

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema “ Züchtung und Agronomie neuartiger, Vicin-arter Ackerbohnen und Einsatz als einheimisches Eiweißfutter“ Abo-Vici – Aufgabe 7

Aminosäurenverdaulichkeit und Umsetzbare Energie bei Legehennen

Förderkennzeichen: 2815EPS065

Projektnehmer: Universität Hohenheim

Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2017 bis 31.07.2020

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

Kontakt

Prof. Dr. Markus Rodehutscord
Dr. Wolfgang Siegert
Institut für Nutztierwissenschaften
Emil-Wolff-Str. 8-10
70599 Stuttgart-Hohenheim
Email: inst450@uni-hohenheim.de

Kurzfassung

In Deutschland sind Ackerbohnen nach Erbsen und Lupinen gemessen an der Anbaufläche die drittbedeutendste Leguminose. Eine günstige Eigenschaft von Ackerbohnen als Futtermittel ist ein im Vergleich zu Erbsen und Lupinen höherer Rohproteingehalt. Dennoch ist die Akzeptanz von Ackerbohnen in Deutschland als Futtermittel im Vergleich zu Erbsen und Lupinen eher gering. Voraussetzung für eine höhere Akzeptanz von Ackerbohnen als Futtermittel ist, dass der genaue Futterwert von Ackerbohnen bekannt ist. Wichtige Kriterien sind Aminosäurenverdaulichkeit und Umsetzbare Energie (ME_N). Zudem enthalten Ackerbohnen antinutritive Inhaltsstoffe wie Vicin/Convicin, Tannine und Phytat, welche die Verwendbarkeit als Futtermittel einschränken. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen von Abo-Vici die Variation des Futterwertes von Ackerbohnen bei Legehennen und Einflüsse hierauf bewertet.

Die Ergebnisse geben Aufschluss über Niveau und Variation von Aminosäurenverdaulichkeit und ME_N . Unterschiede zwischen Sommer- und Winterackerbohnen hingen vom Anbaustandort ab. Phytat-Gehalte in Ackerbohnen wurden als Ursache für die Variation der Aminosäurenverdaulichkeit gefunden, während Tannine eher die Variation der ME_N beeinflussten. Es gab keinen Hinweis auf einen Einfluss von Vicin/Convicin auf Aminosäurenverdaulichkeit und ME_N . Eine Schätzung der Aminosäurenverdaulichkeit und ME_N anhand chemischer Inhaltsstoffe war nicht mit ausreichender Genauigkeit möglich. Ein Entschälen der Bohnen erhöhte die ME_N deutlich und steigerte die Verdaulichkeit einiger Aminosäuren.

Die Erkenntnisse dieses Projekts tragen zu einem gezielteren Einsatz von Ackerbohnen in Legehennenfutter bei. Dies bietet die Möglichkeit, eine Überversorgung der Tiere mit Aminosäuren und ME_N zu vermeiden und gleichzeitig die Gefahr einer unzureichenden Versorgung zu mindern. Dies ist günstig für die Ziele, einheimische Proteinfuttermittel zu fördern, das Tierwohl zu erhöhen und Emissionen aus der Tierhaltung zu verringern.

Short summary

Faba beans are the third most cultivated legume following peas and lupins in Germany. A favorable characteristic of faba beans is a higher crude protein content compared to peas and lupins. However, the acceptance of faba beans as a feed ingredient is low. Knowledge of specific feeding values such as amino acid digestibility and metabolisable energy (ME_N) is a prerequisite for higher acceptance of faba beans. Further, faba beans contain antinutritive compounds that limit the inclusion of faba beans in animal feed. Such antinutritive compounds include vicine/convicine, tannins, and phytate. For these reasons, the variation of the feeding value of faba beans in laying hens and influencing factors were evaluated in the framework of the Abo-Vici project.

Results gave insight in level and variation of amino acid digestibility and ME_N . Influences of the growing location can determine differences in amino acid digestibility and ME_N between summer and winter faba beans. Phytate concentrations caused variation in amino acid digestibility while tannins affected the variation in ME_N . In contrast, vicine/convicine concentrations did not affect amino acid digestibility and ME_N . Amino acid digestibility and ME_N could not be predicted from chemical composition with sufficient accuracy. Dehulling of the beans considerably increased ME_N and raised the digestibility of some amino acids.

These findings contribute to a more targeted use of faba beans in laying hen feeds. This enables to avoid oversupply of the animals with amino acids and ME_N and decreases the risk of deficient supply. This contributes to the aims to promote indigenous protein feedstuffs, to increase animal welfare, and to decrease emissions from farm animal husbandry.

Inhalt

1	Einführung.....	1
1.1	Gegenstand des Vorhabens	1
1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts mit Bezug zu den Zielen der EPS	2
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
2	Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand.....	2
3	Material und Methoden.....	3
4	Ergebnisse	6
5	Diskussion der Ergebnisse	13
6	Darstellung des voraussichtlichen Nutzens	15
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und Hinweis auf weiterführende Fragestellungen	16
8	Zusammenfassung.....	17
9	Literaturverzeichnis	18
10	Übersicht der im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse.....	20

Abkürzungsverzeichnis

ADF _{om}	Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung
Ala	Alanin
Arg	Arginin
AS	Aminosäure
Asn	Asparagin
Asp	Asparaginsäure
Asx	Asparaginsäure/Asparagin
Cys	Cystein
Gln	Glutamin
Glu	Glutaminsäure
Glx	Glutaminsäure/Glutamin
Gly	Glycin
His	Histidin
Ile	Isoleucin
Leu	Leucin
Lys	Lysin
ME	Umsetzbare Energie
ME _N	Stickstoff-korrigierte Umsetzbare Energie
Met	Methionin
MJ	Megajoule
N	Stickstoff
NDF _{om}	Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung
P	Phosphor
Phe	Phenylalanin
Pro	Prolin
Ser	Serin
Thr	Threonin
TM	Trockenmasse
Tyr	Tyrosin
Val	Valin
VC	Vicin/Convicin

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Differenz der Aminosäurenverdaulichkeit eines entschälten und nicht entschälten Ackerbohnen genotypen.	11
Abbildung 2. Vergleich der Verdaulichkeit von erstlimitierenden Aminosäuren von Ackerbohnen aus der vorliegenden Studie (Varianten Nr. 1-16) mit Erbsen, Lupinen, Triticale, Weizen, Körnermais und Roggen.	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Beschreibung der eingesetzten Ackerbohnenvarianten.	4
Tabelle 2. Zusammensetzung der Futtermischungen.	4
Tabelle 3. Konzentrationen ausgewählter Inhaltsstoffe in Ackerbohnen des Diversitäts- satzes 2.	7
Tabelle 4. Aminosäurenverdaulichkeit und ME_N von 17 Ackerbohnenvarianten.	9
Tabelle 5. Zweifaktorielle Auswertung der Aminosäurenverdaulichkeit und ME_N der Ackerbohnenvarianten Nr. 1-16.	10
Tabelle 6. Aminosäurenverdaulichkeit, ME_N und Konzentration an verdaulichen Amino- säuren bei den Ackerbohnen für Aufgabe 8.	12

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

In Deutschland sind Ackerbohnen nach Erbsen und Lupinen gemessen an der Anbaufläche die drittbedeutendste Leguminose. Eine günstige Eigenschaft von Ackerbohnen als Futtermittel ist ein im Vergleich zu Erbsen und Lupinen höherer Rohproteingehalt. Dennoch beträgt die Anbaufläche von Ackerbohnen in Deutschland nur etwa die Hälfte der Anbaufläche von Erbsen. Ursachen hierfür sind unter anderem die Anfälligkeit von Ackerbohnen während des Anbaus bei Wassermangel und antinutritive Inhaltsstoffe. Als antinutritive Inhaltsstoffe begrenzen vor allem Vicin/Convicin (VC), aber auch Tannine und Phytat die Verwendung als Futtermittel. Es ist davon auszugehen, dass die Eignung von Ackerbohnen als Futtermittel deutlich höher wäre, wenn Ackerbohnsorten mit sehr geringen VC-Gehalten angebaut würden. Vor allem reproduzierende Tiere wie Legehennen reagieren sensibel auf VC im Futter.

Eine geringe Zahl an Sommerackerbohnsorten mit geringen VC-Gehalten ist auf dem Markt verfügbar. Dagegen gibt es auf dem Markt keine Winterackerbohnsorten mit geringen VC-Gehalten, auch wenn in der Forschung bereits entsprechende Genotypen entwickelt wurden. Zu den Ursachen für die geringe Zahl an Ackerbohnsorten mit geringen VC-Gehalten zählt, dass ein schnelles und wenig kostenintensives Erkennen von entsprechenden Phänotypen derzeit nicht möglich ist.

Im Verbundprojekt Abo-Vici arbeiteten 6 Projektpartner synergistisch an dem Ziel, Wirkungen von VC auf Anbau und Verwendung von Ackerbohnen als Futtermittel besser zu verstehen und die Eignung von Ackerbohnen als Futtermittel zu verbessern. Bei anderen Projektpartnern wurden gezielt Genotypen gezüchtet, Auswirkungen auf ackerbauliche Aspekte geprüft, die Entstehung von VC untersucht und Schnellmethoden zur VC-Analytik geprüft. Auch wurden entwickelte Genotypen in einer Leistungsprüfung mit Legehennen bei einem Projektpartner getestet.

In dem an der Universität Hohenheim angesiedelten Teilprojekt wurden Genotypen umfassend chemisch analysiert und bei Legehennen die Verdaulichkeit von Aminosäuren (AS) sowie Stickstoff (N)-korrigierte Umsetzbare Energie (ME_N) als bedeutende Qualitätsmerkmale von Futtermitteln ermittelt. Dabei war die Variation der gemessenen Merkmale sowie Einflüsse von Sommer- und Winterackerbohnen, VC-Gehalt, Einfluss des Anbaustandortes und Einfluss des Entschälens zur Reduktion von antinutritiven Inhaltsstoffen wie Tanninen im Fokus. Auch wurden Schätzmethode zur Ableitung von AS-Verdaulichkeit und ME_N von Ackerbohnen anhand von analysierten Inhaltsstoffen geprüft.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts mit Bezug zu den Zielen der EPS

Das Gesamtprojekt stimmt mit dem Hauptziel der Bekanntmachung im Rahmen der BMEL-Eiweißpflanzenstrategie vom 27.03.2015 überein, eine „Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von ... Bohnen ... in Deutschland“ zu unterstützen.

Ackerbohnen sind ein Proteinfuttermittel, das GVO-frei in Deutschland angebaut werden kann. Sie sind sowohl für die konventionelle als auch für die Ökologische Landwirtschaft geeignet. Dabei sind sie besonders in der Ökologischen Landwirtschaft interessant, weil hier Alternativen zu Sojaextraktionsschrot besonders benötigt werden. Ackerbohnen enthalten etwa 40% Stärke und 30% Rohprotein und können somit zur AS- und Energieversorgung von Tieren beitragen.

Voraussetzung für die Akzeptanz als Futtermittel ist, dass der genaue Futterwert von Ackerbohnen bekannt ist. Die Gehalte der negativ wirkenden Inhaltsstoffe VC und Tannine schwanken in Abhängigkeit von Sorte und Anbaubedingungen. Hieraus resultieren Unsicherheiten bei der Einschätzung ihrer Fütterungseigenschaften insbesondere bei Nicht-Wiederkäuern. Deshalb werden in Praxisempfehlungen eher geringe Gehalte von Ackerbohnen im Futter (Obergrenze 5-15%) empfohlen. In Kenntnis des genauen Futterwertes können deutlich höhere Anteile an Ackerbohnen im Futter realisiert werden. Dazu tragen die Ergebnisse dieses Teilprojekts von Abo-Vici bei.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Inhaltlich konnte das an der Universität Hohenheim angesiedelte Teilprojekt in Übereinstimmung mit dem Projektantrag und der Erweiterung des Projekts (Änderungsbescheid vom 24.04.2019) durchgeführt werden. Es gab einige externe Einflüsse, die einer Durchführung des Gesamtprojekts in der veranschlagten Laufzeit entgegenstanden. So gab es unerwartete Verzögerungen bei der Genehmigung zur Durchführung der Tierversuche. Zudem traten unerwartet bei den Tieren Bakterieninfektionen auf. Während der kurativen Maßnahmen konnten keine Messungen durchgeführt werden und sie mussten somit verschoben werden. Wegen dieser und weiterer Verzögerungen bei den Teilprojekten der Projektpartner wurde die Laufzeit des Gesamtprojekts kostenneutral um sechs Monate verlängert.

2 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Die chemisch analysierbaren Inhaltsstoffe eines Futtermittels sind die Basis jeder Futtermittelbewertung. Bei der Futteroptimierung werden zusätzlich tierartspezifische Daten zur Verdaulichkeit einzelner Nährstoffe und zum energetischen Wert eines Futtermittels benötigt. Fütterungsversuche sind erforderlich, um Einflüsse bestimmter Futtermittel auf die Tiere (z. B. Futteraufnahme, Leistungs- oder Verhaltenseigenschaften) feststellen zu können. Labor- oder *in vitro*-Verfahren allein sind hierzu nicht ausreichend. Ackerbohnen

sind im Rahmen der Futtermittelbewertung wegen der relativ hohen Gehalte an Rohprotein und Stärke vor allen hinsichtlich der Kriterien verdauliche AS und der ME_N besonders interessant. Als wertmindernde Sameninhaltsstoffe werden insbesondere kondensierte Tannine und VC von Forschung und Praxis seit langem diskutiert (Crépon et al., 2010; Frohlich and Marquardt, 1983).

Es gibt nur wenige Daten zur Verdaulichkeit der AS von Ackerbohnen bei Nicht-Wiederkäuern. Speziell bei Legehennen gibt es nur eine Publikation aus den 1980er Jahren (Gruhn et al., 1982), bei der nur zwei Ackerbohnsorten getestet wurden. Die dabei verwendeten Methoden entsprechen nicht dem derzeitigen Stand, sodass die Ergebnisse für den heutigen Einsatz wenig geeignet sind. Es gibt vereinzelt Daten zur AS-Verdaulichkeit von Ackerbohnen bei Broilern. Allerdings sind Daten zwischen Broilern und Legehennen nicht uneingeschränkt übertragbar. Dennoch lassen die Ergebnisse in Broilerstudien vermuten, dass es eine bedeutende Variabilität der AS-Verdaulichkeit zwischen Sorten gibt. Es gibt einige Hinweise, dass es systematische Unterschiede im Futterwert zwischen Sommer- und Winterackerbohnen geben könnte (Brufau et al., 1998) oder dass antinutritive Inhaltsstoffe Einfluss nehmen (Crépon et al., 2010; Hejdysz et al., 2016). Allerdings ist die Anzahl an untersuchten Bohnenvarianten in bisherigen Untersuchungen niedrig gewesen. Beschriebene Einflüsse könnten auch auf reine Sorteneffekte zurückzuführen sein. Dabei sind Kenntnisse über generelle Unterschiede in ME_N sowie AS-Konzentration und -verdaulichkeit für eine Verwendung jedes Futtermittels wichtig.

3 Material und Methoden

Ackerbohnenvarianten

Im Versuch wurden 19 Ackerbohnenvarianten eingesetzt. Diese unterschieden sich hinsichtlich Anbaustandort, Winter- oder Sommerackerbohnen (Anbautyp) und der VC-Konzentration (Tabelle 1). VC-arme bzw. VC-reiche Varianten wurden durch verschiedene Strategien erreicht. Dies umfasst mit Ausnahme der VC-Konzentration genetisch nahezu identische Varianten (Nr. 1, 2, 9 und 10), sich in der VC-Konzentration unterscheidende zugelassene Sorten (Nr. 3, 4, 11 und 12), sowie gezielte Kreuzungen von VC-armen und VC-reichen zugelassenen Sorten (Nr. 5, 6, 13 und 14). Bei den Varianten Nr. 7/15 und 8/16 handelt es sich um VC-reiche Winterackerbohnen genotypen aus dem Züchtungsbestand der Arbeitsgruppe „Züchtungsforschung Ackerbohne“ der Universität Göttingen. Weiterhin wurde eine VC-arme Sommerackerbohne entschält geprüft (Nr. 17). Zusätzlich wurden Mischungen aus jeweils drei VC-armen bzw. VC-reichen Sommerackerbohnen genotypen zur Vertiefung der Erkenntnisse aus Aufgabe 8 des Projekts untersucht.

Tabelle 1. Beschreibung der eingesetzten Ackerbohnenvarianten.

Variante Nr. ¹	Anbautyp	VC ²	Beschreibung
1 bzw. 9	Sommer	+	genetisch nahezu identisch mit Ausnahme von VC
2 bzw. 10	Sommer	-	
3 bzw. 11	Sommer	+	Sorte Fuego, bekannt als VC-reich
4 bzw. 12	Sommer	-	Sorte Tiffany, bekannt als VC-arm
5 bzw. 13	Winter	+	Sorte Hiverna, bekannt als VC-reich
6 bzw. 14	Winter	-	Rückkreuzung mit 75% Hiverna und 25% Mélodie als bekannte VC-arme Winterackerbohne
7 bzw. 15	Winter	+	VC-reiche Genotypen aus dem Züchtungsbestand der
8 bzw. 16	Winter	+	Arbeitsgruppe „Züchtungsforschung Ackerbohne“ der Universität Göttingen
17	Sommer	-	Variante Nr. 2 entschält
18	Sommer	+	In Aufgabe 8 eingesetzte VC-reiche und VC-arme Varianten
19	Sommer	-	

¹ Varianten Nr. 1-8 an Standort Nimtitz, Varianten Nr. 9-16 an Standort Göttingen angebaut.

² + = als VC-reich bzw. - = als VC-arm ausgewiesen.

Futtermischungen

Die im Versuch eingesetzte Basalmischung bestand hauptsächlich aus 250 g/kg Maisstärke sowie Mais, Weizen, Weizenkleber, Sojaextraktionsschrot und Grasmehl (Tabelle 2). Die Basalmischung war so ausgelegt, dass die Empfehlungen zu Nährstoff- und Energiekonzentrationen für Legehennenfutter der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1999) mindestens erreicht oder übertroffen wurden.

Tabelle 2. Zusammensetzung der Futtermischungen (g/kg).

Futterkomponenten	Basalmischung	Mischungen mit Ackerbohnen
Mais		372,5
Sojaextraktionsschrot		135
Weizenkleber		90
Futterkalk		60
Grasmehl		40
Sojaöl		30
Mineralstoff- und Spurenelementvormischung		20
L-Lysin·Sulphat		2,0
DL-Methionin		0,5
Maisstärke	250	-
Ackerbohnenvariante (Nr. 1-19)	-	250

Die 19 Ackerbohnenvarianten wurden zunächst durch ein 2-mm Sieb vermahlen. Je eine der gemahlen Ackerbohnenvarianten wurden zu 250 g/kg im Austausch gegen die Maisstärke der Basalmischung in insgesamt 19 weitere Futtermischungen eingemischt. Bei der Futterherstellung wurde zunächst eine Grundmischung bestehend aus allen Komponenten außer Maisstärke und den Ackerbohnenvarianten gemischt. Diese Grundmischung wurde in 20 Teile aufgeteilt und mit Maisstärke oder einer der Ackerbohnenvarianten

vervollständigt. Da Maisstärke keine AS enthält, sind Unterschiede der AS-Konzentration zwischen den Futtermischungen ausschließlich auf die Ackerbohnenvarianten zurückzuführen. Die Futtermischungen wurden ohne Dampf durch eine 3-mm Matrize pelletiert.

Tiere und Tierhaltung

Der Versuch wurde im Fachgebiet Tierernährung der Universität Hohenheim durchgeführt. Er wurde durch das Regierungspräsidium Stuttgart als zuständige Behörde genehmigt.

Für den Versuch wurden 10 Legehennen der Linie LSL-Classic benötigt. Diesen wurden im Alter von 23 Wochen durch die Tierärztliche Praxis der Universität Hohenheim nach Zuber et al. (2016a) mit geringfügigen Änderungen die Blinddärme operativ entfernt (Caecectomie). Die Futteraufnahme und Legeleistung war kurze Zeit nach der Operation wieder auf dem Ausgangsniveau. Die caecectomierten Legehennen wurden zusammen mit sogenannten Gesellschaftstieren in Bodenhaltung auf Einstreu in einem Abteil gehalten. Dieses Abteil war mit Tränken, Futtertrögen, Legenestern, Sitzstangen, Sandbädern und weiterem Beschäftigungsmaterial ausgestattet. Während der Versuchszeit wurden die caecectomierten Legehennen in Stoffwechseleinheiten gehalten. In den Stoffwechseleinheiten befanden sich eine Sitzstange, ein Legenest, Wasserbehälter, Futtertröge sowie Beschäftigungsmaterial. Die Temperatur im Raum war auf 20°C eingestellt. Natürliches Licht war durch Fenster verfügbar. Zusätzlich war täglich für 14 Stunden von 7.00 Uhr bis 21.00 Uhr Licht eingeschaltet. Zu Versuchsbeginn hatten die Tiere ein Alter von 26 Wochen. Der Versuch erstreckte sich über einen Zeitraum von 18 Wochen.

Versuchsablauf

Die 20 Futtermischungen wurden an 10 caecectomierten Leghennen in 10 Perioden getestet. Nach einer 4-tägigen Anfütterung an das jeweilige Versuchsfutter wurden die Exkremate an 4 aufeinander folgenden Tagen zweimal täglich quantitativ gesammelt. Vor jeder Sammlung wurden Federbestandteile, verworfene Futterpellets und weitere Verunreinigungen entfernt. Nach der Sammlung wurden die Exkremate sofort bei -20°C gefroren. Etwaige Futterreste in den Trögen, Tränkbechern oder verworfene Futterpellets wurden gesammelt und tiefgefroren. Während der Zeit in den Stoffwechseleinheiten erhielten die Tiere täglich 115 g Futter. Diese Menge wurde in 2 gleich-großen Mahlzeiten um 7.00 Uhr und um 15.00 Uhr angeboten. Futterreste wurden nach jeder Periode bei 105°C getrocknet und die Futteraufnahme auf Basis der TM korrigiert. Eigewichte wurden täglich erfasst. Wasser wurde während der gesamten Versuchszeit *ad libitum* angeboten.

Chemische Analysen

Die chemischen Analysen wurden entsprechend den folgenden Referenzen durchgeführt:

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 2007	TM, Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Rohfaser, Stärke, $aNDF_{om}$, ADF_{om} , Bruttoenergie
Zuber et al., 2016a	AS
Zeller et al., 2015	Phytat
Wischer et al., 2013	Tannine

Berechnungen und statistische Auswertung

Die AS-Verdaulichkeit der Futtermischungen wurde nach etablierten Formeln unter Berücksichtigung der Aufnahme und der Ausscheidung berechnet. Der Regressionsansatz wurde verwendet, um die AS-Verdaulichkeit der Ackerbohnenvarianten aus der AS-Verdaulichkeit der Futtermischungen zu ermitteln (Rodehutscord et al., 2004). Der Regressionsansatz ist nach Experteneinschätzung die präziseste Methode zur Bestimmung der AS-Verdaulichkeit (Ravindran et al., 2017).

Die ME_N in den Ackerbohnenvarianten wurde durch die Differenzmethode basierend auf der ME_N in den Futtermischungen nach der Vorgehensweise von Zuber und Rodehutscord (2017) ermittelt.

Die Auswertungen erfolgten mit der MIXED Prozedur von SAS (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Werte der AS-Verdaulichkeit und ME_N von Standorten, Anbautypen sowie deren Kombinationen wurden durch ESTIMATE bzw. LSMESTIMATE Statements ermittelt. Vergleiche wurden durch multiple t-Tests mithilfe von ESTIMATE Statements durchgeführt. Pearson Korrelationen und multiple lineare Regressionen wurden mit der CORR bzw. der REG Prozedur von SAS berechnet. Unterschiede bei t-Tests und Korrelationen wurden bei $P \leq 0,050$ als signifikant angenommen. Grafiken wurden mit GraphPad Prism 5 (Version 5.0, GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA) erstellt.

4 Ergebnisse

Aufgabe 7.1: Chemisch-analytische Charakterisierung der Ackerbohnen aus dem Diversitätssatz 2

In den 39 Ackerbohnen von Aufgabe 7.1 wurden Weender Rohnährstoffe incl. Kohlenhydratfraktionen nach van Soest, Mineralstoffe (P, Ca, Na, K, Fe, Cu, Mg, Mn, Zn), AS, Stärke und Tannine bestimmt. Tabelle 3 gibt einen Überblick zu Ergebnissen ausgewählter Inhaltsstoffe.

Tabelle 3. Konzentrationen ausgewählter Inhaltsstoffe in Ackerbohnen des Diversitätssatzes 2 (g/kg TM sofern nicht anders angegeben). N=39

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Trockenmasse (g/kg)	894	3,9	886	900
Rohprotein	288	23,8	232	333
Rohfett	22	3,0	17	28
Rohasche	38	2,3	33	42
Stärke	33	2,4	27	38
aNDF _{om} ¹	136	15,1	85	164
ADF _{om} ²	119	16,3	74	156
Aminosäuren (g/16 g N)				
Lysin	6,34	0,36	5,74	7,06
Methionin	0,75	0,07	0,67	1,03
Threonin	3,61	0,12	3,40	3,91
Tryptophan	0,84	0,03	0,79	0,95
Valin	4,03	0,20	3,49	4,38
Isoleucin	3,63	0,23	2,99	3,98
Leucin	7,43	0,26	6,99	7,99
Arginin	9,03	0,55	8,04	10,58
Histidin	2,93	0,14	2,70	3,26
Phenylalanin	4,17	0,21	3,78	4,72
Tannine				
Gesamtphenole	0,9	0,33	- ³	1,5
Tanninphenole	0,4	0,11	-	0,6
Kondensierte Tannine	1,0	0,45	-	1,8

¹ Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung

² Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung

³ Unter der Bestimmungsgrenze.

Aufgabe 7.2: Aminosäurenverdaulichkeit und Energie

Inhaltsstoffe der Ackerbohnenvarianten

Bei den Varianten Nr. 1-16 unterschieden sich die VC-Konzentrationen der Ackerbohnenvarianten deutlich mit Werten zwischen 5,9 und 9,3 g/kg Trockenmasse (TM) bei den als VC-reich ausgewiesenen Varianten und zwischen 0,3 und 2,6 g/kg TM bei den als VC-arm ausgewiesenen Varianten.

Die Konzentrationen an Tanninen betragen zwischen 9,5 und 18,3 g/kg TM bei den Gesamtphenolen, zwischen 3,9 und 9,9 g/kg TM bei den Tanninphenolen und zwischen 10,6 und 18,5 g/kg TM bei den kondensierten Tanninen. Es deuten sich bei den Gesamtphenolen und Tanninphenolen höhere Konzentrationen bei den in Nimitz angebauten Sommerackerbohnen und bei den kondensierten Tanninen geringere Konzentrationen bei den in Göttingen angebauten Winterackerbohnen an. Allerdings ist der Unterschied zu den anderen Standort-Anbautyp-Kombinationen gering.

Bei den Konzentrationen an Rohprotein und Phosphor deuten sich Interaktionen zwischen Standort und Anbautyp an. Deutlich höhere Konzentrationen wurden bei den in Nimitz angebauten Sommerackerbohnen ermittelt. Beim P sind diese Unterschiede maßgeblich auf Phytat zurückzuführen, welches als antinutritiver Inhaltsstoff gilt. Unabhängig von den

beiden Anbaustandorten war der Anteil des Phytat-Phosphors am Gesamt-Phosphor bei den Winterackerbohnen geringfügig höher als bei den Sommerackerbohnen.

Effekt des Entschälens (Varianten Nr. 2 und 17)

Die Konzentrationen an Gesamtphenolen, Tanninphenolen und kondensierten Tanninen wurden durch das Entschälen deutlich reduziert. Weiterhin verringerte das Entschälen die Konzentrationen an den Fraktionen Rohfaser, aNDFom und ADFom und erhöhte die Stärkekonzentration. Unterschiede der Konzentrationen anderer analysierter Inhaltsstoffe waren gering.

Die analysierten Inhaltsstoffe der beiden Ackerbohnenunterschieden sich mit Ausnahme der angestrebten unterschiedlichen VC-Konzentration nicht wesentlich.

Leistung der Legehennen

Das Tiergewicht stieg während der Versuchsdauer von 1.514 (s 90) g/Tier auf 1.709 (s 74) g/Tier. Die Legeleistung lag bei den meisten Beobachtungen bei 88% und höher. Das durchschnittliche Eigewicht stieg im Laufe des Versuchs von 53,9 g im ersten auf 62,1 g im letzten Durchgang. Systematische Zusammenhänge dieser Merkmale mit den Futtermischungen waren trotz vereinzelter signifikanter Unterschiede nicht abzuleiten.

Während der 3. Periode wurde bei einigen Hennen eine *Escherichia coli*-Infektion festgestellt, infolge derer die Futteraufnahme bei einigen Tieren deutlich reduziert war. Wegen der kurativen Maßnahmen musste der Versuch bis zur Gesundung der Tiere unterbrochen werden.

Einfluss von Standort und Anbautyp (Varianten Nr. 1-16)

Die AS-Verdaulichkeit war bei Arg am höchsten und bei Cys am niedrigsten (Mittelwert 92 bzw. 44%) (Tabelle 4). Die Variation der Verdaulichkeit war zwischen den AS sehr unterschiedlich. Die geringste Spanne der AS-Verdaulichkeit wurde bei Arg (3 %-Punkte), Lys (6 %-Punkte) und Asx (9 %-Punkte) gefunden. Dagegen war die Spanne der AS-Verdaulichkeit vor allem bei Cys (77 %-Punkte), Pro (29 %-Punkte), Met (18 %-Punkte) und Glx (17 %-Punkte) sehr hoch. Eine Auffälligkeit stellt der hohe Standardfehler der Verdaulichkeit von Cys dar, der selbst für Cys als der AS mit üblicherweise im Vergleich zu den anderen AS höheren Standardfehler hoch ist. Auch eine rechnerisch als negativ ermittelte Verdaulichkeit ist ungewöhnlich.

Die zweifaktorielle Auswertung der AS-Verdaulichkeit mit den Effekten des Standorts und des Anbautyps zeigt bei 7 AS signifikante Einflüsse (Tabelle 5). Bei den Cys, Glx, Phe, Pro, Tyr und Val wurde eine signifikante Interaktion zwischen Standort und Anbautyp gefunden. Am Standort Nimitz lag bei diesen AS die Verdaulichkeit bei Sommerackerbohnen zwischen 5 und 12 %-Punkten signifikant höher als bei den Winterackerbohnen. Am

Tabelle 4. Aminosäurenverdaulichkeit (%) und ME_N (MJ/kg TM) von 17 Ackerbohnenvarianten.

Variante Nr.	Standort	Anbau-typ	VC	Ent-schält	Ala	Arg	Asx ¹	Cys	Glx ²	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Pro	Ser	Thr	Tyr	Val	ME _N
1	Nimtitz	Sommer	+	nein	78	92	87	47	80	73	85	84	88	79	80	61	80	66	80	79	11,8
2	Nimtitz	Sommer	-	nein	75	92	85	56	81	72	84	84	87	79	81	63	79	76	79	81	11,9
3	Nimtitz	Sommer	+	nein	80	92	87	59	82	74	86	84	90	80	81	64	80	79	79	83	12,2
4	Nimtitz	Sommer	+	nein	79	92	87	54	78	76	85	85	89	80	80	58	81	72	79	81	10,8
5	Nimtitz	Winter	+	nein	71	91	82	45	73	68	79	78	84	73	74	51	73	79	73	74	10,8
6	Nimtitz	Winter	-	nein	68	90	79	19	65	65	77	74	83	63	69	47	65	66	68	72	10,3
7	Nimtitz	Winter	+	nein	78	92	85	59	82	73	85	85	87	79	82	70	78	76	79	81	10,8
8	Nimtitz	Winter	-	nein	81	93	88	57	77	73	85	84	88	78	78	54	79	79	79	82	11,8
9	Göttingen	Sommer	+	nein	73	91	84	-12 ³	71	68	81	79	86	63	73	42	73	72	71	76	11,3
10	Göttingen	Sommer	-	nein	82	93	87	38	80	74	87	85	90	82	81	54	82	79	79	82	12,3
11	Göttingen	Sommer	+	nein	74	90	83	65	82	68	81	82	86	80	80	71	76	73	76	78	11,6
12	Göttingen	Sommer	+	nein	77	91	85	51	75	70	84	82	88	77	77	50	77	76	79	80	10,6
13	Göttingen	Winter	+	nein	69	90	86	55	80	69	81	82	87	78	83	57	78	77	78	81	12,2
14	Göttingen	Winter	-	nein	75	92	85	56	79	70	84	84	88	76	81	61	77	77	79	81	11,5
15	Göttingen	Winter	+	nein	76	90	85	39	79	71	85	83	89	76	82	61	76	76	80	82	10,9
16	Göttingen	Winter	-	nein	72	90	82	22	75	70	81	80	86	65	76	53	73	70	75	78	11,9
17	Nimtitz	Sommer	-	ja	75	93	84	62	88	84	84	86	87	73	86	85	80	76	83	83	13,7
Pooled SE					3,8	1,0	2,3	- ⁴	2,8	3,1	2,5	2,6	1,8	4,8	2,8	4,6	3,3	4,1	2,7	2,8	0,44
<i>P</i> -Wert Nr. 2 vs. Nr. 17					0,915	0,468	0,726	0,547	0,038	0,004	0,898	0,536	0,935	0,359	0,138	<0,001	0,748	0,946	0,173	0,675	0,003

¹ Asparaginsäure und Asparagin zusammen.

² Glutaminsäure und Glutamin zusammen.

³ Verdaulichkeit weicht von 0 nicht signifikant ab ($P = 0,413$).

⁴ Im Gegensatz zu den anderen AS teilweise deutlich verschiedene Standardfehler zwischen Varianten mit 1: 8,9%; 2: 8,1%; 3: 6,5%; 4: 7,4%; 5: 5,4%; 6: 7,6%; 7: 6,8%; 8: 7,3%; 9: 15,0%; 10: 10,3%; 11: 7,0%; 12: 8,2%; 13: 8,3%; 14: 8,0%; 15: 10,6%; 16: 9,0%; 17: 6,6%.

Tabelle 5. Zweifaktorielle Auswertung der Aminosäureverdaulichkeit (%) und ME_N (MJ/kg TM) der Ackerbohnenvarianten Nr. 1-16.

		Ala	Arg	Asx ¹	Cys	Glx ²	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Pro	Ser	Thr	Tyr	Val	ME _N	
Haupteffekte																			
	Nimtitz	76	92	85	48	77	72	83	82	87	76	78	58	77	76	77	80	11,3	
	Göttingen	75	91	85	39	78	70	83	82	87	75	79	56	77	75	77	80	11,5	
	Pooled SE	1,5	0,4	0,9	3,4	1,1	1,2	1,0	1,0	0,7	1,9	1,1	1,8	1,3	1,6	1,1	1,1	0,28	
	Sommer	76	92	86	45	79	72	83	83	88	77	79	58	78 ^a	77	78	81	11,6	
	Winter	76	91	84	43	76	70	81	81	87	74	78	57	75 ^b	74	76	79	11,3	
	Pooled SE	1,5	0,4	0,9	3,4	1,1	1,2	1,0	1,0	0,7	1,9	1,1	1,8	1,3	1,6	1,1	1,1	0,28	
Interaktion																			
	Nimtitz																		
		Sommer	78	92	86	54 ^a	80 ^a	74	85	84	88	79	81 ^a	61 ^a	80	79	79 ^a	82 ^a	11,7 ^a
		Winter	75	92	83	42 ^b	74 ^b	70	81	80	86	73	76 ^b	55 ^b	74	73	75 ^b	77 ^b	10,9 ^b
	Göttingen																		
		Sommer	77	91	85	35 ^b	77 ^{ab}	70	83	82	87	76	78 ^{ab}	54 ^b	77	75	76 ^{ab}	79 ^{ab}	11,5 ^a
		Winter	73	91	85	43 ^{ab}	78 ^{ab}	70	83	82	87	74	81 ^a	58 ^{ab}	76	75	78 ^{ab}	80 ^{ab}	11,6 ^a
	Pooled SE	2,0	0,5	1,2	4,5	1,5	1,6	1,3	1,3	1,0	2,5	1,5	2,4	1,7	1,4	1,4	1,5	0,31	
P-Werte																			
	Standort	0,437	0,102	0,847	0,034	0,811	0,317	0,774	0,937	0,636	0,489	0,611	0,341	0,877	0,579	0,803	0,951	0,675	
	Anbautyp	0,071	0,312	0,146	0,626	0,112	0,185	0,073	0,085	0,126	0,109	0,499	0,595	0,043	0,106	0,291	0,220	0,363	
	Standort x Anbautyp	0,885	0,920	0,256	0,029	0,013	0,177	0,157	0,124	0,129	0,374	0,005	0,036	0,080	0,101	0,020	0,043	0,017	

^{a,b} Unterschiedliche Hochbuchstaben innerhalb eines statistischen Vergleichs kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P < 0,050$).

¹ Asparaginsäure und Asparagin zusammen.

² Glutaminsäure und Glutamin zusammen.

Standort Göttingen dagegen gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen Sommer- und Winterackerbohnen. Die höhere Verdaulichkeit von Sommer- im Vergleich zu Winterackerbohnen am Standort Nimitz deutet sich auch bei nichtsignifikanten Unterschieden in der Spanne von 3 bis 7 %-Punkten bei den anderen AS mit Ausnahme von Arg an. Bei Ser war die Verdaulichkeit von Sommer- im Vergleich zu Winterackerbohnen mit 3 %-Punkten unabhängig vom Standort signifikant höher.

Die ME_N -Konzentration der Ackerbohnenvarianten lag zwischen 10,3 und 12,3 MJ/kg TM. Hier gab es eine signifikante Interaktion zwischen Standort und Anbautyp. Bei den Sommerackerbohnen am Standort Nimitz war die ME_N -Konzentration um 0,8 MJ/kg TM signifikant höher als bei den Winterackerbohnen. Dagegen gab es am Standort Göttingen keine signifikanten Unterschiede zwischen Sommer- und Winterackerbohnen.

Einfluss des Entschälens (Varianten Nr. 2 und 17)

Das Entschälen erhöhte die Verdaulichkeit von 5 AS numerisch um mindestens 3 %-Punkte (Tabelle 4, Abbildung 1). Dieser Unterschied war bei Glx (7%-Punkte), His (12 %-Punkte) und Pro (23 %-Punkte) signifikant. Bei Met war die Verdaulichkeit numerisch, jedoch nicht signifikant um 6 %-Punkte verringert.

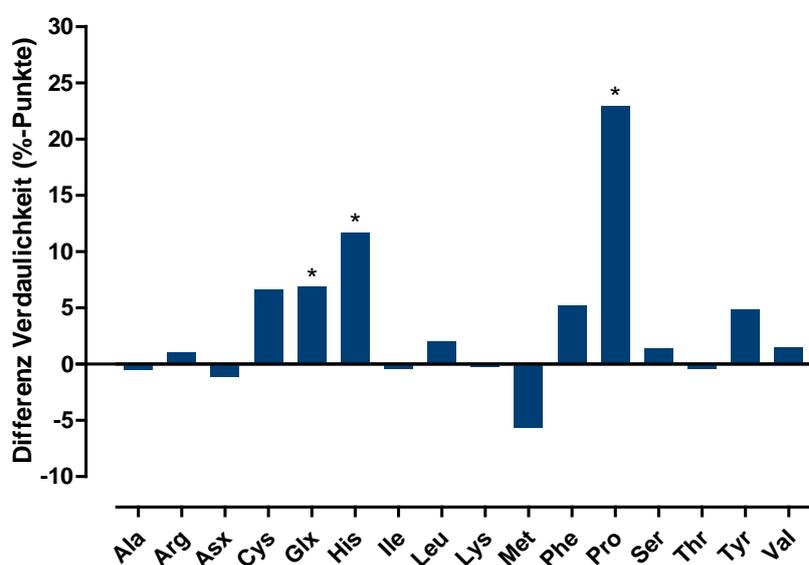


Abbildung 1. Differenz der Aminosäurenverdaulichkeit eines entschälten und nicht entschälten Ackerbohnen genotypen. Sterne kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,050$).

Die ME_N -Konzentration war durch das Entschälen deutlich um 1,7 MJ/kg TM erhöht ($P = 0,003$). Somit war der Einfluss des Entschälens auf die ME_N -Konzentration wesentlich bedeutender als der Einfluss auf die Verdaulichkeit der meisten AS.

Ackerbohnen aus Aufgabe 8

Die AS-Verdaulichkeit zwischen den VC-armen und VC-reichen Ackerbohnen war nicht signifikant verschieden (Tabelle 9). Dies bestätigten die Ergebnisse aus Fragestellung 1, bei denen ein Einfluss von VC auf die AS-Verdaulichkeit nicht zu erkennen war. Der geringste *P*-Wert wurde bei Lys mit $P = 0,290$ gefunden. Numerisch war die Verdaulichkeit der meisten AS bei den VC-armen Ackerbohnen zwischen 2 %-Punkten bei Arg/His und 6 %-Punkten bei Met/Thr höher als bei den VC-reichen Ackerbohnen. Ausnahmen waren Pro und Cys, wo die AS-Verdaulichkeit numerisch gleich bzw. bei den VC-armen im Vergleich zu den VC-reichen Ackerbohnen um 8 %-Punkte geringer war. Die Konzentrationen an verdaulichen AS unterschieden sich zwischen den Ackerbohnen in der Spanne von -0,2 g/kg TM bei Cys bis +2,0 g/kg TM bei Arg und Asx. Bei den unter üblichen Fütterungsbedingungen erstlimitieren AS Met+Cys, Lys und Thr lag der Unterschied der Konzentration an verdaulichen AS bei lediglich -0,1 g/kg TM, +0,7 g/kg TM bzw. bei +0,5 g/kg TM. Die ME_N -Konzentration war bei den VC-armen Ackerbohnen dieses Vergleichs um 0,9 MJ/kg TM numerisch, jedoch nicht signifikant höher als bei den VC-reichen Ackerbohnen ($P = 0,102$).

Tabelle 6. Aminosäurenverdaulichkeit, ME_N und Konzentration an verdaulichen Aminosäuren bei den Ackerbohnen für Aufgabe 8.

Variante Nr.	Aminosäuren-Verdaulichkeit (%) ¹ bzw. ME_N -Konzentration (MJ/kg TM) ²			Konzentration an verdaulichen Aminosäuren (g/kg TM)		
	18	19	Pooled SE	18	19	Differenz
Ala	75	81	4,0	10,4	11,0	+0,6
Arg	91	93	1,0	30,7	32,7	+2,0
Asx	84	88	2,4	30,1	32,1	+2,0
Cys	55	46	-. ³	2,0	1,8	-0,2
Glx	77	79	2,8	41,8	42,2	+0,4
His	72	74	3,2	6,7	6,8	+0,1
Ile	82	85	2,6	10,6	11,2	+0,6
Leu	81	85	2,6	20,3	20,9	+0,6
Lys	87	89	1,9	18,4	19,1	+0,7
Met	72	78	5,1	2,0	2,2	+0,2
Phe	76	80	2,8	10,7	11,3	+0,6
Pro	54	54	4,9	7,3	7,3	0
Ser	77	81	3,3	12,4	12,9	+0,5
Thr	75	81	4,2	8,9	9,4	+0,5
Tyr	76	79	2,8	7,7	8,1	+0,4
Val	78	82	2,9	11,4	12,1	+0,7
Met+Cys				4,0	3,9	-0,1
ME_N	11,0	11,9	0,45			

¹ Kein signifikanter Unterschied der Verdaulichkeit bei allen Aminosäuren ($P \geq 0,290$).

² $P = 0,102$.

³ Im Gegensatz zu den anderen AS teilweise deutlich verschiedene Standardfehler zwischen Ackerbohnenmischen mit 6,5% bei 18 und 11,1% bei 19.

5 Diskussion der Ergebnisse

Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus diesem Projekt geben erstmals Aufschluss über Niveau und Variation der AS-Verdaulichkeit und ME_N von Ackerbohnen bei Legehennen. Bis auf eine bekannte Studie mit Legehennen wurden bisherige Untersuchungen zur AS-Verdaulichkeit von Ackerbohnen mit anderen Tierarten durchgeführt. Die verfügbare Studie zu Legehennen ist über 40 Jahre alt und wurde nicht mit einer dem heutigen Stand der Wissenschaft entsprechenden Methode durchgeführt. Die Ergebnisse aus Abo-Vici zeigen, dass es bei einigen AS eine erhebliche Variation der Verdaulichkeit gibt. Die Ergebnisse zeigen auch, dass Unterschiede zwischen Sommer- und Winterackerbohnen von Standorteffekten abhängen können.

Zur Einordnung der Ergebnisse wurde die AS-Verdaulichkeit der Ackerbohnen mit Ergebnissen aus früheren Untersuchungen des Fachgebiets Tierernährung der Universität Hohenheim verglichen (Abbildung 2). Bei diesen früheren Untersuchungen wurde mit derselben Methode die Variation der AS-Verdaulichkeit von weiteren Futtermitteln bei caeectomierten Legehennen ermittelt. Es zeigt sich, dass die Verdaulichkeit der meisten AS (auch in Abbildung 2 nicht dargestellte AS) bei Ackerbohnen im Vergleich zu Erbsen und Lupinen geringer war. Dies wurde bereits auch bei Broilern (Koivunen et al., 2016; Masey O'Neill et al., 2012), Puten (Palander et al., 2006) und Schweinen (Jeziorny et al., 2011) beschrieben. Eine höhere Verdaulichkeit von Ackerbohnen im Vergleich zu Erbsen und Lupinen wurde bei keiner AS gefunden. Besonders deutlich ist eine geringere Verdaulichkeit von Glx und Pro bei Ackerbohnen im Vergleich zu Erbsen und Lupinen. Bei den untersuchten Getreiden war die Verdaulichkeit der meisten AS höher als bei den Ackerbohnen. Vor allem bei Roggen und von einigen AS bei Triticale war die Verdaulichkeit geringer als bei Ackerbohnen.

Einfluss von antinutritiven Inhaltsstoffen in nicht entschälten Ackerbohnen (Nr. 1-16)

Die Ergebnisse zeigten einen Einfluss von Phytat auf die Variation der AS-Verdaulichkeit bei den nicht entschälten Ackerbohnenvarianten Nr. 1-16. Dieser Zusammenhang bei der AS-Verdaulichkeit geht aus signifikanten Korrelationen mit Phytat hervor. Diese Beziehungen sind plausibel, weil für Phytat häufig in der Literatur ein vermindernder Effekt auf die AS-Verdaulichkeit anderer Futtermittel beschrieben wurde. Diese signifikanten Korrelationen sind auf die höheren Phytat-Konzentrationen der in Nimtitz angebauten Winterackerbohnen zurückzuführen. Es gibt Hinweise, dass dies mit unterschiedlicher Phosphor-Verfügbarkeit im Boden zwischen den beiden Anbaustandorten zusammenhängen könnte, weil Einflüsse der Phosphor-Verfügbarkeit im Boden auf die Phytat-Gehalte in Körnern bereits bei anderen Kulturarten gezeigt wurden (Coelho et al., 2002; Miller et al.,

1980). Weiterhin wurde Trockenheit als Einflussfaktor auf den Phytat-Gehalt in verschiedenen Kulturarten gezeigt (Bassiri and Nahapetian, 1977; Kim et al., 2002). Es erscheint möglich, dass durch den sehr trockenen Sommer im Anbaujahr 2018 Unterschiede zwischen den Winter- und Sommerackerbohnen hinsichtlich des Phytat-Gehalts aufgetreten sind, die in Göttingen wegen anderen Einflüssen von Bodenbeschaffenheit und Witterung nicht zutage getreten sind.

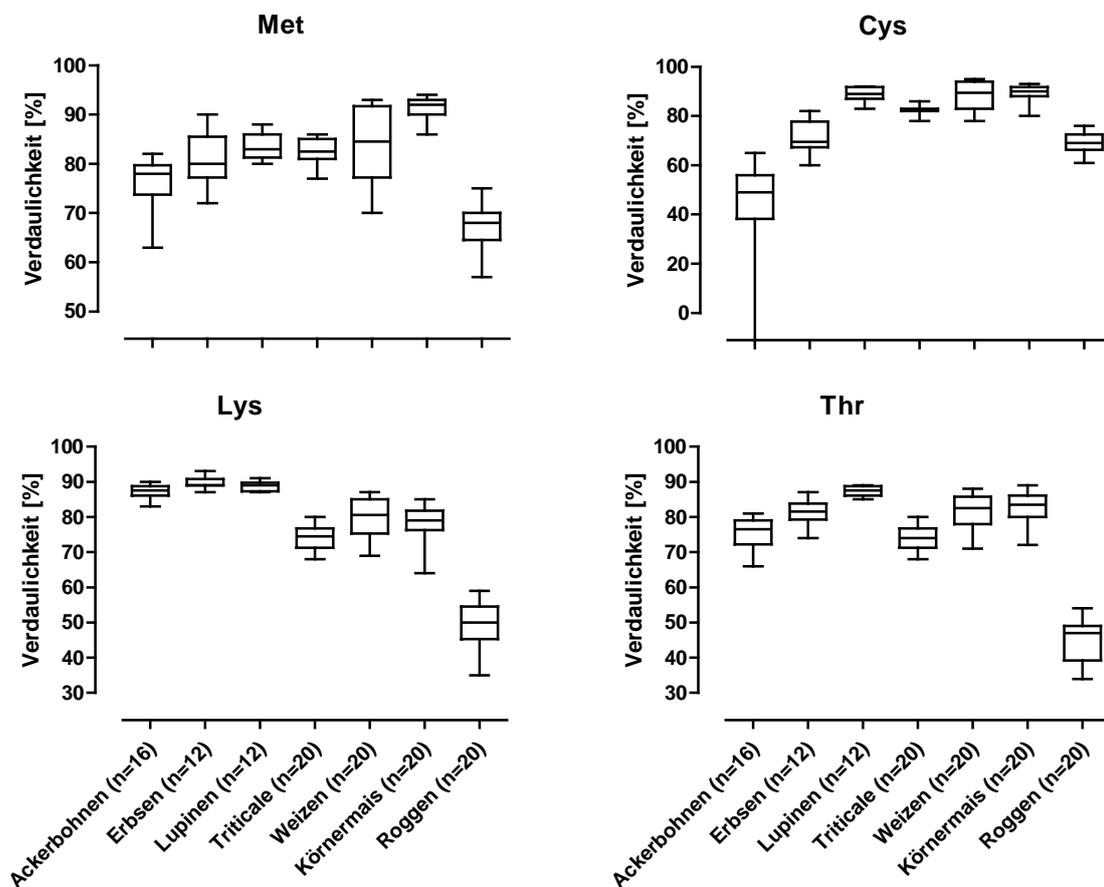


Abbildung 2. Vergleich der Verdaulichkeit von erstlimitierenden Aminosäuren von Ackerbohnen aus der vorliegenden Studie (Varianten Nr. 1-16) mit Erbsen (Zuber et al., 2019), Lupinen (Zuber et al., 2019), Triticale (Zuber et al., 2016a), Weizen (Zuber und Rodehutschord, 2016), Körnermais (Zuber und Rodehutschord, 2017) und Roggen (Zuber et al., 2016b). Bei den Boxplots zeigen die Boxen die 25% Quantile, horizontale Linien in den Boxen die Mediane und die vertikalen Linien außerhalb der Boxen die Minimum-/Maximumwerte.

Ein Zusammenhang zwischen Tannin-Gehalten und ME_N wurde durch Korrelationsanalysen gefunden. Auch diese Beziehung ist plausibel, weil in der Literatur Tannine die Stärkeverdaulichkeit und ME_N bei anderen Tierarten reduzierten (Flores et al., 1994). Ein Zusammenhang zwischen Tanninen und der AS-Verdaulichkeit wurde dagegen nicht gefunden, obwohl ein derartiger Zusammenhang in der Literatur für verschiedene Kulturarten ebenfalls beschrieben ist (Ortiz et al., 1993).

Ein Zusammenhang zwischen VC und der AS-Verdaulichkeit bzw. der ME_N -Konzentration wurde nicht ermittelt. Die Korrelationen zwischen der VC-Konzentration und der AS-Verdaulichkeit mit dem geringsten P -Wert wurde bei Arg mit $-0,24$ ($P = 0,379$) ermittelt. Um einen möglichen Einfluss von VC auf die AS-Verdaulichkeit zu finden, wurde zusätzlich eine dreifaktorielle Auswertung durchgeführt. Bei dieser wurden die Behandlungen in hohe und niedrige VC-Konzentrationen klassifiziert. Bei der Auswertung waren die drei Faktoren VC-Konzentration, Standort und Anbautyp mit allen Zweifachinteraktion und der Dreifachinteraktion im Modell enthalten. Die einzig als signifikant ermittelten Faktoren im Zusammenhang mit VC waren dabei die Interaktion zwischen Anbautyp und VC bei Glx und Phe. Somit lässt auch diese dreifaktorielle Auswertung keine konsistenten Zusammenhänge zwischen VC-Konzentration und AS-Verdaulichkeit bzw. ME_N -Konzentration erkennen.

Einfluss des Entschälens

Entschälen erhöhte die ME_N in erheblichem Ausmaß. Dies wurde auch bei Broilern beschrieben (Nalle et al., 2010). Auswirkungen des Entschälens auf die AS-Verdaulichkeit waren sehr unterschiedlich zwischen den AS. Insgesamt erhöhte das Entschälen die Verdaulichkeit der AS. Um diesen Effekt besser abzusichern, wäre für die Zukunft eine Untersuchung mit einer höheren Zahl an Ackerbohnenvarianten sinnvoll.

Ackerbohnenvarianten für Aufgabe 8

In der Aufgabe 8 bewirkten VC-reiche Ackerbohnen einen Leistungsrückgang der Legehennen. Unter Berücksichtigung der hier diskutierten Ergebnisse ist klar, dass dieser Leistungsrückgang nicht auf eine geringere Versorgung mit verdaulichen Aminosäuren zurückgeführt werden kann. Der Unterschied der ME_N -Konzentration von $0,9$ MJ/kg TM erscheint zwar nicht unerheblich, erklärt aber vermutlich ebenfalls die in Aufgabe 8 gezeigten Leistungsunterschiede nicht.

6 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens

Mit der umfassenden chemischen Charakterisierung der Ackerbohnen wurde eine umfangreiche Datenbasis für die aktuelle Zusammensetzung geschaffen. Zusätzlich wurde der Futterwert hinsichtlich der AS-Verdaulichkeit und Energiegehalte von Ackerbohnen für Legehennen mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechenden Methoden ermittelt. Dies leistet einen erheblichen Beitrag zur Akzeptanz von Ackerbohnen in der Praxis, da die Kenntnis dieser Kriterien grundlegend wichtig bei der Rationsgestaltung ist. Außerdem geben die Erkenntnisse Aufschluss über die Bedeutung der in Ackerbohnen enthaltenen antinutritiven Inhaltsstoffe. Die Züchtung auf niedrige VC-Gehalte hat keinen Einfluss auf den Protein- und Energiewert der Ackerbohnen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen hat die Futtermittelwirtschaft die Möglichkeit, die Rationsgestaltung

landwirtschaftlicher Nutztiere bei Einsatz von Ackerbohnen gezielter dem Bedarf der Tiere anzupassen. Dies bietet die Möglichkeit, eine Überversorgung der Tiere mit AS und Energie zu vermeiden und gleichzeitig die Gefahr einer unzureichenden Versorgung zu mindern. Dadurch steigt die Effizienz des Einsatzes von AS und Energie in der Produktion tierischer Nahrungsmittel. Zugleich können negative Umweltwirkungen der Tierhaltung durch die Senkung von N-Emissionen vermindert werden.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und Hinweis auf weiterführende Fragestellungen

Gegenüberstellung von ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die Ziele des im Antrag beschriebenen Vorhabens wurden erreicht. Ebenso wurden die durch die Mittelaufstockung (Bewilligungsschreiben vom 25. April 2019) ergänzten Ziele erreicht. Die Veröffentlichung der Ergebnisse ist in Vorbereitung (siehe Gliederungspunkt 10).

Hinweis auf weiterführende Fragestellungen

Entsprechend den Ergebnissen haben Ackerbohnen im Vergleich zu Erbsen und Lupinen eine geringere AS-Verdaulichkeit. In dieser Hinsicht sind Ackerbohnen weniger günstig, weil nicht verdaute AS nachteilhafte Wirkungen haben wie beispielsweise erhöhte N-Emissionen. Aus dem Projekt gehen zwei konkrete Ansätze hervor, inwieweit der AS-Verdaulichkeit von Ackerbohnen erhöht werden könnte.

Zum einen zeigte das Entschälen von Ackerbohnen vielversprechende Ergebnisse. Um hier eine klarere Aussage treffen zu können, wäre eine weiterführende Untersuchung mit einer höheren Stichprobenzahl notwendig.

Zum anderen wurden klare Hinweise gefunden, dass in Ackerbohnen enthaltenes Phytat die AS-Verdaulichkeit reduziert. Dem Futter zugesetzte Phytasen als phytatspaltende Enzyme sind in der Praxis weit verbreitet. Es wäre zu prüfen, inwieweit der Einsatz von Phytase die AS-Verdaulichkeit erhöhen kann. Möglicherweise wird so das Niveau der AS-Verdaulichkeit von Ackerbohnen angehoben, sodass der Nachteil von Ackerbohnen einer geringeren AS-Verdaulichkeit im Vergleich zu Erbsen und Lupinen nicht mehr gegeben wäre.

Es gibt deutliche Hinweise, dass die Phytatgehalte in den Ackerbohnen durch die Phosphor-Verfügbarkeit im Boden während des Anbaus beeinflusst war. Für die gesamte landwirtschaftliche Produktionskette wäre es interessant zu wissen, inwieweit sich eine unterschiedliche Phosphor-Düngung auf die Produktionskette bis hin zu den Emissionen aus der Tierhaltung auswirkt. Dies schließt Folgen der Phosphor-Düngung für Ertrag, Krankheitsbefall der Pflanzen, Inhaltsstoffe der gewonnenen Futtermittel (einschließlich AS

und Phytat), sowie der Verwertung von AS und Phosphor durch die Tiere und resultierende N- und Phosphor-Emissionen ein.

Die in diesem Projekt gezeigten Zusammenhänge sind vermutlich auch für andere Nichtwiederkäuer interessant und für die Praxis relevant. Einflüsse auf AS-Verdaulichkeit und Energie bei beispielsweise Broilern, Puten oder Schweinen wären daher in Folgeprojekten zu prüfen.

8 Zusammenfassung

Beim Verbundprojekt Abo-Vici arbeiteten 6 Projektpartner synergistisch am Ziel, Wirkungen von VC auf Anbau und Verwendung von Ackerbohnen als Futtermittel besser zu verstehen und die Eignung von Ackerbohnen als Futtermittel für Legehennen zu verbessern. In dem an der Universität Hohenheim angesiedelten Teilprojekt wurden a) Ackerbohnen genotypen umfangreich chemisch charakterisiert und b) die AS-Verdaulichkeit und ME_N von Ackerbohnen bei Legehennen bestimmt. Dabei wurden 3 Fragestellungen geprüft. Bei einer Fragestellung wurde der Einfluss von Anbaustandort, Winter- und Sommerackerbohnen geprüft und Einflüsse antinutritiver Inhaltsstoffe einschließlich VC, Tannine und Phytat abgeleitet. Bei der zweiten Fragestellung wurde der Einfluss des Entschälens evaluiert. Weiterhin wurden in einem anderen Teilprojekt des Verbundes eingesetzte Ackerbohnen bewertet, um die Ergebnisse eines Fütterungsversuchs mit Legehennen tiefergehender interpretieren zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass es vom Anbaustandort abhängt, ob es Unterschiede zwischen Sommer- und Winterackerbohnen auf die AS-Verdaulichkeit und die ME_N gibt. Phytat-Gehalte in Ackerbohnen wurden als Ursache für die Variation der AS-Verdaulichkeit ermittelt, während Tannine eher die Variation der ME_N beeinflussten. Es gab keinen Hinweis auf einen Einfluss von VC-Gehalten auf die AS-Verdaulichkeit und ME_N von Ackerbohnen. Ein Entschälen erhöhte die ME_N deutlich. Die Verdaulichkeit einiger AS war durch Entschälen ebenfalls erhöht.

Die Erkenntnisse aus diesem Teilprojekt von Abo-Vici tragen zur Akzeptanz von Ackerbohnen als Komponente in Futter für Legehennen bei, wofür die Kenntnis des Futterwerts und von Einflüssen auf den Futterwert Grundvoraussetzungen sind. Dies fördert Alternativen zu importiertem Soja mit GVO-freien heimischen Futterproteinquellen, die für konventionelle und ökologische Landwirtschaft gleichsam geeignet sind. Weiterhin kann durch Kenntnis des Futterwertes die Futtergestaltung präziser erfolgen, wodurch negative Umweltwirkungen der Tierhaltung durch Emissionen vermindert und eine Unterversorgung der Tiere vermieden werden kann.

9 Literaturverzeichnis

- Bassiri A., A. Nahapetian. 1977. Differences in concentrations and interrelationships of phytate, phosphorus, magnesium, calcium, zinc, and iron in wheat varieties grown under dryland and irrigated conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 25: 1118–1122.
- Brufau J., D. Boros, R. R. Marquardt. 1998. Influence of growing season, tannin content and autoclave treatment on the nutritive value of near-isogenic lines of faba beans (*Vicia faba* L.) when fed to leghorn chicks. *British Poultry Science* 39: 97–105.
- Coelho C. M. M., J. C. P. Santos, S. M. Tsai, V. A. Vitorello. 2002. Seed phytate content and phosphorus uptake and distribution in dry bean genotypes. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 14: 51–58.
- Crépon K., P. Marget, C. Peyronnet, B. Carrouée, P. Arese, G. Duc. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* 115: 329–339.
- Flores M. P., J. I. Castañon, J. M. McNab. 1994. Effect of tannins on starch digestibility and TME_n of triticale and semipurified starches from triticale and field beans. *British Poultry Science* 35: 281–286.
- Frohlich A. A., R. R. Marquardt. 1983. Turnover and hydrolysis of vicine and convicine in avian tissues and digesta. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34: 153–163.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. 1999. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Gruhn K., S. Hashish, G. Richter. 1982. Bestimmung der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Aminosäuren zweier Ackerbohnsorten (*Vicia faba* L.) an kolostomierten Legehennen. *Archiv für Tierernährung* 32: 651–658.
- Hejdysz M., S. A. Kaczmarek, A. Rutkowski. 2016. Extrusion cooking improves the metabolisable energy of faba beans and the amino acid digestibility in broilers. *Animal Feed Science and Technology* 212: 100–111.
- Jezierny D., R. Mosenthin, N. Sauer, S. Roth, H.-P. Piepho, M. Rademacher, M. Eklund. 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livestock Science* 138: 229–243.
- Kim J. C., B. P. Mullan, P. H. Selle, J. R. Pluske. 2002. Levels of total phosphorus, phytate-phosphorus, and phytase activity in three varieties of Western Australian wheats in response to growing region, growing season, and storage. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 1361.
- Koivunen E., K. Partanen, S. Perttilä, S. Palander, P. Tuunainen, J. Valaja. 2016. Digestibility and energy value of pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.) and

- blue lupin (narrow-leaf) (*Lupinus angustifolius*) seeds in broilers. *Animal Feed Science and Technology* 218: 120–127.
- Masey O'Neill H. V., M. Rademacher, I. Mueller-Harvey, E. Stringano, S. Kightley, J. Wiseman. 2012. Standardised ileal digestibility of crude protein and amino acids of UK-grown peas and faba beans by broilers. *Animal Feed Science and Technology* 175: 158–167.
- Miller G. A., V. L. Youngs, E. S. Oplinger. 1980. Effect of available soil-phosphorus and environment on the phytic acid concentration in oats. *Cereal Chemistry* 57: 192–194.
- Nalle C. L., G. Ravindran, V. Ravindran. 2010. Influence of dehulling on the apparent metabolisable energy and ileal amino acid digestibility of grain legumes for broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 1227–1231.
- Ortiz L. T., C. Centeno, 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: 271–278.
- Palander S., P. Laurinen, S. Perttilä, J. Valaja, K. Partanen. 2006. Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Animal Feed Science and Technology* 127: 89–100.
- Ravindran V., O. Adeola, M. Rodehutschord, H. Kluth, J. D. van der Klis, E. van Eerden, A. Helmbrecht. 2017. Determination of ileal digestibility of amino acids in raw materials for broiler chickens – Results of collaborative studies and assay recommendations. *Animal Feed Science and Technology* 225: 62–72.
- Rodehutschord M., M. Kapocius, R. Timmler, A. Dieckmann. 2004. Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science* 45: 85–92.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. 2007. *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Vol. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Wischer G., J. Boguhn, H. Steingäß, M. Schollenberger, M. Rodehutschord. 2013. Effects of different tannin-rich extracts and rapeseed tannin monomers on methane formation and microbial protein synthesis in vitro. *Animal* 7: 1796–1805.
- Zeller E., M. Schollenberger, I. Kühn, M. Rodehutschord. 2015. Hydrolysis of phytate and formation of inositol phosphate isomers without or with supplemented phytases in different segments of the digestive tract of broilers. *Journal of Nutritional Science* 4: e1.

- Zuber T., H. P. Maurer, J. Möhring, N. Nautscher, W. Siegert, P. Rosenfelder, M. Rodehutscord. 2016a. Variability in amino acid digestibility of triticale grain from diverse genotypes as studied in cecectomized laying hens. *Poultry Science* 95: 2861–2870.
- Zuber T., T. Miedaner, P. Rosenfelder, M. Rodehutscord. 2016b. Amino acid digestibility of different rye genotypes in caeectomised laying hens. *Archives of Animal Nutrition* 70: 470–487.
- Zuber T., M. Rodehutscord. 2016. Variability in amino acid digestibility of wheat grains from diverse genotypes examined in caeectomised laying hens. *European Poultry Science* 80. 10.1399/eps.2016.156.
- Zuber T., M. Rodehutscord. 2017. Variability in amino acid digestibility and metabolizable energy of corn studied in cecectomized laying hens. *Poultry Science* 96: 1696–1706.
- Zuber T., W. Siegert, H. Salehi, F. Hummel, M. Rodehutscord. 2019. Variability of amino acid digestibility of lupin and pea grains in caeectomised laying hens. *British Poultry Science* 60: 229–240.

10 Übersicht der im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Nachdem die Auswertung des Versuchs nur kurze Zeit vor der Fälligkeit dieses Abschlussberichts abgeschlossen war, wurden die Ergebnisse des Projekts bislang noch nicht veröffentlicht. Eine Publikation in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift ist in Vorbereitung. Weiterhin sollen die Ergebnisse auf Fachtagungen der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.