage to the extent observed in broilers and laying hens (PLEGER et al., 2020; WELTIN et al., 2014). Macroscopically, there were no colour changes in the meat and back fat, which was confirmed by the statistical evaluations of the colour analyses. The numerical differences in fat yellow tone can be explained by the increased carotene content of the alfalfa products or the different rations (PLEGER et al., 2020).

According to previous findings, the eating value of pork is significantly predetermined by the pale, soft, exudative (PSE)/ dark, firm, dry (DFD) status as well as the intramuscular fat content (FISCHER, 2002). The PSE or DFD status could be excluded by the obtained pH values as well as the electrical conductivity values. The IMF is significantly higher compared to other literature (BELLOF et al., 1998; HANSEN et al., 2006; WELTIN et al., 2014). This could be due to the genotype Duroc influence, as the breed has higher IMF contents than other breeds (VOLK et al., 2004). SCHWAB et al. (2009) also achieved an IMF content of 4.53 % through 6 generations of

selection, which is close to the values of our study. BEIN and AICHINGER (2010) also showed a high IMF of 3.8 % in the clover grass group. The group differences could have come from the extended fattening period to obtain the appropriate mast weight without lowering the fattening intensity to an increase in IMF synthesis probably related to age (LEBRET et al., 2001). Also, a ration design with a reduced energy-to-protein ratio, or a deficit of limiting amino acids, results in an increase in IMF in addition to general carcass adiposity (SUNDRUM et al., 2000; WANG et al., 2018). It has been suggested that there may be a threshold effect (approximately 2 to 2.5 %) of IMF concentration for positive effects on sensory characteristics of pork (BEJERHOLM and BARTON-GADE, 1986; FERNANDEZ et al., 1999). Groups with IMF above 3 % on average did not result in significant improvement (BEJERHOLM and BARTON-GADE, 1986). The use of alfalfa products resulted in altered fat quality in dorsal muscle and fat. The composition of intramuscular fat, as well as bacon of alfalfa groups animals, was shifted in favour of omega-3 fatty acids, which are important (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010) for human nutrition. However, the alfalfa influence on the fatty acid pattern in the chop is less pronounced than in the back fat. Using feeds with appropriate fatty acid patterns can produce healthier meat with higher levels of unsaturated fatty acids and omega-3 fatty acids while maintaining the closest possible ratio of omega-6 fatty acids to omega-3 fatty acids in the meat, which is nutritionally desirable (RILEY et al., 2000). In addition to oilseeds, such as linseed and rapeseed, these may include green forage, such as grass or, as in this experiment, alfalfa (WOOD et al., 2003). In addition to alfalfa, rapeseed oil, used primarily in groups C and D, should also be considered as a feed influence on the fatty acid composition. Rapeseed oil has been shown to increase n-3 PUFA content in meat, particularly C18:3 and C20:5 (EPA), and to a lesser extent C22:6 (DHA) (WILFART et al., 2004). Similarly, lipid composition in fat and muscle tissues of pigs can be influenced by grazing during rearing, ambient temperature, and dietary lysine (LEBRET, 2008; WANG et al., 2018). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2010) recommends ensuring adequate intake of these fatty acids to maintain health. The ratio of polyunsaturated fatty acids to saturated fatty acids (P:S ratio) should be increased to 0.4 or higher and the ratio of n-6 to n-3 fatty acids in the diet should be decreased to a value between one and four (DEPARTMENT OF HEALTH, 1994). BIESALSKI et al. (2011) recommend the ratio of 5:1. All groups achieved the P:S ratio of 0.4, although the alfalfa groups, especially D had a slightly higher value. Group A had a significantly higher n6:n3 ratio (8.3:1) than the alfalfa groups. These were, except for C (5.6:1), below or at the recommended ratio of 5:1. Fatty acids such as linoleic acid (18:2) and α -linolenic acid (18:3) are essential for humans and must therefore be supplied through the diet. In particular, C 18:3 was significantly higher in the alfalfa groups of our study, especially the silage groups, than the control. Furthermore, it is recommended to pay attention to a sufficient intake of polyunsaturated fatty acids instead of saturated fatty acids, since these are said to have preventive effects on heart diseases. Moreover, it is explicitly stated that both EPA and DHA can contribute to a healthy diet

(FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010). Although a high PUFA content in meat is beneficial in terms of human health, it can lead to higher lipid oxidation during storage, and consequently to negative effects on organoleptic quality (EDWARDS, 2005). However, lipid oxidation could be prevented by dietary supplementation with vitamin E (MONAHAN et al., 1990; PFALZGRAF et al., 1995). Grazing also provides antioxidants, including vitamin E, that maintain PUFA content in meat and prevent quality deterioration during processing and display (LEBRET, 2008; WOOD et al., 2003). According to Swiss requirements (WENK and PRABUCKI, 1990), the content of polyenoic acids in the outer back fat should not exceed 12 %. FISCHER et al. (1990) consider content of up to 15 % as tolerable. Even this limit is exceeded by all groups (22-27 %). WARNANTS et al. (1996), however, found that the limit for backfat PUFA could be as high as 22 % PUFA in backfat without deterioration of fresh and frozen back fat. However, for meat processing, the requirements could be higher. Later studies showed that 23 % and lower PUFA in back fat resulted in salamis that were too soft to be marketed (WARNANTS et al., 1998).

Conclusion

The present results show that young harvested alfalfa products have the potential as a regionally produced protein feed for (organic) pig feeding. The use of dried alfalfa leaves of up to 20 % of the total ration seems to be feasible. The use of alfalfa silage also seems to be possible, thus fulfilling the legal requirement of a daily roughage supply. However, for the successful use of alfalfa products, a prior analysis of the silage quality produced and a ration calculation based on this analysis are essential. Attention must also be paid to proper preservation and presentation form. Adaptation to silage at piglet age also seems to be crucial. In addition, intake and growth performance are influenced by the anti-nutritional saponins contained in alfalfa. Offering dried alfalfa leaves and alfalfa silage should be carefully arranged due to excessive saponin content. Further research on alfalfa saponins is needed to target alfalfa as a protein feed for pigs.

Acknowledgment

This research was supported by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) on the basis of a resolution of the Parliament of the Federal Republic of Germany on the Federal Office for Agriculture and Food (BLE; grant number 2815OE039).

Disclosure statement

The authors report there are no competing interests to declare.

References

- BAUMGÄRTEL, T. (2017): Rohnährstoffgehalte 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.
- BEIN, F. & AICHINGER, J. (2010): Einsatz von Klee gras in der Schweineendmast zur Reduktion des Kraftfutterbedarfes. Diplomarbeit, LFZ Raumberg-Gumpenstein. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Fachgegenstand: Nutztierhaltung.
- BEJERHOLM, C. & BARTON-GADE, P.A. (1986). Effect of intramuscular fat level on eating quality of pig meat. Proceedings of the 32nd European Meeting of Meat Research Workers, August 24–29, 1986, Ghent, Belgium. Part II, 389–391
- BELLOF, G. & ANDERSSON, R. (2008). Geflügelernährung in der ökologischen Landwirtschaft. Tierernährung im Öko-Landbau-Fütterungspraxis. *Ökologie & Landbau* 146, 28–30.
- BELLOF, G., GAUL, C., FISCHER, K. & LINDERMAYER, H. (1998). Der Einsatz von Grassilage in der Schweinemast. *Züchtungskunde* 70 (5), 372–388.
- BIESALSKI, H.K., GRIMM, P. & NOWITZKI-GRIMM, S. (2011). Taschenatlas der Ernährung, 5th ed. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart.
- CALVERT, C.C. (1991). Fiber utilization by swine. E.R. Miller, D.W. Ulrey & AJ Lewis (Eds.), Swine nutrition. Butterworth-Heinemann, Stoneham, MA, USA, 285–296.
- CHEEKE, P.R. (1976). Nutritional and physiological properties of saponins. *Nutr. Report Int.* 13, 315–324.
- CHEEKE, P.R. (1983). Biological properties and nutritional significance of legume saponins. Telek L. & H. D. Graham (Eds.), Leaf Protein Concentrates. Avi Publishing Company Inc., 396–414.
- CHEEKE, P.R., KINZELL, J.H. & PEDERSEN, M.W. (1977). Influence of saponins on alfalfa utilization by rats, rabbits and swine. *Journal of Animal Science* 45 (3), 476–481, <https://doi.org/10.2527/jas1977.453476x>.
- CHEN, L., GAO, L.X. & ZHANG, H.F. (2014). Effect of Graded Levels of Fiber from Alfalfa Meal on Nutrient Digestibility and Flow of Fattening Pigs. *Journal of Integrative Agriculture* 13 (8), 1746–1752, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60571-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60571-7).
- COHEN, S.A. & MICHAUD, D.P. (1993). Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid chromatography. *Analytical biochemistry* 211, 279–287. <https://doi.org/10.1006/abio.1993.1270>.

- 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.
- COMMISSION REGULATION (EC) No 889/2008 of 5 September 2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic Production, labelling and control. Official Journal of the European Union, L 250.
- COUNCIL REGULATION (EC) No 834/2007 of 28 June 2007 on organic production and labelling of organic products and repealing Regulation (EEC) No 2092/91. Official Journal of the European Union, L 189.
- DEPARTMENT OF HEALTH (1994). Report on Health and Social Subjects No. 46. Nutritional aspects of cardiovascular disease. HMSO London.
- DRIEHUIS, F., WILKINSON, J.M., JIANG, Y., OGUNADE, I. & ADESOGAN, A.T. (2018). Silage review: animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science* 101, 4093–4110, <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13836>
- EDWARDS, S.A. (2005). Product quality attributes associated with outdoor pig production. *Livestock Production Science* 94 (1-2), 5–14, <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.11.028>.
- FERNANDEZ, X., MONIN, G., TALMANT, A., MOUROT, J. & LEBRET, B. (1999). Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat—1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of m. longissimus lumborum. *Meat science* 53, 59–65, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00037-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00037-6).
- FISCHER, K. (2002). Bessere Schweinefleischqualität bei Fütterung nach Richtlinien des ökologischen Landbaus? Forschungsreport Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft 2, 20–23.
- FISCHER, K., FREUDENREICH, P. & RÖHRMOSER, G. (1990). Zum Einfluß bestimmter Futterfette auf die Fleisch-und Fettqualität beim Schwein. *Fat Science Technology* 92 (13), 559–563.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2010). Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. *FAO Food and Nutrition Paper* 91, 1–166.
- GFE- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006). Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- HACK, H., BLEIHOLDER, H., BUHR, L., MEIER, U., SCHNOCK-FRICKE, U., WEBER, E. & WITZENBERGER, A. (1992). Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono-

und dikotyler Pflanzen. – Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd 44 (12), 265–270.

HANSEN, L.L., CLAUDI-MAGNUSSEN, C., JENSEN, S.K. & ANDERSEN, H.J. (2006). Effect of organic pig production systems on performance and meat quality. *Meat science* 74 (4), 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.02.014>.

HANSON, C.H., KOHLER, G.O., DUDLEY, J.W., SORENSEN, E.L., VAN ATTA, G.R., TAYLOR, K.W., PEDERSEN, M.W., CARNAHAN, H.L., WILSIE, C.P., KEHR, W.R., LOWE, C.C., STANFORD, E.H. & YUNGEN, J.A. (1963). Saponin content of alfalfa as related to location, cutting, variety, and other variables. *USDA Res. Rep. ARS*, 34–44.

HENK, G. & LAUBE, W. (1968). Untersuchungen zur Heißlufttrocknung von Grünfutter. *Archiv für Tierernährung* 18, 437–448.

HENK, G. & LAUBE, W. (1969a). Untersuchungen zur Heißlufttrocknung. *Archiv für Tierernährung* 19, 289–298.

HENK, G. & LAUBE, W. (1969b). Untersuchungen zur Heißlufttrocknung von Grünfutter. *Archiv für Tierernährung* 19, 385–394.

HOISCHEN-TAUBNER, S. & SUNDRUM, A. (2016). Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne und Perserklee. Schlussbericht BÖLN-Projekt, FKZ 11OE055.

JENTSCH, W., SCHIEMANN, R. & WIESEMÜLLER, W. (1991). Zur energetischen Verwertung von Luzerneblatt durch adulte Schweine. *Archives of Animal Nutrition* 41 (3), 237–244, <https://doi.org/10.1080/17450399109428466>

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).

KASS, M.L., VAN SOEST, P.J. & POND, W.G. (1980). Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. II. Volatile fatty acid concentrations in and disappearance from the gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science* 50 (1), 192–197, <https://doi.org/10.2527/jas1980.501192x>.

LEAMASTER, B.R. & CHEEKE, P.R. (1979). Feed preferences of swine: Alfalfa meal, high and low saponin alfalfa, and quinine sulfate. *Canadian Journal of Animal Science* 59 (2), 467–469, <https://doi.org/10.4141/cjas79-059>.

LEBRET, B. (2008). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal* 2 (10), 1548–1558, <https://doi.org/10.1017/S1751731108002796>.

- LEBRET, B., JUIN, H., NOBLET, J. & BONNEAU, M. (2001). The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Animal Science* 72 (1), 87–94. <https://doi.org/10.1017/S1357729800055582>.
- LFL – BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2021). Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten - Öko-Schweinemast, Internetangebot der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
- MESSINGER, D., KAINDL, M., WEINDL, P.A. & BELLOF, G. (2019). Futterwert und Einsatz von Luzernetrockenblatt als Eiweißfuttermittel in der ökologischen Schweinemast. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung*, 02./03.04.2019, Fulda, Tagungsband, Hrsg. Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn.
- 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. *Züchtungskunde* 93 (5), 389–405.
- 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 (1-2), 53–69, [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00196-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00196-1).
- MONAHAN, F.J., BUCKLEY, D.J., GRAY, J.I., MORRISSEY, P.A., ASGHAR, A., HANRAHAN, T.J. & LYNCH, P.B. (1990). Effect of dietary vitamin E on the stability of raw and cooked pork. *Meat science* 27 (2), 99–108, [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90058-E).
- NOBLET J. (2006). Energy Evaluation of Feeds for Pigs: Consequences on Diet Formulation and Environment Protection. *Lohmann Information* 41, 40–50
- OLESZEK, W., JURZYSTA, M., PLOSZYNSKI, M., COLQUHOUN, I.J., PRICE, K.R. & FENWICK, G.R. (1992). Zanic acid tridesmoside and other dominant saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) aerial parts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40 (2), 191–196, <https://doi.org/10.1021/jf00014a005>.
- PFALZGRAF, A., FRIGG, M., STEINHART, H., KIRCHGESSNER, M. & ROTH, F.X. (1995). Influence of dietary fat and vitamin E on the lipids in pork meat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 97 (1), 13–20, <https://doi.org/10.1002/lipi.19950970105>.
- PITT, R.E. (1990). Silage and Hay Preservation. *Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service* 5, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York.
- PLEGER, L., WEINDL, P.N., WEINDL, P.A., CARRASCO, L.S., LEITAO, C., ZHAO, M., AULRICH & K., BELLOF, G. (2021). Precaecal digestibility of crude protein and amino acids from alfalfa (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) leaves and silages in broilers. *Animal Feed Science and Technology* 275, 114856, <https://doi.org/10.1111/jpn.13353>.

- 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/10.1016/j.anifeedsci.2021.114856>.
- PRESTO, M., HOLMSTRÖM, S., WALLENBECK, A. & IVARSSON, E. (2018). Inclusion of intensively manipulated silage in total mixed ration to growing pigs – influence on silage consumption, nutrient digestibility and pig behaviour. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 68 (4), 190-201, <https://doi.org/10.1080/09064702.2020.1725104>.
- PRYM, R. & WEISSBACH, F. (1985). Analytische Möglichkeiten zur Kennzeichnung des Rückganges der Proteinverdaulichkeit bei der Heißlufttrocknung von Grünfutter. *Archives of Animal Nutrition* 35, 515–526, <https://doi.org/10.1080/17450398509425212>.
- 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.
- RILEY, P.A., ENSER, M., NUTE, G.R. & WOOD, J.D. (2000). Effects of dietary linseed on nutritional value and other quality aspects of pig muscle and adipose tissue. *Animal Science* 71 (3), 483–500, <https://doi.org/10.1017/S1357729800055454>.
- RITTESER, C., 2016. Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energie- und Proteinfuttermittel für die Bio-Hühnermast. Dissertation, Universität Hohenheim.
- RÜGHEIMER, R. (1986). Herstellung von Luzerneblattkonservaten und deren Einsatz in der Schweinefütterung. Dissertation, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.
- SCHERER, R., GERLACH, K. & SÜDEKUM, K.-H. (2015). Biogenic amines and gamma-amino butyric acid in silages: Formation, occurrence and influence on dry matter intake and ruminant production. *Animal Feed Science and Technology* 210, 1–16, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.001>
- SCHULTE, E. & WEBER, K. (1989). Schnelle Herstellung der Fettsäuremethylester aus Fetten mit Trimethylsulfoniumhydroxid oder Natriummethylat. *Fett Wiss. Tech.* 91, 181–183.
- SCHUMACHER, U., FIDELAK, C., KOOPMANN, R., WEIßMANN, F., SNIGULA, J., BRÜGGEMANN, R., NAATJES, M., SIMONEIT, C. & BENDER, S. (2011). Wissensstandsanalyse zur Tiergesundheit aller Nutztierarten im Ökologischen Landbau und 100% Biofütterung. Abschlussbericht der Böln-Projekte FKZ 10OE088 und FKZ 10OE089.
- SCHWAB, C.R., BAAS, T.J., STALDER, K.J. & NETTLETON, D. (2009). Results from six generations of selection for intramuscular fat in Duroc swine using real-time ultrasound. I. Direct and

- correlated phenotypic responses to selection. *Journal of Animal Science* 87, 2774–2780, <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1335>.
- 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>.
- SOMMER, H. & SUNDRUM, A. (2015). Ganzpflanze und Blattmasse verschiedener Grünleguminosen als Eiweißquelle in der Schweinefütterung. In A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape, & G. Trei (Eds.), *Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Eberswalde, 17.-20. März 2015*. Verlag Dr. Köster, Berlin, 350–353.
- STAHLY, T.S. & CROMWELL, G.L. (1986). Responses to dietary additions of fiber (alfalfa meal) in growing pigs housed in a cold, warm or hot thermal environment. *Journal of Animal Science* 63, 1870–1876, <https://doi.org/10.2527/jas1986.6361870x>.
- SUNDRUM, A., BÜTFERING, L., HENNING, M. & HOPPENBROCK, K.H. (2000). Effects of on-farm diets for organic pig production on performance and carcass quality. *Journal of Animal Science* 78 (5), 1199–1205, <https://doi.org/10.2527/2000.7851199x>.
- 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, 2243–2250, <https://doi.org/10.1002/jsfa.9419>.
- VOLK, B., BIEDERMANN, G., KUHN, M. & JATSCH, C. (2004). Einfluss der genetischen Herkunft auf die Mast- und Schlachtleistung, die Fleisch- und Fettqualität sowie das Fettsäurenmuster der Phospholipide von Mastschweinen. *Archives Animal Breeding* 47 (5), 455–462. <https://doi.org/10.5194/aab-47-455-2004>.
- WANG, T., CRENSHAW, M.A., REGMI, N., RUDE, B.J., SHAMIMUL HASAN, M., SUKUMARAN, A.T., DINH, T. & LIAO, S.F. (2018). Effects of dietary lysine level on the content and fatty acid composition of intramuscular fat in late-stage finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 98 (2), 241–249, <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0083>.
- WARNANTS, N., VAN OECKEL, M.J. & BOUCQUÉ, C.V. (1996). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork tissues and its implications for the quality of the end products. *Meat Science* 44, 125–144, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(96\)00029-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00029-0).
- WARNANTS, N., VAN OECKEL, M.J. & BOUCQUÉ, C.V. (1998). Effect of incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork backfat on the quality of salami. *Meat Science* 49, 435–445, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00011-4).

- WELTIN, J., CARRASCO ALARCON, L.S., BERGER, U. & BELLOF, G. (2014). Luzernesilage aus spezieller Nutzung und technologischer Aufbereitung in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. Schlussbericht BÖLN-Projekt, FKZ 11OE077.
- WENK, C. & PRABUCKI, A.L. (1990). Faktoren der Qualität von Schweinefleisch. Schweiz. Arch. Tierheilk 132, 53–63.
- WESSELING, B. (2004). Zur Wirksamkeit von Futteramino säuren beim Schwein. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- WIERINGA, G.W. (1958). The effect of wilting on butyric acid fermentation in silage. NJAS wagingen journal of life sciences 6, 204–210.
- WILFART, A., FERREIRA, J., MOUNIER, A., ROBIN, G. & MOUROT, J. (2004). Effet de différentes teneurs en acides gras n-3 sur les performances de croissance et la qualité nutritionnelle de la viande de porc. Journées de la Recherche Porcine en France 36, 195-202.
- WITTEN, S., BÖHM, H. & AULRICH, K. (2020). Effect of variety and environment on the contents of crude nutrients and amino acids in organically produced cereal and legume grains. Organic Agriculture 10, 199-219, <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00261-7>.
- WOOD, J.D., RICHARDSON, R.I., NUTE, G.R., FISHER, A.V., CAMPO, M.M., KASAPIDOU, E., SHEARD, P.R. & ENSER, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. Meat science 66 (1), 21–32, [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6).
- WÜSTHOLZ, J., CARRASCO, S., BERGER, U., SUNDRUM, A. & BELLOF, G. (2017). Fattening and slaughtering performance of growing pigs consuming high levels of alfalfa silage (*Medicago sativa*) in organic pig production. Livestock Science 200, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.04.004>.

Table 1: Composition (%), analysed ingredients (g/kg DM) and calculated ME and NE contents (MJ/kg DM) of the complete feed mixtures and the supplemental feed mixtures for the different phases of the trial

Feedstuff	Initial phase				Growing phase				Finishing phase			
	Complete feed mixture		Supplemental feed mixture		Complete feed mixture		Supplemental feed mixture		Complete feed mixture		Supplemental feed mixture	
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	A	B	C	D	A	B	C	D
Alfalfa leaves		15.0		18.8		20.0		21.4		20.0		14.3
Soybean cake	18.0	11.0	15.0	8.8	11.0	5.0	10.0		3.0		4.3	
Sunflower cake	10.0	8.0	10.0	7.5	7.0	4.0		2.9	3.0			
Peas	15.0	12.0	11.2	10.0	18.0	12.5	7.1	4.3	24.0	16.0	10.0	4.3
Triticale	10.0	10.0	12.5	12.5	15.0	15.0	21.4	21.4	20.0	15.0	35.7	52.9
Barley	29.0	31.5	22.9	10.6	32.7	26.1	25.7		32.1	22.0	21.1	7.1
Corn			25.0	25.0		10.0	31.4	41.9		15.8	25.0	14.3
Oat	15.0	10.0			13.5	5.0			15.5	9.0		
Soybean oil	1.0	1.0	1.2	1.2	1.0	1.0	1.4	1.4				
Rapeseed oil				3.6			0.7	4.3	1.0	1.0	2.1	5.0
Mineral mixture	2.1	1.5	2.1	2.0	1.8	1.4	2.1	2.4	1.4	1.2	1.8	2.1
Analysed ingredients												
Dry matter	893	896	887	898	882	886	888	898	863	878	870	887
Ether extract	58	55	66	97	52	42	57	82	33	34	47	69
Crude fibre	72	87	52	78	70	77	33	73	56	73	35	60
ADF	92	115	67	99	91	97	45	103	70	96	47	68
NDF	167	203	138	180	162	180	104	179	142	183	113	165
Starch	411	379	483	389	441	453	581	487	526	482	607	522
Sugar	40	30	30	40	39	34	33	32	33	32	32	34
Crude protein	205	199	195	188	169	150	127	129	145	139	121	122
Lysine	12.3	11.0	10.7	9.7	9.6	7.7	6.6	5.2	8.0	7.0	5.4	4.8
Methionine	3.4	3.2	3.2	3.3	2.8	2.6	2.2	2.2	2.3	2.3	2.1	2.1
Crude ash	58	60	50	62	45	50	38	52	39	46	33	45
Calcium	7.7	6.8	5.7	7.8	5.7	6.3	4.2	8.0	4.6	6.3	3.4	6.8
Phosphor	7.3	6.9	7.5	6.9	6.6	6.0	6.2	6.5	5.8	5.4	6.0	6.2
Sodium	1.6	1.3	2.2	2.4	1.4	1.5	2.2	2.9	1.4	1.6	2.3	2.6
ME	14.36	13.65	15.38	14.63	14.32	13.69	15.76	14.46	14.55	13.75	15.58	14.79
NE	9.93	9.35	10.83	10.37	9.98	9.49	11.33	10.35	10.17	9.54	11.15	10.59
Lysine/ME	0.85	0.81	0.70	0.67	0.67	0.57	0.42	0.36	0.55	0.51	0.35	0.32
Lysine/NE	1.23	1.18	0.99	0.94	0.97	0.82	0.58	0.51	0.79	0.73	0.49	0.45
Methionine/ME	0.24	0.23	0.21	0.22	0.20	0.19	0.14	0.16	0.16	0.17	0.14	0.14
Methionine/NE	0.34	0.34	0.29	0.32	0.28	0.27	0.19	0.22	0.22	0.24	0.19	0.20

DM: dry matter

ME: metabolisable energy (calculated according to GFE (2006). For the supplemental feed mixture, the energy content must be interpreted with reservation. Compound feed formula only valid for compound feed with: crude protein 150 - 250 g/kg DM, crude fat ≤ 60 g/kg DM, crude fibre ≤ 80 g/kg DM

NE: Net energy (calculated according to NOBLET (2006))

¹Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

²Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL + 0 %/0 %/0 % AS

³Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

⁴Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

Table 2: Analysed nutritional composition (g/kg DM) and calculated ME and NE content (MJ/kg DM) in dried alfalfa leaf (AL1, AL2) and alfalfa silage (AS1, AS2)

Item	AL1 ¹	AL2	AS1	AS2
Dry matter (g/kg)	939	949	296	418
Crude ash	112	120	125	110
Crude protein	298	224	280	213
Crude fat	42	39	34.8	23.9
Crude fibre	115	175	230	254
Starch	45	53	2.8	13.4
Sugar	25	44	n. d.	n. d.
Methionine	5.0	3.7	4.7	3.5
Lysine	17.4	10.9	7.0	10.6
Cystine	3.9	2.2	2.1	1.8
Threonine	13.8	10.1	5.3	8.9
Tryptophan	5.3	3.7	1.6	1.5
Leucine	21.8	17.1	20.8	16.2
Isoleucine	12.1	9.3	13.2	9.9
Valine	15.5	11.8	16.9	12.6
Arginine	15.2	10.8	5.5	3.2
Histidine	6.6	5.4	2.7	3.9
Phenylalanine	14.4	11.6	12.1	9.9
Tyrosine	9.4	7.1	4.5	4.6
Alanine	17.3	13.0	36.5	12.7
Glycine	13.8	11.1	13.0	9.8
Serine	11.9	9.2	5.5	8.3
Proline	12.8	10.3	6.8	13.6
Aspartic acid	34.6	22.3	10.0	20.6
Glutamic acid	29.9	22.3	12.4	15.5
Calcium		18.4	14.7	16.2
Phosphorus		4.4	4.9	3.7
Sodium		0.4	0.1	0.1
Magnesium		4.0	2.6	3.0
Potassium		26.6	37.8	33.6
ME (MJ/kg)	7.05	6.84	8.17	7.98
NE (MJ/kg)	4.14	3.94	4.43	4.34

DM: dry matter

ME: metabolisable energy (calculated according to GfE (2006))

NE: Net energy (calculated according to NOBLET (2006))

n.d, not detected

¹dried in a drying cabinet at 50 °C for 24 h

Table 3: Relative contents of major putatively identified saponins expressed as umbelliferone equivalent in alfalfa products used in the experimental trial

Saponins*	Aglycone	Saponin contents ¹		
		AL	AS1	AS2
Rha-Hex-Hex-Hex -Soyasapogenol E (11)	Soyasapogenol E	0.46 (9)	1.01 (1)	14.52 (1)
Medicoside J	Medicagenic acid	11.67 (3)	0.04 (29)	6.68 (4)
Medicoside J	Medicagenic acid	11.78 (3)	0.07 (52)	6.74 (5)
Medicagenic acid 3-O-b-D-glucuronide	Medicagenic acid	30.78 (3)	132.50 (1)	55.32 (1)
Medicagenic acid	Medicagenic acid	5.91 (0)	189.61 (0)	19.52 (1)
Hex-Pen-Hederagenin	Hederagenin	9.77 (6)	12.26 (1)	16.44 (0)
Hex-HexA-Hederagenin	Hederagenin	1.16 (5)	11.42 (1)	96.27 (1)
Hex-Hex-Aglycone C	Unknown	1.04 (6)	0.23 (10)	16.89 (2)
Azukisaponin V; Soyasaponin I	Soyasapogenol	29.70 (5)	6.92 (2)	34.15 (1)
Azukisaponin V; Soyasaponin I	Soyasapogenol	125.67 (5)	29.45 (1)	118.33 (1)
Azukisaponin V; Soyasaponin I	Soyasapogenol	11.08 (5)	2.55 (2)	11.77 (4)
Azukisaponin II	Soyasapogenol	30.17 (6)	33.72 (1)	54.04 (1)
3-GlcA-28-Glc-Hederagenin	Hederagenin	2.13 (4)	0.50 (2)	81.54 (1)
3-glcA-28-ara-rha-xyl-medicagenic acid	Medicagenic acid	95.81 (9)	1.64 (8)	28.28 (4)
28-xyl-rha-ara-medicagenic acid	Medicagenic acid	4.67 (5)	54.81 (0)	108.63 (1)
28-xyl-rha-ara-medicagenic acid	Medicagenic acid	4.67 (5)	54.64 (1)	108.16 (2)
Total content of all saponins analyzed		477.29	629.39	929.79

*Saponin abbreviations: Ara: arabinose; Glc: glucose; GlcA: galacturonic acid; Hex: hexose; HexA: hexuronic acid; Pen: pentose; Rha: rhamnose; Xyl: xylose.

¹expressed as umbelliferone equivalent ($\mu\text{g/g DM}$) ($n = 3$) (RSE %)

AL: dried alfalfa leaf

AS: alfalfa silage

DM: dry matter

RSE: relative standard error of saponin concentration measured for two replicates

Table 4: Average daily concentrated feed mixture intake, silage consumption and proportion of the silage in the diet (LS-Means and Standard error (*SE*)) as well as in combination with the feed analyses resulting daily intake of selected nutrients, ME and NE

Item		Complete feed mixture		Supplemental feed mixture		<i>SE</i>	<i>p</i>
		A ¹	B ²	C ³	D ⁴		
Initial phase							
Total dry matter intake	kg	1.69 ^a	1.73 ^a	1.50 ^b	1.45 ^b	0.03	< 0.001
Concentrate feed mixture intake	kg	1.69 ^a	1.73 ^a	1.40 ^b	1.39 ^b	0.02	< 0.001
	DM						
Silage consumption	kg			0.10	0.06	0.01	0.128
	DM						
Crude protein	g	346	343	302	278		
Lysine	g	21	19	16	14		
Methionine	g	6	6	5	5		
ME	MJ	24	23	22	21		
NE	MJ	17	16	16	15		
Growing phase							
Total dry matter intake	kg	2.24	2.33	2.13	2.10	0.06	0.070
Concentrate feed mixture intake	kg	2.24 ^b	2.33 ^a	1.70 ^c	1.73 ^c	0.03	< 0.001
	DM						
Silage consumption	kg			0.43	0.37	0.07	0.539
	DM						
Crude protein	g	379	349	320	307		
Lysine	g	22	18	15	13		
Methionine	g	6	6	5	5		
ME	MJ	32	32	30	28		
NE	MJ	22	22	21	20		
Finishing phase							
Total dry matter intake	kg	2.41	2.44	2.52	2.51	0.06	0.519
Concentrate feed mixture intake	kg	2.41 ^a	2.44 ^a	1.81 ^b	1.86 ^b	0.04	< 0.001
	DM						
Silage consumption	kg			0.71	0.65	0.06	0.534
	DM						
Crude protein	g	349	339	370	364		
Lysine	g	19	17	17	16		
Methionine	g	5	6	6	6		
ME	MJ	35	34	34	33		
NE	MJ	24	23	23	23		

DM: dry matter; a, b, c: Different indices indicate significant differences ($p < 0.05$); *p*: probability of error

¹Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

²Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL und 0 %/0 %/0 % AS

³Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL+ 20 %/30 %/30 % AS

⁴Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

ME: metabolisable energy (calculated according to GFE (2006)). For the supplemental feed mixture, the energy content must be interpreted with reservation. Compound feed formula only valid for compound feed with: crude protein 150 - 250 g/kg DM, crude fat \leq 60 g/kg DM, crude fibre \leq 80 g/kg DM

NE: Net energy (calculated according to NOBLET (2006))

Table 5: Body weight and daily weight gain (LS-Means and Standard Error (SE)) in the different phases of the trial and in average as well as duration of the fattening period

Item	Group				<i>p</i>
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	
Initial phase					
Initial weight (kg)	29.9	29.8	29.9	30.4	0.958
SE	0.75	0.75	0.79	0.79	
Daily weight gain (kg)	0.842 ^a	0.855 ^a	0.794 ^{ab}	0.709 ^b	0.020
SE	33.25	33.25	35.05	35.05	
Final weight (kg)	59.4	59.8	60.8	58.7	0.845
SE	1.62	1.62	1.71	1.71	
Growing phase					
Daily weight gain (kg)	0.981 ^a	0.881 ^b	0.756 ^c	0.620 ^c	< 0.001
SE	28.89	28.89	30.45	30.45	
Final weight (kg)	86.8	84.4	85.0	87.2	0.785
SE	2.24	2.24	2.36	2.36	
Finishing phase					
Daily weight gain (kg)	0.688 ^a	0.619 ^{ab}	0.675 ^a	0.540 ^b	0.034
SE	36.04	36.04	37.99	37.99	
Final weight (kg)	110.6	110.4	110.2	111.0	0.979
SE	1.33	1.33	1.40	1.40	
Average (all phases)					
Cumulated daily weight gain (kg)	0.831 ^a	0.773 ^{ab}	0.741 ^b	0.618 ^c	< 0.001
SE	27.00	27.00	28.46	28.46	
Duration of fattening period (d)	98.1 ^b	105.9 ^b	109.2 ^b	131.6 ^a	< 0.001
SE	4.09	4.09	4.31	4.31	

a, b, c: Different indices indicate significant differences ($p < 0.05$); p: probability of error

¹ Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

² Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL und 0 %/0 %/0 % AS

³ Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL+ 20 %/30 %/30 % AS

⁴ Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

Table 6: Average total feed consumption (kg DM) and concentrate feed consumption (kg DM) per kg gain (FCR) in the fattening phases of the feeding trial with fattening pigs (LS-Means and Standard error (SE))

Item	Group				SE	p
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴		
Initial phase						
Total feed conversion ratio (kg/kg)	2.01	2.03	1.92	2.10	0.05	0.074
Concentrate feed conversion ratio (kg/kg)	2.01 ^a	2.03 ^a	1.79 ^b	2.01 ^a	0.05	0.006
Growing phase						
Total feed conversion ratio (kg/kg)	2.29 ^d	2.65 ^c	2.90 ^b	3.53 ^a	0.08	< 0.001
Concentrate feed conversion ratio (kg/kg)	2.29 ^c	2.65 ^b	2.32 ^c	2.92 ^a	0.08	0.001
Finishing phase						
Total feed conversion ratio (kg/kg)	3.60 ^b	4.00 ^b	4.04 ^b	4.81 ^a	0.17	0.001
Concentrate feed conversion ratio (kg/kg)	3.60 ^a	4.00 ^a	2.91 ^b	3.59 ^a	0.15	< 0.001
Average (all phases)						
Total feed conversion ratio (kg/kg)	2.56 ^c	2.90 ^b	2.86 ^b	3.37 ^a	0.08	< 0.001
Concentrate feed conversion ratio (kg/kg)	2.56 ^b	2.90 ^a	2.29 ^c	2.78 ^{ab}	0.08	0.001

FCR: Feed conversion ratio

a, b, c: Different indices indicate significant differences ($p < 0.05$); p: probability of error

¹Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

²Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL und 0 %/0 %/0 % AS

³Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL+ 20 %/30 %/30 % AS

⁴Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

Table 7: Results of the elevated carcass characteristics per group (LS-means and Standard error (SE))

Item	Group				<i>p</i>
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	
Warm carcass weight (kg)	85.1	85.0	82.1	83.2	0.198
<i>SE</i>	1.24	1.04	1.08	1.34	
Carcass percentage (%)	79.9 ^a	78.6 ^{ab}	77.5 ^{bc}	76.7 ^c	0.013
<i>SE</i>	0.62	0.52	0.54	0.67	
Muscle thickness (mm)	54.2 ^a	51.0 ^a	46.5 ^b	44.7 ^b	< 0.001
<i>SE</i>	1.40	1.18	1.22	1.52	
Bacon thickness (mm)	13.3	12.9	14.5	14.4	0.428
<i>SE</i>	0.89	0.75	0.78	0.96	
Meat area (cm ²)	43.3 ^{ab}	43.8 ^a	40.2 ^{bc}	38.3 ^c	0.040
<i>SE</i>	1.46	1.23	1.27	1.57	
Fat area (cm ²)	11.8	11.7	12.0	13.1	0.730
<i>SE</i>	0.88	0.74	0.77	0.95	
Lean meat content (%)	58.5	58.3	56.2	56.0	0.061
<i>SE</i>	0.81	0.68	0.71	0.87	
IMF (%)	4.09	4.47	5.28	5.41	0.455
<i>SE</i>	0.65	0.55	0.57	0.71	

IMF: intramuscular fat

a, b, c: Different indices indicate significant differences ($p < 0.05$); *p*: probability of error

¹Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

²Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL und 0 %/0 %/0 % AS

³Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL+ 20 %/30 %/30 % AS

⁴Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

Table 8: Content of selected fatty acids and fatty acid groups (g/100g fatty acid methyl ester) in the chop from the back muscle (*musculus longissimus dorsi*) (LS-mean values and standard error (*SE*))

Item	Group				<i>p</i>
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	
C14:0	1.27	1.25	1.24	1.22	0.936
<i>SE</i>	0.04	0.04	0.04	0.05	
C16:0	23.84	23.67	23.74	22.15	0.218
<i>SE</i>	0.55	0.46	0.48	0.60	
C18:0	12.38 ^a	12.33 ^a	11.87 ^a	10.66 ^b	0.020
<i>SE</i>	0.36	0.30	0.31	0.39	
C16:1	2.84	2.68	2.85	2.51	0.607
<i>SE</i>	0.19	0.16	0.16	0.20	
C18:1	43.14	43.31	42.98	45.06	0.175
<i>SE</i>	0.64	0.54	0.56	0.69	
C20:1	0.99	0.95	0.89	0.98	0.101
<i>SE</i>	0.03	0.03	0.03	0.04	
C18:2	10.92	10.37	11.24	11.40	0.769
<i>SE</i>	0.83	0.70	0.72	0.89	
C18:3	0.96 ^c	1.84 ^b	1.63 ^b	2.71 ^a	< 0.001
<i>SE</i>	0.16	0.13	0.14	0.17	
C20:2	0.61	0.55	0.56	0.52	0.686
<i>SE</i>	0.05	0.04	0.04	0.05	
C20:3	0.26 ^c	0.44 ^a	0.36 ^b	0.52 ^a	< 0.001
<i>SE</i>	0.03	0.03	0.03	0.03	
EPA	0.02	0.02	0.03	0.01	0.535
<i>SE</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	
DPA	0.24	0.29	0.24	0.25	0.204
<i>SE</i>	0.02	0.02	0.02	0.03	
DHA	0.06	0.06	0.07	0.06	0.688
<i>SE</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	
SFA	38.26 ^a	38.07 ^a	37.62 ^a	34.80 ^b	0.032
<i>SE</i>	0.76	0.64	0.67	0.82	
MUFA	46.47	47.34	47.06	48.78	0.476
<i>SE</i>	0.75	0.63	0.65	0.81	
PUFA	14.27	14.59	15.32	16.43	0.632
<i>SE</i>	1.12	0.94	0.98	1.21	
Total n3	1.53 ^c	2.64 ^b	2.33 ^b	3.55 ^a	< 0.001
<i>SE</i>	0.21	0.18	0.18	0.23	
Total n6	12.75	11.94	12.99	12.88	0.777
<i>SE</i>	0.93	0.78	0.81	1.01	

EPA: eicosapentaenoic acid; DPA: docosapentaenoic acid; DHA: docosahexaenoic acid; SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; n3: sum of omega-3 fatty acids; n6: sum of omega-6 fatty acids

a, b, c: Different indices indicate significant differences ($p < 0.05$); p: probability of error

¹Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

²Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL und 0 %/0 %/0 % AS

³Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL+ 20 %/30 %/30 % AS

⁴Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

Table 9: Content of selected fatty acids and fatty acid groups (g/100g fatty acid methyl ester) in the back fat (LS-mean values and standard error (SE))

Item	Group				p
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	
C14:0	1.10 ^a	1.12 ^a	1.06 ^a	0.90 ^b	< 0.001
SE	0.03	0.02	0.02	0.03	
C16:0	21.37 ^a	21.22 ^a	20.19 ^a	16.75 ^b	< 0.001
SE	0.44	0.37	0.38	0.47	
C18:0	12.59 ^a	12.10 ^a	11.40 ^a	9.33 ^b	0.001
SE	0.46	0.39	0.41	0.50	
C16:1	1.60 ^a	1.64 ^a	1.50 ^a	1.13 ^b	0.001
SE	0.07	0.06	0.06	0.08	
C18:1	39.08 ^b	39.67 ^b	38.84 ^b	42.74 ^a	< 0.001
SE	0.55	0.46	0.48	0.59	
C20:1	1.06 ^a	1.01 ^a	0.92 ^b	1.03 ^a	0.022
SE	0.03	0.03	0.03	0.04	
C18:2	17.49 ^{ab}	16.06 ^b	19.04 ^a	19.31 ^a	0.008
SE	0.76	0.64	0.67	0.82	
C18:3	1.74 ^c	2.96 ^b	2.87 ^b	4.70 ^a	< 0.001
SE	0.14	0.12	0.12	0.15	
C20:2	0.92	0.83	0.84	0.77	0.069
SE	0.03	0.03	0.03	0.04	
C20:3	0.44 ^c	0.75 ^a	0.60 ^b	0.84 ^a	< 0.001
SE	0.04	0.03	0.03	0.04	
EPA	0.03 ^b	0.07 ^a	0.08 ^a	0.07 ^a	0.012
SE	0.01	0.01	0.01	0.01	
DPA	0.17 ^b	0.22 ^a	0.19 ^b	0.25 ^a	0.001
SE	0.01	0.01	0.01	0.01	
DHA	0.04	0.04	0.05	0.06	0.143
SE	0.01	0.00	0.00	0.01	
SFA	36.08 ^a	35.42 ^{ab}	33.61 ^b	27.86 ^c	< 0.001
SE	0.82	0.67	0.71	0.88	
MUFA	42.14 ^b	42.73 ^b	41.66 ^b	45.20 ^a	0.003
SE	0.58	0.49	0.51	0.62	
PUFA	21.78 ^b	21.85 ^b	24.72 ^a	26.94 ^a	0.003
SE	0.96	0.81	0.84	1.03	
Total n3	2.44 ^c	4.05 ^b	3.79 ^b	5.92 ^a	< 0.001
SE	0.17	0.15	0.15	0.19	
Total n6	19.34 ^{ab}	17.80 ^b	20.94 ^a	21.02 ^a	0.014
SE	0.83	0.70	0.73	0.90	

EPA: eicosapentaenoic acid; DPA: docosapentaenoic acid; DHA: docosahexaenoic acid; SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; n3: sum of omega-3 fatty acids; n6: sum of omega-6 fatty acids

a, b, c: Different indices indicate significant differences ($p < 0.05$); p: probability of error

¹Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % alfalfa leaves (AL) + 0 %/0 %/0 % alfalfa silage (AS) (control)

²Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/20 %/20 % AL und 0 %/0 %/0 % AS

³Initial-/growing-/finishing phase: 0 %/0 %/0 % AL+ 20 %/30 %/30 % AS

⁴Initial-/growing-/finishing phase: 15 %/15 %/10 % AL + 20 %/30 %/30 % AS

4. DISKUSSION

4.1 Verdaulichkeitsbestimmung von Grünleguminosenprodukten beim wachsenden Schwein

Ergänzend zu den in 3.1 ermittelten Rohnährstoffverdaulichkeiten ist in Tabelle 3 die NfE-Verdaulichkeit (dNfE) der Rationen sowie der Prüffuttermittel dargestellt.

Tabelle 3: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der NfE von getrocknetem Luzerneblatt (LB), Luzerne-Blattsilage (LBS), Luzernesilage (LS) und Rotkleesilage (RS) bei wachsenden Schweinen (LS-Mittelwerte, Standardfehler (SE))

Merkmal	LB	LBS	LS	RS	p
Diät					
NfE	83,0 ^b	86,3 ^{ab}	86,5 ^{ab}	88,0 ^a	< 0,0001
SE	1,72	1,72	1,49	1,72	
Prüffuttermittel					
NfE	52,0 ^c	68,0 ^b	64,3 ^b	75,7 ^a	< 0,0001
SE	1,72	1,72	1,49	1,72	

p: Irrtumswahrscheinlichkeit; ^{abcd}: unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Die NfE von getrockneten LB war weniger verdaulich als die der Silagen. Die dNfE von LBS und LS wies keine signifikanten Unterschiede auf. Sie war jedoch signifikant niedriger als bei RS.

Die dNfE von RS entsprach der von ROTH und REENTS (2001) betrachteten Verdaulichkeit von Kleegrassilagen des 1. Schnittes und lag höher als die von BELLOF et al. (1998) ermittelte dNfE für die Kleegrassilage. Die Werte der getrockneten LB entsprachen der von BEYER et al. (1977) für getrocknete Luzerne ermittelten Verdaulichkeit, sind aber deutlich niedriger als die von JENTSCH et al. (1991) für LB ermittelte dNfE. Die dNfE von LBS ähnelte der von JENTSCH et al. (1991) untersuchten Verdaulichkeit des frischen LB. Auch die dNfE der LS war vergleichbar mit den in der Literatur gefundenen Werten (WELTIN et al., 2014; BEYER et al., 1977).

In dem in Kapitel 3.1 dargestellten Fütterungsversuch wurden verschiedene Grünleguminosenprodukte eingesetzt und auf ihre Verdaulichkeit in vivo untersucht. Hierbei wurde ein Differenzverfahren mit Hilfe der Indikatormethode angewandt. Die Futtermittel wurden in diesem Versuch keiner In-vitro-Verdaulichkeitsuntersuchung unterzogen. Ebenso wurde für die feuchten Testfutter keine Korrektur der Trockensubstanzkonzentration um die möglichen trocknungsbedingten Verluste flüchtiger Substanzen durchgeführt. Dies könnte zu einer Unterschätzung der Verdaulichkeiten der organischen Masse führen. Zudem konnten nicht allen

Vorgaben der GfE (2005) nachgekommen werden. So konnte die empfohlene Anpassungszeit an faserreiches Futter von 3 Wochen nicht eingehalten werden. Die GfE (2005) empfiehlt, dass mehr als 25 % der organischen Substanz der Ration aus dem zu prüfenden Futter stammen sollten. Dies wurde nicht bei allen Testfuttern erreicht. Außerdem wurde empfohlen, dass bei Testfuttermitteln, die den einzigen energiereichen Teil der Ration darstellen, mindestens 4 Wiederholungen verwendet werden sollten. Wenn das Testfutter weniger als die Hälfte der Ration ausmachte, sollte die Anzahl der Replikate 6 betragen. Auch diese Empfehlung konnte aufgrund tierschutzrechtlicher Vorgaben der Regierung von Oberbayern nicht erfüllt werden. Wie bereits in Kapitel 3.1 erwähnt, sind die Verdaulichkeitswerte, die durch Differenzberechnungen erhalten werden, sehr anfällig, selbst für kleine Fehler im Datensatz, wenn niedrige Einschussmengen verwendet werden (HØØK PRESTO et al., 2011; IVARSSON et al., 2012). URDL et al. (2009) wiesen ebenfalls auf das Auftreten von Unsicherheiten bei der Bestimmung von Verdauungsquotienten durch die Differenzmethode hin und nutzten daher die von RUTZMOSEER et al. (2007) vorgeschlagene Methode zur Berechnung der Verdaulichkeit.

Die verschiedenen Einflüsse auf die Verdaulichkeit der verschiedenen Grünleguminosenprodukte wurden bereits ausführlich in Kapitel 3.1 diskutiert. Grünleguminosenkonserven können einerseits aufgrund der unterschiedlichen Nährstoffzusammensetzung in Abhängigkeit des Schnittzeitpunktes sowie einer unterschiedlichen Konservierungsmethode ein sehr unbeständiges Raufuttermittel darstellen. Zudem spielt der Anteil an verschiedenen Saponinen eine große Rolle, die ebenfalls durch verschiedene Faktoren (siehe Kapitel 2.2.2.3) beeinflusst werden können und weiterer Forschung bedürfen. So können, wie ebenfalls von WÜSTHOLZ (2017b) angemerkt, die Ergebnisse einzelner Verdaulichkeitsanalysen nicht verallgemeinert werden. Das Erntematerial der untersuchten Grünleguminosenkonserven unterschied sich teilweise im Schnitt, Vegetationsstadium, Nutzungsjahr und Sorte (LBS/LB: 3.Schnitt, 2. Hauptnutzungsjahr, BBCH 55 (HACK et al., 1992), Sorte Plato; LS: 3.Schnitt, 1.Hauptnutzungsjahr, BBCH 60 (HACK et al., 1992), Sorte Catera; RS: 5. Schnitt, 1. Hauptnutzungsjahr, BBCH 51 (HACK et al., 1992), Sorte Taifun). Für eine bessere Vergleichbarkeit wäre aufgrund der zuvor genannten Einflüsse auf die Verdaulichkeit eine Übereinstimmung der Prüffuttermittel in diesen Punkten sinnvoll gewesen.

4.2 Einfluss antinutritiver Inhaltsstoffe von Grünleguminosenprodukten beim wachsenden Schwein

Futteraufnahme

In Kapitel 3.1 wird vermutet, dass der Unterschied der Futteraufnahme der verschiedenen Testfuttermittel auf die geringe Schmackhaftigkeit (Bitterkeit) der Luzerne zurückzuführen sein könnte (LEAMASTER und CHEEKE, 1979; CHEEKE, 1983), die durch in der Luzerne enthaltene sekundäre Inhaltsstoffe, die sogenannten Saponine, verursacht wird. Diese haben einen antinutritiven Charakter, der die optimale Nutzung dieser proteinreichen Pflanze für die Tierernährung einschränkt, indem er die Leistung der Tiere beeinträchtigt (SEN et al., 1998). Mit den Testfuttermitteln RS, LS, LBS und getrockneten LB wurden verschiedene Grünleguminosen und –pflanzenteile sowie unterschiedliche Konservierungsmethoden geprüft. Mit den zuvor in Kapitel 2.2.2.3 sowie 3.1 und 3.2 geschilderten Erkenntnissen bezüglich der verschiedenen Faktoren, von denen der Saponingehalt sowie der unterschiedliche Anteil bestimmter Saponine und deren biologische Wirkung abhängig ist, lässt sich somit gut ihre unterschiedliche Akzeptanz erklären. Im dargestellten Verdauungsversuch wurden die getrockneten LB am schlechtesten akzeptiert, gefolgt von der LBS, der LS und RS. Die RS wurde nicht nur am besten akzeptiert, sondern zeigte auch die höchsten Roh Nährstoffverdaulichkeiten. Dies lässt darauf schließen, dass die RS hinsichtlich antinutritiver Inhaltsstoffe weitgehend unbedenklich für wachsende Schweine und somit der LS überlegen ist. Aufgrund fehlender Saponinanalysen beruhen die in den zuvor genannten Kapiteln aufgestellten Begründungen der unterschiedlichen Futteraufnahme nur auf Vermutungen. Jedoch lässt sich auf eine Analogie zu den Broilerversuchen von PLEGER et al. (2021; 2020) und deren Erkenntnisse aufgrund durchgeführter Saponinanalysen desselben Projektes „Grüenlegum“ schließen. Um genaue Aussagen treffen zu können, bedarf es jedoch an weiterer Forschung bezüglich der Saponine.

Wachstum

Die Schweine der Ganzpflanzensilagegruppen des Verdauungsversuches wiesen die höchsten TZ mit durchschnittlich 725 g (LS) und 727 g (RS) auf, gefolgt von den Schweinen in der LBS-Gruppe mit 623 g. Die LB-Gruppe zeigte die niedrigsten TZ mit einer durchschnittlichen TZ von 580 g.

Somit korrelierten die täglichen Zunahmen über den Zeitraum im Stoffwechselkäfig mit der Futteraufnahme. Die Gruppe, die Luzernetrockenblatt erhielt, wies die geringsten TZ auf, gefolgt von der Gruppe, die LBS erhielt. Die Gruppe, die LS vorgelegt bekam, wies ähnliche TZ auf wie die, die mit dem Prüffuttermittel RS gefüttert wurde. Neben der schon genannten Depression der Futteraufnahme können Saponine noch andere wachstumsdämpfende Wirkungen aufweisen. Diese wären zum einen die Reizung der Membranen von Mund und Verdauungstrakt sowie die beeinträchtigte Nährstoffabsorption, zum anderen ihre Auswirkungen auf

die Verdaulichkeit und die Hemmung des Zellstoffwechsels (CHEEKE, 1983). CHEEKE (1976) vermutet jedoch die reduzierte Futteraufnahme als den Hauptgrund für die wachstumsdämpfende Wirkung von Saponinen. In der Literatur wird jedoch erkenntlich, dass ein Einsatz von Luzerne bzw. deren Saponine in moderaten Mengen von 15-20 % eingesetzt werden kann (LEAMASTER und CHEEKE, 1979; SHI et al., 2014; MESSINGER et al., 2019). Hierbei spielt der Anteil an Saponinen in der Luzerne eine Rolle (CHEEKE et al., 1978; CHEEKE et al., 1977). In der ökologischen Schweinemast werden laut LFL (2021b) bei mittlerem Leistungsniveau derzeit tägliche Zunahmen von 750 g, bei niedrigem Leistungsniveau 700 g erreicht. Die im Versuch erzielten TZ bei LS und RS dokumentieren somit ein niedriges bis mittleres Leistungsniveau, während die LB und LBS deutlich unterhalb des niedrigen Leistungsniveaus liegen. Die TZ der LB- und LBS-Gruppe sind vergleichbar mit den von CHEEKE et al. (1978) ermittelten Werten für die Diät mit 40 % saponinreichem LM bzw. nicht selektiertem LM, die der LS- und RS-Gruppe entsprechen den ermittelten TZ zwischen der Diät mit 20 % saponinreichem und 20 % saponinarmen LM. Jedoch ist diese Interpretation mit Vorsicht zu betrachten, da die Vergleichbarkeit nicht vollständig gegeben ist. Die Gruppen wiesen unterschiedliche Gewichte und Alter beim Einstellen in die Stoffwechselkäfige auf. Auch erhielten die Schweine unterschiedlich hohe ME/Tag (LB: 18,6; LBS: 19,1; LS: 18,7; RCS: 20,1 MJ/kg/Tag). Zudem handelte es sich hierbei um einen zu kurzen Zeitraum. Alter, Gewicht und der Energiegehalt pro Tag sind bei LBS und LS ungefähr vergleichbar. Hier sind die beschriebenen Auswirkungen erkennbar.

Verdauung

Wie in Kapitel 3.1 und 2.2.2.3 diskutiert, können Saponine mit den Schleimhautzellmembranen interagieren und so Permeabilitätsveränderungen oder den Aktivitätsverlust membrangebundener Enzyme verursachen, was die Verdauung von Nährstoffen beeinträchtigen kann (OLESZEK et al., 1994). Von allen getesteten pflanzlichen Glykosiden war der Einfluss von Luzernesaponinen auf die transmurale PD im Dünndarm von Säugetieren am höchsten (GEE et al., 1989), wobei Zanhicsäure-Tridesmosid die höchsten Raten der PD-Abnahme zeigte (OLESZEK et al., 1994). Saponine beeinträchtigen ebenfalls die dXP (FRANCIS et al., 2002), die vermutlich durch die Bildung schwer verdaulicher Saponin-Protein-Komplexe verursacht wird (POTTER et al., 1993). IKEDO et al. (1996) zeigten, dass durch die Zugabe von Sojasaponin durch die Interaktion des Hydrolysats eines Rinderserumalbumin-Sojasaponin-Komplexes mit Sojasaponin die Alpha-Chymotrypsin-Verdauung viel geringer war als die des freien Rinderserumalbumins. Studien an Ratten über die Auswirkungen von Luzerne-Proteinkonzentraten (APC), die aus Luzerne mit hohem und niedrigem Saponingehalt hergestellt wurden, auf die dXP zeigten, dass die dXP von APC mit hohem Saponingehalt signifikant niedriger war als die von APC mit niedrigem Saponingehalt (HEGSTED und LINKSWILER, 1980). CHEEKE et al. (1978) fanden jedoch keinen Unterschied in der dXP durch Ratten und der Verdaulichkeit des Ether-

Extrakt aus Luzerne-Blattmehl, die sich im Saponingehalt unterschieden. Gründe dafür könnten darin gelegen haben, dass der geringere Saponingehalt für eine maximale Wirkung hätte ausreichen können, oder dass die Saponine in Ranger-Luzerne von einem Typ sind, der kein Protein bindet. PLEGER et al. (2021) wiesen analog zu den eigenen Untersuchungen eine niedrigere Verdaulichkeit der getrockneten LB im Vergleich zur LS nach. Der Grund wurde vor allem in den höheren Gehalten an Zanhicssäure-Glykosiden in LB als in LS vermutet. Die dXP der beiden Luzernesilagen zeigte nur eine geringe Differenz und lies sich nicht statistisch absichern. Hier wäre aufgrund des deutlichen Unterschieds des XF- und XP-Gehaltes eine höhere Verdaulichkeit auf Seite der LBS zu erwarten gewesen. So können hier ebenfalls neben den Einflüssen des schlechteren AS-Verhältnisses in Bezug auf den XP-Gehalt der LBS die hauptsächlich in den Blättern vorkommenden antinutritiven Saponine die dXP beeinflusst haben. Die dXP der Rationen weist im Vergleich zu den einzelnen Prüffuttermitteln jedoch nur leichte numerische und keine signifikanten Unterschiede auf (siehe Kapitel 3.1., Tabelle 3).

4.3 Heißlufttrocknung und Silierung als Konservierungsmethoden für Luzerne im frühen Reifestadium

In den aufgeführten Versuchen wurde die Luzerne sowohl heißluftgetrocknet als auch siliert konserviert.

Die Heißlufttrocknung wurde jeweils durch die Firma „Futtertrocknung Lamerdingen eG“ in Lamerdingen durchgeführt. Dabei wurden die getrockneten LB bei einer Trocknungszeit von 2-5 Minuten und einer Trocknungstemperatur von 200 bis 600°C am Eingang und 100°C am Ausgang in einem Trommeltrockner getrocknet und letztendlich zu Pellets gepresst. Auffällig war, dass sich der Nährstoffgehalt der zu Cobs gepressten getrockneten LB des Leistungsversuches im Vergleich zum Ausgangsmaterial deutlich verschlechterte. Während sich der XP-Gehalt reduzierte, stieg der ermittelte XF-Gehalt in der LB-Cobs-Probe an. Auch zeigte sich eine deutliche Verringerung der AS-Gehalte, insbesondere für Lys. Verluste traten auch bei Met, Cys, Thr und Trp auf, wenn auch in geringerem Ausmaß. Das Verhältnis der AS zum XP-Gehalt des Ausgangsmaterials sowie der LB-Cobs blieb nahezu gleich. Der größte Unterschied bestand bei Lys und Asparaginsäure. Dasselbe Phänomen zeigte sich auch bei den LB-Cobs des Verdauungsversuches. Hier wurden jedoch keine Analysen des Ausgangsmaterials vollzogen, um diese Aussage verifizieren zu können. Die möglichen Gründe für die beschriebene Verschiebung der Nährstoffgehalte werden ausführlich in den Kapiteln 3.1 und 3.2 diskutiert. BLUME et al. (2021) vergleichen Ausgangsmaterial, heißluftgetrocknete Luzerne sowie pelletierte heißluftgetrocknete Luzernepellets auf ihren Nährstoffgehalt und die In-vitro-Verdaulichkeiten. Sie zeigen auf, dass die Heißlufttrocknung keine gravierenden negativen Auswirkungen auf die Nährstoffe und In-vitro-Verdaulichkeit hat. Das Pelletieren hatte nur geringen Einfluss auf die Nährstoffkonzentration, wobei der Lys- und Met-Gehalt aber auf dem Niveau des Ausgangsmaterials blieben. Jedoch wurde die In-vitro-pcd XP beeinflusst. Die In-vitro-pcd XP vom pelletierten Luzernefeinanteil (Blattanteil) war ebenfalls geringer als beim Ausgangsmaterial, jedoch nur geringfügig. Der XP-Gehalt wurde wie erwartet durch die Trennung erhöht sowie der XF-Gehalt verringert. BLUME et al. (2021) kommen aufgrund der Ergebnisse zu dem Entschluss, dass die Heißlufttrocknung geeignet ist, hochwertige Pellets für Tiere mit hohen Anforderungen an essenzielle AS herzustellen. Dies zeigt, dass die unerwartete Nährstoffzusammensetzung der LB-Cobs in der vorliegenden Studie vermutlich auf einem Fehler im Verlauf des Prozesses vom Transport bis zum Pelletieren basiert. Auf Nachfrage bei der Firma „Futtertrocknung Lamerdingen eG“ wurde diese Vermutung bestätigt. Es kam vermutlich aufgrund der geringen Mengen an Trocknungsmaterial zu Verschleppungen im Trocknungsprozess mit weniger protein- aber dafür faserreichem Material als die LB. Dies veranschaulicht, dass auf eine korrekte Verarbeitung geachtet werden muss, auch in Hinblick auf die auf zu hohen Prozesstemperaturen basierende Maillardreaktion und daraus resultierende Schädigung der AS (siehe Kapitel 2.2.2.1 und 3.1).

Zudem wurde für beide Versuche an zwei Terminen Anfang Juli und Ende September 2018 LBS sowie LS gewonnen. Während für die Blattsilage zur Ernte der LB eine Prototyp-Blatternemaschine der Firma Co. Trust'ing aus Frankreich genutzt und das Erntegut erntefrisch mit Melasse als Silierhilfsmittel mit einer speziellen Ballenpresse für Maissilage (Fa. Göweil) einsiliert wurde, wurde die Ganzpflanzensilage mit einem Scheibenmäher gemäht, gezettet, das taufrische Anwelkgut mit einem Doppelkreiselschwader geschwadet, mittags mit einem selbstfahrenden Häcksler (Claas Jaguar 900 Speedstar) mit minimaler Häcksellänge geerntet und ebenfalls mit der Göweil-Ballenpresse einsiliert. Da die Göweil-Pressen Ende September bei der Gewinnung der späteren Ganzpflanzensilage nicht sofort zur Verfügung stand, musste das Erntegut auf dem Feld in separaten Silagemieten zwischengelagert werden. Erst eine Woche später war die Maschine wieder verfügbar und die Nachpressung konnte erfolgen. Auch der angestrebte TS-Gehalt von 40 % konnte nicht erreicht werden. Die Blattsilage und die Ganzpflanzensilage im Juli zeigten sich als lagerstabil, weshalb die Silierung sich somit als geeignete Konservierungsmethode erwies. Bei diesen wurde keine Erwärmung, Schimmelbildung sowie Geruchsabweichungen festgestellt. Die Ganzpflanzensilage der späteren Ernte wies jedoch Geruchsabweichungen auf und stieß auf Akzeptanzschwierigkeiten. Es wurden hohe Gehalte an biogenen Aminen gefunden, insbesondere Gamma-Aminobuttersäure, Cadavarin, 4-Aminobuttersäure und 3-Amino-1-propanol. Am Beispiel dieser Silage wird deutlich, dass besonders bei der Luzerne auf einen raschen und erfolgreichen Silierverlauf geachtet werden muss. Grundlage bildet hierbei die Beachtung wesentlicher Silierregeln: die Ernte im geeigneten Vegetationsstadium, ein Anwelken auf einen TS-Gehalt von 35 bis 40 %, eine intensive Zerkleinerung des Anwelkgutes mittels Feldhäcksler, eine hohe Verdichtung und ein rascher Luftabschluss (siehe Kapitel 2.2.2.1). Aufgrund des höheren Eiweißgehaltes der Blätter ist mit einer schwereren Vergärbarkeit dieser zu rechnen (RÜGHEIMER, 1986). Hier eignet sich Melasse zur Verbesserung der Fermentationsqualität und zur Langzeitkonservierung, da sie ein Substrat für die schnelle Akkumulation von Milchsäure und pH-Senkung bei gleichzeitiger Erhöhung der ernährungsphysiologischen Qualität der Silage bietet (LUO et al., 2021; XIE et al., 2021). Die Zugabe von *Lactobacillus plantarum* würde die negativen Auswirkungen von Melasse, die zu einem höheren Gehalt an saurem, unlöslichem Stickstoff führen können, mildern (XIE et al., 2021).

Sobald das Silo geöffnet wird, folgt eine unvermeidliche aerobe Phase. Somit findet nach einer variablen Zeitspanne ein aerobes mikrobielles Wachstum statt. Hefen, Bakterien sowie Schimmelpilze vermehren sich, vermindern den Nährwert und produzieren toxische Substanzen, die die Silage ungenießbar machen, und verursachen somit einen anaeroben Verderb (ROOKE und HATFIELD, 2003). Im durchgeführten Verdauungsversuch wurde die Silage portioniert und vakuumiert, da aufgrund der geringen Anzahl an Versuchstieren pro Prüffuttermittel und geringen Zeitraums ein zeitnaher Verbrauch des Siloballens nicht gegeben gewesen wäre und die Gefahr eines anaeroben Verderbes bestanden hätte. So konnte sichergestellt werden,

dass alle Schweine mit einer vergleichbaren Qualität gefüttert und getestet wurden. Gleichzeitig verschaffte diese Methode eine erhebliche Arbeitserleichterung während des Versuchs.

Obwohl der Erfolg der Silierung von der Witterung stärker abhängig ist als die Heißlufttrocknung, ist diese Methode doch die kostengünstigere (TACK, 1971) und praktisch umsetzbarere für die Landwirte. Steigende Energiekosten, größere Futtermengen, und höhere Transportkosten zu Trocknungsanlagen werden dies auch zukünftig nicht ändern. Bei sachgemäßer Trocknung kann jedoch ein hochwertiges Eiweißfuttermittel gewonnen werden (FRANKE, 1959; TRAPP, 1958). Da alle eingesetzten Maschinen, die zur Gewinnung der Ganzpflanzensilage notwendig waren, über Lohnunternehmen zu erlangen sind, kann die in der Studie aufgezeigte Siliermethode der Ganzpflanzensilage auch in der Praxis angewendet werden. Für die Trennung der Blattmasse von den Stängeln wurden im Rahmen des Projektes „Grünlegum“ zahlreiche Methoden durch das Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, ILT) in Freising erprobt. Als ein Verfahren werden hierfür Prototypen einer Blatterntemaschine, die die Blätter vom Stängel mittels Fingerwalze abstreift, eingesetzt (SIKORA et al., 2019; SHINNERS et al., 2007; CURRENCE und BUCHELE, 1967; EDWARDS et al., 1979; MAXA und THURNER, 2021). Produktreife Modelle liegen jedoch noch nicht vor (HATFIELD, 2015). Auch der in der vorliegenden Studie eingesetzte Prototyp der Blatterntemaschine der Firma Trust'ing steht noch nicht zur Verfügung. Bei dem beschriebenen Verfahren müssen jedoch die Stängel gemäht werden, was zu einem deutlichen Masseverlust führt. Jedoch verspricht eine Neuentwicklung eines Selbstfahrers durch Ernten der Blätter bei gleichzeitigem Abmähen der Stängel in dieser Hinsicht eine Verbesserung. Dieser konnte jedoch von der LfL noch nicht getestet werden (MAXA und THURNER, 2021). Ein anderer Ansatz wäre die "gestaffelte" Ernte, bei der zuerst der obere Blätterabschnitt der Pflanzen und danach die unteren Stängelteile geschnitten werden (OGDEN und KEHR, 1968). Hierbei wäre jedoch eine weitere Separation der Blätter von dem geringen Stängelanteil nötig (ADAPA et al., 2004). Ein ähnliches Verfahren beschreiben auch MAXA und THURNER (2021). Lediglich die Spitzen der Luzernepflanze werden von der Restpflanze abgetrennt, womit man ein Erntematerial aus jungen Blättern, Stängel und Triebspitzen mit XP-Gehalten von 30 % erhält. Erste Versuche mit großer Technik sind vielversprechend und werden im Jahr 2021 fortgeführt. Zum Einsatz kommt das neu eingeführte, leicht angepasste System Top Cut Collect der Firma Zürn Harvesting GmbH & Co. KG. Weiterhin können Blätter bereits getrocknet vom Halm geerntet werden. Ein umgebauter Mähdrescher nimmt mit seiner Pickup die angewelkte Luzerne auf und drischt die Blätter. Dies hat bei gutem Wetter den Vorteil, dass die kosten- und energieintensive Trocknung in einer Trocknungsanlage sowie zusätzliche, anstehende Transportkosten entfallen. Eine weitere Möglichkeit besteht im Abtrennen eiweißreicher Blätter durch Sieben in einer stationären Trocknungsanlage. Praktiziert wird dies seit 2013 bei der Qualitätstrocknung

Nordbayern eG in Welchingen. Hierbei wird die Luzerne nach dem Mähen, Anwelken und Ernten mit Heißluft getrocknet und anschließend in Ballen gepresst. Nach einer Mindestlagerperiode erfolgt die Trennung von Blatt und Stängel in einer Sichtenanlage. Als ein Nebenprodukt fällt bei den meisten beschriebenen Verfahren „Strukturheu“ für die Wiederkäuerfütterung an (MAXA und THURNER, 2021). Da LB einen etwas höheren aerodynamischen Luftwiderstandskoeffizienten haben als die Stängel (MENZIES und BILANSKI, 1968), ist eine aerodynamische Fraktionierung in einem horizontalen Windkanal unter Nutzung der unterschiedlichen Widerstandskoeffizienten der Blätter und Stängel ebenfalls möglich (BILANSKI et al., 1989). Diese Methode macht sich das amerikanische Unternehmen Dupps Independence, Kansas zu eigen. Der von diesem Unternehmen entwickelte QuadPass®-Drehtrommeltrockner ermöglicht eine längere Verweilzeit für schwerere Stängel in der Trommel, während die leichteren Blätter den Trockner verlassen. Mit diesem Verfahren wird sichergestellt, dass Blätter und Stängel bis zu ihrem optimalen Feuchtigkeitsgehalt getrocknet werden, ohne dass sie einer intensiven Hitzebehandlung unterzogen werden, die zu Verbrennung oder Verkohlung führt (ADAPA et al., 2004).

4.4 Luzerneprodukte in der praktischen Schweinefütterung

Die Ergebnisse der in Kapitel 3 beschriebenen Versuche verdeutlichen, dass LB bis zu einem Mischungsanteil von 20 % in Alleinfuttermischungen von Mastschweinen erfolgreich in der ökologischen Schweinehaltung eingesetzt werden kann. Die Mast- sowie Schlachtleistungen zeigten nur leichte numerische Unterschiede, die statistisch nicht abgesichert waren. Durch den Einsatz von LB konnten gegenüber der Kontrollgruppe 27 kg, das entsprach 32 %, Eiweißfuttermittel wie Soja-, Sonnenblumenkuchen und Erbsen pro Mastschwein eingespart werden. Dies zeigt das Potenzial von jung genutztem getrocknetem LB als regionales Eiweißfuttermittel, die AS-Lücke in der ökologischen Schweinehaltung schließen und eine 100 % Biofütterung ermöglichen zu können. Bevor getrocknetes LB jedoch in der Praxis genutzt werden kann, muss für die in Kapitel 4.2 diskutierte Gewinnung der LB eine für die Praxis geeignete und kostengünstige Lösung gefunden werden. Aufgrund der stark variierenden Nährstoff- und Energiegehalte der LB-Masse sind in der Praxis Analysen von repräsentativen Sammelproben (HOISCHEN-TAUBNER und SUNDRUM, 2016) sowie Forschungen im Bereich der Saponine nötig, um die Qualität einschätzen und richtig nutzen zu können. Die Herstellung von LS scheint jedoch praxistauglich zu sein, da alle hierfür eingesetzten Maschinen über Lohnunternehmen zu erlangen sind. Allerdings wurde die im Leistungsversuch eingesetzte Silage nicht zu den geplanten Mengen aufgenommen, so dass die Schlacht- sowie Mastleistungen nicht mit denen der LB-Gruppe mithalten konnte. Als Hauptgrund wird hier die fehlende Adaption an die Silage im Ferkelalter gesehen. Dass die LS eine gute Akzeptanz findet, zeigte WÜSTHOLZ et al. (2017a) in ihrem Fütterungsversuch mit Schweinen. Hier wurden 23 bis 49 % LS der täglichen Futteraufnahme bei restriktiver Kraftfuttergabe gefressen. Diesen Schweinen wurde die LS im Ferkelalter vorgelegt. Es ist jedoch nicht sichergestellt, dass die Schweine bei einer höheren Silageaufnahme ein angestrebtes, mit der Kontrollgruppe oder LB-Gruppe vergleichbares Leistungsniveau erreichen können. Bei WÜSTHOLZ et al. (2017a) lagen die erzielten Wachstumsleistungen auf einem niedrigen Niveau, welche sie mit einem Befall mit *Ascaris suum* sowie einem erhöhten Bedarf an Energie für Thermoregulation begründen. Doch um dies zu bestätigen, sind laut Angaben der Autoren weitere Untersuchungen nötig. Auch stellen sie sich die Frage, welches Silageaufnahmeniveau aufgrund der damit verbundenen hohen XF-Aufnahme mit zufriedenstellenden Wachstumsleistungen vereinbar ist. Mit den von WÜSTHOLZ et al. (2017a) erzielten Silageaufnahmen konnte ca. 1 dt pro Mastschwein an Kraftfutter eingespart werden (WELTIN et al., 2014). In den eigenen Studien konnten hier nur 25 kg Ersparnis erzielt werden. Im Vergleich zur Kontrolle kann hier jedoch 50 kg, das entspricht 59 %, Eiweißfuttermittel wie Soja-, Sonnenblumenkuchen und Erbsen pro Mastschwein eingespart werden. Neben der Adaption an die Silage im Ferkelalter scheint eine restriktive Futtergabe nährstoffangepasster Ergänzungen mit einer ad libitum Fütterung täglich frischer Silage entscheidend für eine hohe Silageaufnahme zu sein (WELTIN et al., 2014). Auch KELLY et al.

(2007) und HAGMÜLLER et al. (2008) bestätigen, dass mit einem ad libitum verfügbaren Kraftfutter die Grünfuturaufnahme geringer bzw. mit restriktiv verfügbarem Kraftfutter die Grünfuturaufnahme höher ist. Jedoch setzt eine rationierte Fütterung voraus, dass der Fressplatz so beschaffen ist, dass alle Schweine gleichzeitig fressen können (TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG), was einem Tier-/Fressplatz-Verhältnis für das Kraftfutter von 1:1 entspricht. Um dies umgehen zu können, schlägt WÜSTHOLZ (2017b) den Einsatz von Pellets, in denen Silage zusammen mit dem Kraftfutter verpresst werden, jedoch deren Lagerstabilität fraglich wären, sowie die Vorlage einer „Totalen-Misch-Ration“ (TMR) vor. Frühere Untersuchungen zeigen, dass die Zugabe von Pellets aus Kraftfutter und getrockneter, gemahlener Kleegrassilage von den Schweinen vollständig verzehrt wurde und sich nicht negativ auf Wachstum oder Schlachtkörperqualität auswirkte (WALLENBECK et al., 2014). Jedoch wird berichtet, dass Schweine bei getrennter Silagevorlage in der Raufe sowie bei TMR mit gehäckselte Silage die Silage teilweise aussortierten, was eine langsamere Wachstumsrate zur Folge hatte (WALLENBECK et al., 2014; BIKKER und BINNENDIJK, 2012). In einer Studie von PRESTO ÅKERFELDT et al. (2018) wird den Schweinen eine TMR mit extrudierter sowie gehäckselter Kleegrassilage vorgelegt, um das Fressverhalten der Schweine zu untersuchen und eine Fütterungstechnik zu finden, die die Menge des aussortierten Futters reduziert. Hier stellte der Mischungsanteil jeweils 80 % Kraftfutter und 20 % Silage dar. Die extrudierte Silage wurde zu einem Anteil von 19 %, die gehäckselte von nur 15 % verzehrt. Die Autoren schließen daraus, dass extrudierte Silage die Futterraufnahme begünstigt. Bei separater Vorlage von gehäckselter oder extrudierter Silage in den Studien von WÜSTHOLZ et al. (2017a) wurde jedoch die gehäckselte bevorzugt. Auch muss durch den starken Wühltrieb der Schweine eine geeignete Futtereinrichtung entwickelt werden, um eine Vermischung der Silage mit der Einstreu zu vermeiden.

4.5 Einfluss von Luzerneprodukten in der Mastschweinefütterung auf die Produktqualität

Der in Kapitel 3.2 beschriebene Leistungsversuch zielte explizit auf die Bestimmung der Mast- und Schlachtleistung sowie der Produktqualität ab. In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der Luzerne auf die Produktqualität ausführlich beschrieben und diskutiert. Die Fleischbeschaffenheit aller Gruppen war auf einem unbedenklichen Niveau (siehe Tabelle 4). Es stellte sich heraus, dass die Parameter der Produktqualität nicht in dem Maße beeinflusst wurden, wie es bei Masthähnchen und Legehennen beobachtet wurde (CARRASCO et al., 2018; PLEGER et al., 2020; WELTIN et al., 2014). So zeigte sich makroskopisch keine sichtbare Gelbfärbung des Fleisches und Rückenspecks der Schweine, was für das Fleisch durch die statistischen Auswertungen der Farbanalysen bestätigt wurde. Der Gelbton des Speckes der LB-Gruppen war jedoch signifikant höher als der der Kontrolle (Tabelle 4).

Tabelle 4: Merkmale der Farbe des Koteletts (K) aus dem *musculus longissimus dorsi* sowie Specks (S) und pH-Wert als Kennzeichen der Fleischbeschaffenheit (Least square (LS)-Mittelwerte und Standardfehler (SE))

Merkmal	Gruppe				p
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	
pH1K	6.48	6.41	6.51	6.46	0.7685
SE	0.08	0.07	0.07	0.09	
pH24K	5.35	5.40	5.36	5.40	0.1548
SE	0.02	0.02	0.02	0.02	
pH24S	5.49	5.57	5.53	5.48	0.2786
SE	0.04	0.03	0.03	0.04	
L K	56.18	57.24	58.00	57.61	0.1322
SE	0.54	0.54	0.57	0.57	
a* K	14.76 ^a	14.07 ^{ab}	13.43 ^b	14.47 ^a	0.0051
SE	0.25	0.25	0.26	0.26	
b* K	8.67	8.18	8.19	8.25	0.7387
SE	0.36	0.36	0.38	0.38	
L S	78.60	77.89	79.09	77.67	0.3833
SE	0.61	0.61	0.65	0.65	
a* S	7.56	7.55	6.70	7.56	0.2655
SE	0.35	0.35	0.37	0.37	
b* S	7.16 ^c	8.45 ^{ab}	7.87 ^{bc}	9.28 ^a	0.0058
SE	0.39	0.39	0.41	0.41	

a, b, c: Unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); p: Fehlerwahrscheinlichkeit

L: Helligkeit, a*: Rotton, b*: Gelbton

¹Anfangs-/Mittel-/Endmast: 0 %/0 %/0 % LB + 0 %/0 %/0 % LS (Kontrolle)

²Anfangs-/Mittel-/Endmast: 15 %/20 %/20 % LB und 0 %/0 %/0 % LS

³Anfangs-/Mittel-/Endmast: 0 %/0 %/0 % LB+ 20 %/30 %/30 % LS

⁴Anfangs-/Mittel-/Endmast: 15 %/15 %/10 % LB + 20 %/30 %/30 % LS

Im Gegensatz hierzu konnten PLEGER et al. (2020), CARRASCO et al. (2018) sowie PONTE et al. (2004a) einen deutlichen Anstieg des Gelbtons der Haut, des Fleisches und des Fettes mit ansteigendem Luzerneanteil aufgrund des hohen Carotinoidgehaltes feststellen. Auch die in der Literatur gefundenen niedrigeren Cholesteringehalte im Fleisch von Hühnern (CARRASCO et al., 2018; PONTE et al., 2004b), wurden in den eigenen Studien beim Schwein nicht beobachtet. Hier lagen die Werte über alle Gruppen hinweg bei 60 mg/100 g Fleisch (Kotelett) und bei 90 mg/100 g Speck der Schweine der Kontrolle sowie Gruppe C und bei 80 mg/100 g

Speck der Schweine der LB-Gruppen. Ebenso konnten WELTIN et al. (2014) hierzu keine signifikanten Unterschiede nachweisen. Die Verwendung von Luzerneprodukten führte jedoch wie erwartet zu einer veränderten Fettqualität in der Rückenmuskulatur und im Fett. Die Zusammensetzung des intramuskulären Fetts sowie des Specks der Tiere der Luzernegruppe wurde zugunsten von Omega-3-Fettsäuren verschoben. Neben Luzerne sollte hierbei jedoch auch Rapsöl, das vor allem in den Gruppen C und D eingesetzt wurde, als Einfluss des Futters auf die Fettsäurezusammensetzung berücksichtigt werden (WILFART et al., 2004). Obwohl ein hoher PUFA-Gehalt im Fleisch für die menschliche Gesundheit vorteilhaft ist, kann er zu einer höheren Lipidoxidation während der Lagerung und somit zu einer Qualitätsverschlechterung und zu Problemen bei der Verarbeitung führen (PFALZGRAF et al., 1995; EDWARDS, 2005). In der Literatur empfohlene Grenzwerte von 12-15 % (WENK und PRABUCKI, 1990; FISCHER et al., 1990) wurden von allen Gruppen überschritten. KARWOWSKA et al. (2008) stellten jedoch fest, dass die Ergänzung des Schweinefutters mit einem Luzernemehlextrakt keinen Einfluss auf die potenzielle Redox- und Lipidoxidation von Schweinelende hatte. Die ebenfalls in Grünfütter enthaltenen Antioxidantien könnten diese verhindert haben (BEN AZIZ et al., 1968; GAWEL und GRZELAK, 2012; LOPEZ-BOTE et al., 1998; MONAHAN et al., 1990; WOOD et al., 2003; LEBRET, 2008; PFALZGRAF et al., 1995). Ebenfalls konnte wie in der Literatur beschrieben (siehe Kapitel 2.2.4) ein Anstieg des IMF bei Verfütterung von Luzerneprodukten beobachtet werden. Jedoch lag dieser im Vergleich deutlich höher. Dies könnte auf den Duroc-Einfluss zurückzuführen sein, da diese Rasse höhere IMF-Gehalte als andere Rassen aufweist (VOLK et al., 2004; BRANDT et al., 2009).

Die bei der Schweinemast durch die Luzernefütterung erlangte positive Verschiebung des Fettsäuremusters sowie die Erhöhung des IMF-Gehaltes, die für die menschliche Ernährung bezüglich Gesundheit und Genusswert erwünscht ist (AFFENTRANGER et al., 1996; FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010; FERNANDEZ et al., 1999), ohne dabei die negativen visuellen Eigenschaften des Hühnerfleisches auf Kaufentscheidung der Konsumenten innezuhaben, könnten als Argument einer besseren und teureren Vermarktung eingesetzt werden. Hierbei müssen bezüglich der Deklaration bestimmte rechtliche Grundlagen berücksichtigt werden (VERORDNUNG (EU) NR. 432/2012; VERORDNUNG (EG) NR. 1924/2006; VERORDNUNG (EU) NR. 1169/2011). In Hinsicht der Fleischqualität insbesondere des IMF-Gehaltes scheint es noch keine gesetzlichen Regelungen für die Qualitäts- und Preiseinstufung zu geben.

4.6. Einfluss von Luzerneprodukten in der Mastschweinefütterung auf die Darmgesundheit

Die Leistung der Tiere, die Futtermitteleffizienz und die allgemeine Gesundheit sind stark von der Darmgesundheit abhängig (JHA et al., 2019). Aufgrund seines funktionellen Wertes für die Verbesserung der Darmgesundheit von monogastrischen Tieren haben Ballaststoffe Aufmerksamkeit erlangt. So wurde die Aufnahme von Ballaststoffen in monogastrische Diäten als eine der wirksamsten Alternative zu antibiotischen Wachstumsförderern angesehen (JHA und BERROCOSO, 2015). Ballaststoffe sind natürlich vorkommende Verbindungen mit einer vielfältigen Zusammensetzung und sind in vielen pflanzlichen Futtermitteln enthalten (JHA und BERROCOSO, 2015; JHA et al., 2019). Die durch Fermentation von Ballaststoffen im distalen Gastrointestinaltrakt entstandenen Fermentationsmetaboliten, einschließlich kurzkettiger Fettsäuren, und die Interaktion von Ballaststoffen mit der Darmumgebung beeinflussen die intestinale Histomorphologie, die Schleimhaut, die mikrobielle Gemeinschaft und das Immunsystem (MONTAGNE et al., 2003; JHA et al., 2019). Ein Mechanismus, durch den Ballaststoffe die Darmgesundheit verbessern, ist die durch das Fermentationsmetabolit Butyrat erzielte Aufrechterhaltung eines anaeroben Darmmilieus, das in der Folge das Wachstum von fakultativ anaeroben Pathogenen, wie *E. coli* und Salmonellen, verhindert (WENK, 2001; WERNER und SUNDRUM, 2008; LINDBERG, 2014; JHA et al., 2019). Studien mit Schweinen und Geflügel haben gezeigt, dass die Fermentationscharakteristika und ihre positiven Auswirkungen auf die Darmgesundheit je nach Art, Form und den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Ballaststoffe stark variieren (JHA und BERROCOSO, 2015; JHA et al., 2019). Luzerne-Ballaststoffe bestehen hauptsächlich aus unlöslichen Ballaststoffen, zu denen Cellulose, Xylane und Lignin gehören, und machen mehr als 90 % des gesamten Ballaststoff-Gehalts von Luzerne aus (KNUDSEN, 1997; CHEN et al., 2014). Die Studien von WANG et al. (2018a) deuten darauf hin, dass eine Luzerne-haltige Diät signifikante Auswirkungen auf die Zusammensetzung der zäkalen Mikrobiota, die Butyratkonzentration und eine signifikant hochregulierte mRNA-Expression von Genen in der zäkalen Schleimhaut hat, die an der Erkennung und Absorption von kurzkettigen Fettsäuren sowie an der Regulierung der Sättigung beteiligt sind.

Während in der Vergangenheit neben der Einstellung bereits infizierter Tiere das Futter hauptsächlich als Eintragsquelle für Salmonellen gesehen wurden, ist man heutzutage der Ansicht, dass auch ein besonderes Fütterungskonzept zur Magen- und Darmgesundheit sowie zur Lebensmittelhygiene beitragen kann. So kann eine „gröbere“ Futterstruktur sowie schrotförmiges Futter die Salmonellen-Prävalenz senken (KAMPHUES et al., 2007).

Auf die Darmgesundheit sowie die Auswirkungen von Luzerneprodukten auf den Magen-Darm-Trakt wurde kein Hauptaugenmerk geworfen. Dennoch wurde den Schweinen des Leistungsversuches im Rahmen der Schlachtung Leber- und Darmproben entnommen und histologisch durch den Tiergesundheitsdienst (TGD) in Grub untersucht. Zusätzlich wurden Abstri-

che der Darmschleimhaut genommen und auf Salmonellen untersucht. In der Salmonellenanreicherung wurde über alle Gruppen hinweg kein positiver Befund festgestellt. Die Dünndarmproben ergaben ebenfalls über alle Gruppen hinweg geringstgradige bis mittelgradige lymphoplasmazelluläre und eosinophile Enteritis. Die Ergebnisse der Gruppen zeigten keine statistischen Unterschiede. Die Leberproben erwiesen sich bei den meisten Schweinen als unauffällig. Bei vereinzelt Schweinen zeigten sich geringstgradige bzw. geringgradige Gallengangshyperplasie, interstitielle Hepatitis mit Eosinophilen sowie eine nicht-eitrige Hepatitis. Auch hier zeigten sich keine statistischen Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die Ferkel stammten aus einem Betrieb mit Salmonellen Status 1. Das Futter wurde nicht auf Salmonellen untersucht. Die Anzahl der Tiere sowie der Versuchsaufbau lassen sich nicht mit der gängigen Praxis vergleichen. Im Vergleich zur Praxis sind die Tiere des Versuches einer deutlich geringeren Belastung ausgesetzt, was die fehlenden Unterschiede zwischen Kontroll- und Luzernegruppen erklären würde. Die vorgefundenen minimalen Darmentzündungen scheinen nach Rücksprache des Pathologen eine gewöhnliche Reizung durch z.B. das Futter zu sein. So könnten z.B. Pilztoxine auf Futtermitteln zu Darmentzündungen führen (LÁSZTITY und WÖLLER, 1975).

4.7 Zusammenführende Diskussion beider Versuche

Der dem Leistungsversuch vorangegangene Verdauungsversuch diente der Ermittlung der Rohnährstoffverdaulichkeiten der verschiedenen Luzerneprodukte. Dieser sowie ein parallel laufender Akzeptanzversuch (MESSINGER et al., 2019) sollten zudem einen Einblick verschaffen, ob der Einsatz von Luzerne beim Mastschwein ähnliche Auswirkungen aufzeigt wie beim Mastbroiler (PLEGER et al., 2020; PLEGER et al., 2021). Der Einsatz von bis zu 20 % LB an der Ration im Leistungsversuch erzielte mit der Kontrollgruppe vergleichbare Mast- und Schlachtleistungen auf einem hohen Niveau. Es waren nur leichte numerische Unterschiede zu erkennen. Bei einem Anteil von 15 % LB an der Ration in der Anfangsmast erzielte die LB-Gruppe sogar leicht höhere TZ, bei 20 % an der Ration in Mittel- und Endmast leicht geringere TZ. Diese Differenzen lassen sich mit der im Verdauungsversuch erzielten niedrigen Verdaulichkeit des LB erklären. Die dennoch hohen Leistungen sind an dieser Stelle eher verwunderlich. Im Verdauungsversuch wurden jedoch höhere Anteile an LB verfüttert. Die im LB enthaltenen antinutritiven Saponine könnten somit auch zu einem höheren Anteil in der Ration zugeführt worden sein und höhere Auswirkungen auf die Verdaulichkeit bewirkt haben. Andere Einflüsse wurden in Kapitel 3.1 ausführlich diskutiert. Hierbei spielt der hohe XF-Anteil sowie die Konservierung der eingesetzten LB-Cobs ebenfalls eine Rolle. Die Qualität der eingesetzten LB-Cobs im Leistungs- und Verdauungsversuch sowie die Konservierung sind jedoch vergleichbar, für die LB wurden aber unterschiedliche Luzernesorten zu unterschiedlichen Ernteterminen in verschiedenen Vegetationsstadien gewonnen. Der Saponingehalt wird zum einen durch die Sorte zum anderen aber auch durch Standort, Vegetationsstadium, Wachstumsaison und Wachstumsjahr beeinflusst (TAVA et al., 1999; PECETTI et al., 2006; HANSON et al., 1963; SEN et al., 1998). TAVA et al. (1999) stellten fest, dass Konzentrationen eines Medicagensäure-Glykosids in Luzerne im späten Sommer sinken, während die von Zanhicsäure-Glykosiden steigen. PECETTI et al. (2006) vermuten den Grund hierfür, dass Medicagensäure-Glykoside während des Sommers durch ein spezifisches und hochselektives Enzym zu Zanhicsäure-Glykosiden oxidieren könnten, da sich die Zanhicsäure in ihrer chemischen Struktur von der Medicagensäure nur durch das Vorhandensein einer zusätzlichen OH-Gruppe in der 16-Position unterscheidet. Zanhicsäure-Glykoside sind vermutlich für die meisten Effekte bei Monogastriern verantwortlich und gelten deshalb als wichtige antinutritive Verbindungen (SEN et al., 1998; OLESZEK et al., 1994). Sie sind bekannt für ihren bitteren Geschmack, ihre Rachen reizende Wirkung und ihre Fähigkeit die intestinale PD zu reduzieren (OLESZEK et al., 1994; OLESZEK et al., 1992). PECETTI et al. (2006) und TAVA et al. (1999) empfehlen deshalb, Luzerne, die nach Mitte August, insbesondere auf älteren Flächen, gewonnen wurde, mit Vorsicht an Monogastrier zu verfüttern. Aber auch die Medicagensäure kann die intestinale PD reduzieren (OLESZEK et al., 1994) und wird oft als die antinutritivste aller Luzernesaponine angesehen (SZUMACHER-STRABEL et al., 2019; KALAČ et al., 1996). Die Saponinanalyse der LB des Leistungsversuchs konnte die zuvor genannten Studien jedoch nicht bestätigen. Es waren hier

nur ein minimaler Gehalt an Zanhicsäure-Glykosiden und ein hoher Gehalt an Medicagensäure-Glykosiden vorhanden, obwohl diese im August geerntet wurden. Es handelte sich in den eigenen Untersuchungen jedoch um eine andere Sorte als diejenigen, die in den Untersuchungen von PECETTI et al. (2006) eingesetzt wurden. Bedauerlicherweise wurde keine Analyse der LB des Verdauungsversuchs veranlasst, so dass hier kein Vergleich gezogen werden kann. Die Tiere des Leistungsversuches zeigten nur anfänglich leichte Akzeptanzschwierigkeiten, die nach zweieinhalb Wochen verschwunden waren. Der geringe Anteil an Zanhicsäure-Glykosiden kann dies und die Leistung der Tiere begünstigt haben. Es ist hier jedoch zu überlegen, ob sich die Schweine an die Bitterkeit gewöhnen können und ob Schweine die Bitterkeit unterschiedlich wahrnehmen. Im Verdauungsversuch wurden die LB von manchen Schweinen komplett oder nur teilweise gefressen, manche verschmähten die LB vollständig. Hier war durch reine LB-Cobs die Möglichkeit zur Selektion gegeben im Gegensatz zum Leistungsversuch.

Die LS wies eine höhere Verdaulichkeit auf als die LB. Jedoch wurde die an der Ration geplante Futteraufnahme der Silage erst in der Endmast erreicht. Die Futteraufnahmen wurden auf den Ergebnissen von WÜSTHOLZ et al. (2017a) aufgebaut. Auch im Verdauungsversuch zeigte sich eine fast vollständige Aufnahme der Silage, so dass 23 % Silage (TS) an der Ration zugeführt werden konnte. Im Leistungsversuch wurde zunächst eine wie sich herausstellte Silage von schlechter Qualität vorgelegt, dann jedoch nach kurzer Zeit auf die im Verdauungsversuch verwendete Silage umgestellt. Hier kann deshalb nicht der eigentliche Grund der schlechteren Aufnahme gesehen werden. WÜSTHOLZ et al. (2017a) fanden heraus, dass auch die Darreichungsform der Silage die Aufnahme beeinflussen kann. Allerdings war die Silage aus den eigenen Untersuchungen ebenfalls gehäckselt. Die Schweine des Verdauungsversuches sowie die Schweine der Studie von WÜSTHOLZ et al. (2017a) waren jedoch schon im Ferkelalter an Silage, in den Studien von WÜSTHOLZ et al. (2017a) sogar an LS gewöhnt worden. Beide Silagen zeigten höhere Gehalte an verschiedenen Medicagensäure-Glykosiden als LB. Bei der semiquantitativen Saponinanalyse der LS in dieser Studie wurden jedoch ebenfalls kaum Glykoside der Zanhicsäure nachgewiesen. Darüber hinaus war der Gesamtgehalt aller analysierten Saponine in Silagen höher als in LB. Auch wenn die Silagen nicht aus der gleichen Ernte wie LB gewonnen wurden, könnte die Silierung zu einem höheren Gesamtsaponingehalt und zu strukturellen und quantitativen Veränderungen der einzelnen Saponine in den Silagen geführt haben (SZUMACHER-STRABEL et al., 2019). Die schlechte Silageaufnahme spiegelt sich in der Mast- und Schlachtqualität wieder. CHEEKE (1976) wies schon darauf hin, dass eine reduzierte Futteraufnahme der Hauptgrund für die wachstumshemmende Wirkung von Saponinen ist. Auch in Bezug auf die LS sollte demnach in Betracht gezogen werden, ob sich Schweine an Silage, insbesondere Luzernesilage adaptieren lassen, um die Futteraufnahme und damit auch die Leistung zu steigern. Diese Überlegungen erfordern jedoch weitere

gründliche Untersuchungen der Luzernesaponine und ihren Auswirkungen auf das Schwein sowie deren Bitterwahrnehmung und eventuelle Gewöhnung daran.

4.8 Schlussfolgerungen

Grünleguminosen lassen sich erfolgreich durch Heißlufttrocknung und Silierung konservieren. Bei der Silierung muss besonders auf einen raschen und erfolgreichen Silierverlauf geachtet werden. Jedoch können Luzerneprodukte im Futterwert und Saponingehalt stark variieren. Auch Saponine scheinen in der Silage aufgrund von strukturellen und quantitativen Veränderungen während der Silierung von geringerer Bedeutung zu sein als im heißluftgetrockneten Material. So zeigten die Ergebnisse des Verdauungsversuchs für LBS und LS aufgrund einer höheren dOS und dXP sowie höherer Akzeptanz ein höheres Potenzial als Eiweiß- und Raufuttermittel als LB. Im Leistungsversuch konnte das hohe Potenzial der LS jedoch nicht ausgeschöpft werden, da die geplante TM-Aufnahme erst in der Endmast erreicht werden konnte und so zu einer geringeren Mast- und Schlachtleistung führte. Hier sollte in einem weiteren Versuch geprüft werden, ob sich die Silageaufnahme durch eine Adaption an Silage im Ferkelalter verbessern bzw. steigern lässt. Auch die Auswirkungen der RS auf die Mast- und Schlachtleistung sollte im Rahmen eines Leistungsversuches aufgrund der hohen dXP überprüft werden. Anhand der Ergebnisse des Verdauungsversuchs lässt sich schließen, dass in einem frühen Vegetationsstadium geerntete RS durch ihre hohe dOS und dXP sowie gute Akzeptanz ein vielversprechendes Eiweißfuttermittel für Mastschweine darstellen und gleichzeitig die gesetzlichen Vorgaben der Raufutternorm abdecken kann. Hinsichtlich antinutritiver Inhaltsstoffe scheint diese für wachsende Schweine weitgehend unbedenklich zu sein. Dies sowie der verringerte Proteinabbau aufgrund der in RK vorhandenen PPO lässt die RS im Vergleich zur LS im Vorteil sein.

Die Blatt-Stängel-Trennung steigert den Futterwert gegenüber der jungen Ganzpflanze. Hierbei können Futtermittel mit höherer XP- sowie AS- bei gleichzeitig niedrigen XF-Gehalten gewonnen werden. Die Verdaulichkeitswerte der erzeugten LB konnten jedoch nicht an das hohe Niveau der GP-Silagen heranreichen. Es wurde vermutet, dass die unterschiedliche Anreicherung bestimmter ernährungsphysiologisch bedenklicher Saponine, vor allem in den Blättern, aufgrund der verschiedenen Konservierungsmethoden dazu beigetragen hat. Auch die Qualität des Futters in Bezug auf den XP-, den AS und den XF-Gehalt spielt eine entscheidende Rolle. So muss ebenfalls bei der Heißlufttrocknung auf eine korrekte Verarbeitung geachtet werden. Durch Verschleppungen mit minderwertigerem Material während des Trocknungsprozesses konnten die in den beiden Versuchen erzeugten LB-Cobs das erwartete Niveau nicht erfüllen und wiesen im Vergleich zum Ausgangsmaterial einen reduzierten XP- und AS-, sowie höheren XF-Gehalt auf. Jedoch zeigten die Ergebnisse des Leistungsversuches, dass ein Einsatz von bis zu 20 % getrockneten LB an der Ration in der ökologischen Schweinefütterung erfolgreich ist. Die Mast- sowie Schlachtleistung waren mit der Kontrollgruppe vergleichbar. Zudem kann durch die Luzernefütterung durch eine positive Verschiebung des Fettsäu-

remusters sowie eine Erhöhung des IMF-Gehaltes ein für die menschliche Ernährung gesünderes und im Genusswert gesteigertes Lebensmittel gewonnen werden. Die beim Geflügel durch Luzernefütterung aufgetretene Gelbfärbung des Fleisches und Fettes konnte beim Schwein nicht beobachtet werden.

Die Ergebnisse des Leistungsversuchs zeigten jedoch auch, dass das gleichzeitige Anbieten von getrockneten LB und LS aufgrund der Gefahr eines überhöhten Saponingehaltes vorsichtig gestaltet werden muss. Weitere Untersuchungen zur Saponinzusammensetzung sowie des -gehaltes verschiedener Luzernesorten, Vegetationsstadien sowie Konservierungsformen sind erforderlich, um Luzerne gezielt als Proteinfuttermittel für Schweine einsetzen zu können.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Durch die EU-Öko-Richtlinien werden an ökologisch wirtschaftende Betriebe besondere Anforderungen an die Fütterung gestellt. Demnach muss das in der ökologischen Schweinemast eingesetzte Futter ökologisch im eigenen Betrieb oder regional erzeugt worden sein. Der Verzicht auf konventionell erzeugte Futtermittel und die Verwendung von regional erzeugten Futtermitteln stellt insbesondere in der bedarfsgerechten Versorgung der monogastrischen Tiere mit Proteinen und essenziellen AS eine Herausforderung dar. Grund hierfür ist die unzureichende Verfügbarkeit hochwertiger regionaler Proteinfuttermittel für die bedarfsgerechte Versorgung von Schweinen. Zusätzlich muss der Tagesration der Schweine laut EU-Öko-Richtlinien frisches, getrocknetes oder siliertes Raufutter zugesetzt werden. Luzerne und Rotklee erfüllen nicht nur die Forderung nach dem Einsatz von regionalem Raufutter, sondern zeigen auch ein hohes Potenzial als hochwertiges Eiweißfuttermittel in der ökologischen Schweinefütterung. Im frühen Vegetationsstadium „vor der Knospe“ geerntete Luzerne weist bei gleichzeitig niedrigen Rohfaser (XF)-Gehalten hohe Rohprotein (XP)-Gehalte sowie Lysin (Lys) und Methionin (Met)- Gehalte auf, die mit Sojaproteingehalten pro 100 g XP vergleichbar sind. Eine Trennung von Blatt- und Stängelmasse kann diese höhere Konzentration an Protein und AS bei reduziertem XF-Gehalt im Blatt noch optimieren. Um Luzerne ganzjährig in der Fütterung einsetzen zu können, kann Luzerne erfolgreich durch die Heißlufttrocknung oder die Silierung konserviert werden. Jedoch sind in Grünleguminosen, insbesondere Luzerne, antinutritiv wirkende, sekundäre Inhaltstoffe, die sogenannten Saponine, enthalten. Sie wirken sich negativ auf die Futteraufnahme durch den Bittergeschmack und die Schleimhautreizung und somit auch negativ auf das Wachstum zusätzlich durch modulierende Effekte auf die Permeabilität der Darmmembran, eine verringerte Verdauung sowie Nährstoffabsorption aus. Jedoch kommt es im Vergleich zum heißluftgetrockneten Material während der Silierung zu Umbauprozessen im Saponingehalt. Bereits geringe Luzerneblattanteile führen in der Broilermast zu Akzeptanzproblemen und Wachstumsdepression sowie zu einer Verfärbung der Schlachtkörper.

Die vorliegenden Untersuchungen zielten darauf, durch die Bestimmung der Rohnährstoffverdaulichkeiten von Grünleguminosenkonserven sowie deren Wirkung auf die Mast- und Schlachtleistung bei Mastschweinen das Potenzial von Luzerne als Protein- und Raufutterquelle für wachsende Schweine zu erforschen.

Hierzu wurde in einem Verdauungsversuch mit 24 wachsenden Schweinen (Dänische Landrasse * Duroc; männlich, kastriert) die scheinbare Rohnährstoffverdaulichkeit von ökologisch erzeugten Luzerne- und Rotkleeprodukten in drei Durchgängen mittels Differenzmethode bestimmt. Die getrockneten Luzerneblätter (LB; 198 g XP pro kg Trockenmasse (TM); 218 g XF/kg TM), die Luzerne-Blattsilage (LBS; 295 g XP/kg TM; 133 g XF/kg TM), die Luzerne-

Ganzpflanzensilage (LS; 213 g XP/kg TM; 236 g XF/kg TM) und die Rotklee-Ganzpflanzensilage (RS; 263 g XP/kg TM; 178 g XF/kg TM) wurden den Tieren zusammen mit für die Ganzpflanzen oder das Blattmaterial angepassten Ergänzungskraftfuttermischungen verfüttert. Titandioxid wurde als inerte Marker für die Verdaulichkeitsberechnung verwendet. Die Ganzpflanzensilagen (LS: 53.6 % Verdaulichkeit der organischen Substanz (dOS), 56.3 % Verdaulichkeit des Rohproteins (dXP); RS: 69.9 % dOS, 69.3 % dXP) sowie die LBS (63.0 % dOS, 58.0 % dXP) waren verdaulicher als LB (45.0 % dOS, 42.7 % dXP). Da hauptsächlich in den Blättern der Luzerne antinutritive Saponine angereichert sind, wird vermutet, dass diese maßgeblich die Futteraufnahme und Verdaulichkeit der Blattprodukte negativ beeinflusst haben. Auch der Gehalt an bestimmten Saponinen, wie z.B. den Zanhicssäure-Glykosiden, scheinen von Bedeutung zu sein. Daneben beeinträchtigte die Qualität und Art der Konservierung der Futtermittel die Verdaulichkeit der Prüffuttermittel.

In einem darauf aufbauenden Fütterungsversuch wurden die Auswirkungen verschiedener Luzerneprodukte (LB, LS) auf die Mastleistung und den Schlachtwert untersucht. Dazu wurden 40 Mastschweine (Dänische Landrasse x Duroc; männlich, kastriert) in 4 Gruppen mit je 5 Wiederholungen paarweise mit einem Durchschnittsgewicht von 30 kg gehalten. Die Tiere der Kontrollgruppe A und der Gruppe B erhielten Alleinfuttermischungen, wobei das Alleinfutter der Gruppe B steigende Anteile von LB (bis zu 20 %) enthielt. Die Tiere der Gruppen C und D erhielten LS und ein auf die Silage abgestimmtes Ergänzungsfuttermittel. In die Ration der Gruppe D wurde wiederum ein LB-Anteil von bis zu 15 % eingemischt. Die Tiere wurden mit durchschnittlich ca. 110 kg Lebendgewicht geschlachtet. Die Futteraufnahme, die Mastleistung und die Schlachtkörpermerkmale wurden ermittelt. Der Anteil der Luzerne-Silage an der täglichen Gesamt-TM-Ration der Gruppen C und D war in der Anfangs- und Wachstumsphase deutlich geringer als geplant. Erst in der Endmastphase wurden die geplanten Anteile knapp erreicht. Hier verbrauchte die Gruppe D über die gesamte Mastdauer weniger Silage als die Gruppe C. Die Tageszunahmen (TZ) der Alleinfuttergruppen unterschieden sich signifikant von denen der Silagegruppen, wobei die Gruppen A und B ein hohes Leistungsniveau, die Gruppe C ein mittleres Leistungsniveau und die Gruppe D nicht einmal das niedrige Leistungsniveau erreichten. Die Schlachtkörpermerkmale Fleischfläche und Muskeldicke wiesen bei den Silagegruppen signifikant niedrigere Werte auf als bei den Alleinfuttergruppen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Silagegruppen mit AS unterversorgt waren. Die Zusammensetzung des intramuskulären Fettes sowie des Rückenfettes der Tiere in der Luzernegruppe war zugunsten von Omega-3-Fettsäuren verschoben.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen bestätigen das hohe Potenzial der Luzerne als Eiweiß- und Raufuttermittel für Schweine. So kann nicht nur die Forderung der Raufuttervorlage erfüllt, sondern auch für eine bedarfsgerechte Fütterung der Schweine gesorgt werden. Trotz einer schlechteren Verdaulichkeit als LS scheint der Einsatz von bis zu 20 % LB in

der Gesamtration machbar. Bei dem Fütterungseinsatz von LS muss jedoch auf Qualität, richtige Konservierung, Darreichungsform und Adaption im Ferkelalter geachtet werden. Aufgrund des zu hohen Saponingehaltes sollte die gemeinsame Vorlage von LB und LS sorgfältig zusammengestellt werden. Weitere Studien zu Luzernesaponinen und deren antinutritive Wirkungen unterschiedlicher Konserven, Pflanzenteile und Sorten sind erforderlich.

6. SUMMARY

The EU organic standards place special requirements on the feeding of organically managed farms. Accordingly, the feed used in organic pig fattening must have been produced organically on the farm or regionally. The renunciation of conventionally produced feedstuffs and the use of regionally produced feedstuffs poses a challenge, especially in the supply of monogastric animals with proteins and essential amino acids according to their needs. The reason for this is the insufficient availability of high-quality regional protein feedstuffs for the needs-based supply of pigs. In addition, according to EU organic guidelines, fresh, dried or ensiled roughage must be added to the pigs' daily ration. Alfalfa and red clover not only fulfill the requirement for the use of regional roughage, but also show high potential as high-quality protein feed in organic pig feeding. Alfalfa harvested in the early vegetation stage "before bud" has high crude protein (XP) contents as well as lysine (Lys) and methionine (Met) contents comparable to soy protein contents per 100 g crude protein, while at the same time having low crude fiber (XF) contents. Separation of leaf and stem mass can further optimize these higher concentrations of protein and amino acids with reduced XF content in the leaf. In order to use alfalfa year-round in feed, alfalfa can be successfully preserved by hot-air drying or ensiling. However, green legumes, especially alfalfa, contain antinutritional secondary compounds called saponins. They have a negative effect on feed intake due to the bitter taste and mucous membrane irritation and thus also negatively affect growth additionally due to modulating effects on the permeability of the intestinal membrane, reduced digestion as well as nutrient absorption. However, compared to hot-air dried material, during ensiling there are remodeling processes in the saponin content. Even small amounts of alfalfa leaves lead to acceptance problems and growth depression in broiler fattening, as well as to discoloration of the carcasses.

The present studies aimed to investigate the potential of alfalfa as a source of protein and roughage for growing pigs by determining the crude nutrient digestibilities of conserved green legumes and their effect on fattening and slaughter performance in fattening pigs.

For this purpose, the apparent crude nutrient digestibility of organically produced alfalfa and red clover products was determined in a digestion trial with 24 growing pigs (Danish Landrace * Duroc; male, castrated) in three runs using the difference method. The dried alfalfa leaves (LB; 198 g XP per kg dry matter (TM); 218 g XF/kg TM), alfalfa leaf silage (LBS; 295 g XP/kg TM; 133 g XF/kg TM), whole-plant alfalfa silage (LS; 213 g XP/kg TM; 236 g XF/kg TM) and the red clover whole plant silage (RS; 263 g XP/kg TM; 178 g XF/kg TM) were fed to the animals in combination with supplemental feed mixtures adapted for the whole plants or leaf material. Titanium dioxide was used as an inert marker for digestibility evaluation. Whole plant silages (LS: 53.6 % digestibility of organic matter (dOS), 56.3 % digestibility of crude protein (dXP); RS: 69.9 % dOS, 69.3 % dXP) and LBS (63.0% dOS, 58.0 % dXP) were more digestible

than LB (45.0 % dOS, 42.7 % dXP). Since antinutritional saponins are mainly enriched in the leaves of alfalfa, it is suggested that these were instrumental in negatively affecting the feed intake and digestibility of the leaf products. The content of certain saponins, such as the zanhic acid glycosides, also seem to be of importance. In addition, the quality and type of preservation of the feeds affected the digestibility of the test feeds.

In a subsequent feeding trial, the effects of different alfalfa products (LB, LS) on fattening and slaughter performance were investigated. For this purpose, 40 fattening pigs (Danish Landrace x Duroc; male, castrated) were kept in pairs in 4 groups with 5 replicates each, with an average weight of 30 kg. The animals of control group A and group B received complete feed mixtures, with the complete feed of group B containing increasing proportions of LB (up to 20 %). The animals in groups C and D received LS and a supplementary feed adapted to the silage. In turn, a LB proportion of up to 15% was mixed into the ration of group D. The animals were slaughtered at an average live weight of about 110 kg. Feed intake, fattening performance, and carcass characteristics were determined. The proportion of alfalfa silage in the total daily TM ration of groups C and D was significantly lower than planned in the initial and growth phases. Only in the finishing phase were the planned proportions just reached. Here, group D consumed less silage than group C over the entire fattening period. Daily gains (TZ) of the concentrate feed groups differed significantly from those of the silage groups, with groups A and B achieving high performance levels, group C achieving medium performance levels, and group D failing to achieve even the low performance level. Carcass characteristics of meat area and muscle thickness had significantly lower values in the silage groups than in the concentrate feed groups. This is an indication that the silage groups were undersupplied with amino acids. The composition of intramuscular fat as well as back fat of the animals in the alfalfa group was shifted in favor of omega-3 fatty acids.

The results of the present studies confirm the high potential of alfalfa as a protein and roughage feed for pigs. Thus, not only the requirement of roughage provision can be fulfilled, but also a feeding of the pigs according to their needs can be ensured. Despite a poorer digestibility than LS, the use of up to 20 % LB in the total ration seems feasible. However, when feeding LS, attention must be paid to quality, correct preservation, form of presentation and adaptation at piglet age. Due to the excessive saponin content, the joint presentation of LB and LS should be carefully composed. Further studies on alfalfa saponins and their antinutritional activities of different preserves, plant parts and varieties are needed.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- ABEL, S., R. WEISSENSTEINER, C. MARIEN, W. ZOLLITSCH und A. SUNDRUM (2007): Effects of a feeding strategy to increase intramuscular fat content of pork under the conditions of organic farming. In: NIGGLI, U., C. LEIFERT, T. ALFÖLDI, L. LÜCK UND H. WILLER (Hrsg.) (2007), Improving Sustainability in Organic and Low Input Food Production Systems. Proceedings of the 3rd International Congress of the European Integrated Project Quality Low Input Food (QLIF), University of Hohenheim, Germany, March 20 – 23, 2007. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, CH-Frick.: 347–350, Zugriff: 08. Mai 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/10402/1/abel-et-al-2007-feeding_strategy.pdf.
- ADAPA, P. K., G. J. SCHOENAU, L. G. TABIL, E. A. ARINZE, A. K. SINGH und A. K. DALAI (2007): Customized and value-added high quality Alfalfa products: A new concept. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal* (IX (June)): 1–28.
- ADAPA, P. K., G. J. SCHOENAU, L. G. TABIL und S. SOKHANSANJ (2004): Fractional drying of alfalfa leaves and stems: Review and discussion. In: MUJUMDAR, A.S. (Hrsg.), *Dehydration of Products of Biological Origin*, Science Publishers/Oxford & IBH: 299–316.
- AFFENTRANGER, P., C. GERWIG, G. J.F. SEEWER, D. SCHWÖRER und N. KÜNZI (1996): Growth and carcass characteristics as well as meat and fat quality of three types of pigs under different feeding regimens. *Livestock Production Science* 45: 187–196, DOI: 10.1016/0301-6226(96)00011-5.
- AGUDELO, J. H., M. D. LINDEMANN und G. L. CROMWELL (2010): A comparison of two methods to assess nutrient digestibility in pigs. *Livestock Science* 133: 74–77, DOI: 10.1016/j.livsci.2010.06.029.
- ALBRECHT, K. A. und K. A. BEAUCHEMIN (2003): Alfalfa and other perennial legume silage. In: BUXTON, D.R., R.E. MUCK UND J.H. HARRISON (Hrsg.), *Silage Science and Technology*, Agronomy 42, American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., Soil Science Society of America Inc. Publications, Madison, WI: 633–664, DOI: 10.2134/agronmonogr42.c14.
- ALBRECHT, K. A. und R. E. MUCK (1991): Proteolysis in ensiled forage legumes that vary in tannin concentration. *Crop Science* 31 (2): 464–469, DOI: 10.2135/crop-sci1991.0011183X003100020048x.
- ANDURAND, J., D. COULMIER, J. L. DESPRES und J. C. RAMBOURG (2010): Extraction industrielle de protéines et de pigments chez la luzerne: état des lieux et perspectives. *Innovations Agronomiques*, INRAE 11: 147–156.
- ANGRICK, M. und D. REWICKI (1980): Die Maillard-Reaktion. *Chemie in unserer Zeit* 14 (5): 149–157.

- ANUGWA, F. O. I., V. H. VAREL, J. S. DICKSON, W. G. POND und L. P. KROOK (1989): Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial populations of swine. *The journal of nutrition* 119 (6): 879–886, DOI: 10.1093/jn/119.6.879.
- ASSA, Y., S. SHANY, B. GESTETNER, Y. TENCER, Y. BIRK und A. BONDI (1973): Interaction of alfalfa saponins with components of the erythrocyte membrane in hemolysis. *Biochimica et Biophysica Acta* 307 (1): 83–91, DOI: 10.1016/0005-2736(73)90027-8.
- BARRY, T. N. und W. C. McNABB (1999): The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *British journal of nutrition* 81 (4): 263–272, DOI: 10.1017/S0007114599000501.
- BAUMGÄRTEL, T. (2017): Rohnährstoffgehalte 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.
- BAYAT, A. R., M. RINNE, K. KUOPPALA, S. AHVENJÄRVI, A. VANHATALO und P. HUHTANEN (2010): Ruminal large and small particle kinetics in dairy cows fed red clover and grass silages harvested at two stages of growth. *Animal Feed Science and Technology* 155 (2-4): 86–98, DOI:10.1016/j.anifeedsci.2009.10.005.
- BEIN, F. und J. AICHINGER (2010): Einsatz von Klee gras in der Schweineendmast zur Reduktion des Krafffutterbedarfes. Diplomarbeit, LFZ Raumberg-Gumpenstein. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Fachgegenstand: Nutztierhaltung.
- BELLOF, G. (2013): Heimische Sojaprodukte in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere. Zugriff: 24.07.2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/24970/1/soja_fuetterungsfibel.pdf.
- BELLOF, G. und R. ANDERSSON (2008): Geflügelernährung in der ökologischen Landwirtschaft. Tierernährung im Öko-Landbau-Fütterungspraxis. *Ökologie & Landbau* 146: 28–30.
- BELLOF, G., C. GAUL, K. FISCHER und H. LINDERMAYER (1998): Der Einsatz von Grassilage in der Schweinemast. *Züchtungskunde* 70 (5): 372–388.
- BEN AZIZ, A., S. GROSSMAN, P. BUDOWSKI, I. ASCARELLI und A. BONDI (1968): Antioxidant properties of lucerne extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 19 (10): 605–608, DOI: 10.1002/jsfa.2740191011.
- BENNINGER, T. (2007): Untersuchungen zum Gesundheitsstatus und zu betrieblichen Maßnahmen der Gesundheitsvorsorge in der ökologischen Schweinehaltung., Dissertation, Universität Kassel.

- BERGER, U. (2012): Kleegrassilage aus spezieller Nutzung in der ökologischen Schweinefütterung. In: Masterarbeit, Studiengang Agrarmanagement, Technische Universität München, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (nicht veröffentlicht).
- BERGERON, R., J. BOLDOC, Y. RAMONET, M. C. MEUNIER-SALAÜN und S. ROBERT (2000): Feeding motivation and stereotypes in pregnant sows fed increasing levels of fibre and/or food. *Applied Animal Behaviour Science* 70 (1): 27–40, DOI: 10.1016/S0168-1591(00)00142-8.
- BEYER, M., A. CHUDY, B. HOFFMANN, L. HOFFMANN, W. JENTSCH, W. LAUBE, K. NEHRING und R. SCHIEMANN (1977): Das DDR-Futterbewertungssystem. Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs für Fütterung und Futterplanung mit einer Anleitung zu ihrem Gebrauch. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- BIKKER, P. und G. P. BINNENDIJK (2012): Ingekuild gras voor biologisch gehouden vleesvarkens= Grass silage in diets for organic growing-finishing pigs. Wageningen Livestock Research, Rapport 603, ISSN 1570-8616, Lelystad, Zugriff: 03. April 2021, URL: <http://edepot.wur.nl/240587>.
- BILANSKI, W. K., W. D. GRAHAM, D. N. MOWAT und S. S. MKOMWA (1989): Separation of alfalfa silage into stem and leaf fractions in a horizontal airstream. *Transactions of the ASAE* 32 (5): 1684–1690, DOI: 10.13031/2013.31208.
- BINDELLE, J., P. LETERME und A. BULDGEN (2008): Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 12: 69–80.
- BIOLAND - VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E.V. (2020): Bioland-Richtlinie, Fassung vom 24. November 2020. Zugriff: 09 März 2021, URL: https://www.bioland.de/fileadmin/user_upload/Verband/Dokumente/Richtlinien_fuer_Erzeuger_und_Hersteller/Bioland_Richtlinien_24_Nov_2020.pdf.
- BLE - BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2020): Bericht zur Markt- und Versorgungslage Fleisch 2020. Zugriff: 15. Juli 2021, URL: https://www.ble.de/Shared-Docs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/2020BerichtFleisch.pdf;jsessionid=3DD33DF15ECDA1CA5F2D9DEA4335AC47.2_cid325?__blob=publicationFile&v=2.
- BLE - BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2021): Bericht zur Markt- und Versorgungslage mit Fleisch 2021. Zugriff: 09. Juli 2021, URL: https://www.ble.de/Shared-Docs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/2021BerichtFleisch.pdf;jsessionid=95F0FCCD09B7841AF038F05828857ED0.1_cid325?__blob=publicationFile&v=2.
- BLUME, L., S. HOISCHEN-TAUBNER und A. SUNDRUM (2021): Alfalfa - a regional protein source for all farm animals. *Landbauforschung - Journal of Sustainable and Organic Agricultural Systems* 71 (1): 1–13, DOI:10.3220/LBF1615894157000.

- BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2020): Öko-Barometer 2020. Zugriff: 08. Juli 2021, URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/oekobarometer-2020.pdf;jsessionid=61E2020DCBD77895E60E8FE92941485B.live841?__blob=publicationFile&v=10.
- BÖHM, H. und K. AULRICH (2019): Auswirkung der Schnitffrequenz bei Rotklee auf den Ertrag von Blattmasse, Rohproteingehalt und-ertrag. Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft: Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 5.-8. März 2019, Zugriff: 25. März 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/36189/1/Beitrag_262_final_a.pdf.
- BOISEN, S. (2003): Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: D`MELLO, J.P.F. (Hrsg.), *Amino Acids in Animal Nutrition, Second Edition*, CABI Publishing, Cambridge, MA: 157–168.
- BÖLW - BUND ÖKOLOGISCHE LEBENSMITTELWIRTSCHAFT (2020): Pressemitteilung: Öko-Verordnung: Eu beschließt Verschiebung, Berlin 19.10.2020: Zugriff: 05. September 2021, URL: <https://www.boelw.de/themen/eu-oeko-verordnung/neues-biorecht/artikel/oeko-verordnung-eu-beschliesst-verschiebung/>.
- BÖLW - BUND ÖKOLOGISCHE LEBENSMITTELWIRTSCHAFT (2021): Branchen Report der Ökologischen Lebensmittelwirtschaft 2021. Zugriff: 15. Juli 2021, URL: https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Zahlen_und_Fakten/Brosch%C3%BCre_2021/B%C3%96LW_Branchenreport_2021_web.pdf.
- BRANDT, H., J. LAPP, U. BAULAIN, W. BRADE, K. FISCHER und F. WEIßMANN (2009): Auswirkungen unterschiedlicher Duroc-Anteile von Endmastherkünften auf Aspekte der Mastleistung und Schlachtkörperqualität unter ökologischen Produktionsbedingungen. In: Endbericht BÖL-Projekt, FKZ: 06OE103, Zugriff: 05. September 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/16686/1/16686-06OE103-uni_giessen-brandt-2009-duroc_endmastherkuenfte.pdf.
- BRODERICK, G. A., R. P. WALGENBACH und S. MAIGNAN (2001): Production of lactating dairy cows fed alfalfa or red clover silage at equal dry matter or crude protein contents in the diet. *Journal of Dairy Science* 84 (7): 1728–1737, DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74608-5.
- BROWN, W. E. und C. A. RYAN (1984): Isolation and characterization of a wound-induced trypsin inhibitor from alfalfa leaves. *Biochemistry* 23 (15): 3418–3422.
- CAMERON, N. D., M. ENSER, G. R. NUTE, F. M. WHITTINGTON, J. C. PENMAN, A. C. FISKEN, am PERRY und J. D. WOOD (2000): Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat. *Meat science* 55 (2): 187–195, DOI: 10.1016/S0309-1740(99)00142-4.

- ČANDEK-POTOKAR, M., B. ŽLENDER, L. LEFAUCHEUR und M. BONNEAU (1998): Effects of age and/or weight at slaughter on longissimus dorsi muscle: Biochemical traits and sensory quality in pigs. *Meat science* 48 (3-4): 287–300.
- CARLSON, D., H. N. LÆRKE, H. D. POULSEN und H. JØRGENSEN (1999): Roughages for growing pigs, with emphasis on chemical composition, ingestion and faecal digestibility. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science* 49 (3): 129–136, DOI: 10.1080/090647099424033.
- CARRASCO, S., J. WÜSTHOLZ, G. HAHN und G. BELLOF (2018): How does feeding organic broilers high levels of alfalfa silage affect the meat quality? *Organic Agriculture* 8 (3): 185–193, DOI:10.1007/s13165-017-0182-x.
- CASTAÑEDA, M. P., E. M. HIRSCHLER und A. R. SAMS (2005): Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poultry science* 84 (1): 143–147, 143–147, DOI:10.1093/ps/84.1.143.
- CHANG, H.-Y., G. R. REECK und H. L. MITCHELL (1978): Alfalfa trypsin inhibitor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26 (6): 1463–1464, DOI:10.1021/jf60220a030.
- CHEEKE, P. R. (1971): Nutritional and physiological implications of saponins: a review. *Canadian journal of animal science* 51 (3): 621–632, DOI:10.4141/cjas71-082.
- CHEEKE, P. R. (1976): Nutritional and physiological properties of saponins. *Nutr. Report Int.* 13: 315–324.
- CHEEKE, P. R. (1983): Biological properties and nutritional significance of legume saponins. In: TELEK L. UND H. D. GRAHAM (Hrsg.), *Leaf Protein Concentrates*. Avi Publishing Company Inc.: 396–414.
- CHEEKE, P. R. (1996): Biological effects of feed and forage saponins and their impacts on animal production. In: WALLER, G. R. UND Y. YAMASAKI (Hrsg.), *Saponins used in food and agriculture*. Plenum Press: 377–385.
- CHEEKE, P. R., J. H. KINZELL und M. W. PEDERSEN (1977): Influence of saponins on alfalfa utilization by rats, rabbits and swine. *Journal of Animal Science* 45 (3): 476–481, DOI: 10.2527/jas1977.453476x.
- CHEEKE, P. R., M. W. PEDERSEN und D. C. ENGLAND (1978): Responses of rats and swine to alfalfa saponins. *Canadian journal of animal science* 58 (4): 783–789, DOI:10.4141/cjas78-097.
- CHEN, L., L. X. GAO und H. F. ZHANG (2014): Effect of Graded Levels of Fiber from Alfalfa Meal on Nutrient Digestibility and Flow of Fattening Pigs. *Journal of Integrative Agriculture* 13 (8): 1746–1752, DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60571-7.

- CHIEN, T. F. und H. L. MITCHELL (1970): Purification of a trypsin inhibitor of alfalfa. *Phytochemistry* 9 (4): 717–720, DOI: 10.1016/S0031-9422(00)85170-5.
- CHRISTMANN, K., B. HÖRNING und G. TREI (2015): Weidegang für Schweine—Beispiele aus der Praxis. In: HÄRING, A., B. HÖRNING u.A. (Hrsg.), 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Köster, Berlin, 17. - 20. März 2015: 510-511, Zugriff: 19. Mai 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/26859/1/26859_christmann.pdf.
- CLAWSON, A. J., J. T. REID, B. E. SHEFFY und J. P. WILLMAN (1955): Use of chromium oxide in digestion studies with swine. *Journal of Animal Science* 14 (3): 700–709, DOI: 10.1093/ansci/14.3.700.
- CURRENCE, H. D. und W. F. BUCHELE (1967): Leaf-strip harvester for alfalfa. *Agricultural Engineering* 48 (1): 20–23.
- DANIELSEN, V., L. L. HANSEN, F. MØLLER, C. BEJERHOLM und S. NIELSEN (1990): Production results and sensory meat quality of pigs fed different amounts of concentrate and ad lib clover grass or clover grass silage. In: HERMANSEN, J.E., LUND, V., THUEN, E.(Eds.), *Ecological animal husbandry in the Nordic countries, proceedings from NJF-seminar No. 303*, Horsens, Denmark 2: 79–86, Zugriff: 03. April 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/3057/1/dar_2.pdf.
- DE LEEUW, J. A., J. E. BOLHUIS, G. BOSCH und W. J.J. GERRITS (2008): Effects of dietary fibre on behaviour and satiety in pigs: symposium on 'Behavioural nutrition and energy balance in the young'. In: *Proceedings of the Nutrition Society* 67 (4): 334–342, DOI:10.1017/S002966510800863X.
- DEPARTMENT OF HEALTH (1994): Report on Health and Social Subjects No. 46. Nutritional aspects of cardiovascular disease. HMSO London.
- DEUTSCHE AGRARFORSCHUNGSALLIANZ (2012): Fachforum Leguminosen. Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft—Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz, Braunschweig, Zugriff: 09. September 2021, URL: https://www.topagrar.com/dl/3/0/2/5/6/3/1/ff_leguminosen-de_2012.pdf.
- DOLLAHITE, J. W., R. F. PIGEON und B. J. CAMP (1962): The toxicity of gallic acid, pyrogallol, tannic acid, and *Quercus havardi* in the rabbit. *American journal of veterinary research* 23: 1264–1267.
- DRIEHUIS, F. und S.J.W.H. O. ELFERINK (2000): The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. *Veterinary Quarterly* 22 (4): 212–216, DOI: 10.1080/01652176.2000.9695061.

- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2020/464: 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. Amtsblatt der Europäischen Union, L 98/2.
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2020/997: Durchführungsverordnung (EU) 2020/997 der Kommission vom 9. Juli 2020 zur Zulassung von L-Lysin-Base (flüssig), L-Lysin-Sulfat und L-Lysin-Monohydrochlorid (technisch rein) als Futtermittelzusatzstoffe für alle Tierarten. Amtsblatt der europäischen Union, L 221/90.
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 2021/181: Durchführungsverordnung (EU) 2021/181 der Kommission vom 15. Februar 2021 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 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. Amtsblatt der Europäischen Union, L 53/99.
- DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) NR. 469/2013: Durchführungsverordnung (EU) Nr. 469/2013 der Kommission vom 22. Mai 2013 über die Zulassung der Futtermittelzusatzstoffe DL-Methionin, DL-Methionin-Natriumsalz, Hydroxyanalog von Methionin, Calciumsalz des Hydroxyanalog von Methionin, Isopropylester des Hydroxyanalog von Methionin, DL-Methionin, geschützt durch das Copolymer Vinylpyridin/Styrol, und DL-Methionin, geschützt durch Ethylcellulose. Amtsblatt der Europäischen Union, L 136/1.
- EDWARDS, R. H., B. E. KNUCKLES, R. E. MILLER, D. H. CURRENCE, D. de FREMERY und G. O. KOHLER (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, DOI: 10.1002/jsfa.2740300603.
- EDWARDS, S. A. (2005): Product quality attributes associated with outdoor pig production. *Livestock Production Science* 94 (1-2): 5–14, DOI: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.028.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2010): Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. *FAO Food and Nutrition Paper* 91: 1–166, Zugriff: 25. Februar 2021, URL: <http://www.fao.org/3/i1953e/i1953e.pdf>.
- FERNANDEZ, X., G. MONIN, A. TALMANT, J. MOUROT und B. LEBRET (1999): Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat—1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *m. longissimus lumborum*. *Meat science* 53 (1): 59–65, DOI: 10.1016/S0309-1740(99)00037-6.

- FISCHER, K., P. FREUDENREICH und G. RÖHRMOSER (1990): Zum Einfluß bestimmter Futterfette auf die Fleisch- und Fettqualität beim Schwein. *Fat Science Technology* 92 (13): 559–563.
- FRANCIS, G., Z. KEREM, H. P. S. MAKKAR und K. BECKER (2002): The biological action of saponins in animal systems: a review. *British journal of nutrition* 88 (6): 587–605, DOI:10.1079/BJN2002725.
- FRANKE, E. R. (1959): Verlustquellen der Heißlufttrocknung. *Deutsche Agrartechnik* 9 (5): 213–214.
- FRÜH, B., B. SCHLATTER, A. ISENSEE, V. MAURER und H. WILLER (2015): Report on organic protein availability and demand in Europe. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, Switzerland: Zugriff: 15. Juli 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/28067/3/FINAL-REPORT-ICOPP-2015-02-08.pdf>.
- GALLER, J. (2011): Silagebereitung von A bis Z, Grundlagen – Siliersysteme – Kenngrößen. Landwirtschaftskammer Salzburg (Hrsg.). Zugriff: 24. März 2021, URL: http://www.kuhdokter.at/files/Silagebereitung_von_A-Z.pdf.
- GAWEL, E. und M. GRZELAK (2012): The Effect of a protein-xanthophyll concentrate from alfalfa (phytobiotic) on animal production - a current review. *Annals of Animal Science* 12 (3): 281–289, DOI: 10.2478/v10220-012-0023-5.
- GAWEL, E. und M. GRZELAK (2014): Protein from lucerne in animals supplement diet. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 12 (2): 314–319.
- GEE, J. M., K. R. PRICE, C. L. RIDOUT, I. T. JOHNSON und G. R. FENWICK (1989): Effects of some purified saponins on transmural potential difference in mammalian small intestine. *Toxicology in Vitro* 3 (2): 85–90, DOI:10.1016/0887-2333(89)90049-0.
- GEFROM, A., E. M. OTT, S. HOEDTKE und A. ZEYNER (2013): Effect of ensiling moist field bean (*Vicia faba*), pea (*Pisum sativum*) and lupine (*Lupinus* spp.) grains on the contents of alkaloids, oligosaccharides and tannins. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 97 (6): 1152–1160, DOI: 10.1111/jpn.12024.
- GFE - GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (2005): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Determination of digestibility as the basis for energy evaluation of feedstuffs for pigs. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 14 (14): 207–213.
- GFE - GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (2006): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

- GIERUS, P. M. (2009): Bedeutung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen für die Proteinqualität von Futterpflanzen. 15. Alpenländisches Expertenforum - Grundfutterqualität: aktuelle Ergebnisse und zukünftige Entwicklungen, Zugriff: 18. Juni 2020 URL: https://www.researchgate.net/profile/Martin-Gierus/publication/252931029_Bedeutung_sekundarer_Pflanzeninhaltsstoffe_fur_die_Bestimmung_der_Proteinqualitaet/links/0deec51f53c8b53346000000/Bedeutung-sekundaerer-Pflanzeninhaltsstoffe-fuer-die-Bestimmung-der-Proteinqualitaet.pdf.
- GLICK, Z. und M. A. JOSLYN (1970): Food intake depression and other metabolic effects of tannic acid in the rat. *The journal of nutrition* 100 (5): 509–515, DOI: 10.1093/jn/100.5.509.
- GONZÁLEZ-VEGA, J. C., B. G. KIM, J. K. HTOO, A. LEMME und H. H. STEIN (2011): Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science* 89 (11): 3617–3625, DOI: 10.2527/jas.2010-3465.
- GÖRNER, A. (1958): Konstruktion und Arbeitsweise moderner Trommeltrockner. *Deutsche Agrartechnik* 8 (5): 222–224.
- GRIESE, S., U. EBERT, S. FISCHINGER, U. GEIER, A. LENZ, F. SCHÄFER, A.-K. SPIEGEL, W. VOGT-KAUTE und K.-P. WILBOIS (2014): Strategieoptionen zur Realisierung einer 100% igen Biofütterung bei Monogastriern im ökologischen Landbau. Übersichtsdossier Verbund Ökologische Praxisforschung V.Ö.P, Zugriff: 07. April 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/28395/1/100Biofuetterung_Dossier.pdf.
- HACK, H., H. BLEIHOLDER, L. BUHR, U. MEIER, U. SCHNOCK-FRICKE, E. WEBER und A. WITZENBERGER (1992): Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. – Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 44 (12): 265–270.
- HAGMÜLLER, W., P. NAGEL, K. J. DOMIG, S. PFALZ, S. KRONSTEINER, B. ORTNER, A. SUNDRUM und W. ZOLLITSCH (2008): Fütterungsstrategien in der biologischen Schweinefleischproduktion zur Gewährleistung der Nahrungsmittelsicherheit. Abschlussbericht, Forschungsprojekt Nr. 100120, BMLFUW, Wien.
- HAMACHER, M., R. LOGES und F. TAUBE (2015): Zum Nutzungspotential alternativer Leguminosen und Wiesenkräuter–unter besonderer Berücksichtigung sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Köster, Berlin, 17. - 20. März 2015, Zugriff: 12. September 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/27259/1/27259_hamacher.pdf.
- HANSEN, L. L., C. CLAUDI-MAGNUSSEN, S. K. JENSEN und H. J. ANDERSEN (2006): Effect of organic pig production systems on performance and meat quality. *Meat science* 74 (4): 605–615, DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.02.014.

- HANSON, C. H., G. O. KOHLER, J. W. DUDLEY, E. L. SORENSEN, G. R. VAN ATTA, K. W. TAYLOR, M. W. PEDERSEN, H. L. CARNAHAN, C. P. WILSIE, W. R. KEHR, C. C. LOWE, E. H. STANFORD und J. A. YUNGEN (1963): Saponin content of alfalfa as related to location, cutting, variety, and other variables. USDA Res. Rep. ARS: 34–44.
- HATFIELD, R. (2015): Harvesting alfalfa leaves separately from stems. Progressive forage, published on 27 March 2015. Zugriff: 03. Juni 2021, URL: <https://www.progressiveforage.com/forage-production/equipment/harvesting-alfalfa-leaves-separately-from-stems>.
- HATFIELD, R. und R. MUCK (1999): Characterizing Proteolytic Inhibition in Red Clover Silage. Proc. 12th International Silage Conference, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden: 147–148.
- HEGSTED, M. und H. M. LINKSWILER (1980): Protein quality of high and low saponin alfalfa protein concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31: 777–781, DOI: 10.1002/jsfa.2740310806.
- HELDT, H.-W. (2005): *Plant biochemistry*. 3rd ed., Elsevier Academic Press, San Diego, CA.
- HOEDTKE, S., GABEL M. und ZEYNER A. (2010): Der Proteinabbau im Futter während der Silierung und Veränderungen in der Zusammensetzung der Rohproteinfraktion. *Übersichten zur Tierernährung* 38: 157–179.
- HOISCHEN-TAUBNER, S. und A. SUNDRUM (2016): Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne und Perserklee. Schlussbericht BÖLN-Projekt, FKZ 11OE055. Zugriff: 03. April 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/30426/13/30426-11OE055-uni-kassel-sundrum-2016-verdaulichkeiten-blattmassen.pdf>.
- HØØK PRESTO, M., K. LYBERG und J. E. LINDBERG (2011): Digestibility of amino acids in organically cultivated white-flowering faba bean and cake from cold-pressed rapeseed, linseed and hemp seed in growing pigs. *Archives of Animal Nutrition* 65 (1): 21–33, DOI: 10.1080/1745039x.2010.534897.
- HÖRNING, B., O. TOBER und M. TRIESCHMANN (2011): *Freiland Schweinehaltung*. KTBL, Darmstadt.
- HUHMANN, D. V. und L. W. SUMNER (2002): Metabolic profiling of saponins in *Medicago sativa* and *Medicago truncatula* using HPLC coupled to an electrospray ion-trap mass spectrometer. *Phytochemistry* 59 (3): 347–360, DOI: 10.1016/S0031-9422(01)00432-0.
- IKEDO, S., M. SHIMOYAMADA und K. WATANABE (1996): Interaction between bovine serum albumin and saponin as studied by heat stability and protease digestion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 (3): 792–795, DOI: 10.1021/jf940742.

- ISHAAYA, I. und Y. BIRK (1965): Soybean saponins. IV. The effect of proteins on the inhibitory activity of soybean saponins on certain enzymes. *Journal of Food Science* 30 (1): 118–120, DOI:10.1111/j.1365-2621.1965.tb00273.x.
- IVARSSON, E., R. ANDERSSON und J. E. LINDBERG (2012): Digestibility of fibre sources and molecular weight distribution of fibre fractions in ileal digesta of growing pigs. *Archives of Animal Nutrition* 66 (6): 445–457, DOI: 10.1080/1745039X.2012.740309.
- JAGGER, S., J. WISEMAN, D. J.A. COLE und J. CRAIGON (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.
- JANSMAN, A.J.M., M.W.A. VERSTEGEN und J. HUISMAN (1993): Effects of dietary inclusion of hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) with a low and high content of condensed tannins on digestion and some physiological parameters in piglets. *Animal Feed Science and Technology* 43 (3-4): 239–257, DOI: 10.1016/0377-8401(93)90080-4.
- JENTSCH, W., R. SCHIEMANN und W. WIESEMÜLLER (1991): Zur energetischen Verwertung von Luzerneblatt durch adulte Schweine. *Archives of Animal Nutrition* 41 (3): 237–244, DOI:10.1080/17450399109428466.
- JHA, R. und J. D. BERROCOSO (2015): Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal* 9 (9): 1441–1452, DOI: 10.1017/S1751731115000919.
- JHA, R., J. M. FOUHSE, U. P. TIWARI, L. LI und B. P. WILLING (2019): Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. *Frontiers in veterinary science* 6: 48.
- JONES, B. A., R. E. MUCK und R. D. HATFELD (1995): Red clover extracts inhibit legume proteolysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67 (3): 329–333, DOI:10.1002/jsfa.2740670309.
- JONSÄLL, A., L. JOHANSSON und K. LUNDSTRÖM (2000): Effects of red clover silage and RN genotype on sensory quality of prolonged frozen stored pork (M. Longissimus dorsi). *Food quality and preference* 11 (5): 371–376.
- JØRGENSEN, H., X.-Q. ZHAO und B. O. EGGUM (1996): The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British journal of nutrition* 75 (3): 365–378, DOI: 10.1079/BJN19960140.
- KALAIČ, P., K. R. PRICE und G. R. FENWICK (1996): Changes in saponin content and composition during the ensilage of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Food Chemistry* 56 (4): 377–380, DOI:10.1016/0308-8146(95)00185-9.

- KALLABIS, K. E. und O. KAUFMANN (2012): Effect of a high-fibre diet on the feeding behaviour of fattening pigs. *Archives Animal Breeding* 55 (3): 272–284, DOI: 10.5194/aab-55-272-2012.
- KALM, E. und B. HARDER (2003): Ökologische Tierzucht: Status Quo, Möglichkeiten und Erfordernisse in der Rinder- und Schweinezucht. Abschlussbericht BÖL-Projekt, FKZ 02OE401. Zugriff: 11. März 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/5165/1/5165-02OE401-ble-2003-zucht-rindschwein.pdf>.
- KAMPHUES, J., M. COENEN, C. IBEN, E. KIENZLE, J. PALLAUF, O. SIMON, M. WANNER und ZENTEK J. (Hrsg.) (2009): *Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung*. Schaper, Hannover.
- KAMPHUES, J., S. PAPANBROCK, C. VISSCHER, S. OFFENBERG, M. NEU, J. VERSPOHL, C. WESTFAHL und A. C. HÄBICH (2007): Bedeutung von Futter und Fütterung für das Vorkommen von Salmonellen bei Schweinen. *Übersichten zur Tierernährung* 35 (2): 233–279.
- KARWOWSKA, M., Z. J. DOLATOWSKI und E. GRELA (2008): Influence of dietary supplementation with extracted alfalfa meal on meat quality. Zugriff: 07. Mai 2021, URL: http://icomst-proceedings.helsinki.fi/papers/2008_07_37.pdf.
- KASS, M. L., P. J. VAN SOEST und W. G. POND (1980a): Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. II. Volatile fatty acid concentrations in and disappearance from the gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science* 50 (1): 192–197, DOI: 10.2527/jas1980.501192x.
- KASS, M. L., P. J. VAN SOEST, W. G. POND, B. LEWIS und R. E. MCDOWELL (1980b): Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science* 50 (1): 175–191, DOI: 10.2527/jas1980.501175x.
- KELLY, H. R. C., H. M. BROWNING, J. E. L. DAY, A. MARTINS, G. P. PEARCE, C. STOPES und S. A. EDWARDS (2007): Effect of breed type, housing and feeding system on performance of growing pigs managed under organic conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87 (15): 2794–2800.
- KERR, B. J. und G. C. SHURSON (2013): Strategies to improve fiber utilization in swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4: 11.
- KIRCHGEßNER, M., F. X. ROTH, F. J. SCHWARZ und G. I. STANGL (2011): *Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis*. 13. neu überarbeitete Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

- KNUDSEN, K. E. B. (1997): Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology* 67 (4): 319–338, DOI: 10.1016/S0377-8401(97)00009-6.
- KOFAHL, A. (2009): Methodische Untersuchungen zur Beurteilung der proteolytischen Aktivität, der Proteolyse und der Desmolyse bei der Silierung eiweißreicher Grünfütterleguminosen. Dissertation, Universität Rostock.
- KOLBE, H. (2008): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Zugriff: 25. März 2021, URL: https://or-gprints.org/15100/1/Fruchtfolge_Internet.pdf.
- KONG, C. und O. ADEOLA (2014): Evaluation of amino Acid and energy utilization in feedstuff for Swine and poultry diets. *Asian-Australasian journal of animal sciences* 27 (7): 917–925, DOI: 10.5713/ajas.2014.r.02.
- KOZERA, W. J., K. KARPIESIUK, D. BUGNACKA, J. FALKOWSKI und W. MILEWSKA (2016): Production performance of pigs reared in different systems and fed increased energy content diets with or without green alfalfa. *South African Journal of Animal Science* 46 (1): 70–76, DOI: 10.4314/sajas.v46i1.9.
- KRACHT, W., H. JEROCH, W. MATZKE, K. NÜRNBERG, K. ENDER und W. SCHUMANN (1996): The influence of feeding rapeseed on growth and carcass fat quality of pigs. *Lipid/Fett* 98 (10): 343–351, DOI: 10.1002/lipi.19960981006.
- LÁSZTITY, R. und L. WÖLLER (1975): Toxinerzeugung von Fusariumarten und ihr Vorkommen in landwirtschaftlichen Produkten. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* 19 (4): 249–262.
- LEAMASTER, B. R. und P. R. CHEEKE (1979): Feed preferences of swine: Alfalfa meal, high and low saponin alfalfa, and quinine sulfate. *Canadian journal of animal science* 59 (2): 467–469, DOI: 10.4141/cjas79-059.
- LEBRET, B. (2008): Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal* 2 (10): 1548–1558, DOI: 10.1017/S1751731108002796.
- LEBRET, B., H. JUIN, J. NOBLET und M. BONNEAU (2001): The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Animal Science* 72 (1): 87–94, DOI: 10.1017/S1357729800055582.
- LEE, M. R. F., L. J. PARFITT, N. D. SCOLLAN und F. R. MINCHIN (2007): Lipolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities in the presence and absence of rumen fluid. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87 (7): 1308–1314, DOI: 10.1002/jsfa.2849.

- LEE, M. R. F., A. L. WINTERS, N. D. SCOLLAN, R. J. DEWHURST, M. K. THEODOROU und F. R. MINCHIN (2004): Plant-mediated lipolysis and proteolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84 (13): 1639–1645, DOI: 10.1002/jsfa.1854.
- LESKANICH, C. O., K. R. MATTHEWS, C. C. WARKUP, R. C. NOBLE und M. HAZZLEDINE (1997): The effect of dietary oil containing (n-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical, and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *Journal of Animal Science* 75 (3): 673–683, DOI: 10.2527/1997.753673x.
- LFL - BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2016): Luzerne, Anbau - Konservierung - Verfütterung. Zugriff: 24. März 2021, URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/luzerne_lfl-information.pdf.
- LFL - BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2021a): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. Zugriff: 31. März 2021, URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterung_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf.
- LFL – BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2021b): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten - Öko-Schweinemast, Internetangebot der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Zugriff: 10. Februar 2021, URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/schweinemastoeko.html>.
- LI, Q. und J. F. PATIENCE (2017): Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Animal Feed Science and Technology* 233: 22–33.
- LI, X. und E. C. BRUMMER (2012): Applied Genetics and Genomics in Alfalfa Breeding. *Agronomy* 2 (1): 40–61, DOI: 10.3390/agronomy2010040.
- LINDBERG, J. E. (2014): Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5 (1): 1-7, DOI: 10.1186/2049-1891-5-15.
- LINDBERG, J. E. und C. ANDERSSON (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, DOI: 10.1016/S0301-6226(98)00146-8.
- LINDBERG, J. E. und Z. CORTOVA (1995): The effect of increasing inclusion of lucerne leaf meal in a barley-based diet on the partition of digestion and on nutrient utilization in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 56 (1-2): 11–20, DOI: 10.1016/0377-8401(95)00823-6.

- LINDERMAYER, H., W. PREIßINGER und G. PROPSTMEIER (2011): Schweinefütterung mit heimischen Eiweißfuttermitteln, Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Zugriff: 31. März 2021, URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_39080.pdf.
- LIVINGSTON, A. L., D. SMITH, H. L. CARNAHAN, R. E. KNOWLES, J. W. NELSON und G. O. KOHLER (1968): Variation in the xanthophyll and carotene content of lucerne, clovers and grasses. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 19 (11): 632–636, DOI: 10.1002/jsfa.2740191104.
- LOPEZ-BOTE, C. J., R. S. ARIAS, A. I. REY, A. CASTANO, B. ISABEL und J. THOS (1998): Effect of free-range feeding on n-3 fatty acid and α -tocopherol content and oxidative stability of eggs. *Animal Feed Science and Technology* 72 (1-2): 33–40, DOI: 10.1016/S0377-8401(97)00180-6.
- LORENZ, M. M., T. ERIKSSON und P. UDÉN (2010): Effect of wilting, silage additive, PEG treatment and tannin content on the distribution of N between different fractions after ensiling of three different sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) varieties. *Grass and Forage Science* 65 (2): 175–184, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2010.00736.x.
- LÖSER, R. und F. DEERBERG (2004): Ökologische Schweineproduktion: Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf. Schlussbericht BÖL-Projekt, AZ: 02OE175, Zugriff: 16. September 2021, URL: <http://orgprints.org/5164>.
- LUO, R., Y. ZHANG, F. WANG, K. LIU, G. HUANG, N. ZHENG und J. WANG (2021): Effects of sugar cane molasses addition on the fermentation quality, microbial community, and tastes of alfalfa silage. *Animals* 11 (2): 355, DOI: 10.3390/ani11020355.
- MADSEN, A., K. JAKOBSEN und H. P. MORTENSEN (1992): Influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science* 42 (4): 220–225, DOI: 10.1080/09064709209410132.
- MALIAR, T., J. DROBNÁ, J. KRAIC, M. MALIAROVÁ und J. JUROVATÁ (2011): Proteinase inhibition and antioxidant activity of selected forage crops. *Biologia* 66 (1): 96–103, DOI:10.2478/s11756-010-0149-9.
- MARKOVIC, J., J. RADOVIC, Z. LUGIC und D. SOKOLOVIC (2008): Nutritive value in leaves and stems of lucerne with advanced maturity and a comparison of methods for determination of lignin content. *Biodiversity and animal feed: future challenges for grassland production. Proceedings of the 22nd General Meeting of the European Grassland Federation, Uppsalla, Sweden, 9-12 June 2008*: 480–482.

- MARKOVIĆ, J., R. ŠTRBANOVIĆ, M. CVETKOVIĆ, B. ANĐELKOVIĆ und B. ŽIVKOVIĆ (2009): Effects of growth stage on the mineral concentrations in alfalfa (*Medicago sativa* L.) leaf, stem and the whole plant. *Biotechnology in animal Husbandry* 25 (5-6-2): 1225–1231.
- MARTINS, S. I.F.S., W. M.F. JONGEN und M. A.J.S. VAN BOEKEL (2001): A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology* 11 (9-10): 364–373, DOI: 10.1016/S0924-2244(01)00022-X.
- MASSIOT, G., C. LAVAUD, D. GUILLAUME und L. LE MEN-OLIVIER (1988): Reinvestigation of the sapogenins and prosapogenins from alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 36 (5): 902–909.
- MAXA, J. und S. THURNER (2021): Ernte von Grünleguminosen: Eiweiß Made in Germany. *Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik* (7): 74–76.
- MENZIES, D. und W. K. BILANSKI (1968): Aerodynamic properties of alfalfa particles. *Transactions of the ASAE* 11 (6): 829–831.
- MESSINGER, D., M. KAINDL, P. A. WEINDL und G. BELLOF (2019): Futterwert und Einsatz von Luzernetrockenblatt als Eiweißfuttermittel in der ökologischen Schweinemast. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 02./03.04.2019, Fulda, Tagungsband, Hrsg. Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn.
- MESSINGER, D., P. A. WEINDL, K. AULRICH, L. PLEGER und 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. *Züchtungskunde* 93 (5): 389–405.
- MEUNIER-SALAÜN, M. C., S. A. EDWARDS und S. ROBERT (2001): Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Animal Feed Science and Technology* 90 (1-2): 53–69, DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00196-1.
- MONAHAN, F. J., D. J. BUCKLEY, J. I. GRAY, P. A. MORRISSEY, A. ASGHAR, T. J. HANRAHAN und P. B. LYNCH (1990): Effect of dietary vitamin E on the stability of raw and cooked pork. *Meat science* 27 (2): 99–108, DOI: 10.1016/0309-1740(90)90058-E.
- MONTAGNE, L., PLUSKE, JR und D. J. HAMPSON (2003): A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology* 108 (1-4): 95–117, DOI: 10.1016/S0377-8401(03)00163-9.

- MOUGHAN, P. J., W. C. SMITH, J. SCHRAMA und C. SMITS (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, DOI: 10.1080/00288233.1991.10417796.
- NATURLAND - VERBAND FÜR ÖKOLOGISCHEN LANDBAU E.V. (2021): Naturland Richtlinien Erzeugung, Fassung von Juni 2021. Zugriff: 24.07.2021, URL: https://www.naturland.de/images/Naturland/Richtlinien/Naturland-Richtlinien_Erzeugung.pdf.
- NORIOKA, N., S. HARA, T. IKENAKA und J. ABE (1988): Distribution of the Kunitz and the Bowman-Birk family proteinase inhibitors in leguminous seeds. *Agricultural and biological chemistry* 52 (5): 1245–1252, DOI:10.1080/00021369.1988.10868815.
- NOZIÈRE, P., B. GRAULET, A. LUCAS, B. MARTIN, P. GROLIER und M. DOREAU (2006): Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4): 418–450, DOI:10.1016/j.anifeedsci.2006.06.018.
- OGDEN, R. L. und W. R. KEHR (1968): Field management for dehydration and hay production. Tenth technical alfalfa conference proceedings ARS: 74-46: 23–37.
- OLESZEK, W. (2000): Alfalfa saponins: chemistry and application. In: BIDLACK, W. R., S. T. OMAJE, M. S. MESKIN und D. K. W. TOPHAM (Hrsg.), *Phytochemicals as bioactive agents*. CRC Press: 167–188.
- OLESZEK, W. und M. JURZYSTA (1986): Isolation, chemical characterization and biological activity of red clover (*Trifolium pratense* L.) root saponins. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 55 (2): 247–252, DOI: DOI:10.5586/asbp.1986.025.
- OLESZEK, W., M. JURZYSTA, M. PLOSZYNSKI, I. J. COLQUHOUN, K. R. PRICE und G. R. FENWICK (1992): Zanic acid tridesmoside and other dominant saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) aerial parts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40 (2): 191–196, DOI:10.1021/jf00014a005.
- OLESZEK, W., J. NOWACKA, J. M. GEE, G. M. WORTLEY und I. T. JOHNSON (1994): Effects of some purified alfalfa (*Medicago sativa*) saponins on transmural potential difference in mammalian small intestine. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 65 (1): 35–39, DOI:10.1002/jsfa.2740650107.
- OLESZEK, W., K. R. PRICE, I. J. COLQUHOUN, M. JURZYSTA, M. PLOSZYNSKI und G. R. FENWICK (1990): Isolation and identification of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root saponins: their activity in relation to a fungal bioassay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38 (9): 1810–1817, DOI:10.1021/jf00099a006.

- OLESZEK, W. und A. STOCHMAL (2002): Triterpene saponins and flavonoids in the seeds of *Trifolium* species. *Phytochemistry* 61 (2): 165–170, DOI: 10.1016/S0031-9422(02)00230-3.
- OLUKOSI, O. A., O. A. BOLARINWA, A. J. COWIESON und O. ADEOLA (2012): Marker type but not concentration influenced apparent ileal amino acid digestibility in phytase-supplemented diets for broiler chickens and pigs. *Journal of Animal Science* 90 (12): 4414–4420, DOI: 10.2527/jas.2011-4801.
- ORTIZ, L. T., C. CENTENO und J. TREVIÑO (1993): Tannins in faba bean seeds: effects on the digestion of protein and amino acids in growing chicks. *Animal Feed Science and Technology* 41 (4): 271–278, DOI: 10.1016/0377-8401(93)90002-2.
- OUYANG, K., M. XU, Y. JIANG und W. WANG (2016): Effects of alfalfa flavonoids on broiler performance, meat quality, and gene expression. *Canadian journal of animal science* 96 (3): 332–341, DOI: 10.1139/cjas-2015-0132.
- OWENS, V. N., K. A. ALBRECHT und R. E. MUCK (1999a): Protein degradation and ensiling characteristics of red clover and alfalfa wilted under varying levels of shade. *Canadian Journal of Plant Science* 79 (2): 209–222, DOI: 10.4141/P98-034.
- OWENS, V. N., K. A. ALBRECHT, R. E. MUCK und S. H. DUKE (1999b): Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Science* 39 (6): 1873–1880, DOI: 10.2135/crop-sci1999.3961873x.
- PECETTI, L., A. TAVA, M. ROMANI, M. G. de BENEDETTO und P. CORSI (2006): Variety and environment effects on the dynamics of saponins in lucerne (*Medicago sativa* L.). *European Journal of Agronomy* 25 (3): 187–192, DOI: 10.1016/j.eja.2006.04.013.
- PEDERSEN, M. W., J. O. ANDERSON, J. C. STREET, L.-C. WANG und R. BAKER (1972): Growth Response of Chicks and Rats Fed Alfalfa with Saponin Content Modified by Selection. *Poultry science* 51 (2): 458–463.
- PFALZGRAF, A., M. FRIGG, H. STEINHART, M. KIRCHGESSNER und F. X. ROTH (1995): Influence of dietary fat and vitamin E on the lipids in pork meat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 97 (1): 13–20, DOI: 10.1002/lipi.19950970105.
- PITT, R. E. (1990): *Silage and Hay Preservation*. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service 5, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York.
- PLEGER, L., P. N. WEINDL, P. A. WEINDL, L. S. CARRASCO, C. LEITAO, M. ZHAO, K. AULRICH und G. BELLOF (2021): Precaecal digestibility of crude protein and amino acids from alfalfa

- (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) leaves and silages in broilers. *Animal Feed Science and Technology* 275, 114856, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114856.
- 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 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, DOI: 10.1111/jpn.13353.
- POND, W. G., H. G. JUNG und V. H. VAREL (1988): Effect of dietary fiber on young adult genetically lean, obese and contemporary pigs: Body weight, carcass measurements, organ weights and digesta content. *Journal of Animal Science* 66 (3): 699–706, DOI: 10.2527/jas1988.663699x.
- PONTE, P. I.P., L. M.A. FERREIRA, M. A.C. SOARES, M. AGUIAR, J. P.C. LEMOS, I. MENDES und C. FONTES (2004a): Use of cellulases and xylanases to supplement diets containing alfalfa for broiler chicks: effects on bird performance and skin color. *Journal of applied poultry research* 13 (3): 412–420, DOI:10.1093/japr/13.3.412.
- PONTE, P. I.P., I. MENDES, M. QUARESMA, M. N.M. AGUIAR, J. P.C. LEMOS, L. M.A. FERREIRA, M. A.C. SOARES, C. M. ALFAIA, J. A.M. PRATES und C. FONTES (2004b): Cholesterol levels and sensory characteristics of meat from broilers consuming moderate to high levels of alfalfa. *Poultry science* 83 (5): 810–814, DOI:10.1093/ps/83.5.810.
- POTTER, S. M., R. JIMENEZ-FLORES, J. POLLACK, T. A. LONE und M. D. BERBER-JIMENEZ (1993): Protein-saponin interaction and its influence on blood lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41 (8): 1287–1291, DOI:10.1021/jf00032a023.
- PRESTO ÅKERFELDT, M., S. HOLMSTRÖM, A. WALLENBECK und E. IVARSSON (2018): Inclusion of intensively manipulated silage in total mixed ration to growing pigs—influence on silage consumption, nutrient digestibility and pig behaviour. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science* 68 (4): 190–201.
- PRESTO ÅKERFELDT, M., J. NIHLSTRAND, M. NEIL, N. LUNDEHEIM, H. K. ANDERSSON und A. WALLENBECK (2019): Chicory and red clover silage in diets to finishing pigs—influence on performance, time budgets and social interactions. *Organic Agriculture* 9 (1): 127–138, DOI:10.1007/s13165-018-0216-z.
- PRICE, K. R., I. T. JOHNSON und G. R. FENWICK (1987): The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *Critical reviews in food science and nutrition* 26 (1): 27–135, DOI: 10.1080/10408398709527461.
- RADOVIĆ, J., D. SOKOLOVIĆ und J. MARKOVIĆ (2009): Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in animal Husbandry* 25 (5-6-1): 465–475, DOI: 10.2298/BAH0906465R.

- RAHMANN, G., H. NIEBERG, S. DRENGEMANN, S. MARCH, A. FENNEKER und C. ZUREK (2004): Bundesweite repräsentative Erhebung und Analyse der verbreiteten Produktionsverfahren, der realisierten Vermarktungswege und der wirtschaftlichen sowie sozialen Lage ökologisch wirtschaftender Betriebe und Aufbau eines bundesweiten Praxis-Forschungs-Netztes. In: Landesbauforschung Völknerode FAL Agricultural Research, Sonderheft 276, Institut für ökologischen Landbau und Institut für Betriebswirtschaft, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), BÖL-Projekt, FKZ 02OE061. Zuriff: 19. Mai 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/8742/1/8742-02OE061-faloel-rahmann-2004-erhebung.pdf>.
- RAYUDU, G. V.N., R. KADIRVEL, P. VOHRA und F. H. KRATZER (1970): Toxicity of tannic acid and its metabolites for chickens. *Poultry science* 49 (4): 957–960, DOI: 10.3382/ps.0490957.
- RICHTLINIE 91/630/EWG: Richtlinie des Rates vom 19. November 1991 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, L 340/33.
- RILEY, P. A., M. ENSER, G. R. NUTE und J. D. WOOD (2000): Effects of dietary linseed on nutritional value and other quality aspects of pig muscle and adipose tissue. *Animal Science* 71 (3): 483–500, DOI: 10.1017/S1357729800055454.
- RITTESER, C. und M. GRASHORN (2015): Bestimmung präcecaler Verdaulichkeitskoeffizienten für heimische Energiefuttermittel für die Hühnermast. Schlussbericht BÖLN-Projekt, FKZ 2811OE070, Zugriff: 18.09.2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/29363/1/29363-11OE070-uni-hohenheim-grashorn-2015-energiefuttermittel-huehnermast.pdf>.
- ROOKE, J. A. und R. D. HATFIELD (2003): Biochemistry of Ensiling. In: BUXTON, D.R., R.E. MUCK und H.J. HARRISON (Hrsg.), *Silage Science and Technology* (Agronomy Series No. 42), American Society of Agronomy, Madison, WI: 95–139.
- ROSCHER, S. (2018): Ablauf und Beeinflussungsmöglichkeiten der Proteolyse während der Silierung von Weidelgras und Luzerne. Dissertation, Humboldt Universität zu Berlin.
- ROTH, F. X. und H. J. REENTS (2001): Futterwert von frischem und siliertem Klee gras aus ökologischem Anbau für Mastschweine. Beitrag zur 6. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 6.-8. März 2001, Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, Berlin: 461–464.
- RUDOLPH, G., R. GEßL und H. STARK (2011): Praxisversuch zur Verfütterung von Kleesilage und Luzernegrünmehl an Bioschweine. In: LEITHOLD, G., K. BECKER, C. BROCK, S. FISCHINGER, S. SPIEGEL, A.-K. SPORY, K. WILBOIS und U. WILLIGES (Hrsg.): *Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis*, Beitrag zur 11. Wissenschaftstagung

- Ökologischer Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen, 15.-18. März 2011, Band 2: Tierproduktion, Sozioökonomie, Verlag Dr. Köster, Berlin. Zugriff: 21. März 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/17650/3/Rudolph_17650.pdf.
- RÜGHEIMER, R. (1986): Herstellung von Luzerneblattkonservaten und deren Einsatz in der Schweinefütterung. Dissertation, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock.
- RUTZMOSER, K., A. OBERMAIER, M. URDL und L. GRUBER (2007): Ein Verfahren zur Auswertung von Verdauungsversuchen mit Beifutter am Beispiel von Getreidetrockenschlempe. VDLUFA-Schriftenreihe. Kongressband 2007: 565–571.
- SAPPOK, M., W. PELLIKAAN, H. SCHENKEL und A. SUNDRUM (2008): Einsatz von Raufuttermitteln (Silage, Weidelgras, Topinambur und Stoppelrüben) im Vegetationsverlauf in der ganzjährigen Freilandhaltung von Mastschweinen. Schlussbericht BÖL-Projekt, FKZ: 03OE407, Zugriff: 05. März 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/16341/1/16341-03OE407-uni_kassel-sundrum-2008-mastschweinefuetterung.pdf.
- SCHUMACHER, U., C. FIDELAK, R. KOOPMANN, F. WEIßMANN, J. SNIGULA, R. BRÜGGEMANN, M. NAATJES, C. SIMONEIT und S. BENDER (2011): Wissenstandsanalyse zur Tiergesundheit aller Nutztierarten im Ökologischen Landbau und 100% Biofütterung. Abschlussbericht der BÖln-Projekte FKZ 10OE088 und FKZ 10OE089. Zugriff: 07. April 2021, URL: <https://orgprints.org/25088/1/25088-10OE088-bioland-schumacher-2011-wissenstandanalyse-tiergesundheit.pdf>.
- SEN, S., H. P. S. MAKKAR und K. BECKER (1998): Alfalfa saponins and their implication in animal nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1): 131–140, DOI:10.1021/jf970389i.
- SERRANO, J., R. PUUPPONEN-PIMIÄ, A. DAUER, A.-M. AURA und F. SAURA-CALIXTO (2009): Tannins: current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition and Food Research* 53 (S2): S310-S329, DOI: 10.1002/mnfr.200900039.
- SHI, Y. H., J. WANG, R. GUO, C. Z. WANG, X. B. YAN, B. XU und D. Q. ZHANG (2014): Effects of alfalfa saponin extract on growth performance and some antioxidant indices of weaned piglets. *Livestock Science* 167: 257–262, DOI: 10.1016/j.livsci.2014.05.032.
- SHIMOYAMADA, M., S. IKEDO, R. OOTSUBO und K. WATANABE (1998): Effects of Soybean Saponins on Chymotryptic Hydrolyses of Soybean Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (12): 4793–4797, DOI:10.1021/jf980694j.
- SHINNERS, K. J., M. E. HERZMANN, B. N. BINVERSIE und M. F. DIGMAN (2007): Harvest fractionation of alfalfa. *Transactions of the ASABE* 50 (3): 713–718, DOI:10.13031/2013.23125.

- SIKORA, M. C., R. D. HATFIELD und K. F. KALSCHEUR (2019): Fermentation and chemical composition of high-moisture lucerne leaf and stem silages harvested at different stages of development using a leaf stripper. *Grass and Forage Science* 74 (2): 254–263, DOI:10.1111/gfs.12423.
- SOKHANSANJ, S., W. J. CRERAR und K. SHARIFAT (1998): Measurement of plant performance for Tisdale dehy. Report to Tisdale alfalfa dehy Ltd. Department of Agricultural and Biore-source Engineering. Saskatoon, SK, Canada.
- SOMMER, H. und A. SUNDRUM (2013): Blattmasse von Rotklee als Proteinquelle für Schweine. In: NEUHOFF, D., C. STUMM, S. ZIEGLER, G. RAHMANN, U. HAMM UND U. KÖPKE (Hrsg.): *Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung*. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 5.-8. März 2013, Verlag Dr. Klöster, Berlin, Zugriff: 26. März 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/21559/1/21559_sommer.pdf.
- SOMMER, H. und A. SUNDRUM (2014): Determining the feeding value and digestibility of the leaf mass of alfalfa (*Medicago sativa*) and various types of clover. In: SCHOBERT, H., M.-C. RIECHER, H. FISCHER, T. AENIS, UND A. KNIERIM (Hrsg.), *Farming systems facing global challenges: Capacities and strategies*. Proceedings of the 11th European IFSA Symposium, 1.-4. April 2014, Berlin, Germany: 1698–1704.
- SOMMER, H. und A. SUNDRUM (2015): Ganzpflanze und Blattmasse verschiedener Grünleguminosen als Eiweißquelle in der Schweinefütterung. In: HÄRING, A. M., B. HÖRNING, R. HOFFMANN-BAHNSEN, H. LULEY, V. LUTHARDT, J. PAPE, UND G. TREI (Hrsg.), *Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung*. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Eberswalde, 17.-20. März 2015. Verlag Dr. Köster, Berlin, Zugriff: 25. März 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/27148/1/27148_sommer.pdf: 350–353.
- SULLIVAN, M. L. und R. D. HATFIELD (2006): Polyphenol oxidase and o-diphenols inhibit post-harvest proteolysis in red clover and alfalfa. *Crop Science* 46 (2): 662–670, DOI: 10.2135/cropsci2005.06-0132.
- SUNDRUM, A., A. ARAGON, C. SCHULZE-LANGENHORST, L. BÜTFERING, M. HENNING und G. STALLJOHANN (2011): Effects of feeding strategies, genotypes, sex, and birth weight on carcass and meat quality traits under organic pig production conditions. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 58 (3-4): 163–172, DOI: 10.1016/j.njas.2011.09.006.
- SUNDRUM, A., L. BÜTFERING, M. HENNING und K. H. HOPPENBROCK (2000): Effects of on-farm diets for organic pig production on performance and carcass quality. *Journal of Animal Science* 78 (5): 1199–1205, DOI: 10.2527/2000.7851199x.

- SUNDRUM, A., M. EBKE und U. RICHTER (2004a): Qualitätssicherung und Verbraucherschutz bei ökologisch erzeugtem Schweinefleisch. Schlussbericht BÖL-Projekt, FKZ: 02OE453, Zugriff: 19. Mai 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/5817/1/5817-02OE453-uni-kassel-sundrum-2004-schweinefleisch.pdf>.
- SUNDRUM, A., B. KULIG, K. RÜBESAM, M. HENNING, L. BÜTFERING und K.-H. HOPPENBROCK (2004b): Auswirkungen der Rohproteinversorgung auf die Qualität von Schweinefleisch. In: HEB, J UND G. RAHMANN (Hrsg.), Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, kassel university press GmbH, Kassel, Zugriff: 08. Mai 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/3791/1/3791.pdf>: 1–4.
- SUNDRUM, A., K. SCHNEIDER und U. RICHTER (2005): Possibilities and limitations of protein supply in organic poultry and pig production. Final Project Report EEC 2092/91 (Organic) Revision, Nr. D 4.1 (Part 1). University of Kassel, Witzenhausen, Department of Animal Nutrition and Animal Health: 75-76, Zugriff: 18. September 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/10983/1/Final_Report_EC_Revision.pdf.
- SZAKIEL, A., C. PAÇZKOWSKI und M. HENRY (2011): Influence of environmental abiotic factors on the content of saponins in plants. *Phytochemistry Reviews* 10 (4): 471–491, DOI:10.1007/s11101-010-9177-x.
- 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 alfalfa compared to alfalfa silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99 (5): 2243–2250, DOI:10.1002/jsfa.9419.
- TACK, F. (1971): Zu Problemen der Produktion von Trockengrün, insbesondere der Trocknung gewelkten Grünfutters. *Deutsche Agrartechnik* 21 (3): 123–125.
- TAVA, A. und P. AVATO (2006): Chemical and biological activity of triterpene saponins from *Medicago* species. *Natural Product Communications* 1 (12): 1159-1180, DOI: 10.1177/1934578X0600101217.
- TAVA, A., M. ODOARDI und W. OLESZEK (1999): Seasonal changes of saponin content in five alfalfa (*Medicago sativa*) cultivars. *Agricoltura Mediterranea* 129: 111–116.
- THACKER, P. A. und I. HAQ (2008): Nutrient digestibility, performance and carcass traits of growing–finishing pigs fed diets containing graded levels of dehydrated lucerne meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88 (11): 2019–2025, DOI: 10.1002/jsfa.3314.
- TIERSCHUTZ-NUTZTIERHALTUNGSVERORDNUNG: Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung, Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom

22. August 2006 (BGBl. I S.2043), die zuletzt durch Artikel 1a der Verordnung vom 29. Januar 2021 (BGBl. I S. 146) geändert worden ist.

TRAPP, H. (1958): Betrachtungen über die Heißlufttrocknung. Deutsche Agrartechnik 8 (5): 220–222.

UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V. (2014): Unterschiede zwischen der EU-Verordnung Ökologischer Landbau und den Richtlinien der Anbauverbände Bioland, Naturland und Demeter, Stand August 2014, Zugriff: 11. März 2021, URL: https://www.umweltinstitut.org/fileadmin/Mediapool/Downloads/07_FAQ/Lebensmittel/vergleich_richtlinien.pdf.

URDL, M., L. GRUBER, A. SCHAUER, E. ZENTNER, I. MÖSENBACHER-MOLTERER, G. HUBER, W. WENZL und B. STEINER (2009): Bestimmung der Eiweißverdaulichkeit von Kleesilage und Luzernegrünmehl durch Mastschweine. Abschlussbericht Kleeschwein, Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 3546, Lehr- und Forschungszentrum Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein.

VAN DORLAND, H. A., M. KREUZER, H. LEUENBERGER und H.-R. WETTSTEIN (2008): Comparative potential of white and red clover to modify the milk fatty acid profile of cows fed ryegrass-based diets from zero-grazing and silage systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88 (1): 77–85, DOI:10.1002/jsfa.3024.

VAN LEEUMEN, P., A. J.M. JANSAM, J. WIEBENGA, J. KONINKX und J. MOUWEN (1995): Dietary effects of faba-bean (*Vicia faba* L.) tannins on the morphology and function of the small-intestinal mucosa of weaned pigs. *British journal of nutrition* 73 (1): 31–39, DOI: 10.1079/BJN19950006.

VERORDNUNG (EG) NR. 1924/2006: Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006 über nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 404/9.

VERORDNUNG (EG) NR. 834/2007: Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 189/1.

VERORDNUNG (EG) NR. 889/2008: Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 250/1.

- VERORDNUNG (EU) 2018/848: 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. Amtsblatt der Europäischen Union, L 150/1.
- VERORDNUNG (EU) NR. 1169/2011: Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2011 betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1924/2006 und (EG) Nr. 1925/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinie 87/250/EWG der Kommission, der Richtlinie 90/496/EWG des Rates, der Richtlinie 1999/10/EG der Kommission, der Richtlinie 2000/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, der Richtlinien 2002/67/EG und 2008/5/EG der Kommission und der Verordnung (EG) Nr. 608/2004 der Kommission. Amtsblatt der Europäischen Union, L 304/18.
- VERORDNUNG (EU) NR. 432/2012: Verordnung (EU) Nr. 432/2012 der Kommission vom 16. Mai 2012 zur Festlegung einer Liste zulässiger anderer gesundheitsbezogener Angaben über Lebensmittel als Angaben über die Reduzierung eines Krankheitsrisikos sowie die Entwicklung und die Gesundheit von Kindern. Amtsblatt der Europäischen Union, L 136/1.
- VOLK, B., G. BIEDERMANN, M. KUHN und C. JATSCH (2004): Einfluss der genetischen Herkunft auf die Mast- und Schlachtleistung, die Fleisch- und Fettqualität sowie das Fettsäurenmuster der Phospholipide von Mastschweinen. *Archives Animal Breeding* 47 (5): 455–462, DOI: 10.5194/aab-47-455-2004.
- WALLENBECK, A., M. RUNDGREN und M. PRESTO (2014): Inclusion of grass/clover silage in diets to growing/finishing pigs—Influence on performance and carcass quality. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science* 64 (3): 145–153, DOI: 10.1080/09064702.2015.1006668.
- WANG, J., C. QIN, T. HE, K. QIU, W. SUN, X. ZHANG, N. JIAO, W. ZHU und J. YIN (2018a): Alfalfa-containing diets alter luminal microbiota structure and short chain fatty acid sensing in the caecal mucosa of pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 9 (1): 1–9, DOI: 10.1186/s40104-017-0216-y.
- WANG, J. P., S. M. HONG, L. YAN, J. H. CHO, H. S. LEE und I. H. KIM (2011): The evaluation of soybean meals from 3 major soybean-producing countries on productive performance and feeding value of pig diets. *Journal of Animal Science* 89 (9): 2768–2773, DOI: 10.2527/jas.2009-1800.
- WANG, T., M. A. CRENSHAW, N. REGMI, B. J. RUDE, M. SHAMIMUL HASAN, A. T. SUKUMARAN, T. DINH und S. F. LIAO (2018b): Effects of dietary lysine level on the content and fatty acid

- composition of intramuscular fat in late-stage finishing pigs. *Canadian journal of animal science* 98 (2): 241–249, DOI: 10.1139/cjas-2017-0083.
- WECKE, C., G. EISENHARDT, H. JEROCH und G. GEBHARDT (1987): Zum Futterwert und Einsatz von CCM-Silagen bei Mastschweinen unter besonderer Berücksichtigung von CCM-Silage aus einer lysinreicheren Maismutante und einer Mischsilage aus CCM und Luzerneblatt. *Archiv für Tierernaehrung* 37 (7/8): 583–593.
- WECKE, C., G. EISENHARDT, H. JEROCH und G. GEBHARDT (1988): Zum Futterwert und Einsatz von CCM-Silagen bei Mastschweinen unter besonderer Berücksichtigung von CCM-Silage aus einer lysinreicheren Maismutante und einer Mischsilage aus CCM und Luzerneblatt. *Archiv für Tierernaehrung* 38 (4): 279–287, DOI: 10.1080/17450398809428295.
- WEIßMANN, F. (2003): Aspekte der Mast-und Schlachtleistung von Schweinen unterschiedlicher Genotypen in Freilandmast auf dem Fruchtfolgeglied Klee gras. In: FREYER, B. (Hrsg.) *Ökologischer Landbau der Zukunft - Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft*. Universität für Bodenkultur, Wien - Institut für ökologischen Landbau, 24.-26.02.2003: 265–268, Zugriff: 14. Januar 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/1676/1/1676-weissmann-f-mast-schlachtleistung-freilandmast-2003.pdf>.
- WEISSMANN, F., G. BIEDERMANN und A. KLITZING (2005): Performance, carcass and meat quality of different pig genotypes in an extensive outdoor fattening system on grass clover in organic farming. In: SUNDRUM, A. UND F. WEIßMANN (Hrsg.), *Organic pig production in free range systems*. Sonderheft 281. *andnauforschungVölkenrode- FAL Agricultural Research*; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, Germany: 19–24.
- WEISSMANN, F., R. BUSSEMAS, R. OPPERMAN und G. RAHMANN (2006): Ökologische Schweinefleischerzeugung. In: BRADE W. UND G. FLACHOWSKY (Hrsg.): *Schweinezucht und Schweinefleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis*. *Landbauforschung Völkenrode SH 296*: 170–181.
- WEIßMANN, F., H.-W. REICHENBACH, A. SCHÖN und U. EBERT (2005): Aspekte der Mast-und Schlachtleistung sowie Wirtschaftlichkeit von Schweinen bei 100% Biofütterung. In: HEß, J UND G. RAHMANN (Hrsg.), *Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Kassel, Zugriff: 16 März 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/3217/1/3217.pdf>.
- 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*, Zugriff 05. September

- 2021, URL: <https://orgprints.org/id/eprint/26279/1/26279-11OE077-hswt-bellof-2014-luzer-nesilage-tierernaehrung.pdf>.
- WENK, C. (2001): The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology* 90 (1-2): 21–33, DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00194-8.
- WENK, C. und A.L. PRABUCKI (1990): Faktoren der Qualität von Schweinefleisch. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 132: 53–63.
- WERNER, C. und A. SUNDRUM (2008): Zum Einsatz von Raufutter bei Mastschweinen. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* 320: 61–68, Zugriff: 21 März 2021, URL: https://orgprints.org/id/eprint/19323/1/Werner_Sundrum_Raufuttereinsatz.pdf.
- WERNER, D. N. (2009): Genotyp-Umwelt-Interaktionen bei der Haltung unterschiedlicher genetischer Schweineherkünfte unter konventionellen und ökologischen Bedingungen: Mastleistung, Schlachtkörperqualität und Fleischzusammensetzung, Inaugural-Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen. VVB Laufersweiler Verlag.
- WESSELING, B. (2004): Zur Wirksamkeit von Futteramino­säuren beim Schwein. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- WIERSMA, D. W., R. R. SMITH, D. K. SHARPEE, M. J. MLYNAREK, R. E. RAND und D. J. UNDERSANDER (1998): Harvest management effects on red clover forage yield, quality, and persistence. *Journal of Production Agriculture* 11 (3): 309–313, DOI: 10.2134/jpa1998.0309.
- WILFART, A., J. FERREIRA, A. MOUNIER, G. ROBIN und J. MOUROT (2004): Effet de différentes teneurs en acides gras n-3 sur les performances de croissance et la qualité nutritionnelle de la viande de porc. *Journées de la Recherche Porcine en France* 36: 195–202.
- WITTEN, S., H. M. PAULSEN, F. WEIßMANN und R. BUSSEMAS (2014): Praxisbefragung zur Aminosäure­lücke und praktische Möglichkeiten zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Monogastrier in der Fütterung im Ökologischen Landbau. Thünen Working Paper 23: DOI: 10.3220/WP_23_2014.
- WOOD, J. D., M. ENSER, A. V. FISHER, G. R. NUTE, P. R. SHEARD, R. I. RICHARDSON, S. I. HUGHES und F. M. WHITTINGTON (2008): Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat science* 78 (4): 343–358, DOI: 10.1016/j.meatsci.2007.07.019.
- WOOD, J. D., R. I. RICHARDSON, G. R. NUTE, A. V. FISHER, M. M. CAMPO, E. KASAPIDOU, P. R. SHEARD und M. ENSER (2003): Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat science* 66 (1): 21–32, DOI: 10.1016/S0309-1740(03)00022-6.
- WÜSTHOLZ, J., S. CARRASCO, U. BERGER, A. SUNDRUM und G. BELLOF (2017a): Fattening and slaughtering performance of growing pigs consuming high levels of alfalfa silage (Medicago

- sativa) in organic pig production. *Livestock Science* 200: 46–52, DOI: 10.1016/j.livsci.2017.04.004.
- WÜSTHOLZ, J. K. (2017b): Silage von jung genutzter Luzerne (*Medicago sativa*) als heimisches Proteinfutter in der ökologischen Geflügel- und Schweinefütterung. Dissertation, Universität Kassel.
- XIE, Y., J. BAO, W. LI, Z. SUN, R. GAO, Z. WU und Z. YU (2021): Effects of Applying Lactic Acid Bacteria and Molasses on the Fermentation Quality, Protein Fractions and In Vitro Digestibility of Baled Alfalfa Silage. *Agronomy* 11 (1): 91, DOI: 10.3390/agronomy11010091.
- ZHANG, F. und O. ADEOLA (2017): Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Animal Nutrition* 3 (4): 344–352, DOI: 10.1016/j.aninu.2017.06.008.
- ZHENG, X., Y. JIANG und Z. PAN (2005): Drying and quality characteristics of different components of alfalfa. 2005 ASAE Annual Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Paper Number: 056185.
- ZOLLITSCH, W., T. KRISTENSEN, C. KRUTZINNA, F. MACNAEIHDE und D. YOUNIE (2004): Feeding for health and welfare: the challenge of formulating well-balanced rations in organic livestock production. In: VAARST, M., S. RODERICK, V. LUND und W. LOCKERETZ (Hrsg.), *Animal Health and Welfare in Organic Agriculture*. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, UK: 329–356.

8. DANKSAGUNG

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Gerhard Bellof herzlichst nicht nur für die Überlassung des Dissertationsthemas und sein entgegengebrachtes Vertrauen, sondern auch für die intensive Betreuung und stetige Unterstützung während der gesamten Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin sowie der Promotion bedanken. Der unkomplizierte, schnelle Kommunikationsaustausch, die stets offene Tür für jegliche Art von Fragen und Diskussionen und Ihr freundliches, hilfsbereites Wesen haben mir die Arbeit an der Dissertation sehr erleichtert.

Mein Dank geht ebenso an Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle für die Möglichkeit bei ihr als externe Doktorandin an der LMU München zu promovieren und für die kompetente, entgegenkommende und freundliche Betreuung bei der Erstellung der Dissertationsarbeit.

Ein großer Dank geht auch an Herrn Peter Weindl für das Instruieren beim Futtermischen und den täglichen Versuchsarbeiten, für die Unterstützung im Stall, für die permanente Erreichbarkeit für jegliche Fragen und Probleme sowie für das Korrekturlesen der Publikationen. Vor allem aber möchte ich mich für eine tolle Zusammenarbeit mit einem stets gut gelaunten und immer für einen Spaß offenen Kollegen bedanken.

Außerdem möchte ich aufrichtig Frau Dr. Petra Weindl für einen herzlichen und hilfsbereiten Start an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und ins wissenschaftliche Arbeiten danken. Ihre offene und freundliche Art hat den Arbeitsalltag sehr bereichert.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Herrn Holger Weller für die tatkräftige Unterstützung bei der täglichen Arbeit im Versuchsstall und bei der Hilfe und Lösungsfindung bei Fragen rund um die Schweinehaltung.

Auch ein herzliches Dankeschön für die Zusammenarbeit von und mit Herrn Prof. Dr. Eggert Schmidt sowie für die Beantwortung der Fragen zur Genetik und Tierzucht.

Bei Herrn Alfred Seibold möchte ich mich besonders für seine offene Tür für jedes EDV – und technische Problem und dessen schnelle Lösung bedanken.

Ein herzliches Dankeschön auch an die guten Seelen Frau Monika Werner und Frau Sieglinde Blenninger für Ihre fürsorgliche, herzliche und offene Art und Hilfsbereitschaft.

Herrn Dr. Benjamin Schade möchte ich für die hilfsbereite Unterweisung in der Schweinepathologie und in die richtige Probenahme sowie die fachliche Meinung bei Fragestellungen danken.

Des Weiteren gilt ein großer Dank auch allen (studentischen) Hilfskräften, die tatkräftig und gewissenhaft bei den täglichen Stallarbeiten geholfen haben.

Ein herzliches Dankeschön geht an Lydia Pleger und Johannes Büchler, die eine Bereicherung für mein Arbeiten an der Hochschule waren. Insbesondere bin ich jedoch dankbar, dass sich aus einer wunderbaren gemeinsamen Zeit als Kollegen, eine Freundschaft entwickelte, die auch das Leben außerhalb der Hochschule versüßt hat. Hansi, dir danke ich von Herzen für deine aufopferungsvolle Hilfe und Unterstützung im und um den Stall sowie bei sämtlichen Tätigkeiten mit Schweineexkrementen, für deine immerwährende gute Laune und dein ansteckendes Lachen. Lydia, dir danke ich für dein offenes Ohr und deine Geduld für sämtliche auch noch so banale Fragen rund um die Promotion, auch noch außerhalb deiner und meiner Arbeit an der Hochschule, aber vor allem dafür, eine so wunderbare Bürokollegin gehabt zu haben.

Außerdem möchte ich mich bei Gianna Nozic, Verena Kohl, Laura Schwarz, Susanna Samoilowa und Magalie Eisele für eine wunderbare, einzigartige gemeinsame Studienzeit und für die dort entstandene und weiterhin bestehende gute Freundschaft und die Unterstützung in allen Lebenslagen bedanken.

Ganz besonders möchte ich mich für meine langjährigen bzw. seit Schultagen bestehenden, tiefen Freundschaften, insbesondere bei Sonja Zolg, bedanken. Der Dank für ihre Verlässlichkeit und Unterstützung in allen Lebenslagen, auch während der Promotion, kann nicht in Worte gefasst werden.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie. Meinen Eltern dafür, dass sie mir das Studium und damit auch die Promotion ermöglicht haben, für ihre Unterstützung und Liebe sowie ihren Glauben und ihr Vertrauen in mich. Meinem Bruder dafür, die Sicherheit zu haben, sich 100 % auf ihn verlassen zu können. Danke für eine so wunderbare und harmonische Familie!

Hier schließt sich natürlich meine Schwester Annika Messinger an. Danke, dass du (vielleicht auch nicht immer freiwillig) mich die letzten drei Jahre unterstützt, den Haushalt geschmissen und mir auch was Gesundes zu Essen gekocht hast, aber vor allem, dass du mich schon mein ganzes Leben in Höhen und Tiefen begleitest und immer für mich da bist. Ein Leben ohne dich wäre unvorstellbar.

Das größte Dankeschön gilt Manuel Guhl. Seine grenzenlose Unterstützung in jeglicher Hinsicht, seine Motivierung, sein entgegengebrachtes Verständnis und Rückhalt sowie sein Glauben an mich während der gesamten Zeit der Promotion lässt sich kaum beschreiben. Du warst es, der auch in stressigen Phasen und Tiefen Sonne in mein Herz gelassen hat.