

Untersuchungen zur Bestimmung der standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten von Protein und Aminosäuren aus Körnerleguminosen beim Schwein

Rainer Mosenthin, Dagmar Jeziorny, Meike Eklund
Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung, Emil-Wolff-Str. 10, 70593
Stuttgart

Zusammenfassung

Seit 2005 erfolgt in Deutschland die Beurteilung des Proteinwertes von Futtermitteln für Schweine auf der Grundlage standardisierter praecaecaler Verdauungswerte für Aminosäuren (GFE, 2005). Entsprechend wurden zwischenzeitlich auch die Versorgungsempfehlungen der Tiere für Rohprotein und Aminosäuren auf der Grundlage standardisierter praecaecaler Verdauungswerte formuliert (GFE, 2006). Für Körnerleguminosen aus konventionellem und ökologischem Anbau in Deutschland existieren im Gegensatz zu Importwaren wie z. B. Sojaprodukten, vergleichsweise wenige Angaben zum Proteinwert auf der Grundlage praecaecaler Aminosäurenverdaulichkeiten.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden daher an wachsenden Schweinen für verschiedene Sorten Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen die standardisierten praecaecalen Verdauungswerte für Aminosäuren ermittelt. Die Auswahl der jeweiligen Sorten erfolgte in Absprache mit dem Sortenversuchswesen. In den zur Verfügung gestellten sortenreinen Partien wurden die Gehalte an Rohnährstoffen, Aminosäuren, Zellwandbestandteilen sowie die Gehalte an anti-nutritiven Substanzen (ANF) bestimmt.

Es wurden drei aufeinander folgende Versuchsreihen mit jeweils sechs Börgen durchgeführt. Zur Gewinnung von Chymusproben erfolgte die Implantation einer einfachen T-Kanüle am distalen Ileum der Tiere. Insgesamt wurden 18 Versuchsrationen konzipiert. Diese enthielten je sechs verschiedene Sorten Ackerbohnen und Erbsen sowie fünf verschiedene Sorten Lupinen. Ein handelsübliches Sojaextraktionsschrot diente als Referenzfuttermittel. Nach einer 5-tägigen Adaptationsphase an die jeweilige Testration wurde über 24 Stunden Dünndarmchymus gesammelt. Als Indikator zur Bestimmung der Verdaulichkeiten diente Titandioxid. Die Verdauungsversuche wurden als Differenzversuche konzipiert, d. h. die zu prüfenden Testfuttermittel wurden zu einer bedarfsgerecht formulierten Grundmischung auf der Basis von Kasein und Maisstärke im Austausch gegen Maisstärke zugelegt. Die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten für

das Rohprotein und die Aminosäuren ergaben sich aus der Differenz zu den standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten für das Rohprotein und die Aminosäuren aus dem Kasein. Jede Ration wurde so formuliert, dass das Rohprotein und die Aminosäuren zu annähernd gleichen Teilen aus dem Testfuttermittel und aus dem Kasein stammten.

Für einzelne Sorten innerhalb der Körnerleguminosenarten konnten beträchtliche Unterschiede sowohl in den Nährstoffgehalten als auch in den Gehalten an ANF festgestellt werden. Diese Differenzierungen spiegelten sich teilweise auch in den ermittelten standardisierten praecaecalen Verdauungswerten für das Rohprotein und die Aminosäuren wider. Zwischen Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen konnten in den meisten Fällen signifikante Unterschiede in den Verdauungswerten bestimmt werden, wobei sich folgende Rangierung ergab: Ackerbohnen < Erbsen < Lupinen. Innerhalb der Ackerbohnen ergaben sich für die weiß blühenden Sorten Gloria und Aurelia im Vergleich zu den bunt blühenden Sorten Limbo, Fuego und Espresso signifikant höhere Verdaulichkeiten für das Rohprotein und die Aminosäuren, während die Sorte Divine eine Mittelstellung einnahm. Innerhalb der Erbsen wies die Sorte Hardy im Vergleich zu den übrigen Sorten die niedrigsten standardisierten praecaecalen Verdauungswerte auf, wobei diese Differenzen im Vergleich mit den Sorten Santana und Rocket für das Rohprotein und die meisten Aminosäuren signifikant waren. Innerhalb der Lupinen wurden für die Sorte Idefix die niedrigsten Verdauungskoeffizienten für das Rohprotein und die Aminosäuren ermittelt. Diese Unterschiede waren im Vergleich zur Sorte Probor, für die die höchsten standardisierten praecaecalen Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten ermittelt wurden, signifikant.

Von vereinzelt sortenspezifischen Unterschieden abgesehen, zeichnen sich die untersuchten sortenreinen Partien der einzelnen Körnerleguminosen durch eine geringe Variation sowohl im Nährstoffgehalt als auch in den Gehalten an verdaulichen Aminosäuren aus.

Summary

Determination of standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in legume seeds for growing pigs

The German protein evaluation system for feedstuffs for pigs is based on the concept of standardised ileal digestibilities of amino acids. This evaluation system was officially introduced by the German Society of Nutrition Physiology (GFE) in 2005. Meanwhile, recommendations for the protein and amino acid requirements of pigs,

based on standardised ileal digestibility values were published (GFE, 2006). However, there is a scarcity of information on standardised ileal digestibility values of amino acids in home-grown legume seeds.

The study was carried out to determine standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in legume seeds including faba beans, peas and lupins in growing pigs. These grain legumes were selected in close cooperation with plant breeding companies. All selected cultivars were analysed for proximate nutrient contents, cell wall components, amino acids and anti-nutritional factors (ANF).

Three consecutive experiments were conducted with six barrows each. The pigs were fitted with a simple T-cannula at the distal ileum. In total, 18 assay diets with six different cultivars from faba beans or peas, five different cultivars from lupins and one assay diet with a commercial high-protein soybean meal were tested. After a 5 d adaptation period, ileal digesta were collected for a total of 24 h. Titanium dioxide was used as an indigestible marker. The standardised ileal amino acid digestibilities in the assay feedstuffs were determined by means of the difference method. The assay feedstuffs were added to a cornstarch-casein-based basal diet at the expense of cornstarch. Each diet was formulated to supply approximately 50 % of crude protein and amino acids from the assay feedstuff and casein, respectively. The standardised ileal digestibilities of amino acids were determined in difference to the standardised ileal digestibilities of amino acids originating from casein.

Between grain legumes, considerable differences in nutrient composition, contents of ANF and standardised ileal protein and amino acid digestibilities were obtained. In most cases these differences in digestibility were significant with the highest values for lupins, intermediate values for peas and lowest values for faba beans. The standardised ileal digestibility of crude protein and amino acids of the white-flowered faba bean cultivars Gloria and Aurelia were significantly higher compared with the coloured-flowered faba bean cultivars Limbo, Fuego and Espresso. The values for the coloured cultivar Divine were in between. Within pea cultivars, the standardised ileal digestibilities of crude protein and most amino acids of the pea cultivar Hardy were significantly lower in comparison with the pea cultivars Santana and Rocket. Within lupin cultivars, lowest digestibilities were obtained for the cultivar Idefix, and these differences were significant when compared with the corresponding values for the cultivar Probor.

Besides some differences between individual cultivars, there exists only a small variation both in nutrient composition and standardised ileal digestibility of crude protein and amino acids between different cultivars of faba beans, peas or lupins.

1. Einleitung

Der Einsatz von Körnerleguminosen aus heimischem Anbau in der Schweinefütterung als alternative Proteinquelle zum Sojaextraktionsschrot gewinnt vor dem Hintergrund des Verfütterungsverbot von Futtermitteln tierischer Herkunft (EU-Richtlinie 999/2001) an Bedeutung. Darüber hinaus können Betriebe mit intensiver Fruchtfolge pflanzenbauliche Vorteile wie hohe Vorfruchtwirkung, Verbesserung der Bodenstruktur und Unterdrückung verschiedener Schadorganismen nutzen. Nicht zuletzt aufgrund dieser Eigenschaften werden Körnerleguminosen in zunehmendem Umfang auch im ökologischen Landbau als Vor- und Hauptfrucht angebaut. Der Futterwert und damit in erster Linie der Proteinwert der einzelnen Körnerleguminosen entscheidet jedoch letztendlich über den Umfang des Einsatzes in der Fütterung und damit auch über Anbaupräferenzen.

Seit 2005 wird der Proteinwert in Futtermitteln für Schweine nach Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GFE) auf der Basis so genannter standardisierter praecaecaler Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten charakterisiert. Inzwischen wurden auch die Versorgungsempfehlungen für Rohprotein und Aminosäuren in der Schweinefütterung an dieses Bewertungssystem angepasst (GFE, 2006). Vor diesem Hintergrund ist eine Erweiterung der Datenbasis für standardisierte praecaecale Aminosäurenverdaulichkeiten in Einzelfuttermitteln dringend erforderlich. Da insbesondere für Körnerleguminosen aus heimischem Anbau kaum Verdauungswerte vorliegen, wurde das vorliegende Projektvorhaben in Absprache mit dem Sortenversuchswesen initiiert. Die erhobenen Daten zur standardisierten praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren in den untersuchten Körnerleguminosen dienen der Aktualisierung und Erweiterung von zukünftig verfügbaren Tabellenwerken der GFE und DLG zur Aminosäurenverdaulichkeit beim Schwein. Damit ist es möglich, das Potenzial von Körnerleguminosen als Eiweißfuttermittel in der Schweinefütterung genauer und sicherer einzuschätzen, was sich wiederum positiv auf die Leistungsvorhersage auswirkt. Damit stellen die an sortenreinen Herkünften ermittelten Daten für Pflanzenzüchter objektive Entscheidungskriterien für die zukünftige Sortenselektion dar.

2. Ausgangssituation und Zielsetzungen

Gravierende Unterschiede zwischen der praecaecalen und postilealen Proteinverdauung bilden die Ausgangsbasis für das Konzept der praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit zur Proteinbewertung von Futtermitteln für Schweine. Es

gilt als erwiesen, dass die Absorption von Aminosäuren aus dem Futter am Ende des Dünndarms abgeschlossen ist. Somit enthält der am Ende des Dünndarms abgeleitete Chymus (a) nicht absorbierte Aminosäuren aus dem Futter sowie (b) endogene Stickstoffverbindungen (Aminosäuren), die u. a. aus Verdauungsenzymen, Abschilferungen des Darmepithels und Darmsäften stammen. Diese endogene Sekretion wiederum lässt sich in eine basale und in eine spezifische Fraktion unterteilen. Die im Ileumchymus ausgeschiedene Menge an basalen endogenen Aminosäuren wird nicht vom geprüften Futtermittel, sondern fast ausschließlich von der Höhe der Trockenmasseaufnahme beeinflusst. Demgegenüber wird der Umfang der futtermittelspezifischen Ausscheidungen an endogenen Aminosäuren von der Art bzw. Zusammensetzung der betreffenden Futterkomponenten bestimmt, beispielsweise vom Rohfasergehalt oder den Gehalten an ANF. Während die spezifische endogene Sekretion ebenso wie die Ausscheidung an unverdauten exogenen Futteramino­säuren proportional mit dem Aminosäuregehalt der Versuchsration ansteigt, bleibt der basale endogene Anteil relativ konstant. Daraus resultiert ein exponentieller, vom Aminosäuregehalt der Ration abhängiger Anstieg der scheinbaren praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit. Diese Beziehung gilt nicht mehr, wenn die scheinbaren Verdauungswerte um den Anteil an basalen Aminosäuren korrigiert werden. Die so korrigierten Werte entsprechen den so genannten standardisierten praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeiten. Diese bilden seit 2005 auch in Deutschland die Basis für die Proteinbewertung von Futtermitteln für Schweine.

Seit der Einführung der Proteinbewertung von Futtermitteln für Schweine auf der Grundlage standardisierter praecaecaler Verdauungswerte stellt die fehlende Datenbasis für heimische Körnerleguminosen ein erhebliches Problem dar. Um die Wettbewerbsfähigkeit heimischer Produkte langfristig zu sichern, hat die Aufarbeitung der vorhandenen Defizite sowohl aus Sicht der Produzenten (Landwirte, Mischfutterhersteller) als auch der Officialberatung hohe Priorität.

Ziel dieser Untersuchungen war es daher, in repräsentativen, sortenreinen Herkünften von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen die standardisierten praecaecalen Verdauungswerte für das Rohprotein und die essentiellen Aminosäuren zu bestimmen.

3. Material und Methoden

3.1. Körnerleguminosen

Für die Untersuchungen wurden jeweils sechs Sorten Ackerbohnen und Futtererbsen, sowie fünf verschiedene Sorten Lupinen in Abstimmung mit dem Sortenversuchswesen ausgewählt. Des Weiteren wurde ein kommerziell verfügbares Sojaextraktionsschrot als Referenzfuttermittel eingesetzt. Kriterien für die Sortenwahl waren Sortendominanz, Anbauwürdigkeit und Zukunftsträchtigkeit. Zunächst wurden von jeder Sorte zwei Partien von unterschiedlichen Standorten oder aus unterschiedlichen Anbaujahren von den Vertretern des Sortenversuchswesens ausgewählt.

Diese Partien wurden anschließend nach der amtlichen VDLUFA-Methode (NAUMANN und BASSLER, 1997; VAN SOEST et al., 1991) hinsichtlich ihrer Gehalte an Rohnährstoffen und Zellwandbestandteilen untersucht. Die Bestimmung der Aminosäuregehalte in den Körnerleguminosen erfolgte nach Vorgaben von FONTAINE (2003). Tyrosin wurde dabei nicht bestimmt. In den Ackerbohnen wurde der Gehalt an kondensierten Tanninen (MAKKAR et al., 1993) ermittelt, während die Vicin- und Convicingehalte von RD Biotech (Besançon, Frankreich) mittels HPLC-Analyse nach MARQUARDT und FRÖHLICH (1981) analysiert wurden. Die Gehalte an Gesamtalkaloiden in den Lupinen wurden am Institut für Pharmazeutische Biologie (Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg) mittels hoch auflösender Gaschromatographie sowie GLC-MS-Messungen bestimmt (TEI und WINK, 1999). Die Bestimmung der Trypsininhibitoraktivität (TIA) in Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen wurde von Hamlet Protein A/S (Horsens, Dänemark) nach der amtlichen A.O.C.S.-Methode (1990) durchgeführt. Die Aktivität des Inhibitors wurde in mg Trypsininhibitor pro g Rohprotein (mg TI/g XP) angegeben.

Für den Fütterungsversuch wurde von jeder Sorte die Partie mit dem höchsten Rohproteingehalt ausgewählt, da aufgrund der sonstigen erfassten analytischen Parameter kein wertbestimmendes Selektionskriterium für eine bestimmte Partie erkennbar war.

3.1.1. Ackerbohnen

Bei den eingesetzten Ackerbohnen handelte es sich um die weiß blühenden Sorten Gloria und Aurelia, sowie die bunt blühenden Sorten Divine, Limbo, Fuego und Espresso. Im Mittel entsprechen die Gehalte an Rohnährstoffen (Tab. 1) und Aminosäuren (Tab. 2) den Angaben aus unterschiedlichen Futterwerttabellen

(DEGUSSA, 2001; DLG, 1999; NRC, 1998), wobei hier nicht zwischen weiß und bunt blühenden Sorten unterschieden wird. Im Anhang finden sich die Angaben über die Konzentration der untersuchten Aminosäuren im Rohprotein zur vergleichenden Beurteilung der Proteinqualität der einzelnen Sorten (Tab. I).

Im Rohproteingehalt zeigen sich Sortenunterschiede von bis zu 5 Prozentpunkten, wobei sich diese Rangierung prinzipiell auch im Aminosäuregehalt (g/kg TS) widerspiegelt.

Die weiß blühenden Sorten Gloria und Aurelia sind tanninfrei, während die Sorte Divine nur einen sehr geringen Tanningehalt aufweist. Die Tanningehalte der übrigen Sorten liegen zwischen 0,42 und 0,74 % (TS) und sind damit deutlich niedriger als die von MAKKAR et al. (1997) publizierten Werte für bunt blühende Ackerbohnen (1,57 bis 3,54 % (TS)). Angaben aus neueren Untersuchungen von KASPROWICZ und FRANKIEWICZ (2004) wiederum bestätigen die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen.

Die TIA der weiß blühenden Sorten Gloria und Aurelia sind mit 3,3 bzw. 3,9 mg TI/g XP höher als bei den bunt blühenden Sorten (<0,2 bis 1,4 mg TI/g XP). MAKKAR et al. (1997) geben für weiß blühende Ackerbohnsorten ebenfalls höhere Werte als für bunt blühende Sorten an. Die von diesen Autoren ermittelten Werte liegen mit 9,0 bis 12,7 mg TI/g XP für die weiß blühenden und mit 6,6 bis 7,4 mg TI/g XP für die bunt blühenden Sorten deutlich über den in dieser Studie analysierten Werten.

Alle Sorten weisen mit Ausnahme der praktisch vicin- und convicinfreien Sorte Divine im Mittel Vicingehalte von 0,66 % und Convicingehalte von 0,33 % (TS) auf. SIMON (2004) ermittelte geringfügig niedrigere Werte für zwei bunt blühende Ackerbohnsorten von unterschiedlichen Standorten (Vicin: 0,57 %, Convicin: 0,26 % (TS)).

Tab. 1: Gehalte der Ackerbohnsorten an Rohnährstoffen, Zellwandbestandteilen (ADF, NDF, ADL) (g/kg TS) sowie ANF
Chemical composition (g/kg DM) and ANF contents in faba beans

	Weiß blühende Sorten		Bunt blühende Sorten			
	Gloria	Aurelia	Divine	Limbo	Fuego	Espresso
Rohprotein	337	314	300	319	292	285
Rohfett	13	16	14	17	15	16
Rohasche	43	39	38	34	40	35
Rohfaser	86	83	79	87	104	101
NfE	521	548	569	543	549	563
NDF	127	126	128	138	165	156
ADF	111	101	112	116	137	134
ADL	1	1	8	5	3	4
Kondensierte Tannine (% TS)	n. n.	n. n.	0,21	0,70	0,74	0,42
TIA (mg TI/g XP)	3,3	3,9	1,4	<0,2	<0,2	<0,2
Vicin (% TS)	0,64	0,72	0,03	0,56	0,70	0,67
Convicin (% TS)	0,32	0,28	0,00	0,31	0,37	0,37

n. n.=nicht nachweisbar

Tab.2: Aminosäuregehalte verschiedener Ackerbohnsorten (g/kg TS)
Amino acid contents in faba beans (g/kg DM)

	Weiß blühende Sorten		Bunt blühende Sorten			
	Gloria	Aurelia	Divine	Limbo	Fuego	Espresso
Lysin	20,7	18,9	18,5	19,3	18,5	18,3
Methionin	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9
Cystin	4,0	3,8	3,5	3,8	3,6	3,4
Threonin	11,1	10,5	10,8	10,8	10,2	9,9
Tryptophan	2,7	2,7	2,6	2,7	2,6	2,5
Arginin	32,8	30,6	30,8	29,7	24,9	25,2
Histidin	8,5	8,0	7,5	8,2	7,7	7,6
Isoleucin	13,9	12,7	11,8	12,3	11,8	11,5
Leucin	24,1	22,4	22,0	22,3	20,8	20,6
Phenylalanin	14,0	13,0	12,7	13,0	12,5	12,4
Valin	14,9	14,0	13,1	13,6	13,1	13,0

3.1.2. Futtererbsen

Bei den Erbsen wurden ausschließlich weiß blühende Sorten verwendet, da diese Sorten im Vergleich zu bunt blühenden Sorten tanninfrei sind und sie daher bevorzugt in Europa angebaut und in der Tierernährung eingesetzt werden.

Die mittleren Gehalte an Rohnährstoffen (Tab. 3) und Aminosäuren (Tab. 4) der verwendeten Sorten stimmen weitgehend mit den Angaben aus verschiedenen Futterwerttabellen (DEGUSSA, 2001; DLG, 1999; NRC, 1998) überein, wobei auch hier analog zu den Ackerbohnen nicht zwischen weiß und bunt blühenden Sorten unterschieden wird. Im Anhang finden sich die Angaben über die Konzentration der untersuchten Aminosäuren im Rohprotein zur vergleichenden Beurteilung der Proteinqualität der einzelnen Sorten (Tab. II).

Die Rohproteingehalte zwischen den untersuchten Sorten variieren mit Ausnahme der Sorte Hardy nur geringfügig (Tab. 3). Der um ca. 3 Prozentpunkte niedrigere Rohproteingehalt dieser Sorte spiegelt sich auch in niedrigeren Aminosäuregehalten wider (Tab. 4).

Die TIA der Erbsensorten rangieren zwischen <0,2 mg TI/g XP für die Sorte Harnas und 5,0 mg TI/g XP für die Sorte Phönix. Aus einer Studie von GRIFFITHS (1984) lassen sich für unterschiedliche, aber nicht näher spezifizierte Erbsensorten TIA von 0,3 bis 9,8 mg TI/g XP ableiten.

Tab. 3: Gehalte der Futtererbsensorten an Rohnährstoffen, Zellwandbestandteilen (ADF, NDF, ADL) (g/kg TS) sowie ANF
Chemical composition (g/kg DM) and ANF contents in peas

	Jutta	Harnas	Phönix	Rocket	Santana	Hardy
Rohprotein	260	255	247	254	252	224
Rohfett	20	20	23	20	18	19
Rohasche	34	32	31	35	32	33
Rohfaser	60	72	56	66	72	65
NfE	626	621	643	625	626	659
NDF	104	109	106	126	105	115
ADF	79	86	68	83	81	75
ADL	2	2	3	2	2	2
TIA (mg TI/g XP)	1,8	<0,2	5,0	3,9	2,4	4,5

Tab. 4: Aminosäuregehalte verschiedener Futtererbsensorten (g/kg TS)
Amino acid contents in peas (g/kg DM)

	Jutta	Harnas	Phönix	Rocket	Santana	Hardy
Lysin	17,8	18,1	18,1	18,5	18,5	16,3
Methionin	2,3	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2
Cystin	3,6	3,6	3,5	3,0	3,6	3,4
Threonin	9,3	9,4	8,9	8,9	9,1	8,4
Tryptophan	2,4	2,4	2,3	2,2	2,4	2,2
Arginin	25,2	23,2	20,8	23,2	22,8	19,0
Histidin	6,3	6,3	6,3	5,7	6,4	5,6
Isoleucin	10,2	10,3	10,7	10,6	10,8	9,4
Leucin	17,8	18,0	17,7	18,1	18,1	15,7
Phenylalanin	11,6	11,6	12,0	12,2	12,0	10,6
Valin	11,6	11,7	11,7	11,8	12,0	10,6

3.1.3. Lupinen

Bei den Lupinen wurden die blau blühenden Sorten Boregine, Boruta, Idefix und Probor sowie die gelb blühende Sorte Bornal eingesetzt. Innerhalb der Lupinen weist die gelb blühende Sorte Bornal mit 476 g/kg TS den höchsten Rohproteingehalt auf, während für die blau blühenden Sorten Vergleichswerte von 339 bis 383 g/kg TS ermittelt wurden. Im Vergleich zu Ackerbohnen und Erbsen zeichnen sich Lupinen durch deutlich höhere Gehalte an Rohfett sowie Zellwandbestandteilen aus.

Die mittleren Gehalte an Rohnährstoffen (Tab. 5) stimmen mit Ausnahme des Rohproteins mit den Angaben aus Futterwerttabellen (DLG, 1999; NRC, 1998) überein, wobei sich beim NRC (1998) nur Angaben zu weiß blühenden Lupinen finden. Die mittleren Gehalte der blau blühenden Lupinensorten, sowie der gelb blühenden Lupinensorte an Rohprotein (Tab. 5) und Aminosäuren (Tab. 6) liegen teilweise deutlich über den in Tabellenwerken (DEGUSSA, 2001; DLG, 1999) angegebenen Werten. Im Mittel beträgt die Differenz im Rohproteingehalt für die blau blühenden Lupinensorten 2,5 bis 3 Prozentpunkte, während der Vergleichswert für die gelb blühende Lupinensorte Bornal im Vergleich zur DLG (1999) um fast 4 Prozentpunkte und im Vergleich zur DEGUSSA (2001) sogar um 9,5 Prozentpunkte abweicht. Diese Differenzen im Rohproteingehalt der einzelnen Lupinensorten spiegeln sich deutlich auch in den entsprechenden Aminosäuregehalten wider (Tab. 6). Sojaextraktionsschrot als Referenzprotein in den Untersuchungen weist im

Vergleich zu allen geprüften heimischen Körnerleguminosen höhere Rohprotein- und Aminosäuregehalte auf, wobei die geringsten Differenzen im Vergleich zu den Lupinen ermittelt wurden. Im Anhang finden sich die Angaben über die Konzentration der untersuchten Aminosäuren im Rohprotein zur vergleichenden Beurteilung der Proteinqualität der einzelnen Sorten (Tab. III).

Mit Ausnahme der Sorte Probor liegen die TIA der Lupinensorten bei <0,2 mg TI/g XP. PETTERSON (1998) gibt für blau blühende Lupinen TIA von 0,37 mg TI/g XP und für gelb blühende Lupinen Gehalte von 0,66 mg TI/g XP an. Der für die Sorte Probor analysierte Wert von 2,9 mg TI/g XP liegt aber noch deutlich unter dem Vergleichswert von 5,8 mg TI/g XP für Sojaextraktionsschrot.

Die Alkaloidgehalte der untersuchten Lupinensorten erreichen maximal 0,03 % (TS). Für blau und gelb blühende Lupinen werden Gesamtalkaloidgehalte von <0,02 bis 0,05 % (TS) angegeben (PETTERSON und MACKINTOSH, 1994; ZDUNCZYK et al., 1994). ROTH-MAIER und KIRCHGESSNER (1993) bestimmten für gelb blühende Lupinen etwas höhere Alkaloidgehalte im Bereich von 0,058 bis 0,088 % (TS).

Tab. 5: Gehalte der Lupinensorten und des Sojaextraktionsschrotes (SES) an Zellwandbestandteilen (ADF, NDF, ADL) (g/kg TS) sowie ANF
Chemical composition (g/kg DM) and ANF contents in lupins and soybean meal (SES)

	Bornal	Boregine	Boruta	Probor	Idefix	SES
Rohprotein	476	359	339	377	383	541
Rohfett	57	59	54	63	68	28
Rohasche	49	36	41	38	42	74
Rohfaser	158	167	186	151	177	55
NfE	260	379	380	371	330	302
NDF	252	247	261	224	258	114
ADF	208	195	230	185	219	74
ADL	11	9	7	9	9	3
TIA (mg TI/g XP)	<0,2	<0,2	<0,2	2,9	<0,2	5,8
Alkaloide (% TS)	0,03	0,00	0,03	0,01	0,02	--

--=nicht bestimmt

Tab. 6: Aminosäuregehalte verschiedener Lupinensorten und im Sojaextraktionsschrot (SES) (g/kg TS)
Amino acid contents in lupins and soybean meal (SES) (g/kg DM)

	Bornal	Boregine	Boruta	Probor	Idefix	SES
Lysin	21,6	16,1	16,5	17,6	17,3	31,8
Methionin	2,6	2,1	2,1	2,0	2,1	6,7
Cystin	8,2	5,2	5,2	5,4	4,5	7,4
Threonin	14,3	11,8	12,3	13,1	12,5	20,0
Tryptophan	3,3	3,1	3,0	3,2	3,2	6,9
Arginin	49,6	38,9	41,2	48,8	41,1	39,8
Histidin	11,5	9,2	9,4	10,3	9,5	14,6
Isoleucin	16,6	13,6	14,1	15,4	15,1	24,7
Leucin	31,3	23,3	24,3	26,6	24,7	40,2
Phenylalanin	17,1	13,5	14,1	15,7	14,9	26,1
Valin	15,6	13,6	13,9	14,4	14,4	26,4

3.2. Versuchsrationen

Entsprechend den Vorgaben der GFE (2002, 2005) wurde bei der Formulierung der Versuchsrationen die Einhaltung der so genannten Schwellenwerte für das Rohprotein und die wertbestimmenden essentiellen Aminosäuren berücksichtigt. Diese Schwellenwerte entsprechen den Mindestgehalten an Rohprotein und Aminosäuren in den Versuchsrationen, um für diese so genannte Plateauverdaulichkeiten bestimmen zu können. Um diese Schwellenwerte zu erreichen, wurde der Verdauungsversuch als Differenzversuch konzipiert. Dementsprechend wurden die zu prüfenden Körnerleguminosen zu einer bedarfsgerecht zusammengesetzten Basalration, bestehend aus den Hauptkomponenten Maistärke, Kasein, Cellulose und Dextrose, im Austausch gegen Maisstärke zugelegt. Die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten für das Rohprotein und die Aminosäuren dieser Versuchsrationen wurden mittels Korrektur um die basalen endogenen Verluste bestimmt. Die standardisierten praecaecalen Verdauungswerte für die geprüften Körnerleguminosen wurden wiederum aus der Differenz zur standardisierten praecaecalen Verdaulichkeit des Rohproteins und der Aminosäuren aus dem Kasein berechnet.

Die Anteile der Körnerleguminosen in den Versuchsrationen sind in Tab. 7 aufgeführt.

Tab. 7: Anteil der Körnerleguminosen in den Versuchsrationen (% TS)
Content of legume seeds in the diets (% DM)

Ackerbohnen	35,9 - 42,5
Futtererbsen	43,0 - 50,0
Lupinen (blau)	34,1 - 36,0
(gelb)	30,0
Sojaextraktionsschrot	23,0

3.3. Tiermaterial, Haltung, Fütterung

Als Versuchstiere dienten männliche Kastraten der Rasse Deutsche Landrasse × Piétrain, die von der Versuchsstation Unterer Lindenhof der Universität Hohenheim bezogen wurden. Das mittlere Anfangsgewicht zu Versuchsbeginn betrug $23,2 \pm 1,9$ kg. Die Haltung erfolgte in einem vollklimatisierten Stall in Einzelhaltung in Stoffwechsellkäfigen (0,80 m×1,50 m). Den Tieren wurde jeweils zu Versuchsbeginn im Bereich des distalen Ileums eine einfache T-Kanüle nach Angaben von LI et al. (1993) implantiert.

Nach einer 7-tägigen Rekonvaleszenzphase wurden die Schweine an die jeweiligen Versuchsrationen adaptiert. Die Fütterung der Tiere erfolgte zweimal täglich um 07:00 und 19:00 Uhr. Die Futtermengenzuteilung entsprach ca. dem Zweifachen des Erhaltungsbedarfs an ME; Wasser stand ad libitum zur Verfügung.

3.4. Versuchsbeschreibung, Probennahme

Insgesamt umfassten die Untersuchungen drei Versuchsreihen mit jeweils sechs Versuchstieren. Die Anordnung der Versuchsreihen folgte einem „row-column-design“. Jeder Versuch gliederte sich in sechs Perioden von jeweils 7 Tagen.

Um die Futtermenge auf der Basis von 30 g/kg der individuellen Lebendmasse anpassen zu können, wurden die Tiere jeweils am 1. Tag einer Versuchsperiode einzeln gewogen. Die ersten 5 Tage einer jeden Versuchsperiode waren für die Adaptation der Schweine an die jeweilige Versuchsration vorgesehen. Anschließend erfolgte über einen Zeitraum von insgesamt 24 Stunden die Sammlung von Dünndarmchymus, und zwar am Tag 5 von 19:00 bis 07:00 Uhr und am Tag 7 von 07:00 bis 19:00 Uhr. Die Spotsammlung mittels der T-Kanüle und die Probenaufbereitung orientierten sich an den Vorgaben der GfE (2002, 2005).

Alle drei Versuchsreihen von jeweils 63 Tagen Dauer verliefen ohne Störungen, so dass die Maximalzahl von sechs Beobachtungen pro Behandlung (Körnerleguminose)

realisiert werden konnte. Ausgenommen hiervon sind die Erbsensorte Rocket und die Lupinensorte Idefix, da bei diesen Sorten aufgrund deutlicher Abweichungen von den Mittelwerten nur jeweils fünf Beobachtungen in die statistische Auswertung einbezogen werden konnten.

3.5. Analysen

Die Bestimmung der Rohprotein- und Aminosäuregehalte in den Versuchsrationen und im Chymus erfolgte analog zu den Analysen der Körnerleguminosen. Titandioxid wurde in den Versuchsrationen und im Chymus nach Kjeldahlaufschluss photometrisch bestimmt (BRANDT und ALLAM, 1987).

3.6. Verdaulichkeitsberechnungen und statistische Auswertung

Die scheinbaren praecaecalen Verdaulichkeiten (AID) für das Rohprotein (XP) und die Aminosäuren (AS) in den Versuchsrationen wurden mittels der Indikatormethode wie folgt berechnet:

$$D_D = 100 \% - [(I_D \times A_F) / (A_D \times I_F)] \times 100 \%$$

wobei D_D =AID von XP bzw. AS in der Versuchsdät (%), I_D =Markerkonzentration in der Versuchsration (g/kg TS), A_F =Gehalt an XP bzw. AS im Chymus (g/kg TS), A_D =Gehalt an XP bzw. AS in der Versuchsration (g/kg TS) und I_F =Markerkonzentration im Chymus (g/kg TS).

Die basalen endogenen Verluste und die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten des Kaseins wurden an denselben Versuchstieren im Anschluss an die Verdauungsversuche mit den Körnerleguminosen regressionsanalytisch bestimmt. Die Tiere erhielten drei im Kaseingehalt gestaffelte Rationen (75; 150; 225 g/kg XP (FS)). Mittels linearer Regression zwischen scheinbar verdaulichen Gehalten und Gesamtgehalten an Rohprotein und Aminosäuren in der Ration ließen sich die basalen praecaecalen endogenen Verluste an Rohprotein und Aminosäuren und die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten in Kasein bestimmen. Durch mathematische Extrapolation der Aminosäuregehalte in der Ration auf einen Rohprotein- und Aminosäuregehalt von 0 g/kg konnten die basalen praecaecalen endogenen Verluste geschätzt werden. Die standardisierten praecaecalen

Verdaulichkeiten lassen sich von der Steigung der linearen Regression direkt ableiten (FAN et al. 1995, FAN und SAUER 1997, RODEHUTSCORD et al. 2004).

Die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten (SID) für das Rohprotein und die Aminosäuren in den Versuchsrationen wurden mittels Korrektur um die basalen endogenen Verluste anhand folgender Gleichung ermittelt:

$$SID_D = AID_D + (IAAL_B / XP_D \text{ oder } AS_D) \times 100 \%$$

wobei SID_D = SID von XP bzw. AS in der Versuchsration (%), AID_D = AID von XP bzw. AS in der Versuchsration (%), $IAAL_B$ = basale praecaecale endogene Verluste an XP bzw. AS (g/kg TS-Aufnahme) und XP_D oder AS_D = Gehalt an XP bzw. AS in der Versuchsration (g/kg TS).

Für die ergänzten kristallinen Aminosäuren (Lysin, Methionin, Cystin und Threonin) wurde eine vollständige praecaecale Verdaulichkeit angenommen. Die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten für das Rohprotein und die Aminosäuren im jeweiligen Testfuttermittel wurde als Differenz zur standardisierten praecaecalen Verdaulichkeit von Kasein wie folgt berechnet:

$$SID_A = (SID_D - SID_B \times C_B) / C_A$$

wobei C_B = Anteil an XP bzw. AS aus dem Kasein in der Versuchsration (%) und C_A = Anteil an XP bzw. AS aus dem Testfuttermittel in der Versuchsration (%).

Zur Analyse der Daten wurde das MIXED Procedure von SAS (2003) verwendet. Behandlung und Versuchsdurchgang wurden als fixe Faktoren und der Einfluss zwischen Behandlung, Tier und Periode als zufällige Faktoren betrachtet. Es wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0.05$ festgelegt.

4. Ergebnisse und Diskussion

In der Tabelle 8 sind die standardisierten praecaecalen Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten für die untersuchten Körnerleguminosenarten sowie das Sojaextraktionsschrot (SES) dargestellt. Sojaextraktionsschrot als Referenzfuttermittel weist im Vergleich zu Erbsen und Ackerbohnen konstant höhere ($p < 0.05$) Verdauungswerte für Rohprotein und die untersuchten Aminosäuren auf, während im Vergleich zu Lupinen für das Rohprotein und einige Aminosäuren nur

numerisch höhere Verdauungskoeffizienten ermittelt wurden. Innerhalb der untersuchten heimischen Körnerleguminosen ergibt sich für die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren eine Rangierung Lupinen > Erbsen > Ackerbohnen, wobei diese Unterschiede in vielen Fällen signifikant sind. Die ermittelten mittleren standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten stimmen im Wesentlichen mit den Angaben der DEGUSSA (2004) überein.

Tab. 8: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeiten (%) des Rohproteins und der Aminosäuren aus Körnerleguminosen und Sojaextraktiosschrot (SES)
SID (%) of crude protein and amino acids in legume seeds and soybean meal (SES)

	Ackerbohnen	Erbsen	Lupinen	SES
Rohprotein	76 ± 0,8 ^a	80 ± 0,8 ^b	86 ± 0,9 ^c	88 ± 1,8 ^c
Lysin	82 ± 0,7 ^a	85 ± 0,7 ^b	87 ± 0,7 ^b	91 ± 1,5 ^c
Methionin	67 ± 1,3 ^a	77 ± 1,4 ^b	81 ± 1,5 ^c	93 ± 3,0 ^d
Cystin	58 ± 1,4 ^a	68 ± 1,4 ^b	83 ± 1,5 ^c	84 ± 3,1 ^c
Threonin	74 ± 1,1 ^a	76 ± 1,1 ^a	83 ± 1,2 ^b	87 ± 2,4 ^b
Tryptophan	61 ± 1,4 ^a	68 ± 1,4 ^b	80 ± 1,5 ^c	87 ± 3,1 ^d
Arginin	87 ± 0,5 ^a	90 ± 0,5 ^b	95 ± 0,5 ^c	95 ± 1,1 ^c
Histidin	79 ± 0,8 ^a	82 ± 0,8 ^b	88 ± 0,8 ^c	90 ± 1,8 ^c
Isoleucin	80 ± 0,8 ^a	82 ± 0,8 ^a	88 ± 0,8 ^b	93 ± 1,7 ^c
Leucin	79 ± 0,7 ^a	80 ± 0,8 ^a	87 ± 0,8 ^b	91 ± 1,7 ^b
Phenylalanin	80 ± 0,7 ^a	82 ± 0,7 ^b	87 ± 0,7 ^c	91 ± 1,6 ^d
Valin	76 ± 0,9 ^a	78 ± 0,9 ^a	84 ± 0,9 ^b	90 ± 2,0 ^c

^{abc} Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Arten (p<0.05)

Die teilweise niedrigen standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten der schwefelhaltigen Aminosäuren sowie von Tryptophan aus Ackerbohnen und Erbsen sind auf methodische Schwächen bei der Anwendung der Differenzmethode zur Verdaulichkeitsbestimmung zurückzuführen (KNABE et al., 1989). Ackerbohnen und Erbsen weisen extrem geringe Gehalte an schwefelhaltigen Aminosäuren sowie Tryptophan auf. Daraus resultiert ein geringer Anteil dieser Aminosäuren an den Gesamtgehalten in der Versuchsration, so dass jede Veränderung der standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten dieser Aminosäuren in der Gesamtration einen beträchtlichen Einfluss auf die Verdaulichkeit der betreffenden Aminosäuren im Testfuttermittel ausübt (KNABE et al. 1989). Die relativ niedrigen standardisierten

praecaecalen Verdaulichkeiten der schwefelhaltigen Aminosäuren und Tryptophan aus Erbsen und Ackerbohnen spiegeln also möglicherweise einen Versuchsfehler wider.

4.1. Ackerbohnen

In der Tabelle 9 werden die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren aus Ackerbohnen zusammenfassend dargestellt. Die weiß blühenden Sorten Aurelia und Gloria weisen generell höhere Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten auf als die bunt blühenden Sorten. Mit Ausnahme der bunt blühenden Sorte Divine, die eine Mittelstellung zwischen den weiß und bunt blühenden Sorten einnimmt, sind diese Unterschiede (Ausnahme: Lysin) signifikant. Die Rohproteinverdaulichkeiten der weiß blühenden Sorten Gloria und Aurelia liegen um 5 bis 12 Prozentpunkte über den Vergleichswerten der Sorten Limbo, Fuego und Espresso. Für einzelne Aminosäuren ergeben sich noch größere Differenzen.

Tab. 9: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeiten (%) des Rohproteins und der Aminosäuren in unterschiedlichen Ackerbohnsorten
Standardised ileal digestibilities (%) of crude protein and amino acids in different cultivars of faba beans

	Weiß blühende Sorten		Bunt blühende Sorten			
	Gloria	Aurelia	Divine	Limbo	Fuego	Espresso
Rohprotein	80 ^{ab}	82 ^a	80 ^{ab}	75 ^c	71 ^d	70 ^d
Lysin	84 ^{ab}	88 ^a	84 ^b	81 ^{bc}	79 ^c	78 ^c
Methionin	78 ^a	79 ^a	67 ^b	62 ^{bc}	61 ^{bc}	58 ^c
Cystin	63 ^a	67 ^a	63 ^a	53 ^b	53 ^b	49 ^b
Threonin	80 ^a	81 ^a	77 ^{ab}	72 ^{bc}	68 ^{cd}	67 ^d
Tryptophan	70 ^a	71 ^a	66 ^a	55 ^b	53 ^b	53 ^b
Arginin	90 ^{ab}	91 ^a	89 ^b	86 ^c	84 ^{cd}	83 ^d
Histidin	84 ^a	86 ^a	80 ^b	76 ^c	73 ^c	73 ^c
Isoleucin	85 ^a	86 ^a	81 ^b	76 ^c	76 ^c	74 ^c
Leucin	84 ^a	85 ^a	82 ^a	77 ^b	75 ^b	74 ^b
Phenylalanin	85 ^a	85 ^a	82 ^a	77 ^b	75 ^b	74 ^b
Valin	82 ^a	83 ^a	79 ^b	73 ^c	71 ^c	71 ^c

^{abc} Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten (p<0.05)

Offensichtlich besteht zwischen den standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten der einzelnen Sorten und ihrem Tanningehalt eine enge Beziehung, d. h. steigende Tanningehalte verursachen eine Depression der Verdauungswerte. Tannine sind in der Lage unverdauliche Komplexe sowohl mit Futterproteinen als auch mit Verdauungsenzymen zu bilden (JANSMAN und LONGSTAFF, 1993). Die weiß blühenden Ackerbohnsorten sind tanninfrei, die bunt blühende Sorte Divine weist nur einen sehr geringen Tanningehalt von 0,21 % (TS) auf, während die Tanningehalte der übrigen bunt blühenden Sorten Limbo, Fuego und Espresso im Bereich von 0,42 bis 0,74 % (TS) rangieren. Daraus ergibt sich für die Sorte Divine ein Tanningehalt von 0,09 % (TS) in der Versuchsration und für die Sorten Limbo, Fuego und Espresso Tanningehalte von 0,18 bis 0,30 % (TS) in den Versuchsrationen. Nach HUISMAN und TOLMAN (2001) führt bei Ferkeln ein Anstieg des Tanningehaltes in der Gesamtration von 0,06 auf 1,20 % (TS) zu einer signifikanten Reduzierung der scheinbaren praecaecalen Rohproteinverdaulichkeit um 10 Prozentpunkte.

4.2. Futtererbsen

In der Tabelle 10 werden die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren aus Erbsen zusammenfassend dargestellt.

Die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten der Sorte Hardy sind im Vergleich zu den Sorten Santana und Rocket für das Rohprotein und die meisten Aminosäuren signifikant niedriger, wobei die Unterschiede im Bereich von 3 bis 8 Prozentpunkten liegen. Es ist bekannt, dass Unterschiede in den Gehalten an Nicht-Stärke-Polysacchariden von Erbsen eine geringere scheinbare praecaecale Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit aufgrund von Unterschieden im Wasserbindungs- und Quellvermögen (Pektine), der Passagerate oder der endogenen Protein- und Aminosäurenverluste, beim Schwein induzieren können (BRENES et al. 2004; CANIBE und BACH-KNUDSEN 2001; FAN und SAUER, 1999). Diese Befunde lassen sich jedoch nicht durch die hier erfassten analytischen Kenngrößen für Zellwandbestandteile erklären.

Da es sich bei den Erbsen ausschließlich um weiß blühende tanninfreie Sorten handelt, kann auch ein Einfluss des Tanningehaltes auf die Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten ausgeschlossen werden. Gleiches gilt auch für einen möglichen Einfluss der TIA auf die praecaecalen Verdauungswerte. Trypsininhibitoren hemmen die Aktivität proteolytischer Enzyme im Gastrointestinaltrakt (PUSZTAI et al., 2004). In Untersuchungen mit wachsenden

Schweinen konnten GROSJEAN et al. (2000) bei steigenden Gehalten an Trypsininhibitoren einen negativen Einfluss auf die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten nachweisen. Hierbei wurden weiß blühende Erbsen mit TIA von 4,7 bis 26,1 mg TI/g XP eingesetzt, was 0,94 bis 5,12 mg TI/g TS in der Versuchsration entspricht. In den vorliegenden Untersuchungen wiesen die verwendeten Erbsen maximale TIA von 5,0 mg TI/g XP auf, woraus sich eine Konzentration von 0,56 mg TI/g TS in der Versuchsration ergibt. Offensichtlich wurden durch diese Konzentration die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren nicht beeinträchtigt. Dies wird durch eine Studie von HUISMAN und TOLMAN (2001) bestätigt, wonach bei Mastschweinen TIA von 0,5 mg TI/g TS in der Ration keine negativen Auswirkungen auf die praecaecalen Verdauungswerte ausüben. Diese Autoren empfehlen daher maximale Gehalte an Trypsininhibitoren von 0,5 mg TI/g TS in Rationen für Mastschweine.

Tab. 10: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeiten (%) des Rohproteins und der Aminosäuren in unterschiedlichen Futtererbsensorten
Standardised ileal digestibilities (%) of crude protein and amino acids in different cultivars of peas

	Jutta	Harnas	Phönix	Rocket	Santana	Hardy
Rohprotein	79 ^{ab}	79 ^{ab}	79 ^{ab}	82 ^a	82 ^a	77 ^b
Lysin	84 ^{ab}	85 ^{ab}	85 ^{ab}	86 ^{ab}	87 ^a	84 ^b
Methionin	77	75	78	77	80	74
Cystin	69 ^{ab}	69 ^{ab}	66 ^{ab}	69 ^{ab}	72 ^a	65 ^b
Threonin	76 ^{ab}	76 ^{ab}	76 ^{ab}	78 ^{ab}	78 ^a	73 ^b
Tryptophan	67 ^{ab}	68 ^{ab}	69 ^a	70 ^a	70 ^a	63 ^b
Arginin	90 ^a	88 ^b	90 ^{ab}	91 ^a	90 ^a	88 ^b
Histidin	81 ^{ab}	83 ^a	82 ^{ab}	83 ^a	84 ^a	79 ^b
Isoleucin	82 ^{ab}	81 ^{bc}	82 ^{ab}	83 ^{ab}	85 ^a	78 ^c
Leucin	80 ^{ab}	80 ^{ab}	81 ^a	82 ^a	82 ^a	77 ^b
Phenylalanin	81 ^{ab}	81 ^{ab}	82 ^{ab}	84 ^a	83 ^a	80 ^b
Valin	77 ^{ab}	79 ^{ab}	78 ^{ab}	81 ^a	81 ^a	75 ^b

^{abc} Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten (p<0.05)

4.3. Lupinen

In der Tabelle 11 werden die standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten des Rohproteins und der Aminosäuren aus Lupinen zusammenfassend dargestellt. Die

standardisierten praecaecalen Verdaulichkeiten für das Rohprotein und alle Aminosäuren der Sorte Idefix sind signifikant bis zu 12 Prozentpunkte niedriger im Vergleich zur Sorte Probor.

Tab. 11: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeiten (%) des Rohproteins und der Aminosäuren in unterschiedlichen Lupinensorten
Standardised ileal digestibilities (%) of crude protein and amino acids in different cultivars of lupins

	Bornal	Boregine	Boruta	Probor	Idefix
Rohprotein	87 ^{ab}	85 ^b	85 ^b	89 ^a	84 ^b
Lysin	87 ^{ab}	87 ^a	86 ^{ab}	89 ^a	84 ^b
Methionin	83 ^a	82 ^a	82 ^a	83 ^a	71 ^b
Cystin	88 ^a	81 ^{ab}	82 ^{ab}	85 ^a	77 ^b
Threonin	85 ^a	82 ^{ab}	83 ^{ab}	87 ^a	78 ^b
Tryptophan	81 ^{ab}	79 ^b	80 ^b	86 ^a	77 ^b
Arginin	95 ^{ab}	94 ^b	94 ^{ab}	96 ^a	93 ^b
Histidin	88 ^b	87 ^b	88 ^b	91 ^a	86 ^b
Isoleucin	88 ^{ab}	88 ^b	87 ^b	92 ^a	86 ^b
Leucin	88 ^{ab}	87 ^{bc}	87 ^b	91 ^a	84 ^c
Phenylalanin	87 ^b	87 ^b	87 ^{ab}	90 ^a	84 ^b
Valin	84 ^{ab}	84 ^{ab}	84 ^{ab}	88 ^a	81 ^b

^{abc} Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten (p<0.05)

Alle untersuchten Lupinensorten weisen einen Gesamtalkaloidgehalt von <0,03 % (TS) auf. Daraus ergeben sich Alkaloidgehalte von maximal 0,01 % (TS) in der Versuchsration. Nach ALLEN (1998) liegt die Toxizitätsgrenze für Lupinenalkaloide beim Schwein bei 0,033 % (TS) in der Ration. Daher kann generell ein Einfluss des Alkaloidgehaltes auf die Verdauungswerte ausgeschlossen werden.

Obwohl die Sorte Probor mit 2,9 mg TI/g XP unter den Lupinen die höchste TIA aufweist, was einer TIA von 0,38 mg TI/g TS in der Versuchsration entspricht, ist kein negativer Effekt auf die Verdauungswerte für das Rohprotein und die Aminosäuren erkennbar. Dieser Befund befindet sich in Übereinstimmung mit dem bereits zitierten Grenzwert von 0,5 mg TI/g TS in der Gesamtration oberhalb dessen erst eine Verdauungsdepression zu erwarten ist (HUISMAN und TOLMAN, 2001).

Die Lupinen weisen im Vergleich zu den übrigen untersuchten Körnerleguminosen deutlich höhere Gehalte an Zellwandbestandteilen (Rohfaser, ADF, NDF, ADL) auf, was durch Literaturbefunde bestätigt wird (BRENES et al., 2004). Diese

Zellwandbestandteile können in Abhängigkeit von der Varietät und/oder Sorte aus unterschiedlichen Kohlenhydraten zusammengesetzt sein (CHEUNG, 1990), so dass eine Beeinflussung der Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeit aufgrund bestimmter physikalischer Eigenschaften (Quellvermögen, Wasserbindungskapazität) dieser Fraktionen möglich sein könnte. Dieser Zusammenhang lässt sich jedoch durch die erfassten analytischen Kenngrößen nicht bestätigen.

5. Schlussfolgerungen

Die Mittelwerte für die standardisierten praecaecalen Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten in den untersuchten Körnerleguminosen stimmen im Wesentlichen mit Literaturangaben überein. Sortenspezifische Differenzen in den Verdauungswerten lassen sich teilweise durch das Vorhandensein anti-nutritiver Inhaltsstoffe erklären. Speziell bei den untersuchten Ackerbohnsorten besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Tanningehalt der einzelnen Sorten und ihrer geringeren Verdaulichkeit. Offensichtlich wirken sich bereits geringe Tanningehalte von $>0,18\%$ (TS) in der Ration deutlich negativ auf die standardisierten praecaecalen Rohprotein- und Aminosäurenverdaulichkeiten beim Schwein aus. In dieser Hinsicht sind mit Ausnahme der Sorte Divine die weiß blühenden den bunt blühenden Sorten eindeutig überlegen. Die Erbsen zeichnen sich durch eine vergleichsweise geringe Variation der praecaecalen Verdauungswerte aus; lediglich für die Sorte Hardy wurden deutlich niedrigere Verdauungskoeffizienten ermittelt. Die gleiche Einschränkung bei den Lupinen betrifft die Sorte Idefix, die ebenfalls gegenüber den anderen Lupinensorten im Nachteil ist, vor allem im Vergleich zur Sorte Probor. Von einzelnen sortenspezifischen Unterschieden abgesehen, zeichnen sich die ermittelten standardisierten praecaecalen Verdauungswerte für das Rohprotein und die Aminosäuren in sortenreinen Herkünften von Körnerleguminosen durch eine relativ geringe Streuung aus. Dies ermöglicht eine sichere Einschätzung des Proteinwertes von Körnerleguminosen bei der praktischen Formulierung von Rationen für Schweine.

Danksagung

Die Autoren danken der UFOP e.V., Berlin, für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprojektes.

6. Literaturverzeichnis

- A.O.C.S. (1990): Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, A.O.C.S., Official Method BA 12-75-Trypsin Inhibitor Index.
- ALLEN, J. G. (1998): Toxins and lupinosis. In: Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization, Gladstones, J. S., Atkins, C. A., Hamblin, J. (Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp. 411-435.
- BRANDT, M., ALLAM, S. M. (1987): Analytik von TiO_2 im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluss. Arch. Anim. Nutr. 37:453-454.
- BRENES, A., JANSMAN, A. J. M., MARQUARDT, R. R. (2004): Recent progress on research on the effects of antinutritional factors in legume and oil seeds in monogastric animals. In: Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds and Oilseeds, Proceedings of the 4th International Workshop on Antinutritional Factors in Legume Seeds and Oilseed, Muzquiz, M., Hill, G. D., Cuadrado, C., Pedrosa, M. M., Burbano C. (Eds.), Wageningen Academic Publisher, Wageningen, The Netherlands. Pp. 195-217.
- CANIBE, N., BACH-KNUDSEN, K. E. (2001): Degradation and physicochemical changes of barley and pea fibre along the gastrointestinal tract of pigs. J. Sci. Food Agric. 82:27-39.
- CHEUNG, P. C. K. (1990): The carbohydrates of *Lupinus angustifolius*. A composite study of the seeds and structural elucidation of the kernel cell wall polysaccharides of *Lupinus angustifolius*. PhD Thesis, University of New South Wales.
- DEGUSSA (2001): The amino acid composition of feedstuffs. 5th completely revised edition. Degussa AG Feed Additives, Hanau-Wolfgang, Germany.
- DEGUSSA (2004): Gesamt- und standardisiert ileal verdauliche Aminosäuren für Schweine. Degussa AG Feed Additives, Hanau-Wolfgang, Germany.
- DLG (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT) (1999): Kleiner Helfer für die Berechnung von Futterrationen – Wiederkäuer und Schweine. 10. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- FAN, M. Z., SAUER, W. C., MCBURNEY, M. I. (1995): Estimation by regression analysis of endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs. J. Anim. Sci. 73:2319-2328.
- FAN, M. Z., SAUER, W. C. (1997): Determination of true ileal amino acid digestibility in feedstuffs for pigs with the linear relationships between distal ileal outputs and dietary inputs of amino acids. J. Sci. Food Agric. 73:189-199.
- FAN, M. Z., SAUER, W. C. (1999): Variability of apparent ileal amino acid digestibility in different pea samples for growing-finishing pigs. Can. J. Anim. Sci. 79:467-475.
- FONTAINE, J. (2003): Amino acid analysis of feeds. In: Amino Acids in Animal Nutrition, D'Mello, J. P. F. (Ed.), CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp. 15-40.

- GfE (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE) (2002): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen: Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren beim Schwein – Empfehlungen zur standardisierten Versuchsdurchführung. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 11:233-245.
- GfE (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE) (2005): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen: Standardisierte praecaecale Verdaulichkeit von Aminosäuren in Futtermitteln für Schweine – Methoden und Konzepte. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 14:185-205.
- GfE (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE) (2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. 1. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- GRIFFITHS, D. W. (1984): The trypsin and chymotrypsin inhibitor activities of various pea (*Pisum spp.*) and field bean (*Vicia faba*) cultivars. J. Sci. Food Agric. 35:481-486.
- GROSJEAN, F., JONDREVILLE, C., WILLIATTE-HAZOUARD, I., SKIBA, F., CARROUÉE, B., GATEL, F. (2000): Ileal digestibility of protein and amino acids of feed peas with different trypsin inhibitor activity in pigs. Can. J. Anim. Sci. 80:643-652.
- HUISMAN, J., TOLMAN, G.H. (2001): Antinutritional factors in the plant proteins of diets for non-ruminants. In: Recent Developments in Pig Nutrition 3, Garnsworthy, P. C., Wiseman, J. (Eds.), Nottingham University Press, Nottingham, UK. Pp. 261-291.
- JANSMAN, A. J. M., LONGSTAFF, M. (1993): Nutritional effects of tannins and vicine/convicine in legume seeds. In: Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds, Proceedings of the 2nd International Workshop, Van der Poel, A. F. B., Huisman, J., Saini, H. S. (Eds.), Wageningen Pers., Wageningen, The Netherlands. Pp. 301-316.
- KASPROWICZ, M., FRANKIEWICZ, A. (2004): Apparent and standardized ileal digestibility of protein and amino acids of several field bean and pea varieties in growing pigs. J. Anim. Feed Sci. 13:463-473.
- KNABE, D. A., LARUE, D. C., GREGG, E. J., MARTINEZ, G. M., TANKSLEY, JR. T. D. (1989): Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. J. Anim. Sci. 67:441-458.
- LI, S., SAUER, W. C., FAN, M. Z. (1993): The effect of dietary crude protein level on ileal and fecal amino acid digestibility in early-weaned pigs. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 70:117-128.
- MAKKAR H. P. S., BLÜMMEL, M., BOROWY, K., BECKER, K. (1993): Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. J. Sci. Food Agric. 61:161-165.
- MAKKAR, H., BECKER, K., ABEL, E., PAWLZIK, E. (1997): Nutrient contents, rumen protein degradability and antinutritional factors in some colour- and white- flowered cultivars of *Vicia faba* beans. J. Sci. Food Agric. 75:511-520.

- MARQUARDT, R. R., FRÖHLICH, A. A. (1981): Rapid reversed-phase high-performance liquid chromatographic method for the quantification of vicin, convicin and related compounds. *J. Chromat.* 208:373-379.
- NAUMANN, C., BASSLER, R. (1997): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Methodenbuch, Bd. III mit Ergänzungslieferungen 1983, 1988 und 1993. Verlag VDLUFA, Darmstadt.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL) (1998): Nutrient requirement of swine. 10th edition, National Academy Press, Washington D. C.
- PETTERSON, D. S., MACKINTOSH, J.B. (1994): The chemical composition and nutritive value of Australian grain legumes. Grains Research and Development Corporation, Canberra.
- PETTERSON, D. S. (1998): Composition and food uses of lupins. In: *Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization*, Gladstones, J. S., Atkins, C. A., Hamblin, J. (Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp. 353-384.
- PUSZTAI, A., BARDOCZ, S., MARTIN-CABREJAS, M. A. (2004): The mode of action of ANFs on the gastrointestinal tract and its microflora In: *Proceedings 4th International Workshop on Antinutritional Factors in Legume Seeds and Oilseeds*. Muzquiz, M., Hill, G. D., Cuadrado, C., Pedrosa, M. M., Burbano C., (Eds.), Wageningen Academic Publisher, Wageningen, The Netherlands. Pp. 87-100.
- RODEHUTSCORD, M., KAPOCIUS, M., TIMMLER, R., DIECKMANN, A. (2004): Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *Br. Poultry Sci.* 45:85-92.
- ROTH-MAIER, D. A., KIRCHGESSNER, M. 1993: Nährstoffzusammensetzung und Futterwerte verschiedener weißer und gelber Lupinen (*Lupinus albus L.* und *Lupinus luteus L.*) für Schwein und Geflügel. *Agrarbiol. Res.* 46:218-228.
- SAS (2003): SAS/STAT. User's Guide, Version 9.1. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- SIMON, A. (2004): Praecaecale Aminosäurenverdaulichkeit von Ackerbohnen und blauen Lupinen bei Broilern. *UFOP-Schriften, Heft 24, UFOP, Berlin*. Pp. 15-34.
- TEI, A., WINK, M. (1999): Isolation and identification of quinolizidine alkaloids in lupins by GLC-MS. In: *Lupin, an Ancient Crop for the New Millennium: Proc. 9th Int. Lupin Conference*, Van Santen, E., Wink, M., Weissmann, S., Römer, P. (Eds.), International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. Pp. 273-277.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- ZDUNCZYK, Z., JUSKIEWICZ, S., FREJNAGEL, S., FLIS, M., GODYCKA. (1994): Chemical composition of the cotyledons and seed coat and nutritional value of whole and hulled seeds of yellow lupin. *J. Anim. Feed Sci.* 3:141-148.

Anhang

Tab. I: Gehalte der Ackerbohnsensorten an Aminosäuren (g/16 g N)
Amino acid contents in faba beans (g/16 g N)

	Weiß blühende Sorten		Bunt blühende Sorten			
	Gloria	Aurelia	Divine	Limbo	Fuego	Espresso
Lysin	6,14	6,02	6,16	6,05	6,34	6,42
Methionin	0,65	0,64	0,67	0,63	0,69	0,67
Cystin	1,19	1,21	1,17	1,19	1,23	1,19
Threonin	3,29	3,34	3,60	3,39	3,50	3,47
Tryptophan	0,80	0,86	0,87	0,85	0,89	0,88
Arginin	9,74	9,74	10,26	9,32	8,54	8,84
Histidin	2,52	2,55	2,50	2,57	2,64	2,66
Isoleucin	4,13	4,04	3,93	3,86	4,05	4,03
Leucin	7,15	7,13	7,33	6,99	7,13	7,22
Phenylalanin	4,16	4,14	4,23	4,08	4,29	4,35
Valin	4,42	4,46	4,36	4,27	4,49	4,56

Tab. II: Gehalte der Futtererbsensorten an Aminosäuren (g/16 g N)
Amino acid contents in peas (g/16 g N)

	Jutta	Harnas	Phönix	Rocket	Santana	Hardy
Lysin	6,85	7,11	7,34	7,28	7,34	7,28
Methionin	0,88	0,90	0,89	0,87	0,91	0,98
Cystin	1,38	1,41	1,42	1,18	1,43	1,52
Threonin	3,58	3,69	3,61	3,50	3,61	3,75
Tryptophan	0,92	0,94	0,93	0,87	0,95	0,98
Arginin	9,69	9,11	8,43	9,13	9,04	8,49
Histidin	2,42	2,47	2,55	2,24	2,54	2,50
Isoleucin	3,92	4,04	4,34	4,17	4,28	4,20
Leucin	6,85	7,07	7,17	7,13	7,18	7,01
Phenylalanin	4,46	4,55	4,86	4,80	4,76	4,73
Valin	4,46	4,59	4,74	4,65	4,76	4,73

Tab. III: Gehalte der Lupinensorten und des Sojaextraktionsschrotes (SES) an Aminosäuren (g/16 g N)

Amino acid contents in lupins and soy bean meal (SES) (g/16 g N)

	Bornal	Boregine	Boruta	Probor	Idefix	SES
Lysin	4,54	4,49	4,86	4,67	4,52	5,88
Methionin	0,55	0,59	0,62	0,53	0,55	1,24
Cystin	1,72	1,45	1,53	1,43	1,18	1,37
Threonin	3,01	3,29	3,63	3,47	3,27	3,70
Tryptophan	0,69	0,86	0,88	0,85	0,84	1,28
Arginin	10,43	10,84	12,15	12,94	10,75	7,36
Histidin	2,42	2,56	2,77	2,73	2,48	2,70
Isoleucin	3,49	3,79	4,16	4,08	3,95	4,57
Leucin	6,58	6,50	7,16	7,06	6,46	7,43
Phenylalanin	3,60	3,76	4,16	4,16	3,90	4,83
Valin	3,28	3,79	4,10	3,82	3,76	4,88