



**Universität Rostock**  
**Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät**  
**Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie**

**Schlussbericht zum Projekt 03HS002**

**Die Silierung von Körnern der großsamigen Leguminosen als  
Verfahren der Konservierung und der Verbesserung ihres  
ernährungsphysiologischen Wertes für Monogastrier**

Laufzeit: 1.7.2005 bis 31.12.2008

*Projektleiter: Prof. Dr. Annette Zeyner*

*Dr. Edda Maria Ott*

*Dr. Wolfgang Hackl*

*Bearbeiter: Dipl.-Ing. agr. Annett Gefrom*

*Rostock, im Dezember 2008*

## Inhaltsverzeichnis

	- Seite -	
<b>1</b>	<b>Ziele und Aufgabenstellung des Projektes</b>	4
<b>1.1</b>	<b>Planung und Ablauf des Projektes</b>	5
<b>1.2</b>	<b>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</b>	5
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	12
<b>2.1</b>	<b>Material, Probengewinnung und Probenaufbereitung</b>	12
2.1.1	Reife, lagertrockene Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner	12
2.1.2	Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten bei Ernte mit hohen Restfeuchtegehalten	12
<b>2.2</b>	<b>Prüfung der Vergärbarkeit von Körnern verschiedener Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten</b>	14
2.2.1	Rostocker Fermentationstest nach PIEPER <i>et al.</i> (1989) und ZIERENBERG (2000)	14
2.2.2	Modellsilagen	15
2.2.2.1	Methode	
2.2.2.2	Modellsilagen aus rückbefeuchtetem Körnerschrot (Screening verschiedener Milchsäurebakterienpräparate)	15
2.2.2.3	Modellsilagen aus mit hohem Restfeuchtegehalt geernteten Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern	16
<b>2.3</b>	<b>Chemische Analysen</b>	16
2.3.1	Probenaufbereitung	16
2.3.2	Charakterisierung der chemischen Silierparameter und Bestimmung der nutritiven Inhaltsstoffe	17
2.3.3	Analyse der antinutritiven Inhaltsstoffe	18
2.3.4	Bestimmung der Gärprodukte und Osmolalität	19
<b>2.4</b>	<b>Statistische Auswertung für die Untersuchungen mit lagertrockenen bzw. feucht geernteten Körnern und den resultierenden Silagen</b>	21
<b>2.5</b>	<b>Fütterungsversuche</b>	21
2.5.1	Allgemein	21
2.5.2	Broilermastversuche (Gruppenfütterung)	24
2.5.2.1	Versuchsdurchführung	24
2.5.2.2	Versuchsverlauf	26
2.5.2.3	Versuchsauswertung, Statistik	27
2.5.3	Ferkelaufzuchtversuche (Einzelfütterung)	27
2.5.3.1	Versuchsdurchführung	27
2.5.3.2	Versuchsverlauf	29
2.5.3.3	Versuchsauswertung, Statistik	29
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	30
<b>3.1</b>	<b>Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse</b>	30
3.1.1	Chemische Untersuchung reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten zur Charakterisierung des Gehaltes an Futterwert bestimmenden Inhaltsstoffen	30
3.1.2	Chemische Bestimmung der Siliereigenschaften reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten	35
3.1.3	<i>In-vitro</i> -Untersuchung der potentiellen Vergärbarkeit reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten (Rostocker Fermentationstest)	36

3.1.3.1	Auswertung der pH-Wert-Verläufe	36
3.1.3.2	Analytik der Gärprodukte sowie Bestimmung des Verlaufs der Osmolalität in den Filtraten des Rostocker Fermentationstests (RFT)	39
3.1.4	Leistungsfähigkeit verschiedener Milchsäurebakterienpräparate im Silierprozeß (Silierung reifer, lagertrockener Leguminosenkörner)	41
3.1.4.1	Säuerungsvermögen	
3.1.4.2	Reduzierung antinutritiver Substanzen im Silierprozeß	43
3.1.5	Bereitung von Modellsilagen aus mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten zur Bestimmung des für Milchsäuregärung und enzymatische Umsetzungen notwendigen Wassers	46
3.1.5.1	Charakterisierung des Ausgangsmaterials	46
3.1.5.2	Gärbiologische Qualität von Modellsilagen aus mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörnern	48
3.1.5.3	Bestimmung der aeroben Stabilität	52
3.1.6	Auswirkungen der Silierung auf den Futterwert	53
3.1.6.1	Nutritive Inhaltsstoffe	53
3.1.6.2	Antinutritive Inhaltsstoffe	57
3.1.7	Fütterungsversuche mit wachsenden Schweinen und Broilern	60
3.1.7.1	Broilermastversuche	60
3.1.7.2	Ferkelaufzuchtversuche	62
3.1.7.3	Fazit	62
3.2	<i>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</i>	65
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	66
<b>5</b>	<b>Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen</b>	69
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	71
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	79

## Verzeichnis der Abkürzungen

ADF	Säure-Detergenzienfaser
ADL	Säure-Detergenzienlignin
As	Aminosäure
ASM	Ausgangsmaterial
DSM	Deutsche Stammsammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen
FM	Frischmasse
GC	Gaschromatographie
GP	Gesamtphenole
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
KCl	Kaliumchloridlösung
KbE	Koloniebildende Einheiten
KON	Kontrolle
KT	extrahierbare kondensierte Tannine
<i>L. angust.</i>	<i>Lupinus angustifolius</i>
MEL	Melasse
MS	Milchsäure
MSB	Milchsäurebakterien
NDF	Neutral-Detergenzienfaser
NT	Nicht-Tanninphenole
RFO	raffinose family of oligosaccharides (Raffinose, Stachyose, Verbascose)
RFT	Rostocker Fermentationstest nach PIEPER et al. (1989) und ZIERENBERG (2000)
TP	Tanninphenole
TS	Trockensubstanz
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Stärke
XZ	Zucker
Z/PK	Quotient aus Zucker und Pufferkapazität

## 1 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Körnerleguminosen wie Ackerbohne, Erbse und Lupine werden aufgrund ihrer hohen Energie- und Proteingehalte als wertvolles Futtermittel und gute einheimische Alternative zu Sojaprodukten angesehen. Bedingt durch die uneinheitliche Abreife der Bestände ist jedoch insbesondere bei feuchter Spätsommerwitterung von hohen Restfeuchtegehalten zur Ernte auszugehen. Für die langfristige Lagerung der Körner ist daher zum konventionellen Erntetermin eine kostenintensive technische Trocknung notwendig, welche aus arbeitsorganisatorischer Sicht (Schlagkraft, Schnelligkeit etc.) jedoch problematisch ist. Das Ziel der Arbeit bestand daher in der Erarbeitung von Grundlagen für Silierverfahren für Körner großsamiger einheimischer Leguminosen, um die Lagerfähigkeit des Erntegutes auch ohne Nachrocknung zu gewährleisten. Des Weiteren war zu prüfen, ob über die milchsäure Fermentation die Reduzierung ausgewählter antinutritiver Inhaltsstoffe möglich ist.

Die Silierung von Leguminosenkörnern mit hohem Restfeuchtegehalt böte eine kostengünstige Möglichkeit zur Bereitstellung wirtschaftseigener proteinreicher Konzentratfuttermittel. Da dieses Verfahren keiner chemischen Zusätze bedarf, wäre es auch in den Betrieben des ökologischen Landbaus anwendbar (EG-ÖKO-VERORDNUNG 2005).

Folgende **Arbeitshypothesen** waren im Rahmen des Projektes zu prüfen:

1. Leguminosenkörner von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen stellen aufgrund ihres hohen Energie- und Proteingehaltes ein wertvolles Futtermittel dar.
2. Körner großsamiger Leguminosen sind auch mit hohen Trockensubstanzgehalten (65 und 75 %) silierfähig.
3. Der Einsatz biologischer Silierhilfsmittel, wie Melasse und Milchsäurebakterienstarterkulturen, verbessert die Silierfähigkeit von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensamen.
4. Im Rahmen der milchsäuren Fermentation erfolgt über pflanzliche und mikrobielle Enzymwirkung eine Reduzierung der Gehalte bzw. Inaktivierung antinutritiver Inhaltsstoffe (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor und Tannine) und somit eine Verbesserung des Futterwertes der Silagen.
5. Es können höhere Anteile an Leguminosenkörnern als bislang empfohlen in der Ration für Monogastrier eingesetzt werden, wobei diese Anteile bei Silierung der Körner ohne negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit und -leistung weiter angehoben werden können.

Aus den Arbeitshypothesen wurde folgende **Aufgabenstellung** abgeleitet:

1. Chemische Analyse ausgewählter Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten zur Charakterisierung des Futterwertes (nutritive und antinutritive Inhaltsstoffe)
  - Analyse nutritiver Futterwertparameter (Weender Analyse, Aminosäuren, Detergentienfaserfraktionierung nach VAN SOEST)
  - Analyse antinutritiver Inhaltsstoffe (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor, Tannine)
2. Chemische Bestimmung der Siliereignung ausgewählter Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten zur Charakterisierung der potentiellen Vergärbarkeit
  - Analyse von Rohasche, Zucker- und Proteingehalt, Pufferkapazität, Z/PK-Quotient
3. In-vitro-Untersuchung (Rostocker Fermentationstest nach PIEPER *et al.* 1989 und ZIERENBERG 2000) zur Prüfung der potentiellen Vergärbarkeit von Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten
  - Analyse von pH-Wert, Gärssäuren und Alkoholen
  - Analyse der Osmolalität im Verlauf des Silierprozesses
4. Screening kommerziell verfügbarer Milchsäurebakterienpräparate unterschiedlicher Arten und Stämme
  - Wirkung verschiedener MSB-Präparate auf nutritive und antinutritive Inhaltsstoffe im Silierprozess (Modellsilagen)

5. Bereitung von Modellsilagen aus mit unterschiedlichen Trockensubstanzgehalten (65 und 75 %) geernteten Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten
  - Erprobung von Silierzusätzen (Milchsäurebakterien, Zuckerrübenmelasse)
  - Bestimmung der gärbioologischen Qualität nach Punkt 3
  - Bestimmung von Ammoniak und  $\alpha$ -Amno-N
  - Bestimmung der aeroben Stabilität der Modellsilagen nach 50 Tagen Lagerdauer (nach HONIG 1990)
  - Bestimmung der Auswirkungen der Silierung auf nutritive und antinutritive Inhaltsstoffe bei Verwendung verschiedener Silierzusätze
6. Einsatz von silierten Körnerleguminosen in Fütterungsversuchen
  - Fütterungsversuche mit wachsenden Schweinen und Broilern

### 1.1 Planung und Ablauf des Projektes

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte vom 1.7.2005 bis zum 31.12.2008, mit einer Förderpause im 2. Halbjahr 2007. Im ersten Versuchsjahr wurden der Futterwert, die chemischen Siliereigenschaften und in-vitro die potentielle Vergärbarkeit reifer, lagertrockener Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner untersucht sowie ein Screening zur Ermittlung eines für den Einsatz in Leguminosenkörnerschrotsilagen besonders geeigneten Milchsäurebakterienpräparates mit dem gleichen Material durchgeführt. Im Frühjahr und Sommer erfolgte parallel dazu der Anbau von 3 Lupinensorten sowie einer Erbsen- und einer Ackerbohnenart auf den Versuchsfeldern der Universität Rostock. Aus den mit hohem Restfeuchtegehalt geernteten Körnern wurden Modellsilagen bereitet. Im zweiten Versuchsjahr (2006) sowie im ersten Halbjahr 2007 wurden die Analysen zum Gärsäuremuster in den Filtraten des Rostocker Fermentationstestes sowie zur gärbioologischen Qualität der Modellsilagen vorgenommen. Des Weiteren mussten 2006 Anbau und Silierung der Ackerbohne aufgrund phytosanitärer Probleme im Vorjahr wiederholt werden. Im Versuchsjahr 2008 erfolgte die Durchführung und Auswertung der Fütterungsversuche mit Schweinen und Broilern in der Versuchsstation „Friedrich Harms“ der Universität Rostock in Dummerstorf.

### 1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

#### *Feuchtkonservierung von Leguminosenkörnern*

Körnerleguminosen werden, neben dem Anbau zur Gründüngung, als Grünfuttermittel bzw. zur Erzeugung von Ganzpflanzensilagen zumeist im Getreide-Leguminosengemenge angebaut. Üblicherweise werden die Pflanzen zur Silierung am Beginn der Teigreife geerntet.

Bei der Körnernutzung werden die Erntebestände oder einzelne Erntepartien aufgrund ungleichmäßiger Kornabreife und bei ungünstiger, instabiler Wetterlage in der Erntezeit häufig in einem nicht lagerfähigen Zustand (Restfeuchtegehalt > 12 %) geerntet (JEROCH 1993). Um der Kontamination des Futters mit Pilzen vorzubeugen sowie die Proteinqualität zu gewährleisten und somit eine verderbfreie und verlustarme Lagerung sicher zu stellen, ist daher ein zügiger und schonender, aber kostenintensiver Trocknungsprozess notwendig. Dies kann allerdings abhängig von der Trocknungskapazität auch Engpässe in der Erntekette fördern.

Neben der Trocknung stehen den Futterbau- und Veredelungsbetrieben bei innerbetrieblicher Nutzung des Erntegutes auch die Verfahren der Feuchtkornkonservierung zur Verfügung. Durch Kühlung, gasdichte Lagerung oder chemische Konservierung wird z.B. bei Getreide auf den energieaufwendigen Wasserentzug verzichtet (KASPERSSON *et al.* 1988; SANFTLEBEN & DRESCHEL 2002; JUNGBLUTH *et al.* 2005; MATTHIAS & PRIES 2006).

Die gasdichte Lagerung als kostengünstige Alternative erfolgte bisher hauptsächlich durch Einlagerung und Verdichtung im Fahrsilo (FÜRLI *et al.* 1997). Der Kontakt des feuchten Siliergutes mit Sauerstoff wird verhindert und es bildet sich eine Kohlendioxidatmosphäre, so

dass das Getreide nicht verdirbt. Diese Methode kann allerdings nur bis zu einem maximalen Feuchtegehalt des Getreides von 20 % eingesetzt werden (EIDELSBURGER *et al.* 2006).

Da die Bedingungen für die Silierung bzw. für eine CO<sub>2</sub>-Bildung nicht optimal sind, gelten Feuchten zwischen 20 und 30 % als kritisch (ZIMMER 1985, JUNGBLUTH 1989, JUNGBLUTH *et al.* 2005). Abbildung 1 zeigt das Prinzipschema der Feuchtkonservierung.

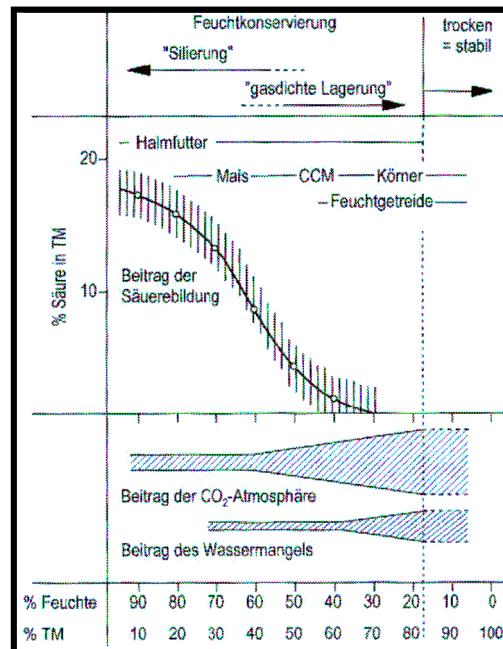


Abb. 1: Einflußfaktoren Feuchtkonservierung - Prinzipschema (Zimmer 1985)

Um den mikrobiellen Verderb der Leguminosenkörner bei Einlagerung mit Feuchtegehalten >14 % zu verhindern, ist bei unverdichteter Lagerung ein hoher Aufwand an Konservierungszusätzen notwendig. Um die Aktivität schädlicher Mikroorganismen zu unterbinden, werden bei der chemischen Konservierung ganzer oder geschroteter Körner Zusätze wie Natronlauge, Propionsäure, deren Salze oder Harnstoff verwendet. Diese Substrate sind hinsichtlich des Arbeits- und Gesundheitsschutzes zumeist problematisch. Des weiteren sind z.B. beim Verfahren mit Natronlauge die eingeschränkte Lagerdauer von maximal 6 Monaten und die ausschließliche Verwendbarkeit in der Wiederkäuerfütterung zu beachten. Auch mit Harnstoff konserviertes Getreide darf nur an Wiederkäuer verfüttert werden (Futtermittelverordnung, Anlage 1, Einzelfuttermittel, BGBl, I, § 596). Die Konservierung von ganzen Getreidekörnern erfolgt in der Regel im Flachlager. Bei geschrotetem Korn hat sich das Verfahren der Folienschlauchsilierung etabliert (MATTHIAS & PRIES 2006).

In verschiedenen Studien (IDLER & FUCHS 1995; SVIHUS *et al.* 1997; WOLF *et al.* 2001; PIEPER *et al.* 2006; STEINHÖFEL & WEBER 2006) wurde bereits die milchsäure Feuchtkornsilierung von Getreidekörnern bzw. Maisschrot für die Tierfütterung beschrieben, um den Kostenfaktor der technischen Trocknung zu umgehen. DUSKE (2002), FRASER *et al.* (2005a, b) und FERNANDEZ-OROZCO *et al.* (2007) schlossen dahingehend trotz der ungünstigen chemischen Vergärbarkeitsparameter von Lupinenkörnern erste erfolgreiche Studien zur Silierung von feuchtem Lupinenkörnerschrot unter Einsatz von Milchsäurebakterien an.

Die natürliche Fermentation ist eine der ältesten und kostengünstigsten Konservierungsformen und wird in der Futtermittel- und Lebensmittelproduktion weltweit angewandt. Verschiedene Leguminosen werden in der Lebensmittelproduktion bereits durch milchsäure Fermentation verarbeitet, um sie zu konservieren bzw. bessere Verzehreigenschaften zu erzielen (DESHPANDE *et al.* 2000). Die Silierung von feucht bzw. vor der Vollreife geernteten Leguminosenkörnern als

Form der Konservierung und Möglichkeit zur Bereitung hofeigener Futtermittel erscheint somit als lohnende Alternative zur technischen Trocknung des Erntegutes. Des Weiteren sind auch aus pflanzenbaulicher und technologischer Sicht Vorteile bei Ernte vor der Vollreife aufzuzeigen:

- Unabhängigkeit des Erntezeitpunktes vom Trockensubstanzgehalt
- frühe Feldräumung und damit effektivere Nutzung der Ackerflächen
- Minimierung der Feldverluste (Lager- und Druschverluste)

### **Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe im Gärprozess**

Die Verfütterung von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen unterliegt aufgrund ihrer antinutritiven Inhaltsstoffe Einsatzbegrenzungen. In vorangegangenen Arbeiten (MEYER *et al.* 2001) wird wiederholt auf diese Problematik hingewiesen und weiterführende Forschung im Hinblick auf die Reduzierung bzw. Inaktivierung wertmindernder Inhaltsstoffe gefordert. Zwischenzeitlich wurden erfolgreich Sorten mit geringen Gehalten an antinutritiven Inhaltsstoffen gezüchtet. Da die Ausprägung der Gehalte aber zum Teil stark durch Umwelteffekte beeinflusst wird, sind Einsatzbegrenzungen in der Fütterung erhalten geblieben. Der Gehalt an verschiedenen antinutritiven Inhaltsstoffen kann jedoch durch technische Aufbereitungsverfahren (mechanisch, chemisch oder hydrothermisch) wie Wässern, Extraktion, Kochen oder Ankeimen reduziert werden (BUTLER 1981; TRUGO 1994; BISHNOI *et al.* 1994; HURRELL 2002). Eine Kombination der Maßnahmen zur Reduzierung der antinutritiven Inhaltsstoffe wäre jedoch zu umfangreich und für die Tierernährung nicht praktikabel. Beim Kochen gingen zudem wertvolle Nährstoffe verloren. Daher wird vor allem die Zugabe von Enzymen wie Phytase,  $\alpha$ -Galactosidase oder Cellulase zur Hydrolyse verschiedener antinutritiver Inhaltsstoffe praktiziert (KOCHER *et al.* 2000; FRIAS *et al.* 2003a, b).

Einige Studien belegen die Reduzierung antinutritiver Faktoren während der natürlichen Fermentation und somit eine Aufwertung des Nährstoffniveaus (ZAMORA & FIELDS 1979; REDDY & PIERSON 1994; DESHPANDE *et al.* 2000; DOBLADO *et al.* 2003; KOSTINEK *et al.* 2007). Des Weiteren werden Milchsäurebakterien bei Lebens- und Futtermitteln sehr effektiv nicht nur zur Konservierung, sondern auch zur Herstellung von gesundheitsfördernden Produkten eingesetzt (REDDY & PIERSON 1994). Auch Hülsenfrüchte werden für die Produktion von sauren Nahrungsmitteln mit längerer Lagerfähigkeit und zur Verbesserung der Verzehreigenschaften fermentiert (KANDA *et al.* 1976; BEUCHAT & NAIL 1978; BUCKER *et al.* 1979). Im Gegensatz zur mechanisch-chemischen Behandlung bleiben dabei wertvolle Inhaltsstoffe erhalten. DUSZKIEWICZ-REINHARD *et al.* (1994), MARTINEZ-VILLALUENGA *et al.* (2007), FRIAS *et al.* (2005), GRANITO *et al.* (2005) und weitere Autoren untersuchten die Auswirkungen der Fermentation von Legumionosen auf nachfolgend beschriebene antinutritive Inhaltsstoffe.

### **Oligosaccharide**

Wasserlösliche Reservepolysaccharide, wie die ernährungsphysiologisch negativ zu bewertenden Kohlenhydratoligomere (Raffinose, Stachyose, Verbascose) gelten als mikrobiell fermentierbar und stehen den Milchsäurebakterien als Kohlenhydratquelle zur Verfügung (PETTERSON 1998; WEISSBACH 1968). NOWAK & STEINKRAUS (1988) stellten nach der Fermentation eine Reduzierung der flatogenen Eigenschaften fest. Nach milchsaurer Fermentation von Gartenbohnen wurde durch GRANITO *et al.* (2002) und SHIMELIS & RAKSHIT (2007) die Reduzierung von Oligosacchariden bestätigt. VIDAL-VALVERDE *et al.* (1993) konnten nach der Vergärung von Linsen Galactoside und Saccharose nicht mehr nachweisen. Auch CAMACHO *et al.* (1991) und KOSTINEK *et al.* (2007) bestätigen den fermentativen Abbau von Oligosaccharidfraktionen durch Milchsäurebakterien. Die Fermentation von Körnern (*black beans*) mit Hilfe von Lactobacillen (*Lb. plantarum*) führte zu einer Reduzierung der Raffinosegehalte um 88 % (GRANITO & ALVAREZ 2006). TRUGO *et al.* (1993) und BARAMPAMA & SIMARD (1994) zeigten durch Fermentierung von Bohnen, dass Galacto-Oligosaccharide - vor



allem Raffinose und Stachyose - mikrobiell abgebaut werden. DUSZKIEWICZ-REINHARD *et al.* (1994) ermittelten im Mehl von Erbsen mit einem Feuchtegehalt von 20 % nach Inkubation mit *Lb. fermentum* bzw. *Lb. plantarum* eine erhebliche Reduzierung von Stachyose. DOBLADO *et al.* (2003) bestätigen nach Fermentation von *Vigna sinensis* eine Reduzierung der  $\alpha$ -Galactoside um 95 %.

### **Alkaloide**

Alkaloide dienen während der Keimung als Stickstoffressource (WINK & WITTE 1985; WINK 1985) und werden über hydrolytisch und oxidativ wirkende Enzyme reduziert (WINK 1984b). Vermutlich wirken diese enzymatischen Prozesse ebenfalls während der Fermentation und führen so zu einer Reduzierung des Alkaloidgehaltes. Da während der Gärung die Konzentrationen verschiedener Toxine reduziert werden, vermutet WINK (1984a), dass bestimmte Bakterien genutzt werden können, um während des Fermentationsprozesses die Alkaloide in Lupinensilagen zu vermindern. Dass durch die Silierung milchreifer Lupinen der Alkaloidgehalt gesenkt werden kann, deutet sich bereits in der Arbeit von MÜNTE aus dem Jahre 1931 an. In anderen Untersuchungen zur Reduzierung der unerwünschten Alkaloidgehalte wurden allerdings nur geringe Erfolge bei Ganzpflanzensilagen aus Bitterlupinen beschrieben, da sich die Substanzen relativ stabil im sauren Milieu der Silage verhalten (HOLZSCHUH & SCHMIDT 1963). CAMACHO *et al.* (1991) wiesen bei der Fermentation von Lupinen mit *Lb. acidophilus* (B-1910) eine Reduzierung des Alkaloidgehaltes nach. Zwar wird aufgrund der antimikrobiellen Alkaloidwirkung von einer Inhibierung der Mikroorganismen im Silierprozess ausgegangen, SANTANA *et al.* (1996) und HOPPER (1991) berichten jedoch von einem möglichen Entbitterungsverfahren der Lupinen, wobei die Kohlenstoffgehalte der Alkaloide den Mikroorganismen (*Pseudomonas sp.*) als Energiequelle dienen könnten und bezogen sich dabei auf TOCZKO *et al.* (1963) bzw. TOCZKO (1966), welche die Konvertierung von Hydroxylupaninen durch *Pseudomonas sp.* aufzeigten. Bei diesen Bakterien handelt es sich um Vertreter des natürlichen epiphytischen Besatzes, die zumindest in der ersten Phase des Gärprozesses von Bedeutung sein können. So konnten auch SANTANA & EMPIS (2001) den Alkaloidgehalt in Mehl von *L. albus* durch 4 d Inkubation mit *Pseudomonas sp.* um bis zu 50 % reduzieren.

### **Tannine**

Mikroorganismen werden im Allgemeinen durch die Einwirkung von Tanninen inhibiert (SCALBERT 1991; SAXENA *et al.* 1995; LAVRENCIC & LEVART 2005). In Abhängigkeit von der Art und Menge der Tannine konnten SALAWU *et al.* (1999) und ACOSTA (2004) eine Beeinträchtigung der Bakterienentwicklung sowie der Milchsäurebildung im Siliergut nachweisen. Die Fähigkeit zur Bildung von Tannase (katalysiert den Abbau hydrolysierbarer Tannine) ist jedoch innerhalb der Mikroorganismengruppen ubiquitär verbreitet (BHAT *et al.* 1998) und der Abbau kondensierter Tannine ist für eine Vielzahl von Vertretern des natürlichen epiphytischen Bakterienbesatzes nachgewiesen worden (DESCHAMPS *et al.* 1980). Durch ACOSTA (2004) sowie HARTMANN (2003) wurde der rasche Abbau kondensierter Tannine im Rahmen des Silierprozesses tanninreicher Sorghumsorten bestätigt. Dabei wird der Abbau bzw. die veränderte Konstitution von Tanninfraktionen, insbesondere die Reduzierung von kondensierten Tanninen während der milchsäuren Fermentation, mit dem oxidativen Abbau in der aeroben Initialphase der Fermentation durch Phenoloxidasen und der Hydrolyse durch mikrobielle Enzyme (Tannase) bzw. der Inaktivierung von Tanninen durch eine veränderte Polymerisation unter Säurebedingungen erklärt (IIBUCHI *et al.* 1967; MAKKAR & BEKKER 1996). SHIMELIS & RAKSHIT (2007) bestätigten einen signifikant verminderten Tanningehalt durch milchsäure Fermentation von Bohnenmehl um bis zu 47 %. AYED & HAMDY (2002) berichteten von Tannaseproduktion durch *Lb. plantarum*. Von OSAWA *et al.* (2000) und weiteren Autoren (reviewed in BHAT *et al.* 1998) wurden tannasebildende Stämme von *Lb. plantarum*,

*Lb. paraplantarum* sowie *Lb. pentosus* identifiziert. Bei den in der Literatur genannten Bakterien handelte es sich um Vertreter des natürlichen epiphytischen Besatzes, die zumindest in der ersten Phase des Gärprozesses von Bedeutung sind.

### **Phytat-Phosphor**

Phytat kann über die im Samen vorhandenen pflanzlichen bzw. mikrobiellen Phytasen reduziert werden (LOPEZ *et al.* 1983; FREDRIKSON *et al.* 2001). Pflanzliche Phytasen weisen ein pH-Optimum nahe 5 auf (GREINER 2002), während mikrobielle Phytasen im pH-Bereich von 2-6 ihre optimale Wirksamkeit entfalten (ANGEL *et al.* 2002), so wird bei sinkendem pH-Wert im Silierprozess vermutlich Phytase aktiviert (SVANBERG & SANDBERG 1987). Die milchsäure Fermentation von Mais, Soja, Sorghum und Linsen reduzierte nach SUDARMADJI & MARKAKIS (1977), LOPEZ *et al.* (1983), SVANBERG & SANDBERG (1987) und KOZLOWSKA *et al.* (1996) den Phytatgehalt. KAZANAS (1979), CHOMPREEEDA & FIELDS (1984), MAHAJAN & CHAUHAN (1987), SHIRAI *et al.* (1994) und LOPEZ *et al.* (2000) dokumentierten dahingehend das Einwirken von Milchsäurebakterien (*Lb. plantarum*, *Lb. acidophilus*, *Lb. casei*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis*) auf den Phytat-Phosphor. Nach Angaben von CAMACHO *et al.* (1991) konnten Milchsäurebakterien (*Lb. buchneri*, B-1837) den Phytatanteil bei milchsaurer Fermentation von Lupinen verringern. Während der Brotzubereitung wurde der Phytatgehalt (ca. 90 %) infolge der veränderten Faktoren wie pH-Wert, Wassergehalt und der Hefeeinwirkung sowie der dadurch erhöhten endogenen Phytaseaktivität reduziert (REDDY & PIERSON 1994). Neben den im Silierprozess bedeutsamen Milchsäurebakterien (z.B. *Lb. plantarum*, *Lb. acidophilus*, *Lb. casei*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis*, SHIRAI *et al.* 1994, LOPEZ *et al.* 2000) ist auch für Pilze (*Aspergillus niger*, DA SILVA *et al.* 2005) und Hefen (*Candida utilis*, *Schwanniomyces occidentalis*, *Kluyveromyces marxianus*, SHIRAI *et al.* 1994) der Abbau von Phytinsäure nachgewiesen worden.

### ***Futterwert und Einsatzbeschränkungen von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern für Monogastrier***

Je nach Gehalt und ernährungsphysiologischer Qualität der Inhaltsstoffe von Leguminosenkörnern, begründen sich der Futterwert und die Einsatzfähigkeit als Futtermittel für Schwein und Nutzgeflügel. Die Verdaulichkeiten der Nährstoffe und die resultierende energetische Futterbewertung sind in Abhängigkeit von der Ernährungsphysiologie der Spezies, bestimmt durch Alter, Nutzungsrichtung und Leistung, zu beurteilen. Die Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe ist dabei auch abhängig von möglichen Inhibitoren mit antinutritiver Wirkung bzw. dem Behandlungsverfahren (ABEL 1996; KIRCHGESSNER 2004; ROTH-MAIER *et al.* 2004). Angaben zu energetischem Futterwert und Nährstoffverdaulichkeit von Silagen aus Leguminosenkörnern fehlen bislang in der Literatur. In einer Vielzahl von Arbeiten wurden diese Parameter jedoch für die unsilierten Körner untersucht. In Tabelle 1 sind Energiegehalte und Verdaulichkeitsparameter von Leguminosenkörnern aufgeführt.

Die Verdaulichkeit des Leguminosenproteins liegt für Schweine zwischen 82 und 89 %. Für Hühnergeflügel ist das Rohprotein ebenso hoch verdaulich. Bei tanninreichen Ackerbohnen und Erbsensorten bzw. bei Erbsensorten mit hoher Trypsin-Inhibitor-Aktivität ist die Rohproteinverdaulichkeit jedoch geringer (GUILLAUME 1978; JONDREVILLE *et al.* 1992; ABEL *et al.* 2004; BELLOF *et al.* 2004). Trotz der hohen Verdaulichkeit (Absorbierbarkeit) ist das Rohprotein der Körnerleguminosen im Dünndarm nur relativ gering verwertbar für den Körperproteinansatz wachsender Tiere. Nach Angaben von PASTUSZEWSKA & OCHTABINSKA (1995) liegt die biologische Wertigkeit zwischen 61-69 % bei Ratten und konnte durch Methioninergänzung bei Lupinen z.B. von 69 % auf 81 % erhöht werden.

Neben den absoluten Gehalten ist die Verfügbarkeit der Proteine und damit ernährungsphysiologisch wertvoller Aminosäuren, bestimmt durch deren präzäkale

Verdaulichkeit, entscheidend. Die Verdaulichkeiten der beim Schwein wichtigsten Aminosäuren sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Aminosäureverdaulichkeiten können in weiten Bereichen variieren, liegen aber unter der Verdaulichkeit im Vergleichsfuttermittel Soja. Herauszustellen ist vor allem bei Weißen Lupinen und Ackerbohnen die niedrigere präzäkale Verdaulichkeit von Methionin im Vergleich zu Soja, was in Zusammenhang mit den geringen Gehalten die Versorgung bei Monogastriern einschränkt (ABEL *et al.* 2004). Bei den Lupinen ist laut ROTH-MAIER *et al.* (2004) die präzäkale Verdaulichkeit von Lysin, Threonin und Tryptophan beim Schwein vergleichbar hoch wie bei Soja- oder Weizenprotein. Trotz der hohen Aminosäureverdaulichkeit wird bei Lupinen (speziell aus Weißen Lupinen) für Lysin eine relativ niedrige Verwertbarkeit von 0,5 im Vergleich zu Erbsen mit 0,9 angegeben (BATTERHAM *et al.* 1979; 1986; BATTERHAM 1992). Im Gegensatz dazu liegt für Küken die Verwertbarkeit von Lysin bei 0,89 (Weiße Lupinen).

Tab. 1: Energiegehalt und Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe beim Geflügel und Schwein sowie scheinbare präzäkale Verdaulichkeit (pV<sub>k</sub>) ausgewählter Aminosäuren von Leguminosenkörnern beim Schwein (nach verschiedenen Autoren\*<sup>1</sup>)

Tierart	Parameter	Lupine			Ackerbohne	Erbsen	Soja
		Weiß	Gelb	Blau			
Hühner- geflügel	Energiegehalt [MJ ME/kg TS]	8,00	8,25	7,79	10,79	11,03	-
	Verdaulichkeit XP [%]	88	87-90	78-86	70-90	64-88	-
	Verdaulichkeit XL [%]	88	65-96	76-94	49-96	43-87	-
	Verdaulichkeit XF [%]	21	0-13	0-18	10-35	59-78 <sup>*2</sup>	-
	Verdaulichkeit XX [%]	56	0-85	0-32	73-84	-	-
Schwein	Energiegehalt [MJ ME/kg TS] <sup>*3</sup>	14,51	13,92	13,90	12,73	13,80	16,39
	Verdaulichkeit XP [%]	89	89	89	82	83	84
	Verdaulichkeit XL [%]	64	64	64	44	54	81
	Verdaulichkeit XF [%]	80	80	80	30	62	66
	Verdaulichkeit XX [%]	93	93	93	90	95	86
	Verdaulichkeit DOS [%]	87	87	88	81	89	83
	pV <sub>k</sub> Lysin [%]	76	79-86	83	78-92	79-85	89
	pV <sub>k</sub> Methionin [%]	65	79-87	86	66-85	70-75	86
	pV <sub>k</sub> Threonin [%]	69	74-79	82	57-82	67-77	86
pV <sub>k</sub> Tryptophan [%]	76	72-78	83	56-71	53-70	87	

\*<sup>1</sup>DLG (1991); GRALA *et al.* (1993); JANSMAN *et al.* (1993); MOSENTHIN *et al.* (1993); GDALA *et al.* (1997); FAN & SAUER (1999); WASILEWKO *et al.* (1999); MARISCAL-LANDIN *et al.* (2002); PETERSEN (2002); ABEL (1996); MIECZKOWSKA *et al.* (2004); JEROCH (1993); ABEL *et al.* (2004); ROTH-MAIER *et al.* (2004); <sup>\*2</sup> XF+XX; <sup>\*3</sup> Energiebewertung nach GfE (2006)

Hohe Verdaulichkeiten für Rohfett können beim Hühnergeflügel erreicht werden, wohingegen die Fettverdaulichkeit beim Schwein sich nur auf 44-64 % beläuft (Tab. 1).

Die Kohlenhydratfraktionen Stärke und Zucker sind durch körpereigene Enzyme im Verdauungstrakt abbaubar. Übrige Kohlenhydrate werden nur mikrobiell gespalten. Kohlenhydrate wie Stärke, Saccharose und  $\alpha$ -Galactoside sind bei Küken hoch verdaulich (CARRE & LACASSAGNE 1992). Lupinen enthalten hohe Gehalte an verdaulichen Zuckern. Die Stärkeverdaulichkeit in Lupinenkörnern ist gering (MARTINEZ-VILLALUENGA *et al.* 2006). Vermutlich sind bei Erbsen die Gehalte an Proteaseinhibitoren für die niedrigere scheinbare Verdaulichkeit der Stärke und Energie verantwortlich (PEREZ & BOURDON 1992).

Aufgrund der deutlich besseren Rohfaserverdauung bei Schweinen resultiert der gegenüber Geflügel höhere energetische Futterwert. Nach JEROCH (1993) sind Erbsen aus energetischer Sicht die vorteilhaftesten Körnerleguminosen für Geflügelrationen.

Im Rahmen einer leistungsgerechten Kalkulation der Ration ist der Einsatz von Leguminosen unter dem Aspekt der Qualität und Quantität von nutritiven und antinutritiven Inhaltsstofffraktionen zu betrachten und die Einsatzmengen in Hinblick auf die möglichen Gehaltsschwankungen unter Einhaltung der tierartsspezifischen Einsatzempfehlung zu realisieren. Trotz entscheidender Züchtungsfortschritte unter Reduzierung der Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen, sind Einsatzbegrenzungen aufgrund von sortentypischen und umweltrelevanten

Gehaltsschwankungen vor allem bei monogastrischen Tierarten erhalten geblieben. Die Überschreitung der formulierten Konzentrationsgrenzen in der Ration kann negative Wirkungen im Organismus hervorrufen, z.B. vermehrte Inzidenz von Erkrankungen, verschiedene Toxikosen und Krankheitsbilder wie entzündliche Veränderungen der Darmschleimhaut mit allergischen Reaktionen und erhöhte Mortalitätsraten (JEROCH *et al.* 1999). Die empfohlenen Einsatzmengen für Körnerleguminosen bei der Fütterung von monogastrischen Tierarten sind in Tabelle 2 aufgeführt, variieren allerdings erheblich. In zahlreichen neueren Untersuchungen wurde gezeigt, dass aufgrund der züchterischen Maßnahmen die sekundären Inhaltsstoffe soweit reduziert wurden, dass die Anhebung der Einsatzmengen in der Nutztierfütterung gerechtfertigt ist (BELLOF *et al.* 2004). Mastversuche mit Schweinen bzw. Geflügel bestätigen den erfolgreichen Einsatz von Ackerbohnen von 20-30 % in der Ration bei entsprechender Beachtung der Aminosäurezusammensetzung (ABEL *et al.* 2004; BELLOF *et al.* 2004; KIRCHGESSNER 2004). Das Methionindefizit der Ackerbohnen lässt sich dabei durch andere Rationsanteile (Getreide-/ Sojaschrotmischungen) kompensieren. Insgesamt sind weiß blühende Ackerbohnsorten aufgrund der höheren Verdaulichkeit vorzuziehen.

Tab. 2: Höchstmengen [%] für Leguminosenkörner in Rationen für monogastrische Tierarten (nach JEROCH 1993 und ROTH-MAIER *et al.* 2004)

Tierart	Lupine			Acker-bohne	Erbse
	Weiß	Gelb	Blau		
Ferkel (abgesetzt)	< 5	< 5	< 5	10-15	10
Mastschweine					
Anfangsmast (30-60 kg LM)	10-15	15-20	15-20	15-20	20
Endmast (60-100 kg LM)	15-20	15-20	15-20	15-20	20
Sauen	20-25	20-25	20-25	10	20
Broiler	15-20	20-25	15-20	15-20	20-30
Legehennen	15-20	20-25	15-20	10	20-30

LM: Lebendmasse

Laut Untersuchungen von HALLE (2005) soll der Rationsanteil von Ackerbohnen bei Legehennen < 10 % betragen. KRATOCHVÍLOVÁ *et al.* (2006) empfehlen die Substitution von Soja durch Ackerbohnen in Weizen-Soja-Rationen aufgrund einer geringeren Wachstumsleistung der Küken nicht über 15 % der TS.

Bei wachsenden Schweinen konnten STEIN *et al.* (2006) bis zur Endmast mit 36 % Erbsen in der Ration keine Leistungsdepressionen feststellen. HALLE (2005) beschreibt beim Einsatz von bis zu 40 % Erbsenanteil in der Ration für Legehennen bei entsprechender Protein- und Aminosäureergänzung keinen gesicherten Unterschied zur Kontrollgruppe.

Ein den Einsatz begrenzender Faktor in der Ernährung des Monogastriers ist der hohe Rohfaseranteil vor allen bei Lupinen, der zu einem hohen Anteil aus Nicht-Stärke-Polysacchariden besteht. So wirken sich die Faser- und Oligosaccharidanteile bei Geflügel nachteilig auf die Verdaulichkeit aus. Auch Schweine verfügen nicht über entsprechende körpereigene Verdauungsenzyme im Dünndarm und sind auf die mikrobielle Enzymkapazität im Dickdarm angewiesen (KIRCHGESSNER 2004). Die dabei anfallenden energetisch verwertbaren flüchtigen Fettsäuren begründen die zusätzliche Futterenergie der Körnerleguminosen für Schweine im Vergleich zum Geflügel (ABEL 1996). Dennoch wurden in Fütterungsversuchen mit 30 % Weißen Lupinen in der Ration und Zusatz von Enzymen bei Legehennen ähnliche Leistungen wie in der Kontrollgruppe ermittelt (ROTH-MAIER & KIRCHGESSNER 1993).

Beim Einsatz von Körnerleguminosen in der Ration ist die ausreichende Ergänzung mit Mineralstoffen und Vitaminen zu gewährleisten (JEROCH 1993).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material, Probengewinnung und Probenaufbereitung

#### 2.1.1 Reife, lagertrockene Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner

Für die Untersuchungen an reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern stand Material von insgesamt 12 Ackerbohnen-, Futtererbsen- und Lupinensorten zur Verfügung. Eine zusammenfassende Übersicht zeigt Tabelle 3.

Tab. 3: Übersicht der in die Untersuchungen mit reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern einbezogenen Leguminosenarten und -sorten

Art	Sorte
<i>Lupinus angustifolius</i> (süß)	Bora, Borlu
<i>Lupinus luteus</i> (süß)	Bornal, Borsaja
<i>Lupinus albus</i> (süß)	Bardo
<i>Lupinus albus</i> (bitter)	Weibit
<i>Lupinus angustifolius</i> (bitter)	Azuro, Rubine
<i>Vicia faba</i>	Limbo, Scirocco
<i>Pisum sativum</i>	Lisa, Santana

#### 2.1.2 Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten bei Ernte mit hohen Restfeuchtegehalten

##### *Pflanzenmaterial*

Im Anbaujahr 2005 (Wiederholung Ackerbohne „Limbo“ 2006, aufgrund des starken Befalls mit *Botrytis fabae* im Erntejahr 2005) wurden auf den dem Institut zur Verfügung stehenden Versuchsfeldern die in Tabelle 4 benannten Leguminosen entsprechend der gängigen landwirtschaftlichen Praxis angebaut.

Tab. 4: Übersicht der für die Bereitung von Modellsilagen verwendeten Leguminosenarten und -sorten

Art	Sorte
<i>Lupinus angustifolius</i> (süß)	Bora, Borlu
<i>Lupinus angustifolius</i> (bitter)	Azuro
<i>Vicia faba</i>	Limbo
<i>Pisum sativum</i>	Lisa

Es wurden Blaue Lupinen gewählt, da sie im praktischen Anbau aufgrund des hohen Ertragsniveaus und der Antraknoseresistenz den höchsten Stellenwert haben. Zudem sind die Sorten Bora und Borlu in einem weiten ökologischen Bereich ertragsstabil. Aufgrund der höheren Gehalte an futterwertmindernden Inhaltsstoffen in Bitterlupinen werden diese nur noch als Zwischenfrucht angebaut. Entsprechend der Zielstellung der Prüfung auf Reduzierung von antinutritiven Inhaltsstoffen durch milchsäure Fermentation galten die Proben der Bitterlupine als Referenz. Des weiteren wurden eine Ackerbohnen- und Erbsensorte mit entsprechend hohen Gehalten an Tanninen und Phytat-P für die Untersuchungen angebaut.

##### *Standort und Witterungsverhältnisse*

Die Flächen der Versuchsstation des Institutes für Landnutzung der Universität Rostock sind gekennzeichnet durch ein stark maritim geprägtes Klima mit Jahresdurchschnittstemperaturen von 8,1°C und durchschnittlichen Jahresniederschlägen von 593 mm. Weitere Standortcharakteristika sind Tabelle 5 zu entnehmen. Die im Anbauzeitraum 2005 und 2006 aufgezeichneten Wetterdaten der Lysimeteranlage in der Versuchsstation sind in Tabelle 6

aufgeführt. Die Trockenheit mit hohen Durchschnittstemperaturen im Juli 2006 wirkte sich im Ackerbohnenbestand auf die Fruchtentwicklung durch frühzeitige Welke aus.

Tab. 5: Standortcharakteristika der Versuchsflächen

Parameter	Daten
Höhenlage	45-47 m über NN
Bodenverhältnisse	
Moränensand über tiefem Moränenlehm	zeitweilige Vernässung
Tongehalte im Ap-Horizont (30 cm)	6,6-8,7 %
Schluffgehalte	22-27 %
organischer Substanz	1,5-1,8 %
Kationenaustauschkapazität	6-7 mval 100 g <sup>-1</sup>
natürliche Standorteinheit	D4N
Bodenart	SI bis IS
Ackerzahl	45

Tab. 6: Meteorologische Daten im Feldversuch 2005 und 2006; Monate März bis August im Vergleich zum langjährigen Mittel; gemessen am Institut für Landnutzung, Lysimeteranlage Satower Str. 48, 18059 Rostock

	März	April	Mai	Juni	Juli	August
Niederschlag [NS mm] LJM (1980-2002)	44,0	35,0	52,0	72,0	65,0	61,1
2005 NS [mm] Durchschnitt	26,8	13,8	50,4	47,7	67,3	50,1
2006 NS [mm] Durchschnitt	53,0	34,3	49,8	51,8	21,9	20,9*
Temperatur [T°C] LJM (1961-1999)	2,8	6,5	11,5	15,4	16,7	16,6
2005 T°C mittel 2 m Höhe	1,6	7,9	11,8	14,6	17,7	15,5
2006 T°C mittel 2 m Höhe	-0,1	7,0	12,3	16,3	21,2	17,0

\* Summe der NS in mm vom 1.8.2006 bis 10.8.2006; LJM = Langjährige Mittel (Niederschlag: Rostock, Satower Str. (1980-2002) und Lufttemperatur: Station Graf-Lippe-Str., Rostock (1961-1999))

### Agrotechnische Maßnahmen

Von der Aussaat bis zur Abreife wurde der Pflanzenbestand wöchentlich bonitiert. Dabei konnte für die Sorte Azuro ein erhöhter Beikrautbesatz verschiedener mono- und dikotyledoner Arten festgestellt werden. Durch den erhöhten Konkurrenzdruck verzögerte sich die Jugendentwicklung der Pflanzen und somit der Bestandsschluss.

Die Daten der agrotechnischen Maßnahmen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tab. 7: Agrotechnische Maßnahmen in den Versuchsjahren 2005 und 2006

Feldversuch	2005		2006	
	Vorfrucht		Vorfrucht	
Ackerbohne (Limbo)	Kartoffel		Kartoffel	
Erbse (Lisa)	Kartoffel			
Süßlupine (Borlu)	Hafer			
Süßlupine (Bora)	Kartoffel			
Bitterlupine (Azuro)	Schwarzbrache			
<b>agrotechnische Maßnahmen</b>	<b>Vorauflauf</b>		<b>Vorauflauf</b>	
Limbo	13.04.05	Stomp (4 l/ha)	26.04.06	Stomp (4 l/ha)
Lisa	23.05.05	Stomp (4 l/ha)		
Borlu	04.04.05	Fenikan (1 l/ha)		
	13.04.05	Fenikan (1 l/ha)		
Bora	13.04.05	Fenikan (1 l/ha)		
Azuro		-		
		<b>Herbizid/ Insektizid</b>		<b>Herbizid/ Insektizid</b>
Limbo	10.05.05	Fusilade (2 l/ha)	22.05.06	Fusilade (2 l/ha)
	22.06.05	Trafo WG (150 g/ha)	13.07.06	Karate Zeon + Folicur
Lisa	14.06.05	Basagran + Fusilade (je 2 l/ha)		
Borlu	10.05.05	Fusilade (2 l/ha)		
Bora	10.05.05	Fusilade (2 l/ha)		
Azuro		-		

### ***Ernte und Aufbereitung der Proben für die in-vitro Untersuchungen***

Die Ernte der Körner erfolgte mit Hilfe eines Versuchsmähdreschers bei einer Restfeuchte von ca. 25 % bzw. 35 %. Aufgrund des bekannten Problems der unterschiedlichen Abreife innerhalb eines Leguminosenbestandes, war das Erntegut hinsichtlich seines Trockensubstanzgehaltes sehr heterogen. Nach der Reinigung des Erntegutes von Unkrautsamen und -blättern sowie nicht ausgedroschenen grünen Hülsen mit Hilfe eines Windsichters (Fa. Lochow-Petkus), wurde es daher in einer Schüttelsiebapparatur nach Korngrößen getrennt, wobei große Körner aufgrund des weniger fortgeschrittenen Reifestadiums geringere TS-Gehalte aufwiesen. Nach der Trockensubstanzbestimmung der Fraktionen konnte über gezielte Vermengung die gewünschte Trockensubstanz von ca. 65 % bzw. 75 % im Material eingestellt werden. Anschließend wurden die Körner mit einer Schlagmühle (Sieblochdurchmesser 8 mm) grob geschrotet.

## **2.2 Prüfung der Vergärbarkeit von Körnern verschiedener Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten**

### **2.2.1 Rostocker Fermentationstest nach PIEPER *et al.* (1989) und ZIERENBERG (2000)**

Der Rostocker Fermentationstest (RFT) nach PIEPER *et al.* (1989) und ZIERENBERG (2000) ist eine zuverlässige Methode zur Einschätzung der Vergärbarkeit von Pflanzenmaterial. Es können Aussagen abgeleitet werden zur/zum:

- Leistungsfähigkeit des ephyphytischen Milchsäurebakterienbesatzes
- Gehalt an fermentierbaren Kohlenhydraten
- Wirksamkeit von Silierhilfsmitteln

Sowohl die reifen, lagergetrockneten als auch die vor der Vollreife im nicht lagerfähigen TS-Bereich von 65 und 75 % geernteten Leguminosenkörner wurden auf diese Aspekte hin im RFT untersucht.

Für den RFT wurden 50 g Körnerschrot in ein 500 ml-Becherglas eingewogen und mit 200 ml *aqua dest.* bzw. zur Simulation unterschiedlicher TS-Gehalte (55 bzw. 61 % TS) mit 200 ml Kaliumchloridlösung (9 bzw. 12 %ig) versetzt. Dabei bestehen im wässrigen Milieu des RFT aufgrund der geringen Eindringtiefe von Luftsauerstoff in Wasser weitestgehend anaerobe Bedingungen. Die mit Alufolie abgedeckten Gläser wurden bei 30°C im Brutschrank inkubiert. Nach einem definierten Zeitschema (Tab. 8) wurden die pH-Werte ermittelt (Potentiometer WTW MultiCal pH 526, Meßgenauigkeit: 0,01). Da der Säuerungsprozess maßgeblich durch die Milchsäurekonzentration bestimmt wird, können über die Geschwindigkeit und den Umfang der Ansäuerung Rückschlüsse auf die Vergärbarkeit des Materials gezogen werden (FRIEDEL 1990). Die Eichung des pH-Meters erfolgte täglich mit gebrauchsfertigen Eichlösungen. Zwischen den Messungen wurde die Elektrode mit 70 %igem Alkohol desinfiziert. Zum Versuchsende wurden die Aufgüsse abfiltriert (Faltenfilter, Sartorius-Filter 65 g/m<sup>2</sup> bzw. bei schwer filtrierbarem Material Gaze von 0,6 mm Maschenweite) und die Filtrate für die spätere Bestimmung der Gärprodukte eingefroren.

Tab. 8: Zeitschema der pH-Wert-Messungen im Rostocker Fermentationstest

<i>aqua dest.</i>	nach 0, 14, 18, 22, 26, 38, 42 h
9 bzw. 12 % KCl-Lösung	nach 0, 14, 18, 22, 26, 38, 42, 46, 50, 62 und 70 h

Es wurden folgende Varianten geprüft (Tab. 9).

Tab. 9: Im Rostocker Fermentationstest verwendete Varianten (n=3)

1	Kontrolle (ohne Silierzusatz)
2	Melassezusatz (2 % der FM; Melasse mit 76 % TS, 51 % der TS Zucker, pH 8,2)
3	Zugabe MSB-Präparat (homofermentativ, enthält <i>Lb. plantarum</i> DSM 8862 und DSM 8866; Impfdichte $3 \cdot 10^5$ KbE/g FM)
4	kombinierte Zugabe von MSB-Präparat und Melasse

MSB: Milchsäurebakterien; FM: Frischmasse; KbE: Kolonie bildende Einheiten

Das einzusetzende MSB-Präparat wurde über ein vorangestelltes Screening von MSB-Präparaten (Punkt 2.2.2.2) ermittelt. Dabei wurde ein nach DLG-Richtlinien geprüften Präparates (Tab. 16) mit raschem und umfangreichem Ansäuerungsvermögen ausgewählt, für das aus früheren, eigenen Untersuchungen bereits gute Ergebnisse vorliegen.

## 2.2.2 Modellsilagen

### 2.2.2.1 Methode

Aufgrund des erheblich geringeren Bedarfs an Probenmaterial wurde zum Anlegen der Modellsilagen statt der DLG-Weckglasmethode ein am Institut etabliertes Verfahren mit speziellen Folienbeuteln (Polyethylentüten mit Doppelschweißnaht, 20 x 30 cm, Firma: La.Va, Germany) verwendet. Mit der Methode kann ein sofortiger und vollständiger Luftabschluss bei jeder gewünschten Verdichtung sichergestellt werden. Damit werden Fermentationsbedingungen geschaffen, wie sie ebenso in Weckgläsern bzw. im Großraumsilo erreicht werden (JONES 1970; WILSON & WILKINS 1972; JOHNSON *et al.* 2005; HOEDTKE *et al.* 2008). Die Materialeigenschaften der Polyethylenbeutel sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tab. 10: Materialeigenschaften der zur Bereitung von Modellsilagen verwendeten Polyethylenbeutel, \*Herstellerangaben, ermittelt nach DIN 53380

Eigenschaften*	Einheit	Messbedingungen	Ergebnis
O <sub>2</sub> -Durchlässigkeit	cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d*bar	23 °C; 0 % relative Feuchte	50
CO <sub>2</sub> -Durchlässigkeit	cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d*bar	23 °C; 0 % relative Feuchte	150
N <sub>2</sub> -Durchlässigkeit	cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d*bar	23 °C; 0 % relative Feuchte	10

Zur Bereitung der Modellsilagen wurde je Silagebeutel 600 g gut homogenisiertes Körnerschrot eingewogen. Es wurden die bereits im Rostocker Fermentationstest verwendeten Varianten in jeweils 3 Wiederholungen angelegt (Kontrolle, Zusatz Melasse, Zusatz MSB-Präparat, Zusatz Melasse + MSB-Präparat). Die Silagen wurden unter Nutzung eines Vakuumiergerätes verdichtet, evakuiert und verschweißt. Zur Sicherheit wurde die Silage in einen zweiten Beutel eingeschweißt und anschließend in einer abgedunkelten Klimakammer bei Zimmertemperatur (22°C) gelagert.

Vor der Öffnung wurden die Silagen zur Ermittlung des Gärverlustes gewogen. Nach der Öffnung erfolgte die organoleptische Beurteilung der Silagen. Anschließend wurden je 50 g Silage mit 200 ml chlorfreiem *aqua dest* zur Bereitung der Kaltwasserextrakte (15 h Lagerung bei 4°C) versetzt. Nach der Messung der pH-Werte wurden die gewonnenen Filtrate für die spätere Analytik der Gärprodukte mittels HPLC (Milchsäure) und GC (flüchtige Fettsäuren, Alkohole) sowie die Messung der Osmolalität bei -20°C eingelagert. Die übrige Silage wurde gefriergetrocknet und den entsprechenden Analysen zugeführt.

### 2.2.2.2 Modellsilagen aus rückbefeuchtetem Körnerschrot (Screening verschiedener Milchsäurebakterienpräparate)

Um den Einfluß auf den Siliererfolg sowie eine mögliche Fähigkeit zur Reduzierung antinutritiver Substanzen im Siliergut während der Fermentation zu prüfen, wurden die in Tabelle 11 aufgeführten MSB-Präparate in einem Screening untersucht.

Tab. 11: Zum Screening ausgewählte Milchsäurebakterienpräparate

Präparat	Milchsäurebakterienstamm	DSM/ NCIMB	Impfdichte
1	<i>Lactobacillus plantarum</i>	8862, 8866	3*10 <sup>5</sup> KbE/g FM
2	<i>Lactobacillus plantarum</i>	4784, 16568	1*10 <sup>5</sup> KbE/g FM
3	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Enterococcus faecium</i>	30083, 30084, 30086, 30085, 11181	3*10 <sup>5</sup> KbE/g FM



Alle Präparate enthalten *Lb. plantarum*. Zusätzlich beinhaltet Präparat 3 zwei weitere homofermentative MSB-Stämme. Die Präparate sind laut Herstellerangabe bis 50 % der TS osmotolerant. Die verwendete Impfdichte entsprach jeweils den Herstellerempfehlungen. Als Körnermaterial wurde im Screening eingesetzt:

- Bitterlupine („Azuro“) mit hohem Alkaloidgehalt
- Süßlupine („Bora“) mit niedrigem Alkaloidgehalt
- Erbse („Lisa“) mit hohem Tanningehalt
- Ackerbohne („Limbo“) mit hohem Phytat-Phosphor sowie Tanningehalt

Die Trockensubstanz von ca. 65 % wurde im Siliergut (Schrot reifer Körner, 3 mm Siebdurchmesser) über Rückbefeuchtung mit *aqua dest.* eingestellt. Es wurden die unter Punkt 2.2.1 benannten Varianten geprüft. Die Lagerdauer der Modellsilagen betrug 34 Tage.

### **2.2.2.3 Modellsilagen aus mit hohem Restfeuchtegehalt geernteten Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern**

Nach der Aufbereitung des Erntegutes (Körner von Ackerbohnen, Futtererbsen und verschiedenen Lupinensorten mit ca. 65 bzw. 75 % TS) erfolgte die Herstellung der Modellsilagen entsprechend dem unter Punkt 2.2.2.1 beschriebenen Verfahren. Es kam das im MSB-Screening (Punkt 2.2.2.2) selektierte MSB-Präparat (Nr. 1) zum Einsatz. Die Lagerung der Modellsilagen erfolgte für 5, 15, 50 bzw. 90 Tage.

#### ***Beurteilung der aeroben Stabilität der Körnersilagen***

Zur Ermittlung der aeroben Stabilität der Modellsilagen nach 50 Tagen Einlagerung kam die Vorschrift von HONIG (1990) nach dem System „Völkenrode“ zum Einsatz. Die Methode basiert auf dem Zusammenhang von CO<sub>2</sub>-Produktion, welche sich in den Trockenmasseverlusten widerspiegelt, und dem gleichzeitigen Temperaturanstieg in den Silagen. In einen speziell präparierten und entsprechend der Vorschrift thermoisolierten Styroporbecher (Styropormantel, 6 cm) wurde ausreichend aufgelockertes Silagematerial (300 g) eingewogen. Als Maß für die aeroben Umsetzungen gilt der Temperaturverlauf unter Lufteinfluss, welcher über einen Zeitraum von 7 Tagen im Intervall von 6 Stunden mit Hilfe automatischer Temperaturlogger gespeichert wurde. Die aerobe Instabilität der Silage ist ab einer Temperaturerhöhung von 3°C gegenüber der auf 20°C konstant gehaltenen Umgebungstemperatur gegeben. Die Raumtemperatur wurde durch ein Thermostat überwacht. Nach Versuchsende wurden die Gewichtsverluste ermittelt und die Silagen organoleptisch beurteilt. Die pH-Wert-Messung erfolgte im Silageextrakt (50 g Silage + 200 ml *aqua dest.*; 15 h Lagerung bei 4°C).

## **2.3 Chemische Analysen**

### **2.3.1 Probenaufbereitung**

Um Veränderungen zwischen der Probenahme und der Untersuchung im Labor zu vermeiden und das Material vor äußeren Einwirkungen wie Feuchtigkeit und Verschmutzung zu schützen, wurden die Proben (Filtrate, Extrakte bzw. Körnermaterial) bei -20°C asserviert. Für die Laboruntersuchungen wurden die Proben bei Zimmertemperatur aufgetaut und ausreichend homogenisiert.

Zur Bereitung von lufttrockenem Probenmaterial wurde das Körnerschrot (unsiliert und siliert) gefriergetrocknet. Zur Vorbereitung für die Analytik wurde das Material anschließend auf 1 mm Siebweite gemahlen (Retsch, Type ZM1) und trocken sowie unter Lichtschutz in einem Schraubglas aufbewahrt. Vor jeder weiteren Untersuchung wurde auf eine ausreichende Homogenisierung der Probe geachtet.

Zur Bestimmung der Gehalte an Stärke, Alkaloiden, Oligosacchariden sowie der Tanninfraktionen wurden die Proben in einer Kugelmühle fein vermahlen (Schwingmühle „MM 200“ Retsch GmbH & Co. KG, 42781 Germany, Endfeinheit bis 0,01 mm).

Für die Analyse von pH-Wert, Gärprodukten bzw. der Osmolarität im unsiliertem Körnerschrot und dem Silagematerial wurde ein Kaltwasserextrakt (50 g Material + 200 ml *aqua dest.*; 15 h Lagerung bei 4°C) hergestellt.

### 2.3.2 Charakterisierung der chemischen Silierparameter und Bestimmung der nutritiven Inhaltsstoffe

Die Analyse der chemischen Silierparameter Zuckergehalt und Pufferkapazität sowie deren Verrechnung zum Z/PK-Quotienten erfolgte im jeweiligen Ausgangsmaterial (lagertrockene bzw. mit erhöhtem Restfeuchtegehalt geerntete Körner). Der Zuckergehalt wurde nach enzymatischer Hydrolyse mittels HPLC (Tab. 12) bestimmt, um die für eine umfassende Milchsäuregärung notwendigen Gehalte an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten zu erfassen. Die Pufferkapazität (PK) wurde nach WEISSBACH (1967) analysiert. Dabei wird die PK aus der Menge an Milchsäure berechnet, die nötig ist, um den pH-Wert des Materials auf einen Wert von 4,0 abzusenken.

In Tabelle 12 sind die verwendeten Methoden zur Bestimmung der nutritiven Inhaltsstoffe aufgeführt. Die Analysen wurden im getrockneten und gemahlten Material der

- reifen, lagertrockenen Körner
  - feucht geernteten Körner
  - Modellsilagen
- durchgeführt.

Tab. 12: Analysen zur Bestimmung der Nährstoffgehalte

Trockensubstanz	
Vortrocknung	Gefriertrocknung
Endtrocknung	Wäge-Trocknungsverfahren, Trocknung bei 105°C für 3 Stunden bis zur Gewichtskonstanz (VDLUFA 1997)
Rohasche	Weender Futtermittelanalyse, Veraschung im Muffelofen bei 600°C für 8 Stunden
Organische Substanz	kalkuliert: (100 – Rohaschegehalt [%])
Rohprotein	Analyse des Gesamtstickstoffes nach DUMAS (1831) mit dem Makro-N Analysegerät der Firma Heraeus, Berechnung des Rohproteingehaltes aus dem bestimmten Stickstoffgehalt durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25
Reinprotein	nach KJELDAHL (1883) mit vorheriger Proteinfällung mit Trichloressigsäure
Aminosäuren	saure und oxidierte mittels HPLC (Shimadzu); ohne Vorsäule; Kationentrennsäule (LCA-K06; Firma GROM GmbH), Messung über UV-Detektor bei 570 nm, nur Prolin bei 440 nm nach vorheriger Anfärbung mit Ninhydrin
Rohfett	nach Weender Futtermittelanalyse am FOSS Tecator (Soxtec 2050); Etherextrakt
Rohfaser	Methode von VON LENGERKEN <i>et al.</i> (1983), am FOSS Analyser (Fibertec 2010) mit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> und KOH-Extraktion
Quantifizierung der Zellbestandteile:	Detergentienfaserfraktionierung nach VAN SOEST & WINE (1967) (vorheriger Stärkeaufschluss bei Erbsen und Ackerbohnen)
NDF	durch Kochen in neutraler Detergentienlösung
ADF	durch Kochen in schwefelsaurer Detergentienlösung
ADL	als Rückstand der Hydrolyse mit 72 %iger Schwefelsäure
Stärke	enzymatischer Aufschluss mittels 0,2 %iger Lösung einer thermostabilen $\alpha$ -Amylase (Thermamyl 120, Novo Nordisk A/S, Denmark) im Schüttelwasserbad (30 min), 2 ml vom Filtrat mit 2 ml 0,1 %iger Amyloglucosidase-Lösung versetzt und 16 Stunden im Brutschrank (60°C) gelagert, Messung der Mono- und Dimerkonzentration (über Brechungsindex-Detektor, Trennsäule HPX-87P, Biorad, USA) mittels HPLC (Shimadzu) und Umrechnung der Stärkefraktion (FRIEDEL <i>et al.</i> 2002)
Zucker	enzymatische Hydrolyse mittels HPLC (Shimadzu)

### **Schätzung des energetischen Futterwertes**

Zur energetischen Futtermittelbewertung wurden die analysierten Rohnährstoffgehalte unter Berücksichtigung der Verdauungsquotienten aus der DLG-Futtermitteltabelle (DLG, 1991) sowie der analysierten Stärke- und Zuckergehalte nach der von der GfE (2006) empfohlenen Formel für Einzelfuttermittel zur Schätzung der umsetzbaren Energie (ME) für Schweine verwendet (Tab. 13).

Tab. 13: Schätzformel für den energetischen Futterwert

$$\text{Schwein: ME [MJ/kg TS]} \\ = (0,0205\text{DXP(g)} + 0,0398\text{DXL(g)} + 0,0173\text{XS(g)} + 0,0160\text{XZ(g)} + 0,0147(\text{DOS-DXP-DXL-XS-XZ}))$$

DXP: verdauliches Rohprotein; DXL: verdauliches Rohfett; XS: Stärke; XZ: Zucker; DOS: verdauliche organische Substanz; Angaben der Verdaulichkeit nach DLG 1991

### **2.3.3 Analyse der antinutritiven Inhaltsstoffe**

#### **Oligosaccharide**

Die Analyse der Oligosaccharide erfolgte mittels HPLC nach einer am Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften Halle etablierten Methodenvorschrift (KLUGE 2007). Die Anleitung zur Probenvorbereitung und Geräteeinstellung ist in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tab. 14: Chromatografische Bestimmung der  $\alpha$ -Galactooligosaccharide mittels HPLC

Proben- vorbereitung	500 mg Probenmaterial (0,5 mm Partikelgröße) in 10 ml Zentrifugengläser einwiegen und mit 10 ml <i>aqua dest.</i> im Ultra-Turax (Dispergierer) vermengen (2 min); zentrifugieren (4000 U/min, 5 min); Überstand (6 ml) abnehmen; zentrifugieren bei 13400 U/min (5 min); 5 ml Überstand mit 30 $\mu$ l HCl (1 N) versetzen (pH-Wert 4,2); Zentrifugation (13400 U/min über 5 min); 3 ml Überstand mit 30 $\mu$ l Carrez I und 30 $\mu$ l Carrez II zur Ausfällung der Proteine versetzen; zentrifugieren bei 13400 U/min (5 min); Überstand in verschlossenen Glastubes bis zur Analyse bei -20°C einlagern.
Carrez I	21,9 g Zinkacetat ( $\text{CH}_3\text{COO}$ ) $_2\text{Zn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 3 g Eisessig in Wasser gelöst und mit Wasser auf 100 ml aufgefüllt
Carrez II	10,6 g Kaliumhexacyanoferrat $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ in Wasser gelöst und mit Wasser auf 100 ml aufgefüllt
HPLC-Gerät	Säule: Chrospher 100 $\text{NH}_2$ , 4 mm ID, 300 mm Länge; mobile Phase: Acetonitril: $\text{H}_2\text{O}$ (70:30); Flow: 1 ml/min; Druck: ca. 124 bar; Temperatur: 30°C

#### **Alkaloide**

Die Gesamtalkaloidgehalte wurden mittels GC-MS nach der Methode von WINK *et al.* (1995) analysiert (Tab. 15).

Tab. 15: Bestimmung von Lupinenalkaloiden mittels GC-MS

Proben- vorbereitung	ca. 0,5 g Probe in Zentrifugenröhrchen einwiegen, mit 20 ml 0,5 N Salzsäure homogenisieren und 16 h bei Raumtemperatur stehen lassen; Zentrifugation bei 4000 U/min für 30 min bei 20°C; Überstand abpipettieren (Volumen ermitteln); im Überstand unter Rühren mit 6 N NaOH einen pH-Wert von ca. 12 einstellen; Die Alkaloide werden extrahiert durch Festphasenextraktion mit Extrelut-Säulen (MERCK) und Dichlormethan als Eluent: 18 ml (Volumen erfassen) gibt man jeweils auf eine Extrelutsäule, lässt 15 min einwirken und eluiert mit 3 x 20 ml Dichlormethan. Das Lösemittel wird evaporiert und der Rest wird mit 1 ml Methanol aufgenommen. Die so vorbereitete Probe kann bis zur Analyse bei -20°C aufbewahrt werden.
Analyse	Die Alkaloide wurden mit einem GC-MS-Gerät der Firma Shimadzu GC-MS QP 2010 analysiert. Säulentyp: BP-1 (Länge: 30 m; Durchmesser: 0,25 mm; Dicke: 0,25 Mikrometer); Split-Verhältnis: 50; Carrier Gas: Helium; Durchfluss: 94 ml/min; Temperaturprogramm: 120°C Anfangstemperatur; 260°C Endtemperatur; Ionenquelle: 230°C; Interfacetemperatur: 300°C

### ***Phenole und Tannine***

Die Bestimmung der verschiedenen Tannin-Fractionen (Tab. 16) in Körnern von Erbsen und Ackerbohnen bzw. deren Körnerschrotsilagen erfolgte photometrisch (UV-Spectrophotometer Gebesys 5, Firma Milton Roy Company) in einem mit gekühltem Aceton erstellten Extrakt nach einer modifizierten Methodenvorschrift von MAKAR & GOODCHILD (1996).

Tab. 16: Bestimmung der Phenol- und Tanninfraktionen

Fraktion	Beschreibung	Referenz
Extrakterstellung	Lufttrockene, fein vermahlene Probe (100 mg) mit 70 %-igem Aceton (10 ml) im Ultraschalbad extrahieren und anschließend zentrifugieren, es wird der Überstand für die Analysen verwendet	MAKKAR & GOODCHILD (1996)
Gesamt-Phenole [GP % TS]	Anfärbung mit Folin-Ciocalteus-Lösung; bestimmt als Tanninsäure-Äquivalent	JULKUNEN-TIITO (1985); MAKAR <i>et al.</i> (1993)
Nicht-Tannin-Phenole [NTP % TS]	Fällung mit Polyvinylpolypyrrolidon	LAURENT (1975); WATERSON & BUTLER (1983)
Tanninphenol [TP % TS]	Berechnung: GP - NTP	
extrahierbare kondensierte Tannine [KT % TS]	Extraktion mit Butanol-HCl-Fe-Reagenz; bestimmt als Leucocyanigin-Equivalent	PORTER <i>et al.</i> (1986)

### ***Phytat-Phosphor***

Die Bestimmung des Phosphors bzw. Phytat-Phosphors wurde durch das Labor der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim Abteilung Futtermittel durchgeführt. Für die Bestimmung des Phosphors wurde die Probe (0,5 mm Mahlgut) verascht und mit HCl aufgeschlossen. Die Messung erfolgte mittels Optischer ICP-Emissionsspektrometrie (ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry), modifiziert nach VDLUFA VII 2.2.2.6. Die Bestimmung der Phytat-Phosphorgehalte wurde mittels einer modifizierten Methode (Anionen-Austausch-Chromatographie) von HARLAND & OBERLEAS (1986) durchgeführt.

### **2.3.4 Bestimmung der Gärprodukte und Osmolalität**

Die Analyse der Gärprodukte und der Osmolalität sowie die Messung des pH-Wertes erfolgte in den Filtraten des Rostocker Fermentationstestes und den Silageextrakten der Modellsilagen. Die Daten für Osmolalität und pH-Wert wurden in Bezug zum Ausgangsmaterial (Kaltwasserextrakt aus unsiliertem Körnerschrot) gesetzt. In den Silageextrakten wurden des weiteren NH<sub>3</sub> und  $\alpha$ -Amino-N analysiert.

### ***Gärsäuren und Alkohole***

Die Bestimmung der Gärprodukte erfolgte im Filtrat des Kaltwasserextraktes aus 50 g Silage und 200 ml *aqua dest.* (15 h Lagerung bei 4°C). Die Gehalte an Fermentationsprodukten wie Milchsäure, flüchtigen Fettsäuren und Alkoholen wurden mittels HPLC (Milchsäure) und Gaschromatographie (Essig-, Propion-, Butter- und i-Valeriansäure, Ethanol, Propanol und 2,3-Butandiol) mit einem inneren Standard analytisch erfasst. Parametereinstellung und Grundkalibrierung von HPLC-Gerät und Gaschromatograph (SHIMADZU) sind aus Tabelle 17 ersichtlich.

Tab. 17: Parametereinstellung und Grundkalibrierung von HPLC-Gerät bzw. Gaschromatograph für die Analyse der Gärssäuren und Alkohole

HPLC-Gerät:	Flussmittel 10 mM H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Flussrate: 0,6 ml/min, Temperatur: 60°C, Detektion: UV-Index bei 210 nm.
Gaschromatograph: SHIMADZU mit Integrator Chromatpac (GC14A)	Dosierung: 0,5 µl mit Split; Kapillarsäule: FFAP-DF-0,25; 25 m x 0,32 mm; Trägergas: N <sub>2</sub> reinst; P1 = 0,75 kp/cm <sup>2</sup> ; P2 = 1 kp/cm <sup>2</sup> ; Wasserstoff = 0,6 kp/cm <sup>2</sup> ; Luft = 0,5 kp/cm <sup>2</sup> ; Temperaturprogramm: 1,5 min bei 110°C konstant, Aufheizphase: 12°C/min bis 170°C; 3 min bei 170°C konstant; Injektortemperatur: 190°C; Detektion: FID (Shimadzu), Temperatur: 190°C; Detektor-Sensitivität: 10 <sup>2</sup> ; Splittverhältnis: 1:50 bis 1:70; Innere Standards: Isocaprinsäure für FFS, n-Pentanol für Alkohole.

### **Bestimmung von $\alpha$ -Amino-N im Silageextrakt**

Die photometrische Bestimmung des  $\alpha$ -Amino-N im Extrakt erfolgte nach der Vorschrift von ROSEN (1957) und den methodischen Empfehlungen von BICKEL *et al.* (2006). Die im Wasserbad (max. 30°C) aufgetauten Extrakte (1 ml) wurden mit 9 ml *aqua dest.* versetzt und homogenisiert. Je nach Konzentration an  $\alpha$ -Amino-N (Vorprobe durch Verdünnungsreihe) erfolgte im Reagenzglas mit Schliffverschluss die Vermengung von 1 ml Extrakt mit 0,5 ml Zyanid Acetat Puffer (20 ml NaCN-Lösung mit Acetatpuffer auf 1 l) und 0,5 ml einer 3 %igen Ninhydrin-Lösung. Nach einem fünfzehnminütigen Wasserbad bei Siedetemperatur wurden 10 ml Isopropanol-Wasser-Lösung zur Probe gegeben und diese zum Abkühlen stehen gelassen. Aus einer Stammlösung der Aminosäure Glycin (500 µg  $\alpha$ -Amino-N/ml Lösung) wurden Eichlösungen verschiedener Konzentrationen (1, 2, 3 bzw. 4 ml auf 100 ml verdünnt) bereitet. Für den Blindwert wurde 1 ml *aqua dest.* verwendet. Die Eichlösungen (1 ml) wurden wie die zu untersuchenden Proben behandelt. Für die Ermittlung des  $\alpha$ -Amino-N wurde die Extinktion (= -log Transmission) der mit Ninhydrin angefärbten Proben photometrisch (Spectronic Genesys 5 von Milton Roy) bei 570 nm gegen den Nullwert der Eichkurve gemessen. Aufgrund der geringen Eigenabsorption erfolgte die photometrische Messung der Extinktion mit Einwegküvetten aus Kunststoff. Über die Extinktion in Abhängigkeit von der  $\alpha$ -Amino-N Konzentration der Eichreihe konnte mit Hilfe einer linearen Regression der Gehalt an mg  $\alpha$ -Amino-N ml<sup>-1</sup> Extrakt unter Berücksichtigung der Verdünnung und Zusammensetzung der Probenlösung berechnet werden. Für jeden Analysetag erfolgte eine erneute Berechnung der Regression mit Angabe des Bestimmtheitsmaßes.

### **Ammoniak**

Die Ammoniakbestimmung im Silageextrakt erfolgte nach der Conway-Methode in einer Modifikation von VOIGT & STEGER (1967). Der NH<sub>3</sub>-N wurde in % am Gesamt-N angegeben.

### **Bestimmung der Osmolalität**

Die Osmolalität wurde im Silageextrakt ermittelt. Beprobt wurden die Extrakte aus unsiliertem Körnerschrot und den Silagen (Kaltwasserextrakt 15 h Lagerung bei 4°C) bzw. im Filtrat des RFT. Die Messung erfolgte mittels Gefrierpunktniedrigung nach HOEDTKE (2008) mit Hilfe eines Gefrierpunktsmometers. Laut Definition drückt die Osmolalität die Anzahl an osmotisch wirksamen Teilchen in 1 kg Lösung aus. Die direkte Messung der Gesamtosmolalität wässriger Lösungen mit Hilfe eines digitalen Osmometers (OSMOMAT 030 der Firma Gonotec GmbH) beruht auf dem thermodynamischen Prinzip, dass der Gefrierpunkt einer wässrigen Lösung proportional der molalen Konzentration der gelösten Teilchen herabgesetzt wird. Über vergleichende Messungen der Gefrierpunkte von *aqua dest.* (-1,86°C, 0 mosmol/kg) und geeichten Standardlösungen (300 mosmol/kg) wird die Konzentration an gelösten osmotisch wirksamen Teilchen in Osmolalitätseinheiten (osmol/kg) angegeben. Zur Bestimmung werden 50 µl vom wässrigen Extrakt im Proberöhrchen mit Hilfe einer thermostatisch gesteuerten Kühleinrichtung unter den Gefrierpunkt abgekühlt. Anschließend wird die Kristallisation durch

automatisches Impfen der Probe mit Eiskristallen (Eintauchen einer Nadel) induziert. Beim Erstarren wird Kristallisationswärme frei und die auf ein Plateau (Gefrierpunkt) ansteigende Temperatur wird vom Gerät angezeigt. Da der TS-Gehalt des Materials im Extrakt verändert wurde, wurde die gemessene Osmolalität entsprechend der zugesetzten Wassermenge über das Einengungsverhältnis (HOEDTKE *et al.* 2005) auf die Originalsubstanz korrigiert, so dass die Osmolalitätswerte der Auszüge vergleichbar waren.

## 2.4 Statistische Auswertung für die Untersuchungen mit lagertrockenen bzw. feucht geernteten Körnern und den resultierenden Silagen

Die mathematisch statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit der Software Excel und SPSS für Windows (SPSS Inc., Chicago / Illinois, USA). Bis auf Angaben mit explizit aufgeführter Einheit, wurden die Daten in % der TS berechnet, um eine Basis der Vergleichbarkeit verschiedener Parameter zu erhalten. In den Tabellen der vorliegenden Arbeit sind Mittelwerte und Standardabweichungen ( $\pm s$ ) angegeben.

Alle paarweisen Mittelwertvergleiche wurden mit dem *t*-Test nach Student durchgeführt. Für den Test auf signifikante Differenzen bei multiplen Mittelwertvergleichen wurden die einfaktorielle „ANOVA“ bzw. die univariate Varianzanalyse angewandt. Bei Annahme gleicher Varianz (Levene-Test auf Varianzhomogenität der Gruppen,  $\alpha < 0,05$ ) wurde der Duncan-Test angewandt. Bei Daten mit Varianzheterogenität wurde die Differenz der Mittelwerte mittels Dunnett-T3-Test auf Signifikanz geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt ( $\alpha = 0,05$ ). Dies entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Bei nicht zufällig erklärten Unterschieden zwischen den Mittelwerten wurde die ermittelte Signifikanz durch verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben innerhalb der Tabellen gekennzeichnet. Beziehungen zwischen Parametern wurden über Regressionsanalysen mit Angabe der Regressionsgleichung, des Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ) ausgewiesen. Die aufgeführten Grafiken wurden mittels Microsoft Excel erstellt.

## 2.5 Fütterungsversuche

### 2.5.1 Allgemein

Im Gegensatz zu Mastschweinen, für die der Einsatz von 15 bis 20% blauen Lupinen in der Ration auf Grund von Ergebnissen zahlreicher Versuche der vergangenen Jahre als gesicherte Einsatzempfehlung gilt, werden die Einsatzgrenzen für die Ferkelaufzucht und Geflügelfütterung noch kontrovers diskutiert und rangieren gegenwärtig von totaler Ablehnung bis zu 20% in der Ration. Daraus resultiert vordergründig ein zwingender Forschungsbedarf für diese Tierkategorien. Aus diesem Grund wurde von dem ursprünglich geplanten Mastversuch Abstand genommen und dafür für die Ferkelaufzucht und Broilermast jeweils ein Wiederholungsversuch zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse in das Versuchsprogramm aufgenommen.

In Auswertung zahlreicher Literaturbefunde werden vom Landesarbeitskreis „Futter und Fütterung im Freistaat Sachsen“ Empfehlungen für futtermittelspezifische Restriktionen für die einzelnen Tierarten und Nutzungsrichtungen periodisch mitgeteilt (Hoffmann u. Steinhöfel, 2006). Für den Lupineneinsatz in der Ferkel- und Mastbroilerfütterung werden folgende Empfehlungen gegeben (Tab. 18):

Tab. 18: Restriktionen für den Einsatz von blauer Lupine in der Ferkel- und Broilerfütterung (Hoffmann u. Steinhöfel, 2006) – Angaben in % der Ration

Tierkategorie	Ferkelaufzucht		Broilermast
	< 15 kg LM	> 15 kg LM	
Blaue Lupine	0	5	5

In Anlehnung an diese Empfehlungen, aber abweichend von den ursprünglichen Versuchskonzeptionen wurden für die Fütterungsversuche im Rahmen des Projektes der Einsatz von 5 bis 10 % Lupinenschrot (lager trocken und Silage) im Futter auf Trockenmassebasis altersabhängig festgelegt (Tab. 19).

Tab. 19: Lupinenanteil im Versuchsfutter für Ferkel und Broiler

Tierkategorie	Ferkelaufzucht		Broilermast	
	bis 14. Versuchstag	ab 15. Versuchstag	bis 14. Versuchstag	ab 15. Versuchstag
<b>Lupinenschrot lager trocken</b>	8	10	5	7
<b>Lupinenschrot- silage</b>	10	12	7	10

Die Zielstellung der Fütterungsversuche im Rahmen des Projektes war zu überprüfen, ob höhere Anteile als gegenwärtig in der Broiler- und Ferkelfütterung empfohlen, eingesetzt werden können und ob die Feuchtkorn-Silierung sich diesbezüglich vorteilhaft auswirkt.

Die Tierversuche wurden in der Versuchsstation "Friedrich Harms" der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock in Dummerstorf durchgeführt.

#### ***Herstellung der Lupinenschrotsilage für die Fütterungsversuche***

Für die Fütterungsversuche wurde in Auswertung der Ergebnisse der ersten zwei Bewilligungsjahre des Projektes die blaue Lupine der Sorte „Borlu“ mit dem vergleichsweise höchstem Rohproteingehalt und einem relativ geringem Alkaloidgehalt ausgewählt. Lager trockene Körner dieser Sorte wurden nach Zerkleinerung (4 mm Sieb) und Rückbefeuchtung auf einen Wassergehalt von 35 % unter Zugabe von Milchsäurebakterien (BIO-SIL®-*Lactobacillus plantarum*) in drei 100-l-Fässern siliert. Die Silagen wurden bis zur Verfütterung zwei Monate gelagert. Von den Silagen wurden nach dem Öffnen der Fässer unverzüglich die Silierparameter und nach Gefriertrocknung der Nährstoff- und Aminosäuregehalt bestimmt. Die ursprünglich geplante Silierung von erntefeuchten Lupinenkörnern konnte aus organisatorischen Gründen (Projektlaufzeit) nicht realisiert werden. Zwischenzeitlich in unserem Hause erhaltene Ergebnisse zur Getreidefeuchtkornsilierung haben gezeigt, dass sowohl hinsichtlich des Silierverlaufes als auch der Gärparameter kein wesentlicher Unterschied zwischen erntefrischem und rückbefeuchtetem Substrat besteht, sodass die o.g. Vorgehensweise als gerechtfertigt erscheint.

Die durchschnittlichen Silierparameter der hergestellten Silagen (3 Fässer) sind in der Tabelle 20 aufgeführt.

Tab. 20: Silierparameter der Lupinenschrotsilage

Parameter	pH-Wert	Milchsäure	Essigsäure	Buttersäure	Äthanol
<b>Mittelwert</b>	4,13	4,21	0,38	0,0	0,12
	± 0,02	± 0,06	± 0,01		± 0,01

Die analysierten Silierparameter der Silagen zeigten einen optimalen Gärverlauf. Bei einem pH-Wert von 4,13 wiesen die buttersäurefreien Silagen einen relativ hohen, als ernährungsphysiologisch vorteilhaft zu wertenden Milchsäuregehalt von durchschnittlich 4,21 % in der Trockensubstanz auf. Der durchschnittliche Nährstoff- und Aminosäuregehalt der Lupinenschrotsilage sind vergleichend zum Ausgangsmaterial in den Tabellen 21 und 22 aufgeführt.

Im Nährstoffgehalt ist zwischen den lagertrockenen Lupinenkörnern und den daraus bereiteten Silagen, abgesehen davon, dass in der Silage kein Zucker mehr analysiert wurde, kein Unterschied zu erkennen.

Tab. 21: Nährstoffgehalt der Lupine

Variante	TM	Roh- asche	Roh- Prot.	Roh- faser	Roh- fett	Stärke	Zucker
	g/kg	g/kg TM					
<b>Lupine-lagertrocken</b>	897,4	42,3	367,2	144,7	60,6	0,0	28,1
	± 0,36	± 0,04	± 0,60	± 0,80	± 0,03		± 0,3
<b>Lupinenschrotsilage</b>	639,2	41,4	367,6	148,8	60,2	14,7	0,0
	± 0,02	± 0,04	± 0,45	± 0,50	± 0,07	± 0,2	

Dagegen ist ein Einfluss auf die Proteinqualität bzw. dem Aminosäuregehalt offensichtlich (Tab. 22). Der relative Vergleich zeigt, dass in der Silage insbesondere der Gehalt an den bei monogastrischen Tieren erstlimitierenden Aminosäuren Lysin um tendenziell 7% und Methionin+Cystin signifikant um 6 bzw. 9 % deutlich geringer ist. Für die anderen Aminosäuren dagegen, wurde überwiegend tendenziell ein höherer Gehalt analysiert. Übereinstimmende Ergebnisse haben wir auch in unseren Untersuchungen zur Feuchtgetreidesilierung gefunden (Hackl et al., 2008). Die Lupinenschrotsilage wurde bis zu Beginn der Fütterungsversuche in eine Tiefkühlzelle eingelagert.



Tab. 22: Rohprotein und Aminosäuregehalt der Lupine (g/kg TM)

Variante	Lupine		Silage rel. %
	lagertrocken	Lupinenschrot- silage	
<b>Rohprotein</b>	367,2 ± 0,60	367,6 ± 0,45	100
<b>Aminosäure</b>			
<b>ASP</b>	34,83 ± 0,83	35,74 ± 1,04	103
<b>THR</b>	12,13 ± 0,32	12,26 ± 0,33	102
<b>SER</b>	17,59 ± 0,46	18,07 ± 1,18	103
<b>GLU</b>	76,01 ± 7,32	72,63 ± 9,18	96
<b>GLY</b>	14,82 ± 0,36	15,30 ± 0,46	103
<b>ALA</b>	12,19 ± 0,36	12,41 ± 0,28	102
<b>VAL</b>	13,48 ± 0,93	13,35 ± 1,04	99
<b>ILEU</b>	14,04 ± 1,01	14,05 ± 1,00	100
<b>LEU</b>	24,56 ± 0,89	25,17 ± 0,35	107
<b>TYR</b>	11,02 ± 0,36	11,26 ± 0,35	112
<b>PHE</b>	13,99 ± 0,61	14,22 ± 0,02	110
<b>HIS</b>	10,69 ± 0,56	11,02 ± 0,36	113
<b>LYS</b>	16,62 ± 0,82	15,52 ± 0,62	93
<b>ARG</b>	35,24 ± 1,85	36,02 ± 0,59	105
<b>PRO</b>	13,98 <sup>a</sup> ± 0,27	16,11 <sup>b</sup> ± 1,50	115
<b>CYS</b>	4,85 <sup>a</sup> ± 0,09	4,42 <sup>b</sup> ± 0,19	91
<b>MET</b>	2,15 <sup>a</sup> ± 0,05	2,02 <sup>b</sup> ± 0,04	94
Unterschiedlich kleine hochgestellte Buchstaben zwischen den Spalten bedeuten signifikante Unterschiede (p<0,05)			

## 2.5.2 Broilermastversuche (Gruppenfütterung)

### 2.5.2.1 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden im Zeitraum von März bis Juni 2008 jeweils über eine 35-tägige Mastperiode im Geflügelstall der Versuchsstation, in dem in 12 Gruppenbuchten Broiler in Bodenhaltung mit Einstreu gehalten werden können, durchgeführt. Bei dem Geflügelstall handelt es sich um einen Altbau mit Fenstern und Fensterbank- und Ventilatorlüftung sowie einer regelbaren Gaskanonenheizung. Die Stalltemperatur wurde beginnend mit 32°C wöchentlich um 2°C herunter geregelt. Die Laufbuchten (15 m<sup>2</sup>) sind nebeneinander angeordnet. Als Einstreu wurden handelsübliche Holzspäne (Allspan®) verwendet. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Wasserversorgung der Tiere ist jede Bucht mit einer von der Stalldecke abgehängten und in der Höhe verstellbaren Nippel-Durchlauftränke ausgestattet. Die Versuche wurden entsprechend den Empfehlungen für die Broiler-Kurzmast in die Phasen „Starter“ bis zum 14. und „Mast“ ab dem 15. Versuchstag unterteilt. Die Futterverabreichung erfolgte ad libitum in der Starterphase über Futtertröge und danach über Futterautomaten (10 kg Fassungsvermögen).

Das Versuchsdesign war in beiden Versuchen gleich (Tab. 23).

Tab. 23: Versuchsdesign - Broilermastversuche

Variante	Kontrollgruppe		Versuchsgruppen			
	A		B		C	
Gruppe	Starter bis 14.VT	Mast ab 15.VT	Starter bis 14.VT	Mast ab 15.VT	Starter bis 14.VT	Mast ab 15.VT
Weizen	62,5	59,5	60,5	55,5	58,5	52,5
HP Sojaextraktionsschrot	30,0	33,0	27,0	30,0	27,0	30,0
Ovital MM <sup>1</sup>	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Sojaöl	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Lupinenschrot lagertrocken	-	-	5,0	7,0	-	-
Lupinenschrotsilage	-	-	-	-	7,0	10,0

<sup>1</sup>Mineralfutter für Broiler, Fa. Schaumann

Die Herstellung des Versuchsfutters erfolgte in der stationseigenen Mischanlage Chargenweise. Die Basis der Mischungen bildeten Weizen und HP-Sojaextraktionsschrot, das in den Versuchsgruppen anteilig durch die Lupinenschrotvarianten auf TS-Basis ersetzt wurde. Als Mineralfutter wurden in allen Varianten 4 % Ovital MM der Fa. Schaumann und als zusätzliche Energiequelle 3,5 % handelsübliches Sojaöl eingemischt. Jede Variante wurde in 4 Wiederholungen zu je 60 Tieren geprüft und dem entsprechend für beide Versuche jeweils 720 unsortierte Broiler-Eintagsküken aus der Brüterei Triwalk der PLUMER GmbH & Co. KG, Groß Stieten am Schlupftag mit einer Lebendmasse von ca. 40 g bezogen und zufällig auf die Gruppen aufgeteilt.

Die Chargen des Starter- und Mastfutters wurden beprobt, zu Sammelproben vereinigt und analysiert. Die Analyseergebnisse sind für beide Versuche in den Tabellen 24 und 25 aufgeführt. Die Gehaltswerte entsprechen den kalkulierten Werten. Relevante Unterschiede zwischen den Varianten bestehen nicht. Der Gehalt an umsetzbarer Energie der Versuchsfuttermischungen lag in beiden Versuchen im Durchschnitt bei 14,0 MJ/kg TM und schwankte innerhalb der Versuche zwischen den Gruppen nur geringfügig.

Tab. 24: Chemische Zusammensetzung des Broiler-Starterfutters

Gruppe/Variante	Versuch Nr.	TS	Roh- asche	Roh- protein	Roh- fett	Lysin	Met+ Cys
		g/kg	g/kg TS				
A - Kontrollgruppe	1	889,7	68,9	259,1	60,3	12,4	9,5
	2	898,6	72,4	250,5	60,0	12,9	9,9
B - Versuchsgruppe 1	1	902,0	73,0	256,8	65,9	12,5	9,9
	2	899,0	74,2	257,3	65,0	12,9	10,2
C - Versuchsgruppe 2	1	870,3	71,5	254,8	66,3	12,5	10,0
	2	872,2	69,3	258,9	67,5	12,3	9,8

Tab. 25: Chemische Zusammensetzung des Broiler-Mastfutters

Gruppe/Variante	Versuch Nr.	TS	Roh- asche	Roh- protein	Roh- fett	Lysin	Met+ Cys
		g/kg	g/kg TS				
A - Kontrollgruppe	1	891,3	73,6	266,5	62,9	13,8	10,2
	2	896,1	73,6	265,7	62,7	13,0	10,0
B - Versuchsgruppe 1	1	895,6	72,5	262,2	67,6	13,3	10,2
	2	898,3	74,0	262,1	63,9	12,7	9,9
C - Versuchsgruppe 2	1	859,7	72,1	271,1	67,3	14,0	10,2
	2	865,0	70,6	252,5	68,0	13,2	9,6

### 2.5.2.2 Versuchsverlauf

Der Versuchstierbestand wurde durch kontinuierliche Visiten des Anlagentierarztes überwacht, Abgangsursachen diagnostiziert und dokumentiert. Täglich erfolgte eine Exkrementbonitur und zu den Wägeterminen eine Einzeltierprüfung auf verklebte Kloaken („sticky droppings“) durch das Betreuungspersonal. Abnormitäten in der Exkrementkonsistenz waren in allen Versuchsvarianten nur vereinzelt zu beobachten, ein Einfluss der Fütterung bestand nicht.

Während der Versuche mussten Tiere wegen unspezifischen Kümmerns und aufgrund von Störungen im Bewegungsapparat aus dem Versuch genommen. Die Anzahl der selektierten Tiere in den Fütterungsvarianten bzw. -gruppen ist in der Tabelle 26 aufgeführt.

Tab. 26: Tierverluste - Broilermastversuche

Gruppe/ Variante	Versuch								
	1			2			1 und 2		
	Tieranzahl n=								
	VA	Abgänge	rel. %	VA	Abgänge	rel. %	VA	Abgänge	rel. %
<b>A1</b>	60	1	1,7	60	5	8,3	120	6	5,0
<b>A2</b>	60	3	5,0	60	1	1,7	120	4	3,3
<b>A3</b>	60	2	3,3	60	1	1,7	120	3	2,5
<b>A4</b>	60	0	0,0	60	3	5,0	120	3	2,5
<b>A</b>	240	6	2,5	240	10	4,2	480	16	3,3
<b>B1</b>	60	1	1,7	60	1	1,7	120	2	1,7
<b>B2</b>	60	5	8,3	60	3	5,0	120	8	6,7
<b>B3</b>	60	3	5,0	60	4	6,7	120	7	5,8
<b>B4</b>	60	6	10,0	60	3	5,0	120	9	7,5
<b>B</b>	240	15	6,3	240	11	4,6	480	26	5,4
<b>C1</b>	60	10	16,7	60	2	3,3	120	12	10,0
<b>C2</b>	60	3	5,0	60	2	3,3	120	5	4,2
<b>C3</b>	60	1	1,7	60	2	3,3	120	3	2,5
<b>C4</b>	60	3	5,0	60	2	3,3	120	5	4,2
<b>C</b>	240	17	7,1	240	8	3,3	480	25	5,2

Die Gesamtverlustrate über beide Versuche lag in den Versuchsgruppen um ca. 2 % höher als in der Kontrollgruppe. Die Tendenz war in den Versuchen unterschiedlich. Im Versuch 1 war in der Versuchsgruppe C die vergleichsweise höchste und im Versuch 2 die niedrigste Verlustrate zu verzeichnen, sodass ein Einfluss der Fütterungsvariante nicht zweifelsfrei erkennbar ist.

### 2.5.2.3 Versuchsauswertung, Statistik

Zur Ermittlung der zootechnischen Parameter wurden die Tiere zur Einstellung und am 14. Versuchstag in Gruppenlosen von 3 x 20 bzw. 12 x 5 Tieren und am Versuchende einzeln gewogen und für die Wägebabschnitte der Futterverzehr für jede Gruppe erfasst.

Die erhobenen Messdaten wurden in einer Excel-Tabellenkalkulation am PC aufbereitet und mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS varianzanalytisch verrechnet. Der Mittelwertvergleich der Lebendmasse der Broiler erfolgte nach der Duncan-Prodzedur bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha < 0,05$  %. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sind in den Ergebnistabellen in den Zeilen mit hochgestellten unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

## 2.5.3 Ferkelaufzuchtversuche (Einzelfütterung)

### 2.5.3.1 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden jeweils über 35 Tage im Zeitraum März bis Juni im Aufzuchtteil der Versuchstation, in dem insgesamt 60 Ferkel in Einzelbuchten einer Flatdeck-Aufzuchtatterie auf Kunststoffrosten gehalten werden können, durchgeführt.

Das Stallklima wird automatisch über ein integriertes Heiz- (Gasstrahler und Gaskanone) und Lüftungssystem (Zu- und Abluftkanäle) reguliert. Die Raumtemperatur wurde bei 30° C beginnend, wöchentlich um 2° C reduziert. Wasser stand den Tieren zur ständigen Aufnahme über Nippeltränken zur Verfügung. Das Versuchsdesign war in beiden Versuchen gleich (Tab. 27).

Tab. 27: Versuchdesign - Ferkelaufzuchtversuche

Variante	Kontrollgruppe		Versuchsgruppen			
	A		B		C	
Gruppe	Starter bis 14.VT	Aufzucht ab 15.VT	Starter bis 14.VT	Aufzucht ab 15.VT	Starter bis 14.VT	Aufzucht ab 15.VT
<b>Weizen</b>	45	52	41	46	41	46
<b>Gerste</b>	25	25	25	25	23	23
<b>HP Soja</b>	10	18	6	14	6	14
<b>Schaumalac F 100<sup>1</sup></b>	4	4	4	4	4	4
<b>Schaumalac Ferkelmix<sup>2</sup></b>	15	-	15	-	15	-
<b>Sojaöl</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Lupinen lagertrocken</b>	-	-	8	10	-	-
<b>Lupinenschrotsilage</b>	-	-	-	-	10	12

<sup>1</sup>Mineralfutter für Ferkel, <sup>2</sup>Ergänzungsfutter für Ferkel, Fa. Schaumann

Die Versuche wurden entsprechend den Anforderungen der Absetzferkel in die Abschnitte „Starter“ bis zum 14. und „Aufzucht“ ab dem 15. Versuchstag unterteilt. Die Basis der Mischungen bildeten Weizen, Gerste und HP-Sojaextraktionsschrot. In den Versuchsgruppen wurde Sojaextraktionsschrot anteilig unter Berücksichtigung des Trockensubstanzgehaltes durch lagertrockenes Lupinenschrot (Versuchsgruppe B) bzw. Lupinenschrotsilage (Versuchsgruppe C) ersetzt. In allen Mischungen wurde 1 % handelsübliches Sojaöl und als Mineralfutter „Schaumalac F 100“ der Firma Schaumann in Höhe von 4 % nach Empfehlung des Herstellers eingemischt. Das Mineralfutter enthielt neben Vitaminen und synthetischen Aminosäuren auch zootechnische Zusatzstoffe (Enzyme, Milchsäurebakterien, organische Säuren). In der Starterphase wurde mit „Schaumalac Ferkelmix“ ein spezielles Ergänzungsfutter für Ferkel ebenfalls von der Firma Schaumann mit hochwertigen Eiweißträgern (Sojaproteinkonzentrat, Molkenpulver, Kartoffeleiweiß, Sojabohnen) eingesetzt.

Die Herstellung des Versuchsfutters erfolgte in der stationseigenen Mischanlage (Vertikal-Präzisionsmischer der Fa. Gebr. Ruberg) chargenweise. Die Chargen des Starter- und Aufzuchtfutters wurden beprobt, zu Sammelproben vereinigt und analysiert. Die Analyseergebnisse sind für beide Versuche in den Tabellen 28 (Ferkelstarter) und 29 (Ferkelaufzucht) aufgeführt.

Die Analysenwerte entsprechen im Wesentlichen den kalkulierten Werten. Der Rohfettgehalt liegt in den Mischungen der Versuchsgruppen um relativ 7 % über dem Niveau der Kontrollgruppen, da die Lupine mehr Fett enthält, als das anteilig ersetzte Sojaextraktionsschrot. Die vergleichsweise deutlich niedrigsten Lysingehalte in den Mischungen der Versuchsgruppe C hängen ursächlich mit dem gegenüber lagertrockenen Lupinen geringeren Lysingehalt in der Kornsilage zusammen (Tab. 22). Dieser Sachverhalt war zu Beginn der Fütterungsversuche noch nicht bekannt und konnte somit bei der Kalkulation der Mischungen nicht berücksichtigt werden. Der berechnete Energiegehalt der Mischungen lag für das Starterfutter bei 15,5 und das Aufzuchtfutter bei 15,2 MJME/kg TM.

Tab. 28: Chemische Zusammensetzung des Ferkel-Starterfutters

Gruppe/Variante	Versuch	TS	Roh- asche	Roh- protein	Roh- fett	Lysin	Met+ Cys
	Nr.	g/kg	g/kg TS				
<b>A - Kontrollgruppe</b>	1	895,2	60,0	208,7	50,3	15,6	8,2
	2	901,0	63,4	206,9	52,6	16,5	8,0
<b>B - Versuchsgruppe 1</b>	1	894,1	63,7	214,8	56,8	15,1	8,7
	2	903,8	63,3	204,6	55,5	16,5	8,2
<b>C - Versuchsgruppe 2</b>	1	861,8	55,4	206,7	55,7	14,5	8,1
	2	869,9	61,1	207,3	55,1	15,5	7,8

Tab. 29: Chemische Zusammensetzung des Ferkel-Aufzuchtfutters

Gruppe/Variante	Versuch	TS	Roh- asche	Roh- protein	Roh- fett	Lysin	Met+ Cys
	Nr.	g/kg	g/kg TS				
<b>A - Kontrollgruppe</b>	1	884,4	60,0	212,3	35,7	14,8	8,2
	2	889,4	59,2	211,9	35,1	15,7	7,7
<b>B - Versuchsgruppe 1</b>	1	889,6	55,7	209,8	38,0	14,6	8,3
	2	890,7	57,2	211,0	36,2	14,8	7,8
<b>C - Versuchsgruppe 2</b>	1	849,5	56,6	211,1	39,7	14,2	7,9
	2	861,4	57,0	213,5	37,0	14,3	7,5

Als Versuchstiere dienten in beiden Versuchen jeweils 60 männlich kastrierte Hybrid-Absetzferkel, die von der Wiechmann und Söhne GbR, Pankelow mit einem Alter von 28 Tagen und einem Durchschnittsgewicht von ca. 9 kg bezogen wurden. Die Tiere wurden am Versuchsanfang gewichtsgleich gemäß dem Versuchsdesign auf die 3 Gruppen aufgeteilt und gegenüberliegend räumlich versetzt in zweireihig angeordnete Einzelbuchten des Flatdecks eingestallt.

Das Futter wurde trocken ad libitum an die Tiere verabreicht und der Futterverbrauch ständig für jede Bucht erfasst und in einem Futterkontrollbuch dokumentiert.

### 2.5.3.2 Versuchsverlauf

Die Tiere standen unter ständiger Kontrolle des Anlagentierarztes. Die Kotkonsistenz der Tiere wurde täglich zweimal nach einem 5-Punkte-Schema bonitiert (1 = fester pelletartiger Kot ... 5 = Durchfall) und dokumentiert. Klassischer absetzbedingter Durchfall trat in keiner Gruppe auf. Die durchschnittlichen Boniturnoten unterschieden sich zwischen den Gruppen nicht bzw. nur marginal. Vereinzelt kurzzeitig aufgetretene Abnormitäten hinsichtlich der Kotkonsistenz (Boniturnote > 3) und Atemwegs-Auffälligkeiten wurden medikamentös mit Ventrasan und/oder Cabophen behandelt. Von den in beiden Versuchen in jeder Variante insgesamt eingestellten 40

Ferkeln mussten jeweils 3 Tiere (7,5 %) wegen unspezifischen Kümmerns aus dem Versuch genommen werden. Darüber hinaus verliefen die Versuche ohne Störungen.

### **2.5.3.3 Versuchsauswertung, Statistik**

Zur Ermittlung des Wachstumsverlaufes und der täglichen Lebendmassezunahme erfolgten wöchentlich Einzeltierwägungen. Der Futtermittelverzehr wurde für die jeweilige Versuchswoche für jedes Tier erfasst und der Futteraufwand berechnet.

Die erhobenen Messdaten wurden in einer Excel-Tabellenkalkulation am PC aufbereitet und mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS varianzanalytisch verrechnet. Die ermittelten Parameter werden in der Ergebnisdarstellung als Gruppenmittelwerte mit Standardabweichung mitgeteilt. Signifikante Mittelwertdifferenzen ( $p < 0,05$ , Duncan-Test) zwischen den Behandlungen werden in den Ergebnistabellen durch unterschiedliche kleine hochgestellte Buchstaben gekennzeichnet.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse**

#### **3.1.1 Chemische Untersuchung reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten zur Charakterisierung des Gehaltes an Futterwert bestimmenden Inhaltsstoffen**

##### ***Weender Rohnährstoffe***

Die Ergebnisse der Nährstoffanalysen (Tab. 30) bestätigen für lagertrockene Leguminosenkörner die in der Literatur genannten Gehalte. Im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot mit bis zu 55 % Rohprotein in der TS weisen Körner der heimischen Ackerleguminosen einen geringeren Gehalt an Rohprotein von durchschnittlich 25 (Erbsen) bis 40 % der TS (Lupinen) auf, wobei sortenspezifische Gehaltsunterschiede berücksichtigt werden müssen (ALLOUI et al., 1994; BASTIANELLI et al., 1998; FLIS et al., 1999; SMULIKOWSKA & CHIBOWSKA, 1993). Unter dem Aspekt der bedarfsgerechten Proteinversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere sind die Samen einheimischer großkörniger Leguminosen dennoch als Alternative zu Soja anzusehen. In Tabelle 30 sind die Ergebnisse der Nährstoffanalysen im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot (DLG, 1997) aufgeführt.

Lupinenkörner zeichnen sich durch hohe Fettgehalte aus, die insbesondere in weißen Lupinen bis 13 % der TS betragen können (Tab. 30). Der Fettgehalt in Erbsen und Ackerbohnen erreicht maximal 2 % der TS und ist damit ähnlich gering wie bei Soja und seinen Verarbeitungsprodukten. Der Stärkegehalt in Ackerbohnen und Erbsenkörnern liegt zwischen 41 und 48 % der TS. Die Gehalte bei den Lupinen erreichen dagegen laut DLG bis zu 10 % der TS, wobei in den ausgewählten Sorten nur Stärkegehalte von bis zu 2 % der TS nachgewiesen wurden. Der nach der neuen GfE Schätzgleichung (GfE, 2006) berechnete Energiegehalt für Schweine zeigt im Vergleich zum Tabellenwert für Sojaextraktionsschrot (DLG, 1991) für die weißen Lupinen (hoher Fettgehalt) nahezu übereinstimmende und für die Ackerbohnen deutlich geringere Werte. Die Sortenunterschiede innerhalb der Arten sind nicht relevant.

Die analysierten Rohfasergehalte der Lupinensorten erreichen 11 - 15 % der TS und liegen damit deutlich höher als bei Ackerbohne, Erbse und Sojaextraktionsschrot (Tab. 31). Die Rohfasergehalte stimmen ebenso wie die für NDF, ADF und ADL erhaltenen Ergebnisse weitestgehend mit den Angaben von ALLOUI et al. (1994), BASTIANELLI et al. (1998), FLIS et al. (1999) und SMULIKOWSKA & CHIBOWSKA (1993) überein. Hinzuweisen ist auf die geringen ADL-Gehalte der untersuchten Lupinenkörner ( $> 1$  %).

Tab. 30: Nährstoff- und Energiegehalt reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten (eigene Ergebnisse) im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot (DLG, 1991)

Art	Sorte	TS	XA	XP	XL	XF	XS	XZ	Energie
		%	% i.d.TS						MJME <sub>s</sub> /kg TS
<i>L. angustifolius</i> (süß)	Bora	90,54	3,70	40,62	7,02	12,72	1,50	4,44	15,78
	Borlu	91,40	3,78	39,45	6,78	10,65	1,73	4,20	15,67
<i>L. luteus</i> (süß)	Bornal	90,73	5,40	42,40	6,80	13,51	1,00	2,92	15,44
	Borsaja	91,11	5,65	46,73	6,29	13,74	1,06	3,04	15,66
<i>L. albus</i> (süß)	Bardo	92,28	3,87	36,91	12,91	12,04	0,85	3,95	16,35
<i>L. albus</i> (bitter)	Weibit	91,67	3,58	39,61	11,99	11,67	0,71	4,00	16,37
<i>L. angustifolius</i> (bitter)	Azuro	90,91	3,59	40,15	5,63	14,93	1,14	2,94	15,52
	Rubine	91,06	3,56	33,36	6,61	14,99	1,06	2,28	15,32
<i>Vicia faba</i>	Limbo	89,25	3,64	30,96	1,78	8,52	43,32	2,50	14,30
	Scirocco	88,42	3,46	28,87	1,72	9,98	41,39	1,96	14,16
<i>Pisum sativum</i>	Lisa	89,86	3,51	23,38	1,84	7,67	48,03	2,32	15,28
	Santana	90,00	3,15	26,95	2,06	6,75	47,69	3,45	15,53
Sojaextraktionsschrot (aus geschälter Saat, dampferhitzt)		89,00	6,70 ± 0,6	55,20 ± 2,4	1,30 ± 0,8	3,90 ± 0,6	7,20 ± 1,9	11,50 ± 2,7	16,21

Tab. 31: Gehalte an Faserfraktionen in reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten

Art	Sorte	TS	XF	NDF	ADF	ADL
		%	% i.d.TS			
<i>L. angust.</i> (süß)	Bora	90,54	12,72	21,48	19,21	0,53
	Borlu	91,40	10,65	18,86	17,65	0,51
<i>L. luteus</i> (süß)	Bornal	90,73	13,51	22,11	20,63	0,69
	Borsaja	91,11	13,74	24,10	20,18	0,70
<i>L. albus</i> (süß)	Bardo	92,28	12,04	19,08	18,60	0,62
<i>L. albus</i> (bitter)	Weibit	91,67	11,67	21,05	19,55	0,77
<i>L. angust.</i> (bitter)	Azuro	90,91	14,93	24,68	22,67	0,52
	Rubine	91,06	14,99	23,59	22,07	0,48
<i>Vicia faba</i>	Limbo	89,25	8,52	24,02	13,06	1,13
	Scirocco	88,42	9,98	25,28	15,52	1,30
<i>Pisum sativum</i>	Lisa	89,86	7,67	26,37	13,93	1,55
	Santana	90,00	6,75	22,28	9,52	0,11

### Aminosäuren

In Tabelle A1 im Anhang ist die Aminosäurezusammensetzung der geprüften Leguminosenkörner im Vergleich zu Weizen und Sojaextraktionsschrot dargestellt. Die im Vergleich zum Getreide hohen Lysingehalte konnten bestätigt werden, wobei die untersuchten Lupinensorten z. T. deutlich höhere Lysingehalte aufwiesen, als in den einschlägigen Tabellenwerken aufgeführt sind (DEGUSSA 2006: *L. angustifolius* 13,2; *L. luteus* 14,3; *L. albus* 16,0 g/kg TS). Der Gehalt an schwefelhaltigen Aminosäuren war erwartungsgemäß gering. Herauszuheben sind allerdings die Cystingehalte in den Körnern der gelben Lupinensorten, die mit 9,5 (Bornal) bzw. 8,0 g/kg TS (Borsaja) deutlich über den für Sojaextraktionsschrot ausgewiesenen Werten liegen. Das Verhältnis der erstlimitierenden Aminosäuren zueinander ist in den geprüften Lupinen vergleichbar mit dem von Sojaextraktionsschrot und stimmt insbesondere in den Körnern der gelben Lupinen gut mit dem Bedarf von Mastschweinen überein (Tab. A2 im Anhang). Die Ackerbohnen und Erbsen weichen vor allem im Gehalt an schwefelhaltigen Aminosäuren von der optimalen Aminosäurezusammensetzung für die Fütterung monogastrischer Nutztiere ab.



### Oligosaccharide

Der Gesamtzuckeranteil von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen lag im Durchschnitt bei 6,1; 8,6 bzw. 10,6 % der TS, wobei die Oligosaccharide (RFO: Raffinose, Stachyose und Verbascose) in den Körnern der Leguminosen durchschnittlich einen Anteil von 50 (Ackerbohne) bis 81 % (Gelbe Lupine) repräsentieren (Tab. 32). Die Zusammensetzung der Oligosaccharidfraktion differiert zwischen den Leguminosenarten erheblich. Stachyose dominiert in den geprüften Lupinensamen und ist mit durchschnittlich 55 % der RFO bei Gelben Lupinen und bis 75 % der RFO bei Weißen Lupinen enthalten. Der Verbascosegehalt ist hingegen in Gelben Lupinen höher als in Weißen Lupinen. Während Stachyose auch in Erbsen den größten Anteil der RFO stellt (41 %), überwiegt in Ackerbohnen die Verbascose (76 %), was in Arbeiten von CERNING *et al.* 1975 und RUPEREZ 1998 bestätigt wird.

Die Gesamtgehalte an Raffinoseoligosacchariden werden in der Literatur für Ackerbohnen mit 3-5 % der TS, für Erbsen mit 4,5-7,5 % und für Lupinen mit 7-11 % der TS angegeben (WISEMAN & COLE 1988; PIOTROWICZ-CIESLAK *et al.* 1999; MARTINEZ-VILLALUENGA *et al.* 2005) und bestätigen somit die eigenen Ergebnisse. Bei PIOTROWICZ-CIESLAK *et al.* (1999) und MARTINEZ-VILLALUENGA *et al.* (2005) sind ebenso wie in den eigenen Untersuchungen Unterschiede in der Zusammensetzung der Oligosaccharidfraktion festgestellt worden. Auch bei MACRAE & ZAND-MOGHADDAM (1978) und TRUGO (1994) sind z.B. erhebliche Differenzen zwischen Stachyose bzw. Verbascose analysiert worden.

Gehalte an RFO in den verschiedenen Lupinenarten werden bei PIOTROWICZ-CIESLAK *et al.* (1999) mit 6,6-8,6 % (Weiße Lupine), 4,7-11,0 % (Gelbe Lupine) und 4,1-5,3 % der TS (Blaue Lupine) angegeben. JÜRGENS *et al.* (2007) ermittelten insgesamt geringere Gehalte an Oligosacchariden in Blauen Lupinen. Die eigenen Analysenergebnisse bestätigen die niedrigen Oligosaccharidgehalte der Blauen Lupine. Auch in den Untersuchungen von JANSEN *et al.* (2005) waren die Gehalte an löslichen Kohlenhydraten in Gelben und Weißen Lupinen höher als in Blauen Lupinen, wobei in neuen Stämmen der Blauen Lupine insgesamt relativ niedrige Oligosaccharidgehalte festgestellt werden konnten. Dies wird durch Untersuchungen von KLUGE *et al.* (2002) bestätigt. JÜRGENS *et al.* (2007) ermittelten in Blauen Lupinen einen relativen Anteil von Raffinose (16 %), Stachyose (54 %) und Verbascose (30 %), was den prozentualen Anteilen in den eigenen Untersuchungen entspricht.

Tab. 32: Zucker- und Oligosaccharidfraktionen in reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten

Art	Sorte	TS	Galac-	Saccha-	Raffi-	Stachy-	Verbas-	$\Sigma$ RFO* <sup>1</sup>	$\Sigma$ RFO am Zucker* <sup>2</sup>
		%	tose	rose	nose	ose	cose		
<i>L. angustifolius</i> (süß)	Borlu	91,4	0,40	2,86	0,86	3,10	1,27	5,23	61,6
	Bora	90,5	0,51	2,85	0,88	3,77	1,89	6,54	66,1
<i>L. angustifolius</i> (bitter)	Azuro	90,9	0,22	2,84	0,63	3,74	1,33	5,70	65,1
	Rubine	91,1	0,58	2,01	0,77	4,23	2,17	7,17	73,4
<i>L. luteus</i> (süß)	Bornal	90,7	0,26	2,13	0,81	5,65	3,62	10,08	80,8
	Borsaja	91,1	0,15	1,57	0,66	4,20	2,94	7,80	81,9
<i>L. albus</i> (süß)	Bardo	92,3	0,51	4,91	0,85	6,15	1,32	8,31	60,5
<i>L. albus</i> (bitter)	Weibit	91,7	0,34	3,39	0,76	6,49	1,26	8,51	69,5
<i>Vicia faba</i>	Limbo	89,3	0,65	2,49	0,17	0,75	2,58	3,50	52,7
	Scirocco	88,4	0,85	2,14	0,00	0,53	2,13	2,66	47,2
<i>Pisum sativum</i>	Lisa	89,9	0,00	1,97	0,52	2,01	3,01	5,54	73,8
	Santana	90,0	0,15	2,53	1,14	3,17	2,78	7,08	72,5

\*<sup>1</sup>  $\Sigma$ RFO: Raffinose, Stachyose, Verbascose; \*<sup>2</sup> Zucker:  $\Sigma$ Galactose, Saccharose, Raffinose, Stachyose und Verbascose

### Alkaloide

Im Allgemeinen weisen Süßlupinen heute weniger als 0,05 % Alkaloide in der TS auf (GUERRERO 1984). Nach ALLEN (1998) und PETERSON (1998) ist die mögliche

Schwankungsbreite im Alkaloidgehalt neben der Sorte auch von den Wachstumsbedingungen abhängig. SUJAK *et al.* (2006) geben für Süßlupinen Schwankungen zwischen 0,05 bis 0,24 % der TS an. In den eigenen Untersuchungen wurden für die geprüften Süßlupinen Gesamtalkaloidgehalte von 0 bis 0,5 % der TS ermittelt (Tab. 33). Für Bitterlupinen werden Alkaloidgehalte bis 4 % der TS angegeben (PETTERSON 1998). Dies bestätigt die eigenen Ergebnisse, wobei auf den geringen Alkaloidgehalt der Sorte Rubine hinzuweisen ist (0,06 % der TS).

Tab. 33: Alkaloidgehalte in reifen, lagertrockenen Lupinenkörnern verschiedener Sorten

Art	Sorte	TS	Alkaloid (gesamt)
		%	% i.d.TS
<i>L. angustifolius</i> (süß)	Borlu	91,40	0,493
	Bora	90,54	0,087
<i>L. angustifolius</i> (bitter)	Azuro	90,91	2,289
	Rubine	91,06	0,061
<i>L. luteus</i> (süß)	Bornal	90,73	0,018
	Borsaja	91,11	0,000
<i>L. albus</i> (süß)	Bardo	92,28	0,228
<i>L. albus</i> (bitter)	Weibit	91,67	3,986

### Tannine

Tannine zählen zu den Bitterstoffen, welche beim Monogastrier aufgrund des adstringierenden Geschmacks die Futteraufnahme herabsetzen (JEROCH *et al.* 1999, FERGUSON *et al.* 2002). Sie bilden stabile Komplexe mit Futterproteinen, Alkaloiden und Kohlenhydraten und bewirken so eine verminderte präzäkale Verdaulichkeit der Nährstoffe (LEINMÜLLER & MENKE 1991, JANSMAN 1993, SWIECH *et al.* 2004). Aus Sicht der chemischen Eigenschaften erfolgt eine Unterteilung in hydrolysierbare (durch Enzyme in einen Zuckerrest und Phenolcarboxylsäuren spaltbar) und kondensierte Tannine (polymere Flavonoide) (REED 1995, MAKKAR 2003). HEINZ *et al.* (1991) und weitere Autoren (MARQUARDT *et al.* 1977, JANSMAN *et al.* 1994) weisen die antinutritive Wirkung den in Körnerleguminosen zumeist vorliegenden kondensierten Tanninen (Proanthocyanidine) zu.

In Abhängigkeit vom Tanningehalt existieren Einsatzbegrenzungen für die Verfütterung von Erbsen und Ackerbohnen. Lupinen hingegen weisen zumeist nur geringe Tanningehalte auf (DUPONT *et al.* 1994, MARISCAL-LANDÍN *et al.* 2002, LAMPART-SZCZAPA *et al.* 2003). Daher wurden die Tanninfraktionen nur in den Körnern von Ackerbohnen und Erbsen untersucht. Die Analysenergebnisse sind in Tabelle 34 zusammengefaßt und werden im folgenden getrennt für Ackerbohnen und Erbsen diskutiert.

Tab. 34: Gehalte an Phenol- und Tanninfraktionen in lagertrockenen Ackerbohnen- und Erbsenkörnern verschiedener Sorten

Art	Sorte	Blüten-/ Kornfarbe	GP	NT	TP	KT
			% i.d. TS			
<i>Vicia faba</i>	Limbo	bunt	1,34	0,57	0,77	1,72
	Scirocco	bunt	0,93	0,44	0,50	0,83
<i>Pisum sativum</i>	Lisa	dunkel	0,96	0,36	0,59	1,78
	Santana	hell	0,09	0,10	0,00	0,10

GP ... Gesamtphenole; NT ... Nicht-Tanninphenole; TP ... Tanninphenole; KT ... extrahierbare kondensierte Tannine

### Ackerbohne

Die für die untersuchten buntblühenden Sorten (Limbo, Scirocco) ermittelten Gehalte an Gesamtphenolen (GP), Tanninphenolen (TP) und kondensierten Tanninen (KT) liegen größtenteils

unter den in der Literatur angegebenen Werten. Große Schwankungsbreiten der Tanningehalte auch innerhalb einer Sorte sind jedoch bekannt. So wurden für die Sorte Scirocco 2,4 % GP, 1,7 % TP und 3,3 % KT in der TS angegeben (MAKKAR et al. 1997). RÖMER (1998) nennt ähnliche Werte wobei ABEL & GERKEN (2004) 2,6 % KT in der TS dieser Sorte ermittelte. MAKKAR et al. (1997) teilen allgemein für buntblühende Ackerbohnsorten 1,5-2,8 % GP, 1,0-2,1 % TP und 1,6-3,5 % KT (Leukocyanidin-Äquivalent) in der TS mit.

Unterschiede in den Analysenergebnissen müssen zum Teil jedoch auch auf die gewählten Methoden zurückgeführt werden (MAKKAR et al. 1997). So berichtet GRIFFITHS (1981) von bis zu 2,0 % Polyphenol bzw. 0,7 % KT (Catechin Äquivalent) in der TS im Korn von buntblühenden Ackerbohnen, während ABEL et al. (2002) den Anteil an KT (Leukocyanidin-Äquivalent) mit 1,5-3,5 % in der TS ausweisen.

Wie aus Tabelle 34 ersichtlich, sind für die Gehalte an KT sowohl bei Ackerbohnen als auch bei Erbsen höhere Werte als für den Gesamtanningehalt (TP) angegeben. Dies ist in der Methode begründet. Im Butanol-HCl-Assay werden Proanthocyanidine als ein Hauptbestandteil von Tanninen bestimmt (MAKKAR 1989). Aufgrund der unzureichenden Sensitivität der Methode werden jedoch nicht alle der komplexierten Tannine erfaßt. Die Ergebnisse sollten daher unter Vorbehalt interpretiert werden (MAKKAR et al. 1999, REED 1995, SCHONFIELD et al. 2001).

### Erbse

Zwischen der Blütenfarbe und dem Tanningehalt besteht bei Erbsen eine deutliche Korrelation, wobei weißblühende Sorten niedrigere Tanningehalte aufweisen als buntblühende Sorten bzw. Sorten mit dunkler Samenhülle und damit im Futterwert überlegen sind (GRIFFITHS 1981, SMULIKOWSKA et al. 2001). Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen in Tabelle 34 wider. Für die dunkelblühende Sorte Lisa wurden 1,8 % KT in der TS ermittelt. Dieser Wert liegt innerhalb der in der Literatur beschriebenen Spanne. GRIFFITHS (1981) gab für dunkel pigmentierte Erbsenkörner Gehalte bis zu 1 % Polyphenol und 0,4 % KT in der TS an. Laut MARQUARD (2000) können Futtererbsen bis zu 2,5 % Tannin enthalten, während IGBASAN et al. (1997) in braun gefärbten Erbsenkörnern Tanningehalte (Catechin Äquivalent) bis zu 4,1 % in der TS nachwiesen. Erwartungsgemäß konnten in der weißblühenden Erbsensorte Santana nur vernachlässigbar geringe Gehalte an kondensierten Tanninen festgestellt werden. Ebenso fanden WANG et al. (1998) und GRIFFITHS (1981) in weißblühenden Futtererbsen kaum kondensierte Tannine.

### ***Phytat-Phosphor***

Das ernährungsphysiologisch bedeutende Element Phosphor ist in Leguminosenkörnern nur in geringen Mengen vorhanden und kann zudem mit bis zu 70 % an Phytinsäure gebunden sein. Aufgrund der fehlenden Enzymausstattung ist es für Monogastrier schwer verfügbar, da phytinsäuregebundener Phosphor erst nach Hydrolyse durch pflanzeigene oder mikrobielle Phytasen resorbiert werden kann (STEINER et al. 2007). Tabelle 35 zeigt die Gehalte an Gesamt-Phosphor und Phytat-Phosphor sowie den Anteil des Phytat-Phosphors am Gesamt-P in den geprüften reifen und lagertrockenen Leguminosenkörnern. Die analysierten Werte liegen etwas unter den in der Literatur angegebenen Daten. Hinzuweisen ist auf die hohen Gesamt-P-Gehalte in den Sorten der Gelben Lupine, aus denen auch unter Berücksichtigung des phytinsäuregebundenen Anteils die höchsten absoluten Gehalte an verwertbarem Phosphor im Korn resultieren, die auch über denen von Soja liegen. Im Vergleich zum Weizen weisen die geprüften Lupinen, Ackerbohnen und Erbsen höhere Gehalte an verfügbarem Phosphor auf.

Tab. 35: Gehalte an Gesamt-Phosphor und Phytat-Phosphor sowie Anteil des Phytat-Phosphors am Gesamt-Phosphor in reifen, lagertrockenen Körnern verschiedener Leguminosenarten und -sorten im Vergleich zu Weizen und Sojamehl

Art	Sorte	Gesamt-P %i.d.TS	Phytat-P %i.d.TS	Anteil Phytat-P am Gesamt-P %]
<i>L. angustifolius</i> *	Bora	0,50	0,21	42,2
	Borlu	0,56	0,27	49,0
	Azuro	0,40	0,16	41,7
	Rubine	0,47	0,23	48,8
<i>L. luteus</i> *	Bornal	0,98	0,52	52,8
	Borsaja	0,98	0,46	47,2
<i>L. albus</i> *	Bardo	0,39	0,18	47,2
	Weibit	0,43	0,21	48,7
<i>V. faba</i> *	Limbo	0,44	0,20	46,2
	Scirocco	0,48	0,27	57,1
<i>P. sativum</i> *	Lisa	0,37	0,17	45,5
	Santana	0,39	0,17	42,9
<i>L. angustifolius</i> **		0,30-0,62	0,16-0,37	52-64
<i>L. luteus</i> **		0,51-0,96	0,55-0,57	59-66
<i>L. albus</i> **		0,36-0,58	0,23-0,38	56-60
<i>V. faba</i> **		0,31-0,72	0,16-0,39	54-68
<i>P. sativum</i> **		0,34-0,50	0,17-0,24	45-63
Weizen**		0,20-0,40	0,14-0,32	66-86
Sojamehl**		0,57-0,77	0,40-0,54	56-81

\* Analysen durchgeführt an der Universität Hohenheim, Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, Abteilung Futtermittel; \*\* nach Literaturangaben: PETERSON (1998), RÖMER (1998), JEROCH et al. (1999), SELLE et al. (2003), SAUVANT et al. (2004), WANG & DAUN (2004), MOSENTHIN & STEINER (2005), STEINER et al. (2007)

### 3.1.2 Chemische Bestimmung der Siliereigenschaften reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten

Die Vergärbarkeitsparameter der ausgewählten Leguminosenarten und -sorten sind in Tabelle 36 aufgeführt.

Tab. 36: Vergärbarkeitsparameter reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten

Art	Sorte	XP	XZ	Pufferkapazität	Z/PK
		% i.d.TS			
		g MS/ kg TS			
<i>L. angust. (süß)</i>	Bora	40,62	4,44	41,00	1,10
	Borlu	39,45	4,20	36,00	1,20
<i>L. luteus (süß)</i>	Bornal	42,40	2,92	51,00	0,60
	Borsaja	46,73	3,04	55,00	0,60
<i>L. albus (süß)</i>	Bardo	36,91	3,95	50,00	0,80
<i>L. albus (bitter)</i>	Weibit	39,61	4,00	52,00	0,80
<i>L. angust. (bitter)</i>	Azuro	40,15	2,94	41,00	0,70
	Rubine	33,36	2,28	35,00	0,60
<i>Vicia faba</i>	Limbo	30,96	2,50	53,00	0,50
	Scirocco	28,87	1,96	46,00	0,40
<i>Pisum sativum</i>	Lisa	23,38	2,32	47,00	0,50
	Santana	26,95	3,45	48,00	0,70

MS...Milchsäure; Z/PK...Quotient aus Zucker und Pufferkapazität

Die lagertrockenen Körner der untersuchten Leguminosen weisen nur geringe Zuckergehalte auf, die sich aus der Summe der wasserlöslichen, während der Silierung von Milchsäurebakterien (MSB) nutzbaren Kohlenhydrate ergeben. Die niedrigen Gehalte von ca. 2 - 5 % der TS sind mit den Angaben der DLG (bis 7 % der TS) vergleichbar, wobei hier die Körner der Ackerbohne den geringsten Zuckergehalt aufweisen. Zusammen mit dem hohen Proteingehalt, welcher sich puffernd auf die Gärsäuren auswirkt, und der daraus folgenden hohen Pufferkapazität von im Durchschnitt 35-55 g MS/kg TS, ergibt sich ein für die Silierung ungünstiger, geringer Z/PK-Quotient von unter 1 bei Ackerbohnen- und Erbsenkörnern bzw. max. 1,2 bei Süßlupinen. Für optimale Silierbedingungen hingegen sollte ein Z/PK-Quotient von > 2 erreicht werden. Aus den vorgenannten Gründen ist die theoretische Silierbarkeit der Leguminosenkörner als schwer einzustufen. Ergebnisse von DUSKE (2003) zur Silierung von Lupinenkörnern weisen jedoch auf eine gute Silierfähigkeit der Körner hin. Eine Erklärung für diesen Widerspruch könnten die in Körnerleguminosen vorkommenden hohen Gehalte an wasserlöslichen Oligosacchariden wie Raffinose, Stachyose und Verbascose bieten, welche vermutlich von den Bakterien ebenfalls für die Milchsäurebildung genutzt werden.

### **3.1.3 *In-vitro*-Untersuchung der potentiellen Vergärbarkeit reifer, lagertrockener Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten (Rostocker Fermentationstest)**

#### **3.1.3.1 Auswertung der pH-Wert-Verläufe**

Die Analyse verschiedener chemischer Parameter ermöglicht Aussagen zur Charakterisierung der theoretischen Silierfähigkeit des Materials. Zur Ermittlung der „praktischen“ Silierbarkeit ist die Stoffwechsellistung des epiphytischen Bakterienbesatzes bzw. zugesetzter Milchsäurebakterienpräparate zu berücksichtigen. Es wurden daher reife, lagertrockene Leguminosenkörner (12 verschiedene Arten und Sorten, Tab. 3) im Rostocker Fermentationstest (RFT; PIEPER et al. (1989) und ZIERENBERG (2000)) geprüft.

Da die pH-Wert-Absenkung vor allem durch die Bildung von Milchsäure verursacht wird, können über die Geschwindigkeit und den Umfang der Ansäuerung Rückschlüsse auf den Gehalt an fermentierbaren Kohlenhydraten gezogen werden. Unter Berücksichtigung aller gebildeten Gärprodukte (Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Alkohole etc.) ermöglicht dies ferner die Charakterisierung des epiphytischen Besatzes und die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der verwendeten Silierzusätze. Da bis auf die Zugabe von Melasse und Milchsäurebakterien innerhalb einer Osmolalitätsstufe alle Einflußfaktoren im Rahmen des Tests konstant gehalten werden (Inkubationstemperatur, Sauerstoffeintrag etc.), sind Unterschiede im pH-Wert-Verlauf und damit der Silierfähigkeit auf die Eigenschaften des zu silierenden Materials zurückzuführen (Gehalt an puffernden Substanzen, Kohlenhydraten und eventuell die Fermentation hemmenden sekundären Inhaltsstoffen, Stoffwechselaktivität des epiphytischen Besatzes).

Ziel der Einstellung unterschiedlicher Osmolalitäten (0, 9, 12 % Kaliumchloridlösung) im RFT ist die Simulation unterschiedlich hoher Trockensubstanzgehalte, wie sie z.B. bei Körnern vor der Vollreife erwartet werden. Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, ist mit steigender Osmolalität eine verzögerte Ansäuerung bei allen Varianten zu verzeichnen. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen von ZIERENBERG (2000) überein, die bei erhöhter Osmolalität eine verzögerte Ansäuerung und eine geringere Milchsäurebildung feststellte.

Die Mikroorganismen des epiphytischen Besatzes der Leguminosenkörner sowie die zugesetzten Milchsäurebakterien weisen eine differenzierte Osmotoleranz auf. Bei der Einstellung erhöhter Osmolalitäten in der wäßrigen Phase des RFT werden die Organismen in unterschiedlichem Maße in ihrer Entwicklung gehemmt. In der für die Adaptation des Stoffwechsels an die ungünstigen Umweltbedingungen notwendigen Anpassungsphase erhalten die bereits in Vorversuchen als osmotolerant und damit leistungsfähiger herausgestellten Milchsäurebakterien des MSB-Präparates einen Wachstumsvorsprung. Bei extremen Bedingungen (12 % KCl-

Lösung) erreicht jedoch auch die Osmotoleranz der inokulierten MSB ihren Grenzbereich und nur bei ausreichend vorhandenen fermentierbaren Kohlenhydraten kann zum Teil nach längerer Fermentationszeit noch eine Ansäuerung erzielt werden, während der epiphytische Besatz allein keine Stoffwechselaktivität mehr zeigt (Abb. 2, siehe Kontrolle und Variante mit Melassezugabe).

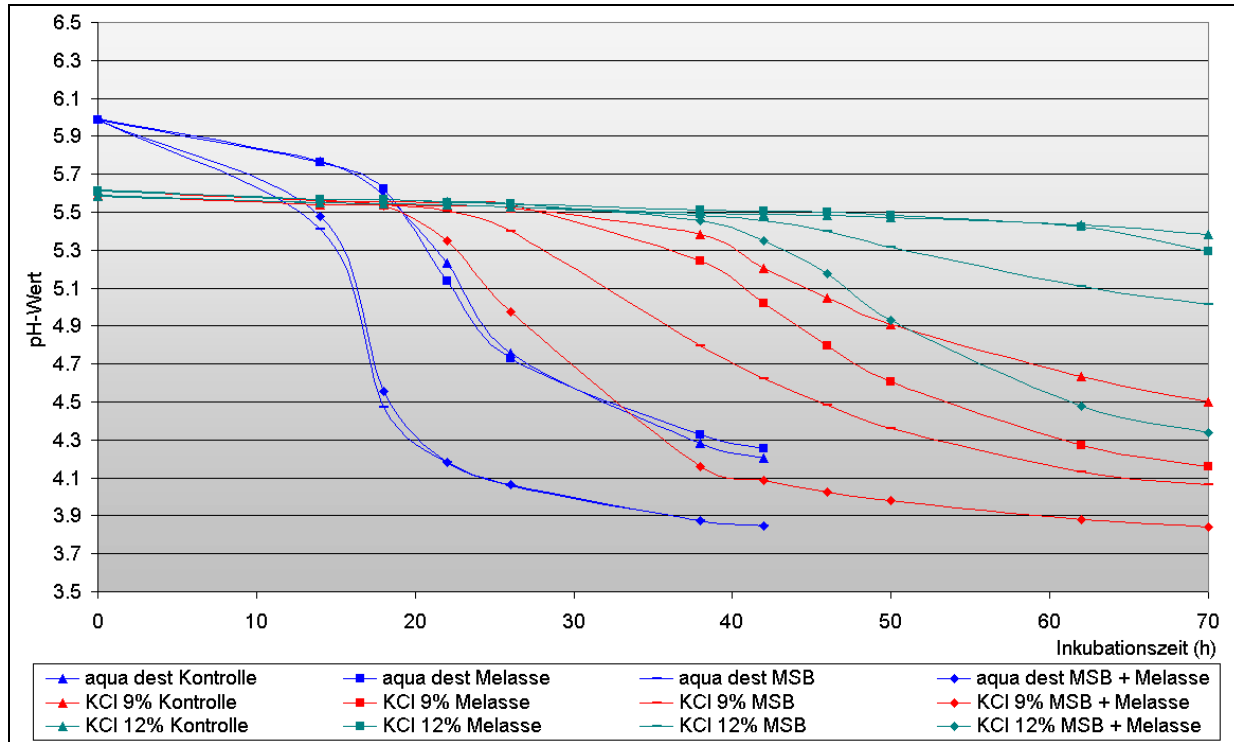


Abb. 2: pH-Wert-Verläufe im Mittel aller geprüften Leguminosenarten und -sorten in Abhängigkeit von der Osmolalität sowie dem Zusatz von Silierhilfsmitteln (allein oder in Kombination: Melasse, MSB; n=108)

Um Aussagen hinsichtlich der Silierfähigkeit der verschiedenen Leguminosenarten treffen zu können, ist eine Betrachtung der artenspezifischen Unterschiede im pH-Wert-Verlauf notwendig. Für diese Auswertung wurden die einzelnen Sorten von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen zusammengefaßt.

In den Tabellen 37 und 38 sind die Ergebnisse der pH-Wert-Messungen beim Ansatz mit *aqua dest* (Stunde 0, 18, 26, 38 und 42) sowie bei den Ansätzen mit erhöhter Osmolalität (Stunde 0, 38, 46 und 70) jeweils mit und ohne Zugabe von Melasse bzw. MSB und Melasse dargestellt.

#### Rostocker Fermentationstest (*aqua dest*)

Bei Inkubation in *aqua dest* verläuft bei Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen die Ansäuerung durch den epiphytischen Besatz (Kontrolle) ähnlich (Tab. 37). Eine nennenswerte pH-Wert-Absenkung setzt relativ früh ein (26 h). Unabhängig vom anfänglichen pH-Wert wird bis Stunde 42 ein End-pH-Wert von 4,18 - 4,39 erreicht. Von einer sicheren Konservierung ist ab pH-Werten kleiner 4,0 auszugehen. Durch die zusätzliche Bereitstellung von leicht löslichen Kohlenhydraten (Melasse) sollte eventuell vorhandener Gärsubstratmangel aufgehoben werden. Da jedoch bei Melassezugabe kein zusätzlicher Effekt auf Geschwindigkeit und Umfang der pH-Wert-Absenkung festgestellt werden konnte, ist trotz des analysierten geringen Zuckergehaltes von einem ausreichenden Gehalt an fermentierbaren Kohlenhydraten im Siliergut auszugehen. Durch Zugabe leistungsfähiger Milchsäurebakterien wird eine früher einsetzende (18 h) und nach 42 Stunden deutlich tiefere Ansäuerung auf pH-Werte unter 4 erzielt. Somit wird über den Einsatz von MSB-Impfpräparaten der Gärprozeß deutlich gefördert. Der kombinierte Einsatz von

MSB und Melasse zeigt keinen zusätzlichen Effekt, so daß bereits die Beimpfung mit leistungsfähigen Milchsäurebakterien einen befriedigenden Gärverlauf sicherstellen sollte. Die aufgrund der chemischen Analyse postulierte theoretisch ungünstige Siliereignung der Leguminosenkörner wird somit bereits durch diese Ergebnisse des Rostocker Fermentationstests widerlegt.

Tab. 37: Einfluß der Silierzusätze auf die Ansäuerung im Rostocker Fermentationstest mit lagertrockenen Lupinen-, Ackerbohnen- und Erbsenkörnern beim Ansatz mit *aqua dest* (gemittelte pH-Werte der Sorten je Art)

Inkubationszeit (h)			0	18	26	38	42
Art	Variante	n					
AB	Kontrolle	6	6,28 <sup>ba</sup> ±0,06	5,87 <sup>bb</sup> ±0,07	4,95 <sup>ab</sup> ±0,25	4,38 <sup>ab</sup> ±0,26	4,31 <sup>aAB</sup> ±0,29
Erbse	Kontrolle	6	6,25 <sup>ba</sup> ±0,08	5,68 <sup>abB</sup> ±0,21	4,67 <sup>ab</sup> ±0,20	4,25 <sup>ab</sup> ±0,21	4,18 <sup>ab</sup> ±0,18
Lupine	Kontrolle	24	5,74 <sup>aA</sup> ±0,14	5,43 <sup>ab</sup> ±0,32	4,75 <sup>ab</sup> ±0,34	4,27 <sup>ab</sup> ±0,20	4,18 <sup>ab</sup> ±0,18
AB	Melasse	6	6,29 <sup>ba</sup> ±0,08	5,82 <sup>bb</sup> ±0,10	4,79 <sup>ab</sup> ±0,18	4,31 <sup>ab</sup> ±0,09	4,23 <sup>ab</sup> ±0,07
Erbse	Melasse	6	6,25 <sup>ba</sup> ±0,09	5,65 <sup>abB</sup> ±0,17	4,76 <sup>ab</sup> ±0,22	4,45 <sup>aAB</sup> ±0,37	4,39 <sup>aAB</sup> ±0,34
Lupine	Melasse	24	5,73 <sup>aA</sup> ±0,15	5,53 <sup>ab</sup> ±0,15	4,73 <sup>ab</sup> ±0,26	4,28 <sup>ab</sup> ±0,22	4,20 <sup>ab</sup> ±0,21
AB	MSB	6	6,28 <sup>ba</sup> ±0,06	4,64 <sup>ba</sup> ±0,13	4,17 <sup>ba</sup> ±0,05	3,95 <sup>ba</sup> ±0,03	3,94 <sup>ba</sup> ±0,05
Erbse	MSB	6	6,24 <sup>ba</sup> ±0,07	4,63 <sup>ba</sup> ±0,12	4,15 <sup>ba</sup> ±0,10	3,95 <sup>baAB</sup> ±0,08	3,91 <sup>baB</sup> ±0,09
Lupine	MSB	24	5,73 <sup>aA</sup> ±0,13	4,34 <sup>aA</sup> ±0,20	3,97 <sup>aA</sup> ±0,14	3,80 <sup>aA</sup> ±0,09	3,77 <sup>aA</sup> ±0,08
AB	MSB+Mel	6	6,29 <sup>ba</sup> ±0,08	4,74 <sup>ba</sup> ±0,23	4,13 <sup>aA</sup> ±0,04	3,91 <sup>ba</sup> ±0,02	3,89 <sup>aA</sup> ±0,03
Erbse	MSB+Mel	6	6,25 <sup>ba</sup> ±0,08	4,78 <sup>ba</sup> ±0,11	4,16 <sup>aA</sup> ±0,07	3,93 <sup>baA</sup> ±0,10	3,90 <sup>aA</sup> ±0,09
Lupine	MSB+Mel	24	5,72 <sup>aA</sup> ±0,14	4,33 <sup>aA</sup> ±0,24	3,95 <sup>aA</sup> ±0,12	3,81 <sup>aA</sup> ±0,06	3,78 <sup>aA</sup> ±0,06

(AB...Ackerbohne; MSB...Milchsäurebakterien; Mel...Melasse)

<sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten

<sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

#### Rostocker Fermentationstest (9 bzw. 12 %ige Kaliumchloridlösung)

Bei den Varianten mit durch Inkubation in KCl-Lösung erhöhter Osmolalität setzt die Fermentation zeitlich stark verzögert ein. Zudem unterscheidet sich im Gegensatz zur Inkubation in *aqua dest* der Fermentationsverlauf zwischen Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen deutlicher (Tab. 38).

#### Ackerbohne

Wie aus Tabelle 38 ersichtlich, weisen Ackerbohnen im RFT mit 9 %iger KCl-Lösung ein höheres Ansäuerungsvermögen in der Variante ohne Zusätze (Kontrolle) auf als Erbsen und Lupinen. Aus dem frühen Beginn der Ansäuerung (46 h) sowie dem erreichten End-pH-Wert von unter 4 kann auf einen unter den gegebenen Bedingungen leistungsfähigen und in gewissem Umfang osmotoleranten Besatz an epiphytischen Milchsäurebakterien geschlossen werden. Auch mit zugesetzten Milchsäurebakterien ist die rascheste Ansäuerung bei Ackerbohnen nachzuweisen. Die Zugabe von Melasse bewirkt keine weitere pH-Wert-Absenkung, ein Hinweis auf ausreichende Gehalte an fermentierbaren Kohlenhydraten für die Milchsäurebakterien. Bei Zugabe leistungsfähiger und osmotoleranter MSB wird auch im Ansatz mit 12 %iger KCl-Lösung nach 70 Stunden ein End-pH-Wert von 4,1 bzw. 4,2 erreicht.

#### Erbse

Bei Erbsenkörnern kann unter erhöhten osmotischen Druck (9 % KCl) nur nach Bereitstellung leicht löslicher Kohlenhydrate das Ansäuerungspotential des natürlichen MSB-Besatzes bzw. des Milchsäurebakterienpräparates voll ausgeschöpft werden (Tab. 38). Somit läßt sich auch hier eine relative Osmotoleranz des epiphytischen Milchsäurebesatzes aufzeigen. Eine Ansäuerung ist dabei ab Stunde 38 auf einen End-pH-Wert von 3,9 festzustellen (Variante mit

Melassezugabe). Durch den kombinierten Einsatz von Milchsäurebakterien und Melasse wird die schnellste pH-Wert-Absenkung (pH 3,9 nach 46 h) im Vergleich zu den anderen Varianten erreicht. Der End-pH-Wert liegt bei 3,8 nach einer Inkubationszeit von 70 Stunden.

Bei Inkubation in 12 %iger Kaliumchloridlösung wird nur in der Variante mit kombiniertem Einsatz von Milchsäurebakterien und Melasse eine nennenswerte pH-Wert-Absenkung erreicht (pH 4,9 nach 70 h).

Tab. 38: Einfluß der Silierzusätze auf die Ansäuerung im Rostocker Fermentationstest mit lagertrockenen Lupinen-, Ackerbohnen- und Erbsenkörnern beim Ansatz mit 9 und 12 %iger KCl-Lösung (gemittelte pH-Werte der Sorten je Art)

Inkubationszeit (h)	0	38	46	70	46	70
Osmolalitätsstufe	9 % bzw. 12 % KCl	KCl 9 %			KCl 12 %	
<b>Kontrolle n</b>						
<b>AB</b>	<b>6</b>	5,83 <sup>ba</sup> ±0,1	5,5 <sup>abB</sup> ±0,3	4,5 <sup>aC</sup> ±0,2	3,9 <sup>aC</sup> ±0,0	5,8 <sup>bb</sup> ±0,1
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	5,84 <sup>ba</sup> ±0,0	5,6 <sup>bc</sup> ±0,1	5,3 <sup>bc</sup> ±0,2	4,4 <sup>bd</sup> ±0,1	5,7 <sup>ba</sup> ±0,0
<b>Lupine</b>	<b>24</b>	5,35 <sup>aA</sup> ±0,1	5,2 <sup>aC</sup> ±0,1	5,2 <sup>bc</sup> ±0,1	4,9 <sup>cC</sup> ±0,2	5,2 <sup>ab</sup> ±0,1
<b>Melasse</b>						
<b>AB</b>	<b>6</b>	5,84 <sup>ba</sup> ±0,1	5,7 <sup>bb</sup> ±0,2	5,0 <sup>abc</sup> ±0,6	4,0 <sup>aABC</sup> ±0,1	5,8 <sup>bb</sup> ±0,1
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	5,87 <sup>ba</sup> ±0,0	4,9 <sup>ab</sup> ±0,3	4,4 <sup>ab</sup> ±0,3	3,9 <sup>ab</sup> ±0,1	5,7 <sup>ba</sup> ±0,0
<b>Lupine</b>	<b>24</b>	5,38 <sup>aA</sup> ±0,1	5,2 <sup>aC</sup> ±0,2	5,0 <sup>bb</sup> ±0,4	4,4 <sup>bb</sup> ±0,4	5,3 <sup>ab</sup> ±0,1
<b>MSB</b>						
<b>AB</b>	<b>6</b>	5,83 <sup>ba</sup> ±0,1	4,1 <sup>aA</sup> ±0,0	4,0 <sup>aB</sup> ±0,0	3,9 <sup>ab</sup> ±0,0	5,4 <sup>abA</sup> ±0,2
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	5,84 <sup>ba</sup> ±0,0	4,9 <sup>bb</sup> ±0,1	4,5 <sup>bb</sup> ±0,0	4,0 <sup>bc</sup> ±0,1	5,7 <sup>ba</sup> ±0,0
<b>Lupine</b>	<b>24</b>	5,36 <sup>aA</sup> ±0,1	5,1 <sup>cb</sup> ±0,2	4,8 <sup>cb</sup> ±0,2	4,2 <sup>cb</sup> ±0,3	5,2 <sup>ab</sup> ±0,1
<b>MSB+Melasse</b>						
<b>AB</b>	<b>6</b>	5,84 <sup>ba</sup> ±0,1	4,1 <sup>abA</sup> ±0,1	3,9 <sup>aA</sup> ±0,0	3,8 <sup>aA</sup> ±0,0	5,4 <sup>ba</sup> ±0,2
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	5,87 <sup>ba</sup> ±0,0	4,0 <sup>aA</sup> ±0,1	3,9 <sup>aA</sup> ±0,1	3,8 <sup>aA</sup> ±0,1	5,5 <sup>ba</sup> ±0,2
<b>Lupine</b>	<b>24</b>	5,38 <sup>aA</sup> ±0,1	4,3 <sup>ba</sup> ±0,5	4,2 <sup>ba</sup> ±0,5	3,9 <sup>aA</sup> ±0,3	4,9 <sup>aA</sup> ±0,2

(AB...Ackerbohne; MSB...Milchsäurebakterien)

<sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten

<sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

### Lupine

Der epiphytische Besatz von Lupinenkörnern zeigt im Durchschnitt der Sorten anhand der End-pH-Werte von 4,9 (Kontrolle) bzw. 4,4 (Melassezusatz) beim Ansatz in 9 % KCl-Lösung eine geringere Osmotoleranz (Tab. 38).

Bei Zugabe von Milchsäurebakterien mit bzw. ohne Melasse wird nach 70 h ein ausreichend tiefer pH-Wert von 3,9 bzw. 4,2 erzielt. In 12 %iger KCl-Lösung kann durch den kombinierten Einsatz von MSB und Melasse vergleichsweise früh (46 h) ein pH-Wert unter 5 sowie nach 70 h Inkubation ein End-pH-Wert von 4,2 eingestellt werden.

Aus diesen Ergebnissen ist abzuleiten, daß die Silierfähigkeit von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern bei Zugabe von leistungsfähigen MSB gegeben ist. Durch die Beimpfung mit Milchsäurebakterien wird eine rasche und ausreichend tiefe Ansäuerung erreicht. Im hohen TS-Bereich (12 % KCl) stellt die kombinierte Zugabe von MSB und Melasse eine konservierungswirksame Ansäuerung sicher.

### 3.1.3.2 Analytik der Gärprodukte sowie Bestimmung des Verlaufs der Osmolalität in den Filtraten des Rostocker Fermentationstests (RFT)



Um Art und Umfang der Fermentation detaillierter beschreiben zu können, ist die Analyse der Gärprodukte in den Filtraten des RFT notwendig. Diese wurde für die Proben der Leguminosensorten, die für die Bereitung von Modellsilagen aus feucht geernteten Körnern ausgewählt worden waren, durchgeführt. Es wurden nur die Filtrate der Varianten „ohne Zusätze“ (Kontrolle) und „Zusatz von Milchsäurebakterien“ untersucht, da aufgrund der Ergebnisse der pH-Wert-Verläufe von ausreichenden Gehalten an fermentierbarem Substrat in den Proben auszugehen war und keine zusätzlichen Informationen aus dem Fermentationsmuster der Melassevarianten zu erwarten waren.

Die Ergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A3-A5 zusammengestellt.

#### RFT in *aqua dest.*

Im Ansatz mit *aqua dest.* zeigen alle untersuchten Leguminosen auch in der Variante ohne Zusätze (Kontrolle) eine rasche und umfangreiche Ansäuerung (Tabelle A3). Die erzielten pH-Werte nach 42 Stunden Inkubation schwanken zwischen 4,2 und 4,4. Die erreichte Azidität wird über die ausreichenden Milchsäuregehalte in den Filtraten bestätigt (4,8-7,3 % der TS). Propion- und Buttersäure sind nicht oder nur in geringen Mengen vorhanden. Die Essigsäuregehalte schwanken mit 0,4-1,0 % der TS im akzeptablen Bereich. Im Vergleich der Leguminosenarten und -sorten wurden im Filtrat des Erbsenschrotes und der Lupinensorte Borlu Alkoholgehalte von bis zu 1,3 % der TS ermittelt. Dies weist auf eine verlustreichere heterofermentative Fermentation hin, was durch die Beobachtung verstärkter Gasbildung in den Proben der Kontrollvarianten bestätigt wird.

Die Zugabe von Melasse hat keinen zusätzlichen Einfluß auf die Ansäuerung. Im Gegensatz dazu führt der Einsatz des Milchsäurebakterienpräparates im Vergleich zur Kontrolle zu einer rascheren pH-Wert-Absenkung, zu erhöhten Gehalten an Milchsäure und einer Reduzierung der Bildung unerwünschter Gärprodukte, was auf eine effektive Ausnutzung des vorhandenen Gärsubstrates durch die MSB schließen läßt. Der Effekt der MSB kann durch Melassezugabe nicht gesteigert werden.

#### RFT in 9 %iger KCl-Lösung

Um hohe TS-Gehalte im Siliergut zu simulieren, wurde der RFT sowohl in 9 als auch in 12 %iger KCl-Lösung durchgeführt. Diese Erhöhung der Osmolalität bedingt eine erhebliche Verringerung der Stoffwechselaktivität zu Beginn der Inkubation (Tabelle A4). Eine Ausnahme ist die Ackerbohne Limbo, die im Vergleich zu den anderen Leguminosen eine relativ frühe und sehr umfangreiche pH-Wert-Absenkung auf unter 4,0 aufweist und durch eine ausgeprägte homofermentative Milchsäurebildung (>10 % der TS) gekennzeichnet ist. Der epiphytische Besatz der übrigen Leguminosen erreicht am Ende der Inkubation pH-Werte zwischen 4,5 und 4,9 bei Milchsäuregehalten bis maximal 3 % in der TS.

Der Zusatz von Milchsäurebakterien hat einen positiven Einfluß auf Schnelligkeit und Umfang der Ansäuerung und steigert die Milchsäuregehalte in den Filtraten signifikant.

#### RFT in 12 %iger KCl-Lösung

Durch die in der 12 %igen KCl-Lösung vorliegende Osmolalität wird die Fermentation durch die natürliche Mikroflora nahezu vollständig unterbunden (Tabelle A5). Weder Milchsäure noch unerwünschte Gärprodukte werden in den Varianten ohne Zusätze in nennenswerten Mengen gebildet. Von den inokulierten osmotoleranten MSB kann nur im RFT mit Ackerbohnen ausreichend Milchsäure gebildet werden (durchschnittlich 8 % der TS), woraus am Ende der Inkubation ein pH-Wert von 4,3 resultiert. Bei den übrigen Leguminosensorten zeigt der MSB-Zusatz keinen Effekt. Nebengärungsprodukte sind bei Zusatz der MSB ebenfalls nicht oder nur in geringen Mengen nachweisbar.

Erst die kombinierte Inokulation von MSB und Melasse führt im Erbsen- und Lupinenschrot zu einer effektiven pH-Wert-Absenkung auf bis zu 4,0.

Aus den vorgestellten Ergebnissen ist auf einen relativ osmotoleranten natürlichen epiphytischen Mikrobenbesatz der Leguminosenkörner zu schließen, der auch bei hohen TS-Gehalten ohne Zusatz von Silierhilfsmitteln zu befriedigenden Silagequalitäten führen sollte. Der Einsatz leistungsfähiger Milchsäurebakterien erhöht die Sicherheit des Silierprozesses und bedingt eine effektivere Ausnutzung des in den Körnern vorhandenen Gärsubstrates. Diese Feststellungen werden durch den erheblichen Anstieg der Osmolalität im Verlauf der Fermentation im RFT mit *aqua dest.* bzw. 9 %iger KCl bestätigt, die auf eine erhebliche Stoffwechselaktivität der beteiligten Silagemikroben schließen lassen.

### 3.1.4 Leistungsfähigkeit verschiedener Milchsäurebakterienpräparate im Silierprozeß (Silierung reifer, lagertrockener Leguminosenkörner)

#### 3.1.4.1 Säuerungsvermögen

In Vorversuchen sollte ein geeignetes MSB-Präparat für die Bereitung von Modellsilagen aus den frisch, mit hohen Trockensubstanzgehalten zu erntenden Leguminosenkörnern ausgewählt werden. Zur Prüfung der Leistungsfähigkeit verschiedener Milchsäurebakterienpräparate hinsichtlich Ansäuerung und Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe während des Silierprozesses wurden lagertrockene Körner der Bitterlupine Azuro mit hohem Alkaloidgehalt, der Süßlupine Bora mit niedrigem Alkaloidgehalt, der Erbsensorte Lisa mit hohem Tanningehalt und der Ackerbohnsorte Limbo mit hohem Gehalt an Phytat-Phosphor ausgewählt, geschrotet, rückbefeuchtet und mit ca. 65 % TS-Gehalt einsiliert. Für die Herstellung der Modellsilagen wurden die nachfolgend benannten kommerziell verfügbaren Milchsäurebakterienpräparate eingesetzt. Alle drei Produkte enthalten *Lactobacillus plantarum*. Zusätzlich beinhaltet Präparat 3 zwei weitere homofermentative MSB-Stämme. Die verwendete Impfdichte entsprach jeweils den Herstellerempfehlungen:

	Milchsäurebakterienstämme	Impfdichte [KBE/g FM]
Präparat 1:	<i>Lb. plantarum</i>	$3 \times 10^5$
Präparat 2:	<i>Lb. plantarum</i>	$1 \times 10^5$
Präparat 3:	<i>Lb. plantarum</i> , <i>Ped. acidilactici</i> , <i>E. faecium</i>	$3 \times 10^5$

Alle im Rahmen des MSB-Screenings angelegten Modellsilagen waren organoleptisch als sehr gut einzuschätzen. Der Trockensubstanzgehalt der Silagen lag zwischen 62 und 66 %. Diese Unterschiede sind mit dem Herstellungsprozeß der Silagen vor dem Einschweißen zu erklären und für die zu treffenden Aussagen unerheblich.

Die Silierfähigkeit war für Körner aller Leguminosenarten auch ohne Zugabe von Silierhilfsmitteln gegeben und fand ihren Ausdruck in gegenüber den hohen Trockensubstanzgehalten ausreichend geringen pH-Werten von 4,3 bis maximal 4,7. In Tabelle 39 sind die Gärparameter aller Modellsilagen mit Ausnahme der Varianten mit kombinierter Zugabe von MSB und Melasse (kein signifikanter Einfluß auf die Fermentationsparameter im Vergleich zur Variante mit alleiniger MSB-Zugabe) aufgeführt. Die Gehalte an Milchsäure lagen in den Silagen (Kontrolle) aus Blauen Süßlupinen (Bora), Ackerbohnen (Limbo) und Erbsen (Lisa) zwischen 3,9 und 4,7 % der TS. Mit 2,7 % der TS wies die Silage aus Blauen Bitterlupinen (Azuro) den geringsten Milchsäuregehalt auf, der jedoch durch den Einsatz von Melasse gesteigert werden konnte. Weder in der Kontrolle noch in den Varianten wurden Buttersäure oder Propionsäure festgestellt. Die Essigsäuregehalte waren gering.

Der Umstand, daß durch Melassezugabe die Milchsäurebildung z.T. weiter gesteigert werden kann (Azuro, Lisa) sowie die Ergebnisse des Einsatzes der Milchsäurebakterienpräparate zeigen jedoch deutlich die begrenzte Fähigkeit des epiphytischen Besatzes, die im Pflanzenmaterial

vorhandenen und potentiell fermentierbaren Kohlenhydrate vollständig zu nutzen und unter den gegebenen Bedingungen (hoher TS-Gehalt) eine umfassendere Ansäuerung herbeizuführen.

Tab. 39: Einfluß der geprüften Milchsäurebakterienpräparate auf die Gärparameter in Modellsilagen aus reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten im Vergleich zur Kontrolle bzw. zur Variante mit Melassezugabe (n=3)

	TS		Gärverlust	pH-Wert	Milchsäure	Essigsäure	PS und BS	Äthanol
	%		% d. TS		% i.d.TS			
<b>Blaue Süßlupine (Bora)</b>								
<b>Kontrolle</b>	62,1	±0,1	0,6 <sup>abc</sup> ±0,1	4,3 <sup>ab</sup> ±0,1	4,7 <sup>a</sup> ±0,7	0,5 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,3 <sup>ab</sup> ±0,1
<b>Melasse</b>	61,7	±0,3	0,6 <sup>abc</sup> ±0,1	4,3 <sup>ab</sup> ±0,1	4,7 <sup>a</sup> ±0,6	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,3 <sup>ab</sup> ±0,1
<b>MSB 1</b>	63,0	±0,1	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	4,1 <sup>a</sup> ±0,0	5,5 <sup>ab</sup> ±0,0	0,5 <sup>b</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,1 <sup>ab</sup> ±0,0
<b>MSB 2</b>	62,0	±0,1	0,5 <sup>b</sup> ±0,0	4,2 <sup>b</sup> ±0,0	5,6 <sup>ab</sup> ±0,3	0,7 <sup>d</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,1 <sup>a</sup> ±0,0
<b>MSB 3</b>	62,2	±0,1	0,5 <sup>c</sup> ±0,0	4,1 <sup>a</sup> ±0,0	5,9 <sup>b</sup> ±0,1	0,7 <sup>c</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,1 <sup>b</sup> ±0,0
<b>Blaue Bitterlupine (Azuro)</b>								
<b>Kontrolle</b>	63,0	±0,5	1,1 <sup>ab</sup> ±0,2	4,7 <sup>c</sup> ±0,2	2,7 <sup>a</sup> ±0,2	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	1,3 <sup>a</sup> ±0,4
<b>Melasse</b>	64,0	±0,5	0,8 <sup>b</sup> ±0,1	4,5 <sup>b</sup> ±0,0	3,3 <sup>a</sup> ±0,3	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,8 <sup>a</sup> ±0,2
<b>MSB 1</b>	64,6	±0,3	0,3 <sup>ab</sup> ±0,0	4,1 <sup>a</sup> ±0,0	5,2 <sup>b</sup> ±0,1	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,1 <sup>a</sup> ±0,0
<b>MSB 2</b>	63,5	±0,5	0,4 <sup>ab</sup> ±0,0	4,0 <sup>a</sup> ±0,0	5,8 <sup>c</sup> ±0,1	0,5 <sup>b</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,1 <sup>a</sup> ±0,0
<b>MSB 3</b>	63,8	±0,0	0,3 <sup>a</sup> ±0,0	4,0 <sup>a</sup> ±0,0	5,3 <sup>b</sup> ±0,0	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,1 <sup>a</sup> ±0,0
<b>Ackerbohne (Limbo)</b>								
<b>Kontrolle</b>	64,8	±0,1	0,8 <sup>abc</sup> ±0,1	4,3 <sup>ab</sup> ±0,1	4,5 <sup>a</sup> ±0,2	0,3 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,6 <sup>a</sup> ±0,1
<b>Melasse</b>	66,1	±1,4	0,9 <sup>c</sup> ±0,1	4,5 <sup>ab</sup> ±0,1	3,4 <sup>a</sup> ±0,5	0,2 <sup>a</sup> ±0,2	0,0 ±0,0	0,5 <sup>a</sup> ±0,5
<b>MSB 1</b>	66,4	±0,1	0,5 <sup>b</sup> ±0,0	4,1 <sup>a</sup> ±0,0	5,0 <sup>a</sup> ±0,1	0,4 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,3 <sup>a</sup> ±0,0
<b>MSB 2</b>	65,4	±0,1	0,5 <sup>b</sup> ±0,0	4,2 <sup>b</sup> ±0,0	5,0 <sup>a</sup> ±0,1	0,3 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,3 <sup>a</sup> ±0,0
<b>MSB 3</b>	65,5	±0,0	0,5 <sup>a</sup> ±0,0	4,2 <sup>b</sup> ±0,0	4,8 <sup>a</sup> ±0,1	0,3 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,3 <sup>a</sup> ±0,0
<b>Futtererbse (Lisa)</b>								
<b>Kontrolle</b>	62,0	±0,6	1,7 <sup>cd</sup> ±0,2	4,4 <sup>ab</sup> ±0,2	3,9 <sup>a</sup> ±0,7	0,3 <sup>a</sup> ±0,1	0,0 ±0,0	1,8 <sup>b</sup> ±0,2
<b>Melasse</b>	62,2	±0,5	1,7 <sup>d</sup> ±0,1	4,3 <sup>b</sup> ±0,0	4,4 <sup>a</sup> ±0,5	0,4 <sup>a</sup> ±0,1	0,0 ±0,0	1,8 <sup>b</sup> ±0,2
<b>MSB 1</b>	63,6	±0,1	1,0 <sup>bc</sup> ±0,0	4,1 <sup>a</sup> ±0,0	5,3 <sup>b</sup> ±0,2	0,5 <sup>a</sup> ±0,1	0,0 ±0,0	0,7 <sup>a</sup> ±0,1
<b>MSB 2</b>	62,1	±0,1	0,9 <sup>a</sup> ±0,0	4,1 <sup>ab</sup> ±0,0	5,5 <sup>b</sup> ±0,0	0,5 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,7 <sup>a</sup> ±0,0
<b>MSB 3</b>	62,5	±0,1	0,9 <sup>ab</sup> ±0,1	4,1 <sup>ab</sup> ±0,0	5,4 <sup>b</sup> ±0,1	0,5 <sup>a</sup> ±0,0	0,0 ±0,0	0,7 <sup>a</sup> ±0,0

<sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Leguminosenart (MSB ... Milchsäurebakterienpräparat; BS ... Buttersäure; PS ... Propionsäure)

Durch die Beimpfung mit osmotoleranten, leistungsfähigen Milchsäurebakterien hingegen ist im Vergleich zu den unbehandelten Silagen bzw. zu den Silagen mit Melassezusatz eine wesentliche Förderung und erhöhte Sicherheit des Gärprozesses zu erkennen. Der Gärverlust ist deutlich verringert und über eine z.T. signifikant höhere Milchsäurebildung ist eine tiefere pH-Wert-Absenkung zu verzeichnen. Weiterhin ist durch den Einsatz der Milchsäurebakterienpräparate eine deutlich reduzierte Äthanolbildung festzustellen (Tab. 39). Dabei ist die Wirkung der einzelnen MSB-Präparate auf die Gärparameter ähnlich, so daß sich keine spezifische Rangfolge hinsichtlich der Leistungsfähigkeit festlegen läßt. Des weiteren hat der Einsatz von Melasse keinen signifikanten Einfluß auf die Fermentationsleistung der MSB, so daß in Abbildung 3 die Milchsäurebakterienpräparate zusammengefaßt dargestellt werden.

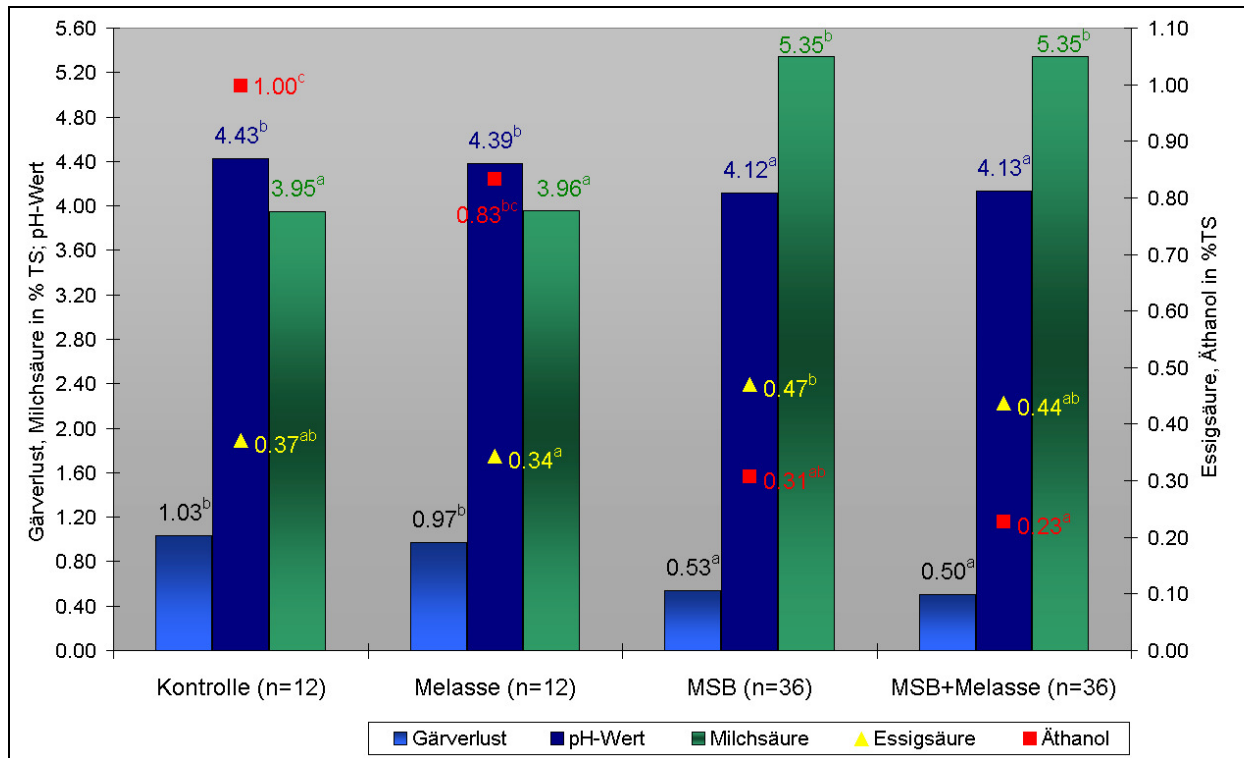


Abb. 3: Gärparameter der Modellsilagen mit verschiedenen Silierzusätzen unabhängig von der Leguminosenart und Sorte (gemittelte Werte; MSB ... Milchsäurebakterien)

Im Mittel aller MSB-Präparate liegt der pH-Wert in den resultierenden Silagen bei 4,1 und der Milchsäuregehalt bei 5,4 % der TS. Die Wirkung der zugesetzten MSB ist bei den unterschiedlichen Leguminosenarten und -sorten nur geringfügig verschieden ausgeprägt (Tab. 39). So können bei Zugabe von leistungsfähigen MSB auch in Silagen aus Bitterlupinenschrot (Azuro) pH-Werte bis 4,0 und Milchsäuregehalte bis 5,8 % der TS erreicht werden.

### 3.1.4.2 Reduzierung antinutritiver Substanzen im Silierprozeß

#### *Oligosaccharide*

Die Anhangstabelle A6 zeigt die Zucker und Oligosaccharidfraktionen in reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern und in Modellsilagen aus rückbefeuchteten Körnerschrot.

Insgesamt ist eine deutliche Reduzierung der Zuckerfraktionen durch den Silierprozess ersichtlich. Verbascose ist in den Modellsilagen nicht mehr nachzuweisen und auch Stachyose und Raffinose sind bis auf wenige Ausnahmen vollständig abgebaut. In Zusammenhang mit der Zugabe verschiedener MSB-Präparate ist die Silierung sicherlich hinsichtlich der Effektivität und des zeitlichen Ansäuerungsverlaufes beeinflusst worden, so dass bei Zugabe vom MSB-Präparat 1 der endgültige Konservierungsstatus wahrscheinlich zeitiger erreicht wurde und demnach die höheren Galactosegehalte zu erklären sind. Auswirkungen der Melassezugabe sind innerhalb der Zuckerfraktionen in den Silagen nicht unmittelbar erkennbar.

#### *Alkaloide*

In den Untersuchungen wurden beispielhaft die Bitterlupine „Azuro“ und die Süßlupine „Bora“ in Hinsicht auf den Alkaloidgehalt in Silagen aus Körnerschrot geprüft (Tab. 40 und 41).

Tab. 40: Alkaloidgehalte im unsilierten Ausgangsmaterial sowie in den Modellsilagen aus rückbefeuchtetem Lupinenschrot der Sorte Azuro (34 d

Inkubation; n=3)

Art/ Sorte	Variante	TS		Alkaloidgehalt (gesamt)	
		%		% i.d. TS	
Bitterlupine (Azuro)	ASM	64,98		2,289	
	KON	63,00	±0,49	2,244	±0,270
	MEL	64,02	±0,54	2,249	±0,463
	MSB1	63,76	±0,04	1,889	±0,188
	MSB2	64,61	±0,27	2,206	±0,410
	MSB3	63,48	±0,48	1,876	±0,102
	MSB1+MEL	64,50	±0,06	3,955	±0,180
	MSB2+MEL	65,88	±0,59	1,959	±0,264
	MSB3+MEL	64,18	±0,29	3,808	±0,149

ASM: Ausgangsmaterial (n=1); KON: Kontrolle ohne Zusatz; MEL: Melasse (2 % der FM); MSB1-3: Zusatz Milchsäurebakterien (MSB1: *Lb. plantarum*,  $3 \cdot 10^5$  KbE/g FM; MSB2: *Lb. plantarum*,  $1 \cdot 10^5$  KbE/g FM; MSB3: *Lb. plantarum*, *Ped. acidilactici*, *E. faecium*,  $3 \cdot 10^5$  KbE/g FM)

Tab. 41: Alkaloidgehalte im unsilierten Ausgangsmaterial sowie in den Modellsilagen aus rückbefechtetem Lupinenschrot der Sorte Bora (34 d Inkubation; n=3)

Art/ Sorte	Variante	TS		Alkaloidgehalt (gesamt)	
		%		% i.d. TS	
Süßlupine (Bora)	ASM	64,49		0,087	
	KON	62,05	±0,08	0,028	±0,005
	MEL	61,67	±0,34	0,030	±0,008
	MSB1	62,18	±0,08	0,024	±0,006
	MSB2	62,95	±0,13	0,028	±0,012
	MSB3	61,96	±0,08	0,023	±0,001
	MSB1+MEL	63,39	±0,29	0,029	±0,002
	MSB2+MEL	63,82	±0,36	0,025	±0,002
	MSB3+MEL	63,06	±0,27	0,028	±0,006

ASM: Ausgangsmaterial (n=1); KON: Kontrolle ohne Zusatz; MEL: Melasse (2 % der FM); MSB1-3: Zusatz Milchsäurebakterien (MSB1: *Lb. plantarum*,  $3 \cdot 10^5$  KbE/g FM; MSB2: *Lb. plantarum*,  $1 \cdot 10^5$  KbE/g FM; MSB3: *Lb. plantarum*, *Ped. acidilactici*, *E. faecium*,  $3 \cdot 10^5$  KbE/g FM)

Während durch die Zugabe von MSB 1 und 3 der Alkaloidgehalt der Bitterlupine tendenziell reduziert werden kann, hat der Einsatz von MSB 2 keinen Effekt auf den Alkaloidgehalt. Durch den zusätzlichen Einsatz von Melasse in Kombination mit MSB 1 oder 3 wird der bei alleinigem Zusatz beobachtete Effekt wieder aufgehoben. Aufgrund der minimalen Differenzen der Alkaloidgehalte zwischen dem unsilierten Körnerschrot und den Silagen kann bei der Süßlupinensorte Bora eine Reduzierung durch den Silierprozess nicht bestätigt werden.

### Tannine

Mikroorganismen werden im allgemeinen durch die Einwirkung von Tanninen inhibiert (SCALBERT 1991, LAVRENCIC & LEVART 2005). In Abhängigkeit von der Art und Menge der Tannine konnten ACOSTA (2004) und SALAWU et al. (1999) eine Beeinträchtigung der Bakterienentwicklung sowie der Milchsäurebildung im Siliergut nachweisen. Andererseits ist jedoch die Fähigkeit zur Bildung von Tannase (katalysiert den Abbau hydrolysierbarer Tannine) innerhalb der Mikroorganismengruppen ubiquitär verbreitet (BHAT et al. 1998) und der Abbau kondensierter Tannine für eine Vielzahl von Vertretern des natürlichen epiphytischen Bakterienbesatzes nachgewiesen worden (DESCHAMPS et al. 1980). Ziel des Screenings war es daher, die Leistungsfähigkeit des natürlichen epiphytischen Bakterienbesatzes sowie der verschiedenen eingesetzten Milchsäurebakterienpräparate hinsichtlich der Reduzierung der Phenolfractionen vergleichend zu prüfen, um Aussagen zu einem möglichen Tanninabbau im Silierprozeß treffen zu können. Die Ergebnisse sind in Tabelle 42 zusammengefaßt.

Tab. 42: Gehalte an Phenol- und Tanninfraktionen im unsilierten Ausgangsmaterial sowie in den Modellsilagen aus reifen, lagergetrocknenen Körnern der Ackerbohnsorte Limbo und der Erbsensorte Lisa (n = 3)

Sorte	Variante	TS	pH-Wert	GP	NT	TP	KT
		%		% TS i.d.TS			
Limbo	ASM	65,3	6,3 ±0,0	1,34 <sup>a</sup> ±0,01	0,57 <sup>ab</sup> ±0,01	0,77 <sup>a</sup> ±0,02	1,72 <sup>a</sup> ±0,02
	KON	64,8	4,3 ±0,1	0,70 <sup>b</sup> ±0,04	0,58 <sup>a</sup> ±0,04	0,11 <sup>c</sup> ±0,02	0,45 <sup>b</sup> ±0,07
	MEL	65,3	4,5 ±0,1	0,72 <sup>b</sup> ±0,09	0,50 <sup>b</sup> ±0,05	0,22 <sup>b</sup> ±0,07	0,35 <sup>c</sup> ±0,02
	MSB1	65,5	4,2 ±0,0	0,50 <sup>c</sup> ±0,02	0,52 <sup>ab</sup> ±0,02	0,00 <sup>d</sup> ±0,04	0,27 <sup>cd</sup> ±0,03
	MSB2	66,4	4,1 ±0,0	0,47 <sup>c</sup> ±0,05	0,51 <sup>ab</sup> ±0,05	0,00 <sup>d</sup> ±0,02	0,23 <sup>d</sup> ±0,04
	MSB3	65,3	4,2 ±0,0	0,53 <sup>c</sup> ±0,03	0,52 <sup>ab</sup> ±0,01	0,01 <sup>d</sup> ±0,02	0,30 <sup>cd</sup> ±0,06
	MSB1+MEL	65,5	4,2 ±0,0	0,45 <sup>c</sup> ±0,03	0,40 <sup>c</sup> ±0,03	0,05 <sup>cd</sup> ±0,06	0,22 <sup>cd</sup> ±0,02
	MSB2+MEL	64,9	4,1 ±0,0	0,46 <sup>c</sup> ±0,02	0,42 <sup>c</sup> ±0,05	0,04 <sup>cd</sup> ±0,05	0,24 <sup>d</sup> ±0,03
MSB3+MEI	65,1	4,2 ±0,0	0,49 <sup>c</sup> ±0,02	0,44 <sup>c</sup> ±0,06	0,05 <sup>cd</sup> ±0,06	0,28 <sup>d</sup> ±0,06	
Lisa	ASM	63,2	6,3 ±0,0	0,96 <sup>a</sup> ±0,07	0,36 <sup>ab</sup> ±0,09	0,59 <sup>a</sup> ±0,06	1,78 <sup>a</sup> ±0,08
	KON	61,9	4,4 ±0,2	0,49 <sup>b</sup> ±0,06	0,44 <sup>a</sup> ±0,02	0,06 <sup>bcd</sup> ±0,04	0,40 <sup>b</sup> ±0,09
	MEL	62,2	4,3 ±0,0	0,46 <sup>bc</sup> ±0,04	0,37 <sup>ab</sup> ±0,04	0,09 <sup>bc</sup> ±0,06	0,24 <sup>cd</sup> ±0,03
	MSB1	62,5	4,1 ±0,0	0,38 <sup>cd</sup> ±0,03	0,42 <sup>a</sup> ±0,01	0,00 <sup>d</sup> ±0,03	0,20 <sup>d</sup> ±0,02
	MSB2	63,6	4,1 ±0,0	0,34 <sup>d</sup> ±0,05	0,37 <sup>ab</sup> ±0,01	0,00 <sup>cd</sup> ±0,05	0,27 <sup>cd</sup> ±0,05
	MSB3	62,1	4,1 ±0,0	0,46 <sup>bc</sup> ±0,02	0,42 <sup>a</sup> ±0,01	0,04 <sup>bcd</sup> ±0,01	0,35 <sup>bc</sup> ±0,07
	MSB1+MEL	62,6	4,2 ±0,0	0,36 <sup>cd</sup> ±0,02	0,30 <sup>bc</sup> ±0,01	0,07 <sup>bcd</sup> ±0,02	0,24 <sup>cd</sup> ±0,01
	MSB2+MEL	61,9	4,1 ±0,0	0,35 <sup>d</sup> ±0,04	0,26 <sup>c</sup> ±0,01	0,10 <sup>b</sup> ±0,04	0,21 <sup>d</sup> ±0,02
MSB3+MEI	62,5	4,2 ±0,0	0,40 <sup>d</sup> ±0,06	0,32 <sup>bc</sup> ±0,08	0,08 <sup>bcd</sup> ±0,05	0,30 <sup>cd</sup> ±0,05	

GP ... Gesamtphenole; NT ... Nicht-Tanninphenole; TP ... Tanninphenole; KT ... extrahierbare kondensierte Tannine; ASM ... Ausgangsmaterial; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB1-3 ... Zusatz Milchsäurebakterien (Präparat 1, 2 oder 3); MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; <sup>a,b</sup> ... unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Leguminosenart; (SNK, p < 0,05)

Wie bereits diskutiert, lag der Tanningehalt im lagergetrocknenen Körnerschrot von Ackerbohnen und Erbsen nicht in der erwarteten Höhe. Dennoch konnte während der Vergärung eine effektive Reduzierung der Gesamtphenol- und Tanninfraktionen erzielt werden. In den jeweiligen Silagen ohne Zusätze wurde der Gesamtphenolgehalt um 50 %, der Anteil Tanninphenol um bis zu 90 % und die Fraktion der kondensierten Tannine um bis zu 78 % reduziert, was einen Abbau von Tanninen bereits durch den natürlichen epiphytischen Besatz im Silierprozeß vermuten läßt. Die alleinige Zugabe von Melasse bewirkte bei den kondensierten Tanninen eine weitere, signifikante Verminderung der Gehalte gegenüber der Kontrollvariante.

Den tendenziell größten Effekt auf die Reduzierung der Gehalte an Gesamtphenolen, Tanninphenolen und kondensierten Phenolen hatte der Einsatz der Milchsäurebakterienpräparate, wobei sich diese im Umfang Ihrer Wirkung jedoch nicht voneinander unterschieden. Der Effekt konnte durch den kombinierten Einsatz von MSB und Melasse nicht weiter gesteigert werden.

### **Phytat-Phosphor**

Um eine vorläufige Antwort auf die Frage zu erhalten, ob im Fermentationsverlauf oder durch den Einsatz von Milchsäurebakterien die Phosphorverfügbarkeit in der resultierenden Silage verbessert werden kann, wurden beispielhaft die Modellsilagen der Lupinensorte Bora auf ihre Gehalte an Gesamt-P und Phytat-P analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 43 aufgeführt. Signifikante Veränderungen konnten nicht festgestellt werden, weder im Vergleich zum Ausgangsmaterial noch zwischen den verschiedenen Präparaten. Aus der Versuchsanstellung ist nicht ersichtlich, ob dieses Resultat auf fehlende oder zu geringe endogene (pflanzliche) oder mikrobielle Phytaseaktivität und/oder auf den hohen TS-Gehalt des Siliergutes zurückzuführen ist.

Tab. 43: Gehalte\* an Gesamt-Phosphor und Phytat-Phosphor sowie Anteil des Phytat-Phosphors am Gesamt-Phosphor im unsilierten Ausgangsmaterial sowie in den Modellsilagen aus reifen, lagergetrockneten Körnern der Lupinensorte Bora (n = 3)

Variante	TS	pH-Wert	Gesamt-P	Phytat-P	Anteil Phytat-P am Gesamt-P	
	%		% i.d.TS	% i.d. TS	%	
ASM	64,5	5,8	0,50	0,21	42,22	
KON	62,0	4,3 ±0,1	0,48 ±0,01	0,19 ±0,02	39,85 ±3,41	
MEL	61,7	4,3 ±0,1	0,48 ±0,01	0,18 ±0,02	38,31 ±6,19	
MSB1	62,2	4,1 ±0,0	0,48 ±0,01	0,20 ±0,02	41,01 ±4,02	
MSB2	62,9	4,1 ±0,0	0,48 ±0,02	0,18 ±0,02	38,00 ±4,67	
MSB3	62,0	4,2 ±0,0	0,50 ±0,01	0,24 ±0,01	47,44 ±2,27	
MSB1+MEL	63,4	4,1 ±0,0	0,48 ±0,01	0,19 ±0,05	39,02 ±10,57	
MSB2+MEL	63,8	4,1 ±0,0	0,47 ±0,02	0,19 ±0,02	40,69 ±3,33	
MSB3+MEL	63,1	4,2 ±0,0	0,48 ±0,01	0,19 ±0,03	38,30 ±6,32	

\* Analysen durchgeführt an der Universität Hohenheim, Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, Abteilung Futtermittel; ASM ... Ausgangsmaterial; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB1-3 ... Zusatz Milchsäurebakterien (Präparat 1, 2 oder 3); MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien

Da für die geprüften drei Milchsäurebakterienpräparate keine nennenswerten Unterschiede im Ansäuerungsvermögen bzw. hinsichtlich der Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe nachgewiesen werden konnten, wurde für die Bereitung von Modellsilagen aus erntefrischen Körnern das MSB-Präparat 1 ausgewählt, das bereits in anderen Silierversuchen mit einer Vielzahl von Pflanzenarten als leistungsfähig und osmotolerant herausgestellt werden konnte.

### 3.1.5 Bereitung von Modellsilagen aus mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten zur Bestimmung des für Milchsäuregärung und enzymatische Umsetzungen notwendigen Wassers

#### 3.1.5.1 Charakterisierung des Ausgangsmaterials

Eine erfolgreiche Silierung ist neben Faktoren wie Pufferkapazität, Gehalt an wasserlöslichen von Milchsäurebakterien nutzbaren Kohlenhydraten, Leistungsfähigkeit des epiphytischen Besatzes bzw. der zugegebenen Milchsäurebakterien etc., von dem im Pflanzenmaterial verfügbarem Wasser abhängig. Zur Ermittlung des für die Milchsäuregärung und die enzymatischen Umsetzungen notwendigen Restwassers, wurden Modellsilagen aus vor der Vollreife geernteten Körnern von Ackerbohne, Erbse und Lupinen mit zwei verschiedenen Trockensubstanzstufen (ca. 65 % und ca. 75 %) hergestellt.

Trotz der Heterogenität des Erntematerials konnten die angestrebten Trockensubstanzgehalte von 65 % bzw. 75 % mit Schwankungen von 64 - 67 % bzw. 71 - 76 % in den Modellsilagen erfolgreich eingestellt werden. In Tabelle 44 sind die ermittelten Nährstoffgehalte aufgeführt. Im Vergleich zu Literaturwerten liegen die Stärkegehalte bei den Ackerbohnen- und Erbsenkörnern erwartungsgemäß über 40 % der TS und in den Lupinenkörnern bei geringen 2 % der TS. Der Rohfett- und Rohfasergehalt der Lupinenkörner ist generell höher als bei Erbsen und Ackerbohnen. Die analysierten Nährstoffgehalte der Körner stimmen unter Berücksichtigung der bei Lupinen, Ackerbohnen und Erbsen zu erwartenden Differenzen zwischen den Sorten bzw. den Vegetationsperioden mit den vorgestellten Gehalten der jeweiligen lagergetrockneten Proben sowie mit Werten aus der Literatur überein.

Tab. 44: Nährstoffgehalte, Pufferkapazität und Z/PK-Quotient der mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten (Ausgangsmaterial)

Art	Sorte	TS	XA	XP	XL	XF	NDF	ADF	ADL	XS	XZ	PK*1	Z/PK
		%	% i.d. TS										
Lupine (süß)	Borlu	67,24	3,62	39,42	5,95	13,47	20,48	18,49	0,48	2,22	2,87	4,49	0,64
		73,86	3,99	39,65	5,73	14,46	23,11	19,21	0,93	2,53	3,00	4,48	0,67
	Bora	67,11	4,03	35,92	5,81	16,49	23,46	18,90	0,45	2,43	3,00	4,41	0,68
		72,73	4,03	36,27	6,44	14,49	22,67	19,78	0,66	2,39	2,96	4,21	0,70
Lupine (bitter)	Azuro	66,07	3,76	35,40	4,95	16,70	24,38	21,20	0,48	1,97	3,39	4,41	0,77
		70,80	3,86	35,46	5,25	17,18	24,72	22,17	0,79	2,24	3,31	4,18	0,79
Acker- bohne	Limbo	65,25	3,34	28,22	1,98	9,17	11,35	11,11	0,21	43,95	2,48	4,21	0,59
		75,55	3,63	26,56	2,02	10,11	14,41	13,27	0,48	42,00	2,36	3,97	0,59
Erbse	Lisa	64,42	3,65	21,23	1,84	8,42	14,78	10,89	0,52	46,99	2,94	3,97	0,74
		75,13	3,93	21,57	1,85	8,04	14,83	10,90	0,39	47,40	2,39	3,64	0,66

\*1PK...Pufferkapazität (g MS/ 100g TS); Z/PK...Quotient aus Zucker und Pufferkapazität

Die Rohproteinwerte zeigen die erwartete Variationsbreite zwischen 21 % der TS bei Erbsenkörnern und bis zu 40 % der TS in Lupinenkörnern (Tab. 44). Die Pufferkapazität der Leguminosenkörner ist in Entsprechung zu den hohen Rohproteingehalten ebenfalls hoch. Der für eine ausreichende Milchsäurebildung und sichere Konservierung von WILKINSON (1983) empfohlene Richtwert von 3 % wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Frischmasse wird in keinem Fall erreicht. Damit ergibt sich für alle Körner ein für die Silierung ungünstiger Z/PK-Quotient von deutlich unter 1.

Dennoch konnte im Rostocker Fermentationstest für das Erntegut eine ausreichende Ansäuerung nachgewiesen werden (Tab. 45). Somit lassen sich die Ergebnisse der Untersuchungen an lagertrockenen Körnern hinsichtlich der vorhandenen Silierfähigkeit von Leguminosenkörnern bestätigen.

Tab. 45: pH-Wert-Verläufe im Rostocker Fermentationstest mit vor der Vollreife geernteten Leguminosenkörnern unterschiedlicher Arten im Ansatz mit *aqua dest* (gemittelte pH-Werte der Sorten)

Inkubationszeit (h)		n	0	18	26	38	42
Art	Variante						
AB	Kontrolle	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,1	4,5 <sup>aA</sup> ±0,0	4,4 <sup>aA</sup> ±0,1	4,1 <sup>aB</sup> ±0,1	4,1 <sup>aB</sup> ±0,1
Erbse	Kontrolle	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,0	4,6 <sup>abAB</sup> ±0,2	4,4 <sup>ab</sup> ±0,1	4,2 <sup>ab</sup> ±0,0	4,1 <sup>aB</sup> ±0,0
Lupine	Kontrolle	9	5,9 <sup>aA</sup> ±0,2	4,8 <sup>bB</sup> ±0,3	4,4 <sup>ab</sup> ±0,1	4,2 <sup>ab</sup> ±0,1	4,1 <sup>aB</sup> ±0,1
AB	Melasse	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,1	4,5 <sup>aA</sup> ±0,0	4,3 <sup>aA</sup> ±0,0	4,1 <sup>aB</sup> ±0,1	4,1 <sup>aAB</sup> ±0,1
Erbse	Melasse	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,0	4,7 <sup>abAB</sup> ±0,3	4,4 <sup>ab</sup> ±0,1	4,1 <sup>abB</sup> ±0,1	4,1 <sup>aB</sup> ±0,1
Lupine	Melasse	9	5,9 <sup>aA</sup> ±0,1	4,8 <sup>bB</sup> ±0,3	4,4 <sup>ab</sup> ±0,1	4,2 <sup>bb</sup> ±0,1	4,1 <sup>aB</sup> ±0,1
AB	MSB	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,1	4,4 <sup>aA</sup> ±0,1	4,1 <sup>abA</sup> ±0,2	4,0 <sup>bA</sup> ±0,1	4,0 <sup>abAB</sup> ±0,1
Erbse	MSB	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,0	4,4 <sup>aA</sup> ±0,0	4,1 <sup>bA</sup> ±0,0	3,9 <sup>bA</sup> ±0,0	3,9 <sup>bA</sup> ±0,0
Lupine	MSB	9	5,9 <sup>aA</sup> ±0,2	4,4 <sup>aA</sup> ±0,2	4,0 <sup>aA</sup> ±0,1	3,8 <sup>aA</sup> ±0,1	3,8 <sup>aA</sup> ±0,1
AB	MSB + Mel	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,1	4,3 <sup>aA</sup> ±0,2	4,1 <sup>abA</sup> ±0,1	3,9 <sup>abA</sup> ±0,1	3,9 <sup>aA</sup> ±0,1
Erbse	MSB + Mel	3	6,5 <sup>bA</sup> ±0,0	4,4 <sup>ab</sup> ±0,0	4,1 <sup>bA</sup> ±0,0	3,9 <sup>bA</sup> ±0,0	3,9 <sup>aA</sup> ±0,0
Lupine	MSB + Mel	9	5,9 <sup>aA</sup> ±0,1	4,4 <sup>aA</sup> ±0,2	4,0 <sup>aA</sup> ±0,1	3,9 <sup>aA</sup> ±0,1	3,8 <sup>aA</sup> ±0,1

(AB...Ackerbohne; MSB...Milchsäurebakterien; Mel...Melasse)

<sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten

<sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

Im Ansatz mit *aqua dest* ist die schnelle, sichere und ausreichend tiefe Ansäuerung der vor der Vollreife geernteten Leguminosenkörner mit und ohne Silierzusatz gegeben (Tab. 45). Der Fermentationsverlauf der jeweiligen Varianten ist zwischen den Arten und Sorten ähnlich. Die



Beimpfung mit leistungsfähigen Milchsäurebakterien beschleunigt die Ansäuerung und führt nach 42 Stunden Inkubation zu pH-Werten unter 4. Ein zusätzlicher Effekt von Melasse auf die Säuerungsleistung des MSB-Präparates ist dabei nicht ersichtlich.

Mit zunehmender Osmolalität ist erwartungsgemäß eine Verzögerung der Fermentation zu beobachten (Tab. 46), wobei größere Unterschiede hinsichtlich Schnelligkeit und Umfang der Ansäuerung zwischen den Leguminosenarten festzustellen sind. Nach einer längeren Adaptationsphase an die hohe Osmolalität (z.B. 38 h in 9 % KCl) zeigt der natürliche Milchsäurebakterienbesatz der Ackerbohnenkörner eine relativ hohe Osmotoleranz und eine effektive Ausnutzung der vorhandenen fermentierbaren Kohlenhydrate (kein nennenswerter Zusatzeffekt durch Melasseinsatz). Durch die Inokulation mit Milchsäurebakterien wird die Ansäuerung in jedem Fall beschleunigt. Während die Melassezugabe bei Ackerbohnenkörnern keinen bzw. nur einen geringen zusätzlichen Effekt aufweist, werden bei Erbsen- und Lupinenkörnern sowohl der natürliche Milchsäurebakterienbesatz als auch die MSB des Präparates deutlich gefördert.

Tab. 46: pH-Wert-Verläufe im Rostocker Fermentationstest mit vor der Vollreife geernteten Leguminosenkörnern unterschiedlicher Arten im Ansatz mit 9 und 12 %iger KCl-Lösung (gemittelte pH-Werte der Sorten)

Inkubationszeit (h)		0	38	50	70	46	70
Osmolalitätsstufe		9 % bzw. 12 % KCl	9 % KCl			KCl 12 %	
<b>Kontrolle</b>							
	<b>n</b>						
<b>AB</b>	<b>6</b>	6,1 <sup>cA</sup> ±0,0	4,4 <sup>aC</sup> ±0,3	3,8 <sup>aC</sup> ±0,0	3,7 <sup>aB</sup> ±0,1	5,2 <sup>aA</sup> ±0,6	4,3 <sup>abA</sup> ±0,4
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	6,0 <sup>bA</sup> ±0,0	4,8 <sup>abC</sup> ±0,1	4,5 <sup>bC</sup> ±0,1	4,1 <sup>bD</sup> ±0,1	5,0 <sup>aC</sup> ±0,1	4,5 <sup>aB</sup> ±0,0
<b>Lupine</b>	<b>18</b>	5,4 <sup>aA</sup> ±0,0	4,9 <sup>bC</sup> ±0,3	4,6 <sup>bC</sup> ±0,3	4,2 <sup>bC</sup> ±0,2	5,0 <sup>aB</sup> ±0,2	4,7 <sup>bC</sup> ±0,2
<b>Melasse</b>							
<b>AB</b>	<b>6</b>	6,1 <sup>cA</sup> ±0,0	4,3 <sup>aBC</sup> ±0,3	3,7 <sup>aB</sup> ±0,1	3,6 <sup>aA</sup> ±0,0	5,0 <sup>aA</sup> ±0,5	4,1 <sup>aA</sup> ±0,4
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	6,1 <sup>bA</sup> ±0,0	4,5 <sup>aB</sup> ±0,0	3,9 <sup>bB</sup> ±0,1	3,6 <sup>aB</sup> ±0,0	4,8 <sup>aB</sup> ±0,1	4,1 <sup>aB</sup> ±0,3
<b>Lupine</b>	<b>18</b>	5,5 <sup>aA</sup> ±0,1	4,6 <sup>aB</sup> ±0,3	4,2 <sup>bB</sup> ±0,2	3,8 <sup>bB</sup> ±0,1	4,9 <sup>aB</sup> ±0,3	4,2 <sup>aB</sup> ±0,2
<b>MSB</b>							
<b>AB</b>	<b>6</b>	6,1 <sup>cA</sup> ±0,0	3,8 <sup>aAB</sup> ±0,1	3,7 <sup>aB</sup> ±0,1	3,7 <sup>aAB</sup> ±0,1	4,9 <sup>aA</sup> ±0,8	4,0 <sup>aA</sup> ±0,3
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	6,0 <sup>bA</sup> ±0,0	4,5 <sup>bB</sup> ±0,1	3,9 <sup>bB</sup> ±0,0	3,7 <sup>aC</sup> ±0,0	5,0 <sup>aC</sup> ±0,1	4,5 <sup>bB</sup> ±0,0
<b>Lupine</b>	<b>18</b>	5,4 <sup>aA</sup> ±0,0	4,7 <sup>bBC</sup> ±0,4	4,2 <sup>bB</sup> ±0,2	3,9 <sup>bB</sup> ±0,1	5,0 <sup>aB</sup> ±0,2	4,6 <sup>bC</sup> ±0,2
<b>MSB+Melasse</b>							
<b>AB</b>	<b>6</b>	6,1 <sup>cA</sup> ±0,0	3,8 <sup>aA</sup> ±0,1	3,6 <sup>aA</sup> ±0,0	3,6 <sup>bA</sup> ±0,0	4,5 <sup>aA</sup> ±0,4	3,7 <sup>bA</sup> ±0,0
<b>Erbse</b>	<b>6</b>	6,1 <sup>bA</sup> ±0,0	3,8 <sup>aA</sup> ±0,0	3,6 <sup>aA</sup> ±0,0	3,5 <sup>aA</sup> ±0,0	4,1 <sup>aA</sup> ±0,2	3,6 <sup>aA</sup> ±0,1
<b>Lupine</b>	<b>18</b>	5,5 <sup>aA</sup> ±0,1	4,1 <sup>bA</sup> ±0,3	3,8 <sup>bA</sup> ±0,3	3,7 <sup>bA</sup> ±0,1	4,2 <sup>aA</sup> ±0,3	3,8 <sup>bA</sup> ±0,1

(AB...Ackerbohne; MSB...Milchsäurebakterien)

<sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten

<sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

Der Einsatz von leistungsfähigen Milchsäurebakterien fördert allgemein eine sichere, schnelle und tiefe Ansäuerung. Da in den Modellsilagen aus den mit mindestens 65 % TS geernteten Körnern ebenso extreme osmotische Bedingungen erwartet werden wie sie über die KCl-Lösung im RFT simuliert wurden, ist der Einsatz von geeigneten MSB-Präparaten zu empfehlen.

### 3.1.5.2 Gärbiologische Qualität von Modellsilagen aus mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörnern

Folgende Leguminosensorten wurden bei Kornfeuchten von ca. 35 und 25 % geerntet, geschrotet und für die Bereitung von Modellsilagen verwendet:

- Bora, Borlu (Blaue Süßlupine)

- Azuro (Blaue Bitterlupine)
- Limbo (Ackerbohne)
- Lisa (Erbse)

Es wurden die Varianten a) ohne Zusatz (Kontrolle), b) Zusatz von Melasse, c) Zusatz eines Milchsäurebakterienpräparates sowie d) Zusatz eines Milchsäurebakterienpräparates in Kombination mit Melasse geprüft.

### ***Ergebnisse der Silierung mit 35 % Kornfeuchte***

Alle Modellsilagen waren zu allen Öffnungstagen und in allen Varianten organoleptisch als einwandfrei zu beurteilen. In Tabelle 47 sind die Gärparameter der Modellsilagen (ca. 65 % TS) nach 5 bzw. 90 Tagen Lagerung zusammengefaßt. Deutlich wird die erwartungsgemäß aufgrund des hohen TS-Gehaltes nur langsam erfolgende Ansäuerung. Insbesondere in den Varianten ohne Zusatz (Kontrolle) und mit Melassezusatz liegt der pH-Wert nach 5 Tagen Lagerung mit einer Ausnahme (Ackerbohne Limbo) weit über 5,0 bei nicht vorhandenen bzw. nur marginalen Milchsäuregehalten. Durch den Einsatz eines Milchsäurebakterienpräparates konnten jedoch Ansäuerung und Milchsäurebildung wesentlich beschleunigt werden, wobei ein Zusatz des Präparates in Kombination mit Melasse bei den Lupinenschrotsilagen tendenziell zu den besten Ergebnissen führte. Der positive Effekt zusätzlichen Gärsubstrates beschränkt sich jedoch auf die anfängliche Gärphase und spiegelt sich nicht im erreichten End-pH-Wert in den Varianten mit kombiniertem Einsatz von Milchsäurebakterien und Melasse wider. Nach 90 Tagen Lagerdauer weisen alle geprüften Silagen in Bezug auf den TS-Gehalt hinreichend tiefe pH-Werte und mit einer Ausnahme (Lupine Borlu, Variante ohne Zusätze) auch ausreichende Milchsäuregehalte von 2 bis 6 % der TS auf. Die Essigsäuregehalte in den reifen Silagen (Tag 90) liegen überwiegend im geforderten Bereich von 0,3 bis 0,8 % der TS, so daß von einem positiven Effekt auf die aerobe Stabilität auszugehen ist. Propionsäure und Buttersäure sind nicht oder nur in Spuren vorhanden. Die geringen Alkoholgehalte werden durch den Einsatz von Milchsäurebakterien noch weiter reduziert.

Der während des Silierprozesses aufgrund der Wirkung pflanzeeigener Enzyme oder mikrobieller Gärschädlinge stattfindende Abbau von Proteinen und Aminosäuren wird wesentlich beeinflusst durch den TS-Gehalt des Siliergutes. In den geprüften Leguminosenschrotsilagen war aufgrund des hohen TS-Gehaltes kein nennenswerter Abbau zu erwarten. Dies wird durch den geringen Ammoniakgehalt, ausgedrückt als Anteil  $\text{NH}_3$ -Stickstoff am Gesamt-N als Maß für die Höhe des Protein- bzw. Aminosäureabbaus, bestätigt.

Ein weiterer Parameter zur Schätzung der Silagequalität ist die Veränderung der Osmolalität im Gärverlauf (HOEDTKE et al. 2005). Die Osmolalität bezeichnet die Menge an osmotisch wirksamen Teilchen, die in einem Kilogramm reinem Lösungsmittel gelöst ist. Als Maß für den osmotischen Wert in der wäßrigen Phase wurde sie mit Hilfe eines Osmometers über die Gefrierpunktserniedrigung gemessen. Nach der allgemeingültigen Beziehung zwischen TS, Wasseraktivität und Osmolalität ist davon auszugehen, daß aufgrund der hohen TS im Körnerschrot ein relativ hoher osmotischer Wert vorliegt, der über der Toleranzgrenze unerwünschter Verderbniserreger liegt (WEIßBACH 1968, MCDONALD et al. 1991). Dies ist jedoch insbesondere im Ausgangsmaterial nicht der Fall. Wie Tabelle 48 zu entnehmen ist, liegt die Osmolalität im unbehandelten Ausgangsmaterial im Bereich von 0,9 bis 1,6 osmol/kg. Zurückzuführen ist dies zum einen auf die geringen Gehalte an im Restwasser gelösten, osmotisch wirksamen Teilchen aufgrund der geringen Zucker- und Aschegehalte in den Körnern; zum anderen auf die abreifebedingt und sortenspezifisch hohen Gehalte an osmotisch weniger wirksamen Polymeren, wie Proteinen oder Stärke (GREENHILL 1964). Melassezusatz erhöht die Osmolalität geringfügig auf maximal 1,9 osmol/kg. Nach SWEENEY & BEUCHAT (1993) ist uneingeschränktes Wachstum der meisten Gärschädlinge noch bis 2,8 osmol/kg möglich. Nach frühestens 15 Tagen (Daten nicht dargestellt) und spätestens 90 Tagen Lagerdauer wurden in allen Modellsilagen Osmolalitäten von mindestens ca. 2,8 osmol/kg erreicht (Tabelle 47). Diese

Erhöhung der Osmolalität gegenüber dem Ausgangsmaterial resultiert aus dem Abbau von osmotisch relativ inaktiven Makromolekülen im Fermentationsprozeß und dem gleichzeitig steigenden Anteil an osmotisch wirksamen Teilchen im Restwasser, wie mono- und dimere Zucker sowie Milchsäure und andere Gärprodukte. Der Effekt der mit der Melasse eingebrachten osmotisch wirksamen Substanzen ist auch in den reifen Silagen noch präsent. Die erreichten Osmolalitäten in den reifen Silagen sowie die nicht bzw. nur in geringem Umfang gebildeten Nebengärungsprodukte lassen auf eine effektive Inhibierung wenig osmotoleranter Gärschädlinge in Leguminosenschrotsilagen schließen.

Tab. 47: Gärparameter der Modellsilagen aus frisch geernteten Leguminosenkörnern (ca. 65 % TS) nach 5 bzw. 90 Tagen Lagerung

Sorte	d	Variante	pH	[% TS]				ΣAL	NH <sub>3</sub> -N [% Ges.-N]	OSM osmol/ kg
				MS	ES	PS	BS			
Bora	5	KON	5,85	0,00	0,10	0,01	0,02	0,08	0,2	1,87
		MEL	5,78	0,16	0,14	0,00	0,01	0,08	0,2	2,01
		MSB	4,62	2,78	0,25	0,01	0,01	0,08	0,2	2,30
		MEL+MSB	4,53	3,29	0,28	0,00	0,01	0,08	0,3	2,54
	90	KON	4,89	2,00	0,34	0,04	0,00	0,49	1,2	3,19
		MEL	4,40	4,08	0,55	0,01	0,02	0,15	1,0	3,60
		MSB	4,17	5,55	0,68	0,01	0,02	0,11	0,8	3,52
		MEL+MSB	4,19	5,70	0,77	0,01	0,02	0,12	0,8	3,78
Borlu	5	KON	5,82	0,00	0,11	0,01	0,01	0,07	0,2	1,72
		MEL	5,84	0,10	0,15	0,01	0,01	0,06	0,2	1,92
		MSB	4,86	1,85	0,19	0,01	0,02	0,07	0,2	2,10
		MEL+MSB	4,67	2,68	0,26	0,00	0,01	0,08	0,2	2,47
	90	KON	5,40	0,93	0,12	0,02	0,00	0,94	1,0	2,70
		MEL	4,69	2,74	0,39	0,01	0,01	0,20	1,0	3,26
		MSB	4,23	4,54	0,52	0,01	0,02	0,10	0,6	3,15
		MEL+MSB	4,24	4,94	0,60	0,02	0,02	0,09	0,6	3,41
Azuro	5	KON	5,76	0,07	0,09	0,01	0,01	0,09	0,2	2,06
		MEL	5,76	0,23	0,19	0,02	0,01	0,10	0,2	2,08
		MSB	4,47	3,03	0,12	0,03	0,01	0,07	0,2	2,11
		MEL+MSB	4,40	3,98	0,17	0,03	0,01	0,07	0,2	2,56
	90	KON	4,83	1,81	0,57	0,01	0,00	0,20	1,1	3,32
		MEL	4,49	3,39	0,75	0,01	0,01	0,21	0,9	3,77
		MSB	4,11	5,29	0,40	0,01	0,01	0,12	0,7	3,49
		MEL+MSB	4,12	5,69	0,49	0,02	0,00	0,10	0,7	3,69
Limbo	5	KON	5,06	2,23	0,36	0,02	0,00	0,42	1,0	2,05
		MEL	4,99	2,28	0,44	0,02	0,01	0,35	0,8	2,18
		MSB	4,33	4,29	0,20	0,04	0,00	0,19	0,6	2,07
		MEL+MSB	4,37	4,28	0,20	0,02	0,01	0,20	0,5	2,24
	90	KON	4,25	4,87	0,30	0,02	0,01	0,33	2,3	2,97
		MEL	4,25	4,75	0,38	0,02	0,01	0,34	1,9	3,16
		MSB	4,10	5,27	0,24	0,02	0,00	0,21	1,4	2,80
		MEL+MSB	4,12	5,31	0,27	0,03	0,01	0,22	1,1	3,01
Lisa	5	KON	5,78	1,06	0,15	0,01	0,00	0,72	0,7	1,78
		MEL	5,38	1,39	0,31	0,01	0,00	0,77	0,6	2,06
		MSB	4,28	4,30	0,32	0,01	0,01	0,41	0,3	2,10
		MEL+MSB	4,32	4,63	0,36	0,01	0,00	0,38	0,3	2,35
	90	KON	4,38	4,46	0,40	0,04	0,00	0,62	1,8	2,85
		MEL	4,34	4,46	0,57	0,04	0,01	0,67	1,5	3,08
		MSB	4,14	5,49	0,43	0,04	0,00	0,50	0,8	2,76
		MEL+MSB	4,15	5,51	0,48	0,02	0,01	0,48	0,7	2,99

MS ... Milchsäure; ES ... Essigsäure; PS ... Propionsäure; BS ... Summe aus Buttersäure und i-Valeriansäure; ΣAL ... Summe aus Ethanol, Propanol und 2,3-Butandiol; OSM ... Osmolalität; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien

Tab. 48: Osmolalitäten im unsilierten Ausgangsmaterial (ohne Zusatz bzw. mit Zusatz von Melasse) für die Bereitung von Modellsilagen aus Leguminosenschrot mit 65 bzw. 75 % TS-Gehalt

	Osmolalität [osmol/kg]									
	TS-Stufe 65 %					TS-Stufe 75 %				
	Bora	Borlu	Azuro	Limbo	Lisa	Bora	Borlu	Azuro	Limbo	Lisa
ASM (ohne Zusatz)	1,56	1,49	1,62	1,18	0,90	2,35	1,69	1,78	1,96	1,45
ASM (mit Melasse)	1,79	1,69	1,86	1,34	1,07	2,52	2,06	2,00	2,25	1,78

ASM ... Ausgangsmaterial

### ***Ergebnisse der Silierung mit 25 % Kornfeuchte***

Auch die mit ca. 75 % TS bereiteten Modellsilagen wiesen zu allen Öffnungstagen und in allen Varianten in der organoleptischen Prüfung eine sehr gute Qualität auf. In Auswertung der Analyseergebnisse scheint es sich bei dieser Form der Konservierung jedoch eher um eine konservierende Lagerung unter Luftabschluß, als um Konservierung durch milchsaure Gärung zu handeln (Tabelle 49). Auch nach 90 Tagen Lagerdauer sinken die pH-Werte in allen Varianten nicht oder nur geringfügig. In der unbehandelten Kontrolle sind Milchsäure und die üblichen Produkte der Nebengärungen überwiegend nicht bzw. nur in marginalen Mengen vorhanden. Desgleichen befördert der Einsatz von Silierhilfsmitteln, wie aus den geringen Mengen der in diesen Varianten gebildeten Gärprodukte zu entnehmen ist, die Fermentation nur in sehr geringem Umfang. Protein- und Aminosäureabbau werden in diesem TS-Bereich weitestgehend unterbunden, dementsprechend ist Ammoniak nur in Spuren nachweisbar.

Vor diesem Hintergrund gestaltet sich die Bewertung der ermittelten Osmolalitäten schwierig. Die Werte im Ausgangsmaterial (Tabelle 48) sind zwar gegenüber dem Erntegut der TS-Stufe 65 % erhöht. Es findet jedoch während der Fermentation noch eine weitere und wesentliche Erhöhung der Osmolalität statt, die nicht mit den geringen Mengen der gebildeten Gärprodukte (Tabelle 49) oder dem geringen Anstieg der Zuckergehalte in den Lupinensilagen (Tabelle 49) erklärt werden kann.

Ausgenommen von allen vorgenannten Feststellungen sind die Silagen aus Körnern der Lupinensorte Azuro. Hier sind nach 90 Tagen Lagerung ein deutlicher pH-Wert-Abfall sowie ausreichende Mengen an Milchsäure in den Varianten mit Milchsäurebakterienzusatz nachzuweisen. Die Begründung für diese Ergebnisse liegt offensichtlich im TS-Gehalt der Silagen. Die Sorte Azuro wurde aufgrund von technisch bedingten Diskrepanzen zwischen der TS-Bestimmung auf dem Feld und dem tatsächlichen TS-Gehalt im Erntegut mit nur 71 % TS siliert. Demnach scheinen bereits Kornfeuchten von ca. 30 % bei Einsatz leistungsfähiger, osmotoleranter Milchsäurebakterienpräparate eine erfolgreiche milchsaure Konservierung von Leguminosenschroten sicherzustellen.

Tab. 49: Gärparameter der Modellsilagen aus frisch geernteten Leguminosenkörnern (ca. 75 % TS) nach 5 bzw. 90 Tagen Lagerung

Sorte	d	Variante	pH	[% TS]				$\Sigma$ AL	NH <sub>3</sub> -N [% Ges.-N]	OSM osmol/ kg
				MS	ES	PS	BS			
Bora	5	KON	5,67	0,00	0,10	0,01	0,01	0,03	0,2	2,35
		MEL	5,69	0,08	0,12	0,00	0,01	0,04	0,2	2,73
		MSB	5,67	0,03	0,14	0,01	0,01	0,03	0,2	2,41
		MEL+MSB	5,67	0,09	0,18	0,01	0,01	0,04	0,2	2,70
	90	KON	5,65	0,00	0,10	0,01	0,01	0,17	0,6	3,50
		MEL	5,64	0,07	0,14	0,01	0,02	0,22	0,6	3,73
		MSB	5,66	0,00	0,14	0,01	0,02	0,16	0,6	3,50
		MEL+MSB	5,65	0,08	0,18	0,02	0,02	0,19	0,6	3,68
Borlu	5	KON	5,83	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06	0,2	2,41
		MEL	5,86	0,06	0,08	0,00	0,00	0,09	0,2	2,66
		MSB	5,83	0,00	0,06	0,00	0,00	0,05	0,2	2,29
		MEL+MSB	5,84	0,03	0,09	0,00	0,00	0,08	0,2	2,58
	90	KON	5,68	0,03	0,14	0,00	0,00	0,12	0,6	3,31
		MEL	5,69	0,14	0,12	0,01	0,00	0,50	0,6	3,61
		MSB	5,73	0,06	0,13	0,00	0,00	0,90	0,6	3,53
		MEL+MSB	5,70	0,19	0,15	0,00	0,00	0,85	0,6	3,62
Azuro	5	KON	5,85	0,02	0,10	0,00	0,00	0,04	0,2	2,11
		MEL	5,86	0,09	0,11	0,00	0,00	0,04	0,2	2,28
		MSB	5,82	0,06	0,08	0,01	0,00	0,10	0,2	2,12
		MEL+MSB	5,81	0,15	0,10	0,00	0,00	0,05	0,2	2,30
	90	KON	5,63	0,10	0,23	0,01	0,00	0,32	0,5	3,36
		MEL	5,52	0,51	0,28	0,01	0,01	0,14	0,6	3,53
		MSB	4,45	3,96	0,34	0,01	0,01	0,21	0,6	3,89
		MEL+MSB	4,43	4,45	0,42	0,01	0,01	0,07	0,6	4,02
Limbo	5	KON	6,38	0,00	0,10	0,01	0,01	0,05	0,2	2,09
		MEL	6,41	0,05	0,11	0,01	0,01	0,06	0,2	2,35
		MSB	6,35	0,03	0,11	0,01	0,01	0,07	0,2	2,06
		MEL+MSB	6,32	0,07	0,18	0,01	0,01	0,07	0,3	2,38
	90	KON	6,20	0,00	0,11	0,03	0,00	0,19	0,5	2,60
		MEL	6,19	0,19	0,15	0,05	0,01	0,46	0,5	3,15
		MSB	5,96	0,42	0,15	0,05	0,00	0,18	0,5	2,65
		MEL+MSB	5,81	0,61	0,14	0,04	0,00	0,26	0,6	3,11
Lisa	5	KON	6,58	0,01	0,07	0,00	0,01	0,10	0,2	1,98
		MEL	6,56	0,08	0,10	0,00	0,00	0,11	0,2	2,25
		MSB	6,55	0,01	0,10	0,00	0,01	0,10	0,2	1,89
		MEL+MSB	6,51	0,08	0,10	0,00	0,01	0,09	0,2	2,11
	90	KON	6,00	0,05	0,20	0,00	0,00	0,16	0,3	2,60
		MEL	5,94	0,23	0,24	0,01	0,00	0,16	0,3	2,91
		MSB	6,00	0,11	0,22	0,00	0,00	0,16	0,3	2,62
		MEL+MSB	5,79	0,45	0,26	0,01	0,00	0,22	0,3	2,95

MS ... Milchsäure; ES ... Essigsäure; PS ... Propionsäure; BS ... Summe aus Buttersäure und i-Valeriansäure;  $\Sigma$ AL ... Summe aus Ethanol, Propanol und 2,3-Butandiol; OSM ... Osmolalität; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien

### 3.1.5.3 Bestimmung der aeroben Stabilität

Von wesentlicher Bedeutung für die Qualität der zur Verfütterung gelangenden Silage ist die Phase von der Öffnung des Silos bis zur Vorlage im Futtertrog. In Abhängigkeit vom TS-Gehalt, der Umgebungstemperatur und den gebildeten Gärprodukten können bei ungünstiger Faktorenkombination (geringe TS-Gehalte, hohe Temperaturen, geringe Essigsäuregehalte) hohe Nährstoff- und Energieverluste durch den unter Lufteinfluß einsetzenden mikrobiell bedingten Verderb auftreten.

Die aerobe Stabilität wurde nach der Methode von HONIG (1990) nach Auslagerung der Modellsilagen am Tag 50 ermittelt. Methodenprinzip ist die Messung des Temperaturverlaufes in aerob gelagerten Silageproben über einen Zeitraum von 7 Tagen. Dabei ist der

Temperaturanstieg als Maß für die ablaufenden Abbauprozesse definiert. Die Silage ist als instabil zu bewerten, sobald die Temperatur in den Silageproben mehr als 3°C über die der Umgebung steigt. Für die Durchführung der Methode wurden jeweils 300 g Silage in thermoisolierte Becher eingewogen und bei konstant 20°C Raumtemperatur gelagert. Der Temperaturverlauf in den Probenbechern wurde im 6-Stunden-Rhythmus durch Datalogger automatisch erfaßt und gespeichert. Am Versuchsende wurden die Proben organoleptisch beurteilt, die TS-Verluste während der aeroben Lagerung durch Wägung ermittelt und der pH-Wert im Silageextrakt bestimmt.

Die nach 50 Tagen Lagerung geöffneten und anschließend für die Untersuchungen zur aeroben Stabilität verwendeten Modellsilagen waren organoleptisch als einwandfrei zu beurteilen. In der TS-Stufe 65 % lagen die Essigsäuregehalte überwiegend im geforderten Bereich von 0,3-0,8 % der TS, während diese in der TS-Stufe 75 % in den überwiegenden Fällen unterschritten wurden. In Tabelle 50 sind die nach 7tägiger aerober Lagerung ermittelten Daten zusammengestellt. Auffällig sind die Unterschiede zwischen den TS-Stufen. In den Silagen mit ca. 65 % TS wurde durch den Einsatz eines Milchsäurebakterienpräparates die aerobe Stabilität grundsätzlich verbessert, während in den Silagen mit ca. 75 % TS der Einsatz von Silierhilfsmitteln keinen positiven Effekt zeitigte. Es gab jedoch in beiden TS-Stufen Leguminosensorten, deren Silagen sowohl mit als auch ohne Silierzusätze über den gesamten Prüfzeitraum aerob stabil blieben (TS-Stufe 65 %: Lupine Azuro, Ackerbohne Limbo; TS-Stufe 75 %: Ackerbohne Limbo, Erbse Lisa). Die ermittelten TS-Verluste sind als gering einzuschätzen. PH-Wert-Erhöhungen waren erwartungsgemäß mit aerober Instabilität korreliert.

Tab. 50: Aerobe Stabilität (in Tagen) von Leguminosenschrotsilagen sowie Verluste und pH-Wert-Änderungen während der aeroben Lagerung in Abhängigkeit vom TS-Gehalt und dem Einsatz von Silierhilfsmitteln (n = 3)

Sorte	TS	KON			MEL			MSB			MEL+MSB		
		d <sub>s</sub>	Verlust	Δ	d <sub>s</sub>	Verlust	Δ	d <sub>s</sub>	Verlust	Δ	d <sub>s</sub>	Verlust	Δ
	[%]		[% TS]	pH		[% TS]	pH		[% TS]	pH		[% TS]	pH
Bora	65	<b>3-6</b>	0,8-3,3	0,1-2,0	<b>7</b>	0,4-0,6	0	<b>7</b>	0,4	0	<b>7</b>	0,4	0
Borlu		<b>2-3</b>	2,7-3,0	1,6-1,8	<b>3-5</b>	0,7-2,2	0,5	<b>7</b>	0,4	0	<b>7</b>	0,2-0,3	0
Azuro		<b>7</b>	0,6-0,7	0	<b>7</b>	0,5-0,6	0	<b>7</b>	0,5-0,7	0	<b>7</b>	0,4-0,5	0
Limbo		<b>7</b>	0,5-0,6	0	<b>7</b>	0,4-0,6	0	<b>7</b>	0,4-0,5	0	<b>7</b>	0,3-0,5	0
Lisa		<b>1-3</b>	1,8-2,6	1,3-2,9	<b>1-4</b>	2,1-2,8	1,7-3,3	<b>7</b>	0,6-0,7	0	<b>7</b>	0,5	0
Bora	75	<b>7</b>	0,6-0,7	0	<b>6</b>	0,7-0,8	0	<b>6</b>	0,6-0,9	-	<b>5-6</b>	0,7-1,2	0
Borlu		<b>2-3</b>	2,4-2,6	0,5	<b>3</b>	2,8-2,9	0,8	<b>2-3</b>	2,4-2,9	0,6-1,0	<b>3</b>	2,8-3,2	0,8
Azuro		<b>3</b>	1,6-2,0	0,1	<b>3-4</b>	2,0-2,7	0,6	<b>3</b>	2,4-2,6	0,5	<b>3-4</b>	2,6-2,9	0,4-0,7
Limbo		<b>7</b>	0,3-0,5	0	<b>7</b>	0,3-0,4	0	<b>7</b>	0,3-0,4	0	<b>7</b>	0,3-0,4	0
Lisa		<b>7</b>	0,3-1,0	0	<b>7</b>	0,4	0	<b>7</b>	0,4	0	<b>7</b>	0,3-0,4	0

TS ... TS-Stufe; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; d<sub>s</sub> ... Tage stabil; Δ pH ... pH-Wert-Anstieg während aerober Lagerung

### 3.1.6 Auswirkungen der Silierung auf den Futterwert

#### 3.1.6.1 Nutritive Inhaltsstoffe

Bei optimaler Verfahrensgestaltung können die Nährstoffe des Ausgangsmaterials, mit Ausnahme der fermentierbaren Kohlenhydrate, in der resultierenden Silage weitestgehend konserviert bzw. erhalten werden. Alle bereiteten Modellsilagen waren lagerstabil und von sehr guter Qualität. Die Nährstoffgehalte in den Silagen beider TS-Stufen entsprechen daher denen des Ausgangsmaterials (Tabellen 51 und 52).

Auf die Diskrepanz zwischen den ungünstigen chemischen Siliereigenschaften (Zuckergehalt, Pufferkapazität) der Leguminosenkörner und ihrer praktisch guten Siliereignung ist sowohl im Projektantrag als auch im Zwischenbericht 2006 hingewiesen worden. Eine Erklärung dessen läßt sich aus den Analysenergebnissen für die Stärkegehalte in den Modellsilagen ableiten. Bei 65 % TS im silierten Gut (Tabellen 47 und 51) wird ersichtlich, daß ein Teil der Stärke von den am Fermentationsprozeß beteiligten Mikroben verstoffwechselt und somit für die Milchsäurebildung herangezogen werden kann. Besonders deutlich ist dies bei den Körnern mit hohem Stärkegehalt (Ackerbohne, Erbse). Hier werden bis zu 47 % der Stärke in den Varianten mit Milchsäurebakterienzusatz abgebaut. Dies ist insofern bemerkenswert, als daß Stärke als hochmolekulares Polysaccharid im Gegensatz zu den im Gärprozeß vorrangig fermentierten Mono- und Disacchariden von den meisten MSB nicht verwertet werden kann (SEALE 1987). In der Literatur der letzten zwei Jahrzehnte finden sich jedoch immer wieder Hinweise auf Milchsäurebakterienstämme mit amylolytischer Aktivität. Diese sind u.a. den Gattungen *Leuconostoc* und *Lactobacillus* zugeordnet worden (LINDGREN & REFAI 1984, GIRAUD et al. 1994, YUMOTO & IKEDA 1995). GIRAUD et al. (1994) untersuchten einen *Lactobacillus plantarum*-Stamm, der innerhalb von 3 Tagen aus 45 g unbehandelter Stärke 41 g Milchsäure bildete. Dies war jedoch nur der Fall, solange der pH-Wert im Aktivitätsoptimum der Amylase bei pH 6 gehalten wurde. Bei nicht-pH-geregelter Fermentation konnten nur geringe Amylaseaktivitäten und kein Stärkeabbau im Medium nachgewiesen werden. Vor diesem Hintergrund ist die verzögerte pH-Wert-Absenkung in den Leguminosenschrotsilagen als vorteilhaft zu bewerten, da in der anfänglichen Gärphase zur Amylasebildung befähigte Bakterien die für andere MSB nicht verwertbare Stärke als Gärsubstrat nutzen können. Amylolytische Bakterien sind dabei sowohl im epiphytischen Besatz als auch in der verwendeten Starterkultur, die zwei *Lb. plantarum*-Stämme enthält, zu vermuten.

Nach 90 Tagen Lagerdauer konnten in allen geprüften Silagen auch bei 65 % TS noch Restzuckergehalte nachgewiesen werden. In Anbetracht der geringen Ausgangsgehalte ist hier von einer Nachlieferung mono- und dimerer Zucker aus dem Abbau von Stärke und eventuell Oligosacchariden (Raffinose, Stachyose, Verbascose) anzunehmen.

Die Stärkegehalte in den reifen Silagen aus Ackerbohnen- bzw. Erbsenkörnern mit 25 % Restfeuchte sind erwartungsgemäß aufgrund des hohen TS-Gehaltes und der daraus folgenden weitestgehenden Inhibierung der mikrobiellen Aktivität unverändert (Tabelle 52). Lediglich in den Lupinenschrotsilagen ist eine Reduzierung der Stärkegehalte festzustellen.

Während der Silierung werden durch die Wirkung pflanzeigener und mikrobieller Enzyme Proteine abgebaut, wobei den Pflanzenenzymen überwiegend proteolytische Aktivität (Abbau der Proteine zu Aminosäuren) und den mikrobiellen Enzymen desmolytische Aktivität (Abbau der Aminosäuren zu Ammoniak) zuzuschreiben ist (OHSHIMA & MCDONALD 1978, MCDONALD et al. 1991). Solange die Proteolyse nicht in die Desmolyse übergeht, ist im Gegensatz zur Wiederkäuerfütterung die proteolytische Aktivität bei der Silierung von Futtermitteln für die Ernährung monogastrischer Tierarten nicht von Nachteil. Es ist davon auszugehen, daß sich die Verfügbarkeit der pflanzlichen Aminosäuren erhöht und physiologisch negativ zu bewertende Proteine (Lectine, Proteaseinhibitoren) wie die pflanzlichen Proteasen selbst der Proteolyse bis zu Peptiden und Aminosäuren unterliegen (TRUGO 1994).

Tab. 51: Futterwertparameter des Ausgangsmaterials und der nach 90 Tagen Lagerung resultierenden Leguminosenschrotsilagen (TS-Stufe 65 %)

Sorte	Variante	TS	XA	XP	XL	XF	NDF	ADF	ADL	XS	XZ
-------	----------	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	----	----

		[% TS]									
		[%]	[% TS]								
Bora	<i>ASM</i>	<b>67,1</b>	<b>4,0</b>	<b>35,9</b>	<b>5,8</b>	<b>16,5</b>	<b>23,5</b>	<b>18,9</b>	<b>0,4</b>	<b>2,4</b>	<b>3,0</b>
	KON	66,5	3,8	37,4	6,3	15,9	23,8	21,0	0,5	0,5	1,8
	MEL	66,4	3,9	36,5	5,8	15,7	22,5	19,8	0,4	1,0	2,8
	MSB	66,0	3,8	36,9	6,2	15,8	23,6	20,4	0,4	1,1	2,0
	MEL+MSB	65,8	3,9	36,3	6,0	15,7	23,8	20,5	0,5	1,2	3,1
Borlu	<i>ASM</i>	<b>67,2</b>	<b>3,6</b>	<b>39,4</b>	<b>5,9</b>	<b>13,5</b>	<b>20,5</b>	<b>18,5</b>	<b>0,5</b>	<b>2,2</b>	<b>2,9</b>
	KON	65,9	3,7	40,2	6,5	14,3	22,4	18,9	0,5	0,0	1,1
	MEL	66,7	3,7	40,0	6,0	13,9	21,4	18,2	0,3	0,7	3,2
	MSB	66,4	3,5	41,1	6,4	13,8	20,5	18,4	0,3	1,4	2,0
	MEL+MSB	66,1	3,7	40,5	6,2	13,8	20,8	17,5	0,5	1,5	3,0
Azuro	<i>ASM</i>	<b>66,1</b>	<b>3,8</b>	<b>35,4</b>	<b>5,0</b>	<b>16,7</b>	<b>24,4</b>	<b>21,2</b>	<b>0,5</b>	<b>2,0</b>	<b>3,4</b>
	KON	66,5	3,7	35,6	4,9	16,1	24,1	20,7	0,7	0,6	3,9
	MEL	66,6	3,8	35,4	4,9	16,1	23,8	21,0	0,7	0,8	2,2
	MSB	66,7	3,7	35,6	5,1	15,8	24,1	19,3	0,7	1,5	1,6
	MEL+MSB	65,6	3,8	35,3	5,0	16,3	24,4	20,3	0,7	1,2	2,5
Limbo	<i>ASM</i>	<b>65,3</b>	<b>3,3</b>	<b>28,2</b>	<b>2,0</b>	<b>9,2</b>	<b>11,4</b>	<b>11,1</b>	<b>0,2</b>	<b>44,0</b>	<b>2,5</b>
	KON	65,6	3,3	28,4	2,0	9,2	12,1	11,6	0,3	37,8	0,1
	MEL	65,9	3,4	28,3	1,9	9,2	11,4	11,0	0,2	40,5	0,1
	MSB	66,1	3,2	28,3	2,1	8,9	12,3	11,5	0,3	24,2	0,1
	MEL+MSB	66,1	3,5	28,3	2,2	8,7	11,2	10,9	0,2	24,6	0,8
Lisa	<i>ASM</i>	<b>64,4</b>	<b>3,7</b>	<b>21,2</b>	<b>1,8</b>	<b>8,4</b>	<b>14,7</b>	<b>10,9</b>	<b>0,5</b>	<b>47,0</b>	<b>2,9</b>
	KON	63,7	3,7	22,3	1,8	8,3	13,2	10,2	0,2	44,2	0,2
	MEL	64,3	3,7	22,0	2,0	8,2	12,4	10,3	0,2	40,9	0,1
	MSB	63,5	3,7	22,0	2,2	8,4	13,4	10,7	0,3	25,0	0,9
	MEL+MSB	63,6	3,8	22,0	2,0	8,4	12,2	10,2	0,2	27,7	2,0

ASM ... Ausgangsmaterial; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien

Tab. 52: Futterwertparameter des Ausgangsmaterials und der nach 90 Tagen Lagerung resultierenden Leguminosenschrotsilagen (TS-Stufe 75 %)

Sorte	Variante	TS [%]	[% TS]								
			XA	XP	XL	XF	NDF	ADF	ADL	XS	XZ
Bora	<i>ASM</i>	<b>74,6</b>	<b>3,9</b>	<b>36,3</b>	<b>6,4</b>	<b>14,5</b>	<b>22,7</b>	<b>19,8</b>	<b>0,7</b>	<b>2,4</b>	<b>3,0</b>
	KON	75,4	3,6	36,4	6,3	15,0	24,1	19,7	0,5	0,1	4,2
	MEL	75,1	3,8	35,7	6,3	15,2	23,9	19,6	0,5	0,4	5,0
	MSB	74,9	3,6	36,3	6,4	14,9	24,4	19,6	0,4	0,3	4,6
	MEL+MSB	74,8	3,7	35,9	6,2	14,5	23,4	19,2	0,4	0,0	5,3
Borlu	<i>ASM</i>	<b>73,9</b>	<b>3,9</b>	<b>39,7</b>	<b>5,7</b>	<b>14,5</b>	<b>23,1</b>	<b>19,2</b>	<b>0,9</b>	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>
	KON	74,2	3,8	40,4	6,0	13,7	23,5	17,1	0,4	0,5	4,1
	MEL	73,2	3,9	40,3	5,6	13,8	23,5	19,0	0,5	0,4	4,3
	MSB	72,9	3,8	41,1	5,8	13,9	23,4	19,2	0,5	0,3	3,4
	MEL+MSB	72,6	3,9	40,7	5,8	14,1	22,8	17,7	0,4	0,3	4,2
Azuro	<i>ASM</i>	<b>70,8</b>	<b>3,9</b>	<b>35,5</b>	<b>5,2</b>	<b>17,2</b>	<b>25,7</b>	<b>22,2</b>	<b>0,8</b>	<b>2,2</b>	<b>3,3</b>
	KON	71,2	3,8	35,2	5,2	16,1	25,3	20,9	0,8	0,2	3,2
	MEL	71,2	3,8	34,7	5,2	15,7	24,4	20,1	0,4	0,0	4,7
	MSB	71,0	3,7	35,6	5,4	16,2	24,8	20,6	0,7	0,8	2,5
	MEL+MSB	70,1	3,8	34,9	5,3	16,3	24,7	20,7	0,6	0,1	3,3
Limbo	<i>ASM</i>	<b>75,6</b>	<b>3,6</b>	<b>26,6</b>	<b>2,0</b>	<b>10,4</b>	<b>14,4</b>	<b>13,5</b>	<b>0,5</b>	<b>42,0</b>	<b>2,4</b>
	KON	74,9	3,4	27,0	2,1	9,2	13,0	12,2	0,5	42,8	2,9
	MEL	74,6	3,5	27,1	2,1	9,5	14,0	11,9	0,3	43,7	2,5
	MSB	74,6	3,4	26,9	2,1	9,1	12,9	12,2	0,6	43,5	2,5
	MEL+MSB	74,7	3,5	26,5	1,9	9,4	12,7	11,6	0,2	42,6	3,5
Lisa	<i>ASM</i>	<b>75,1</b>	<b>3,9</b>	<b>21,6</b>	<b>1,9</b>	<b>8,0</b>	<b>14,8</b>	<b>10,9</b>	<b>0,4</b>	<b>47,4</b>	<b>2,9</b>
	KON	74,5	3,7	22,4	1,7	7,8	17,8	10,3	0,3	49,3	3,2
	MEL	74,7	3,7	22,2	1,7	7,7	17,5	10,3	0,4	47,8	3,8
	MSB	74,6	3,6	22,3	1,6	7,8	19,8	10,1	0,4	48,7	3,2
	MEL+MSB	74,2	3,6	22,2	1,6	8,3	17,8	10,9	0,3	48,0	3,5

ASM ... Ausgangsmaterial; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien

Tab. 53: Ausgewählte N-Fractionen in Modellsilagen (TS-Stufe 65 %) nach 5 bzw. 90 Tagen Lagerung

Sorte	Variante	5 Tage Lagerung					90 Tage Lagerung				
-------	----------	-----------------	--	--	--	--	------------------	--	--	--	--



		Gesamt-N	NH <sub>3</sub> -N	$\alpha$ -Amino-N	Gesamt-N	NH <sub>3</sub> -N	$\alpha$ -Amino-N
		[%]	[% Ges.-N]	[% Ges.-N]	[%]	[% Ges.-N]	[% Ges.-N]
Bora	KON	5,8	0,2 <sup>b</sup>	5,5 <sup>a</sup>	6,0	1,2 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>
	MEL	5,7	0,2 <sup>b</sup>	5,2 <sup>a</sup>	5,8	1,0 <sup>b</sup>	8,2 <sup>a</sup>
	MSB	5,9	0,2 <sup>b</sup>	4,1 <sup>b</sup>	5,9	0,8 <sup>c</sup>	7,3 <sup>b</sup>
	MSB+MEL	5,7	0,3 <sup>a</sup>	4,0 <sup>b</sup>	5,8	0,8 <sup>c</sup>	7,4 <sup>b</sup>
Borlu	KON	6,4	0,2 <sup>ab</sup>	5,1 <sup>ab</sup>	6,4	1,0 <sup>a</sup>	7,4 <sup>a</sup>
	MEL	6,4	0,2 <sup>b</sup>	4,5 <sup>a</sup>	6,4	1,0 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>
	MSB	6,5	0,2 <sup>ab</sup>	3,7 <sup>b</sup>	6,6	0,6 <sup>b</sup>	5,9 <sup>b</sup>
	MSB+MEL	6,4	0,2 <sup>a</sup>	3,5 <sup>b</sup>	6,5	0,6 <sup>b</sup>	5,9 <sup>b</sup>
Azuro	KON	5,6	0,2	4,1 <sup>a</sup>	5,7	1,1 <sup>a</sup>	8,7 <sup>a</sup>
	MEL	5,6	0,2	4,1 <sup>a</sup>	5,7	0,9 <sup>b</sup>	8,4 <sup>a</sup>
	MSB	5,7	0,2	2,9 <sup>b</sup>	5,7	0,7 <sup>c</sup>	6,6 <sup>b</sup>
	MSB+MEL	5,6	0,2	3,1 <sup>b</sup>	5,6	0,7 <sup>c</sup>	6,8 <sup>b</sup>
Limbo	KON	4,6	1,0 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>	4,5	2,3 <sup>a</sup>	11,8 <sup>a</sup>
	MEL	4,5	0,8 <sup>b</sup>	6,3 <sup>b</sup>	4,5	1,9 <sup>b</sup>	11,8 <sup>a</sup>
	MSB	4,5	0,6 <sup>c</sup>	5,0 <sup>c</sup>	4,5	1,4 <sup>c</sup>	9,5 <sup>b</sup>
	MSB+MEL	4,5	0,5 <sup>d</sup>	4,8 <sup>c</sup>	4,5	1,1 <sup>d</sup>	10,0 <sup>b</sup>
Lisa	KON	3,4	0,7 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	3,6	1,8 <sup>a</sup>	14,4 <sup>a</sup>
	MEL	3,4	0,6 <sup>b</sup>	6,8 <sup>b</sup>	3,5	1,5 <sup>b</sup>	12,2 <sup>b</sup>
	MSB	3,4	0,3 <sup>c</sup>	5,1 <sup>c</sup>	3,5	0,8 <sup>c</sup>	10,9 <sup>c</sup>
	MSB+MEL	3,4	0,3 <sup>c</sup>	5,0 <sup>c</sup>	3,5	0,7 <sup>c</sup>	10,1 <sup>c</sup>

KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; <sup>a,b</sup> ... signifikante (p < 0,05) Mittelwertdifferenzen zwischen den Varianten einer Sorte nach festgelegten Inkubationszeiten

Tab. 54: Ausgewählte N-Fractionen in Modellsilagen (TS-Stufe 75 %) nach 5 bzw. 90 Tagen Lagerung

Sorte	Variante	5 Tage Lagerung			90 Tage Lagerung		
		Gesamt-N	NH <sub>3</sub> -N	$\alpha$ -Amino-N	Gesamt-N	NH <sub>3</sub> -N	$\alpha$ -Amino-N
		[%]	[% Ges.-N]	[% Ges.-N]	[%]	[% Ges.-N]	[% Ges.-N]
Bora	KON	5,9	0,2	3,7	5,8	0,6	5,8 <sup>b</sup>
	MEL	5,8	0,2	3,7	5,7	0,6	6,3 <sup>ab</sup>
	MSB	5,8	0,2	3,7	5,8	0,6	6,5 <sup>a</sup>
	MSB+MEL	5,8	0,2	3,7	5,7	0,6	6,0 <sup>ab</sup>
Borlu	KON	6,3	0,2	5,3 <sup>a</sup>	6,5	0,6	6,8
	MEL	6,2	0,2	4,9 <sup>b</sup>	6,4	0,6	6,7
	MSB	6,2	0,2	5,0 <sup>b</sup>	6,6	0,6	7,0
	MSB+MEL	6,2	0,2	5,2 <sup>ab</sup>	6,5	0,6	6,6
Azuro	KON	5,6	0,2	3,6	5,6	0,5	6,8
	MEL	5,5	0,2	3,6	5,6	0,6	6,3
	MSB	5,6	0,2	3,7	5,7	0,6	6,5
	MSB+MEL	5,5	0,2	3,7	5,6	0,6	6,2
Limbo	KON	4,3	0,2	4,5	4,3	0,5 <sup>b</sup>	4,8 <sup>a</sup>
	MEL	4,3	0,2	4,6	4,3	0,5 <sup>ab</sup>	4,8 <sup>a</sup>
	MSB	4,3	0,2	4,4	4,3	0,5 <sup>ab</sup>	4,6 <sup>b</sup>
	MSB+MEL	4,2	0,3	4,8	4,2	0,6 <sup>a</sup>	4,9 <sup>a</sup>
Lisa	KON	3,5	0,2 <sup>a</sup>	4,3	3,6	0,3 <sup>b</sup>	3,8 <sup>b</sup>
	MEL	3,5	0,2 <sup>ab</sup>	4,3	3,6	0,3 <sup>a</sup>	3,8 <sup>b</sup>
	MSB	3,5	0,2 <sup>b</sup>	4,0	3,6	0,3 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>
	MSB+MEL	3,5	0,2 <sup>a</sup>	4,3	3,5	0,3 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>

KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; <sup>a,b</sup> ... signifikante (p < 0,05) Mittelwertdifferenzen zwischen den Varianten einer Sorte nach festgelegten Inkubationszeiten

Aussagen zum Proteinabbau in Silagen können aus dem Ammoniak-N-Gehalt, der in gut vergorenen Silagen einen Anteil von 10 % am Gesamtstickstoff nicht überschreitet, oder, wie von BICKEL et al. (2006) vorgeschlagen, aus dem  $\alpha$ -Amino-N-Gehalt abgeleitet werden.

In den Tabellen 53 und 54 sind ausgewählte Stickstofffraktionen in den Modellsilagen der geprüften TS-Stufen zu Beginn und Ende der Lagerung dargestellt. Die ermittelten Anteile von Ammoniak- und  $\alpha$ -Amino-Stickstoff am Gesamtstickstoff sind erwartungsgemäß aufgrund der hohen TS-Gehalte sehr niedrig. Ein geringer Anstieg der Anteile im Verlauf der Fermentation ist nachzuweisen, dabei ist der Umfang des Proteinabbaus in der TS-Stufe 75 % nahezu vernachlässigbar. Der Proteinabbau in der TS-Stufe 65 % kann durch den Einsatz von Milchsäurebakterien weiterhin reduziert werden.

### **3.1.6.2 Antinutritive Inhaltsstoffe**

#### ***Oligosaccharide (im Ausgangsmaterial und in der reifen Silage)***

Neben dem geringen Ausgangsgehalt an Gärsubstrat in Leguminosenkörnern können im Verlauf der Fermentation zusätzliche Mono- und Disaccharide aus dem Abbau von Oligosacchariden (Raffinose, Stachyose, Verbascose) freigesetzt werden, denn obwohl die meisten Milchsäurebakterien Hexosen und Pentosen als Gärsubstrat verwenden, sind einige Stämme dazu befähigt, Di-, Tri-, Oligo- und Polysaccharide in Monosaccharide zu spalten und diese für ihre Energiegewinnung zu nutzen.

Nach 90 Tagen Lagerung sind sowohl in den mit 65 % als auch in den mit 75 % TS silierten Modellsilagen mit wenigen Ausnahmen (die nur geringe Restgehalte zeigen) keine Oligosaccharide mehr nachweisbar (Anhangstabellen A7-A8). Dies begründet die trotz geringer Zuckergehalte gute Silierbarkeit der Leguminosenkörner. Aus den im Silierprozess stattgefundenen Abbauprozessen der höher molekularen Zuckerfraktionen resultiert ein zum Teil höherer Galactosegehalt in den Silagen.

Die Annahme der Vergärung von ernährungsphysiologisch negativ zu bewertenden Kohlenhydratoligomeren (Raffinose, Stachyose, Verbascose) zu ernährungsphysiologisch positiv zu beurteilender Milchsäure wird durch die gegenüber dem nativen Erntegut z.T. noch vorhandenen Zuckergehalte in 90 Tage alten Körnerschrotsilagen bestärkt. Dies wird als Hinweis auf eine Reduzierung des Polymerisierungsgrades der im Wasser gelösten Substanzen gedeutet. Es zeigte sich ein vergleichsweise starker Anstieg der Osmolalität während der Inkubation. Aus dem Abbau der Oligosaccharidfraktionen und der damit verbundenen Reduzierung der flatogenen Eigenschaften kann somit eine Verbesserung des Futterwertes der Silagen abgeleitet werden.

#### ***Alkaloide (im Ausgangsmaterial und in der reifen Silage)***

Entgegen den Aussagen von CAMACHO *et al.* (1991) kann anhand der eigenen Ergebnisse die Reduzierung des Alkaloidgehaltes durch den Silierprozess nicht eindeutig nachgewiesen werden (Tab. 55). Ebenso fanden HOLZSCHUH & SCHMIDT (1963) nur eine geringfügige Reduzierung der Alkaloidgehalte bei der Bereitung von Ganzpflanzensilagen aus Bitterlupinen. Eine Reduzierung des Alkaloidgehaltes in Lupinenschrotsilagen während des Silierprozesses kann aufgrund der minimal geringeren Werte der Silagen bzw. unregelmäßigen Dynamik der Gehaltsgrößen somit vorerst nicht angenommen werden. Bereits HOLZSCHUH & SCHMIDT (1963) vermuten, daß Alkaloide im sauren Milieu der Silage relativ stabil sind. Ob eine Minderung der Schädigung der Alkaloide durch den Silierprozess zu erwarten ist, war in den nachfolgend beschriebenen Fütterungsversuchen zu prüfen.

Tab. 55: Alkaloidgehalt im unsilierten Erntegut sowie in den Modellsilagen (nach 90 Tagen Lagerung) aus mit 65 bzw. 75 % TS geernteten Lupinenkörnern (n=3); Versuch 2005

Art/ Sorte	Variante	TS		Alkaloid (gesamt)		TS		Alkaloid (gesamt)	
		[%]		[% TS]		[%]		[% TS]	
Süßlupine Borlu	ASM	67,24	-	0,135	-	73,86	-	0,195	-
	KON	65,48	±0,42	0,091 <sup>a</sup>	±0,012	74,19	±0,85	0,133 <sup>ab</sup>	±0,013
	MEL	66,75	±0,55	0,078 <sup>ab</sup>	±0,004	73,22	±0,35	0,143 <sup>b</sup>	±0,001
	MSB	66,38	±0,14	0,070 <sup>b</sup>	±0,007	72,89	±0,63	0,187 <sup>ab</sup>	±0,019
	MSB+MEL	66,11	±0,03	0,087 <sup>a</sup>	±0,009	72,57	±0,11	0,170 <sup>a</sup>	±0,006
Bora	ASM	67,11	-	0,122	-	74,61	-	0,040	-
	KON	65,97	±0,89	0,079	±0,007	75,37	±0,07	0,134	±0,036
	MEL	66,37	±0,13	0,071	±0,012	75,14	±0,64	0,047	±0,010
	MSB	66,05	±0,07	0,077	±0,026	74,92	±0,03	0,047	±0,015
	MSB+MEL	65,79	±0,20	0,062	±0,012	74,79	±0,09	0,062	±0,027
Bitterlupine Azuro	ASM	66,07	-	2,991	-	70,80	-	1,090	-
	KON	66,51	±0,32	3,140 <sup>a</sup>	±0,416	70,57	±1,35	1,122 <sup>b</sup>	±0,034
	MEL	66,64	±0,01	2,390 <sup>c</sup>	±0,153	71,19	±0,41	1,229 <sup>ab</sup>	±1,068
	MSB	66,72	±0,42	2,896 <sup>ab</sup>	±0,217	70,95	±0,27	1,837 <sup>a</sup>	±0,048
	MSB+MEL	65,56	±0,41	2,590 <sup>bc</sup>	±0,070	70,10	±0,09	1,858 <sup>a</sup>	±0,050

ASM (n=1): Ausgangsmaterial; KON: Kontrolle ohne Zusatz; MEL: Melasse (2 % der FM); MSB: Milchsäurebakterien (*Lb. plantarum*,  $3 \cdot 10^5$  KBE/g FM); <sup>a,b</sup> signifikante ( $p < 0,05$ ) Mittelwertdifferenzen zwischen dem ASM und den Silagevarianten einer Sorte im definiertem TS-Bereich

### ***Tannine (im Ausgangsmaterial und in der reifen Silage)***

#### **Ausgangsmaterial**

Für die Silierversuche mit feucht geernteten Körnern wurden entsprechend der Zielstellung des Projektes Sorten mit hohen Tanningehalten ausgewählt. Dabei weisen, wie aus der Literatur bekannt (GRIFFITHS 1981), die Erbsenkörner geringere Gehalte als die Ackerbohnen auf. Im Vergleich zu den lagertrockenen Proben sind die Gehalte der Gesamtphenole, Tanninphenole und kondensierten Tannine im Erntegut um bis zu 44 % erhöht. Dies ist mit den jährlichen Schwankungen der Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen zu erklären. Die auftretenden Gehaltsunterschiede zwischen den TS-Stufen einer Sorte sind zurückzuführen auf die mit fortschreitender Reife zunehmenden Gehalte der Phenolfractionen im Korn (HARTMANN et al. 2005) und auf die Heterogenität der Pflanzen innerhalb eines Bestandes. Die im Vergleich zum Gesamttanningehalt höheren Mengen an kondensierten Tanninen haben analytisch-methodische bedingte Ursachen.

#### **Reife Silage**

Bislang muß auf Zusätze (PVVP) zur Komplexbildung der Tannine, das Schälen der Samen oder thermische Behandlungsverfahren zurückgegriffen werden, um Tanningehalte im Pflanzenmaterial zu reduzieren (SIEVWRIGHT & SHIPE 1986, VAN DER POEL et al. 1992, GRANITO & ALVAREZ 2005). Anliegen des Projektes war es daher zu prüfen, inwieweit dies effektiv und kostengünstig im Rahmen der Silierung erreicht werden kann.

Tabelle 56 faßt die Ergebnisse der Silierversuche übersichtlich zusammen.

Tab. 56: Gehalte an Phenol- und Tanninfraktionen im unsilierten Erntegut sowie in den Modellsilagen (nach 90 Tagen Lagerung) aus mit 65 % bzw. 75 % TS geernteten Körnern der Ackerbohnsorte Limbo und der Erbsensorte Lisa (n = 3)

Sorte	TS [%]	Variante	pH-Wert	GP NT TP KT							
				[% TS]							
Limbo	65	ASM	6,5 ±0,0	1,84 <sup>a</sup>	±0,18	0,76 <sup>b</sup>	±0,07	1,09 <sup>a</sup>	±0,14	2,58 <sup>a</sup>	±0,14
		KON	4,3 ±0,0	1,25 <sup>bc</sup>	±0,08	0,84 <sup>ab</sup>	±0,02	0,40 <sup>b</sup>	±0,07	0,64 <sup>c</sup>	±0,03
		MEL	4,3 ±0,0	1,33 <sup>b</sup>	±0,08	0,87 <sup>a</sup>	±0,03	0,46 <sup>b</sup>	±0,08	0,70 <sup>b</sup>	±0,02
		MSB	4,1 ±0,0	1,16 <sup>c</sup>	±0,05	0,82 <sup>b</sup>	±0,02	0,35 <sup>b</sup>	±0,03	0,55 <sup>d</sup>	±0,01
		MSB+MEL	4,1 ±0,0	1,20 <sup>bc</sup>	±0,06	0,83 <sup>ab</sup>	±0,01	0,37 <sup>b</sup>	±0,06	0,58 <sup>cd</sup>	±0,04
	75	ASM	6,5 ±0,0	2,21 <sup>a</sup>	±0,15	0,93 <sup>a</sup>	±0,08	1,28 <sup>a</sup>	±0,10	2,69 <sup>a</sup>	±0,12
		KON	6,2 ±0,1	1,68 <sup>bc</sup>	±0,17	0,81 <sup>ab</sup>	±0,04	0,87 <sup>bc</sup>	±0,15	2,03 <sup>b</sup>	±0,21
		MEL	6,2 ±0,0	1,55 <sup>c</sup>	±0,07	0,78 <sup>b</sup>	±0,02	0,77 <sup>c</sup>	±0,05	1,57 <sup>c</sup>	±0,18
		MSB	6,0 ±0,0	1,71 <sup>b</sup>	±0,07	0,83 <sup>ab</sup>	±0,03	0,89 <sup>b</sup>	±0,04	1,70 <sup>d</sup>	±0,08
		MSB+MEL	5,8 ±0,1	1,63 <sup>bc</sup>	±0,05	0,82 <sup>a</sup>	±0,02	0,80 <sup>c</sup>	±0,03	1,46 <sup>c</sup>	±0,10
Lisa	65	ASM	6,6 ±0,0	1,38 <sup>a</sup>	±0,02	0,40	±0,04	0,98 <sup>a</sup>	±0,05	2,41 <sup>d</sup>	±0,17
		KON	4,4 ±0,0	0,67 <sup>b</sup>	±0,05	0,43	±0,08	0,24 <sup>b</sup>	±0,12	0,59 <sup>a</sup>	±0,03
		MEL	4,3 ±0,0	0,65 <sup>b</sup>	±0,07	0,46	±0,01	0,19 <sup>b</sup>	±0,06	0,57 <sup>b</sup>	±0,05
		MSB	4,1 ±0,0	0,68 <sup>b</sup>	±0,03	0,43	±0,02	0,25 <sup>b</sup>	±0,03	0,54 <sup>b</sup>	±0,04
		MSB+MEL	4,2 ±0,0	0,69 <sup>b</sup>	±0,04	0,47	±0,05	0,23 <sup>b</sup>	±0,05	0,52 <sup>b</sup>	±0,08
	75	ASM	6,6 ±0,0	1,31 <sup>a</sup>	±0,10	0,37	±0,04	0,94 <sup>a</sup>	±0,11	2,24 <sup>a</sup>	±0,15
		KON	6,0 ±0,0	0,77 <sup>bc</sup>	±0,06	0,31	±0,01	0,45 <sup>bc</sup>	±0,05	1,18 <sup>b</sup>	±0,13
		MEL	5,9 ±0,0	0,69 <sup>c</sup>	±0,04	0,31	±0,03	0,38 <sup>c</sup>	±0,05	0,98 <sup>c</sup>	±0,07
		MSB	6,0 ±0,0	0,74 <sup>bc</sup>	±0,05	0,32	±0,02	0,42 <sup>bc</sup>	±0,04	1,06 <sup>c</sup>	±0,04
		MSB+MEL	5,8 ±0,0	0,79 <sup>b</sup>	±0,03	0,32	±0,02	0,47 <sup>b</sup>	±0,02	1,04 <sup>c</sup>	±0,06

TS ... TS-Stufe; GP ... Gesamtphenole; NT ... Nicht-Tanninphenole; TP ... Tanninphenole; KT ... extrahierbare kondensierte Tannine; ASM ... Ausgangsmaterial (Erntegut); KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; <sup>a,b</sup> ... unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen dem Erntegut und den Silagevarianten einer Sorte im definiertem TS-Bereich; (p < 0,05)

In den Silageproben ist eine signifikante Reduzierung von Gesamtphenolen und Tanninphenolen sowie insgesamt hohe Abbauraten bei kondensierten Tanninen von bis zu 79 % im Vergleich zum Erntegut festzustellen. ACOSTA (2004) und HARTMANN (2003) teilen ebenfalls eine rasche Reduzierung der Gehalte an kondensierten Tanninen im Verlauf des Silierprozesses mit. Die Gehalte an Gesamtphenolen sind nach 90 Tagen Lagerdauer in den Erbsenschrotsilagen um 40-53 %, in den Ackerbohnschrotsilagen um 26-37 % reduziert. Durch den Einsatz von Silierhilfsmitteln (Melasse, Milchsäurebakterien) können die Effekte nicht weiter gesteigert werden. Die Analyseergebnisse liegen weitestgehend auf dem Niveau der unbehandelten Variante (Kontrolle).

In den Silagen mit ca. 75% TS ist der Umfang der Reduzierung der Tanninfraktionen generell geringer.

Ein Einfluß der Silierung auf den Gehalt der Nicht-Tannin-Phenole ist nicht nachzuweisen. Die Gehalte bleiben im Vergleich zum Ausgangsmaterial nahezu unverändert.

Aus den Beobachtungen ergibt sich, daß der ephiphytische Mikrobenbesatz bei ausreichendem Gärsubstrat in der Lage ist, Tannine im gleichen Umfang wie die zugesetzten Milchsäurebakterien zu reduzieren. Im Hinblick auf die Ansäuerung bzw. Milchsäurebildung in den Silagen als Indiz für die Stoffwechselaktivität der MSB muß die Wirkung von durch Milchsäurebakterien gebildeten Tannasen bzw. die Annahme der Polymerisation kondensierter Tannine unter sauren Bedingungen jedoch in Frage gestellt werden, da selbst in Silagen mit geringster Ansäuerung der Gehalt an Gesamtphenol um durchschnittlich 34 % gesunken ist bzw. die kondensierten Tannine um 45 % reduziert wurden. Dieser Sachverhalt läßt eher die

Reduzierung durch andere Mikroorganismen bzw. enzymatisch-oxidativen Abbau in der aeroben Phase zu Beginn der Fermentation vermuten.

Auf die methodischen Ursachen der im Vergleich zum Tanninphenolgehalt höheren Gehalte an kondensierten Tanninen ist bereits hingewiesen worden.

### ***Phytat-Phosphor (im Ausgangsmaterial und in der reifen Silage)***

Da bereits bei Silierung der lagertrockenen, reifen Leguminosenkörner kein Einfluß der Fermentation auf die Gehalte an Phytat-P festgestellt werden konnte, war auch für die feucht geernteten Körner kein Effekt zu erwarten. Es wurde daher auf weitere aufwendige Analysen verzichtet.

## **3.1.7 Fütterungsversuche mit wachsenden Schweinen und Broilern**

### **3.1.7.1 Broilermastversuche**

Die Lebendmasseentwicklung der Broiler ist für beide Versuche in der Tabelle 57 aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen übereinstimmend, dass nach 14 Versuchstagen die Tiere der Versuchsgruppe B in beiden Versuchen die vergleichsweise signifikant geringste Lebendmasse aufwiesen.

Tab. 57: Lebendmasseentwicklung der Broiler (kg) - Versuch 1 und 2 -

Gruppe/ Variante	KG A Sojaexschrot		VG B Sojaexschrot/ Lupine trocken		VG C Sojaexschrot/ Lupinensilage	
	-		5 / 7 %		7 / 10 %	
Versuchstag	Versuch Nr.					
	1	2	1	2	1	2
<b>0</b>	0,040	0,040	0,041	0,039	0,040	0,039
<b>14</b>	0,322 <sup>a</sup> ± 0,028	0,362 <sup>A</sup> ± 0,025	0,306 <sup>b</sup> ± 0,037	0,342 <sup>B</sup> ± 0,033	0,323 <sup>a</sup> ± 0,019	0,360 <sup>A</sup> ± 0,031
<b>rel. %</b>	100	100	95	94	100	100
<b>35</b>	1,761 ± 0,242	1,896 <sup>A</sup> ± 0,244	1,745 ± 0,216	1,814 <sup>B</sup> ± 0,236	1,746 ± 0,193	1,891 <sup>A</sup> ± 0,214
<b>rel. %</b>	100	100	99	96	99	100

<sup>a,b</sup> Signifikanz Versuch 1; <sup>A,B</sup> Signifikanz Versuch 2 (p<0,05)

Während der Lebendmasserückstand im Versuch 1 bis zum Versuchsende vollständig kompensiert wurde, war das im Versuch 2 nicht der Fall und der Rückstand blieb deutlich und signifikant bis zum 35. Versuchstag erhalten. Bemerkenswert ist die Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe C in beiden Versuchen, trotz unterschiedlichen Leistungsniveaus.

Die gemeinsame Verrechnung der Versuche (Tab. 58) zeigt sowohl für die Starterphase als auch den Gesamtversuch eine signifikant geringere durchschnittliche Lebendmasse (rel. 5 bzw. 3 %) der Broiler der Versuchsgruppe B im Vergleich zur Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe C, die sich nicht unterscheiden.

Tab. 58: Lebendmasseentwicklung der Broiler (kg) - Durchschnitt Versuch 1 und 2 -

Gruppe/ Variante	KG A Sojaexschrot	VG B Sojaexschrot/ Lupine trocken	VG C Sojaexschrot/ Lupinensilage
Lupinenanteil	-	5 / 7 %	7 / 10 %
Versuchstag			
0	0,040	0,040	0,040
14	0,342 <sup>a</sup> ± 0,022	0,324 <sup>b</sup> ± 0,030	0,342 <sup>a</sup> ± 0,027
rel. %	100	95	100
35	1,828 <sup>a</sup> ± 0,252	1,780 <sup>b</sup> ± 0,229	1,820 <sup>a</sup> ± 0,216
rel. %	100	97	100
Unterschiedlich kleine hochgestellte Buchstaben zwischen den Spalten bedeuten signifikante Unterschiede (p<0,05)			

Der Futterverzehr wurde auf Trockenmasse bezogen für die 4 Gruppen jeder Variante ermittelt und der Futteraufwand berechnet. Die in den Tabellen 59 (Versuch 1 und 2) und 60 (Durchschnitt) aufgeführten zootechnischen Parameter bestätigen die charakteristischen Unterschiede zwischen den Fütterungsvarianten.

Tab. 59: Zootechnische Parameter - Broilermastversuche

Gruppe	Variante	FVZ	LMZ	FA
		gTM/Tier	g/Tier	kgTM/kg
<b>Versuch 1</b>				
KG A	Sojaexschrot	70 ± 2,4	49 ± 1,7	1,42 ± 0,01
VG B	Sojaexschrot/Lupine lagertrocken (5/7%)	70 ± 2,0	48 ± 1,4	1,45 ± 0,02
VG C	Sojaexschrot/Lupinenschrotsilage (7/10%)	69 ± 0,8	49 ± 1,0	1,43 ± 0,04
VG B	<i>rel. % (KG = 100)</i>	100	98	102
VG C		99	100	101
<b>Versuch 2</b>				
KG A	Sojaexschrot	73 ± 1,7	53 ± 0,5	1,40 ± 0,02
VG B	Sojaexschrot/Lupine lagertrocken (5/7%)	72 ± 2,3	50 ± 1,3	1,44 ± 0,02
VG C	Sojaexschrot/Lupinenschrotsilage (7/10%)	72 ± 0,8	52 ± 1,0	1,37 ± 0,03
VG B	<i>rel. % (KG = 100)</i>	98	97	103
VG C		98	99	98
FVZ – durchschnittlicher täglicher Futtertrockenmasseverzehr LMZ – durchschnittliche tägliche Lebendmassezunahme FA – durchschnittlicher Futteraufwand				

Tab. 60: Zootechnische Parameter - Broilermastversuche - Durchschnitt Versuch 1 und 2 -

Gruppe	Variante	FVZ gTM/Tier	LMZ g/Tier	FA kgTM/kg
KG A	Sojaexschrot	72 ± 1,6	51 ± 1,1	1,41 ± 0,01
VG B	Sojaexschrot/Lupine lagertrocken (5/7%)	71 ± 2,1	49 ± 1,3	1,44 ± 0,02
VG C	Sojaexschrot/Lupinenschrotsilage (7/10%)	71 ± 0,7	50 ± 0,5	1,40 ± 0,01
VG B	<i>rel. % (KG = 100)</i>	99	97	102
VG C		99	99	99
FVZ – durchschnittlicher täglicher Futtertrockenmasseverzehr LMZ – durchschnittliche tägliche Lebendmassezunahme FA – durchschnittlicher Futteraufwand				

### 3.1.7.2 Ferkelaufzuchtversuche

Die ermittelten zootechnischen Parameter sind absolut und relativ für die beiden Versuche in der Tabelle 61 und den Durchschnitt beider Versuche in der Tabelle 62 aufgeführt.

In beiden Versuchen erreichten die Absetzferkel der Versuchsgruppe C mit Lupinenschrotsilage nach 35 Versuchstagen im Vergleich zur Kontrollgruppe eine höhere durchschnittliche Lebendmasse. Daraus resultierte eine um 2 bzw. 3 % höhere tägliche Lebendmassezunahme bei deutlich verringertem Futteraufwand. Für die Versuchsgruppe B mit lagertrockenem Lupinenschrot sind die Ergebnisse in beiden Versuchen unterschiedlich. Während die Tiere dieser Gruppe im Versuch 1 offensichtlich aufgrund verminderten Futtermassens verzehrs deutlich weniger zunahmten als die Kontrolltiere, übertrafen sie im Versuch 2 das Niveau der Kontrollgruppe. Im Gegensatz zum Versuch 1, war in diesem Versuch auch kein Unterschied zwischen den Versuchsgruppen zu verzeichnen. Die Mittelwertdifferenzen waren in beiden Versuchen für keinen Parameter signifikant.

Die gemeinsame Verrechnung der Versuche ergab ebenfalls keine Signifikanz in den Leistungsparametern zwischen den Gruppen. Im Durchschnitt beider Versuche ergibt sich jedoch tendenziell ein Vorteil für den Einsatz der Lupinenschrotsilage sowohl zur Kontrollgruppe als auch deutlich ausgeprägter zur Versuchsgruppe B mit lagertrockenem Lupinenschrot (Tab. 61).

### 3.1.7.3 Fazit

Die Zielstellung der Fütterungsversuche bestand darin zu überprüfen, ob höhere Lupinenanteile als gegenwärtig empfohlen im Broilermast- und Ferkelaufzuchtfutter ohne Leistungseinbußen eingesetzt werden können und ob die Feuchtkornsilierung Vorteile bringt.

Die in der Tabelle 63 vergleichend relativ zur Kontrollgruppe aufgeführten durchschnittlichen Ergebnisse der Versuchsgruppen zeigen bei beiden Tierarten, dass die altersabhängig gewählten Lupinenanteile bei Broilern von 5 bzw. 7% und Absetzferkeln von 8 bzw. 10% bei Einsatz von lagertrockenem Lupinenschrot grenzwertig waren.

Da die Ergebnisse der Versuchsgruppe B sowohl bei Broilern als auch bei Absetzferkeln in den jeweiligen Wiederholungsversuchen nicht zweifelsfrei reproduzierbar waren, ist eine eindeutige Aussage nicht möglich. Dagegen waren die Ergebnisse der Versuchsgruppe C über die Versuche hinweg gleich gerichtet und haben gezeigt, dass durch die Feuchtkorn-Silierung höhere Lupinenanteile im Futter für Broiler und Ferkel ohne Leistungseinbußen möglich sind. Das untermauert die Ergebnisse zum Einfluss der Silierung auf die Reduzierung der antinutritiven Inhaltsstoffe der Körnerleguminosen im Rahmen dieses Projektes.

Tab. 61: Zootechnische Parameter – Ferkelaufzuchtversuche

Variante		Kontrollgruppe	Versuchsgruppen	
Gruppe		A	B	C
Lupinenanteil	%	-	8/10 trocken	10/12 Silage
<b>Versuch 1</b>				
LM am Versuchsbeginn	kg	8,53 ± 1,2	8,93 ± 1,1	8,77 ± 1,3
LM am Versuchsende	kg	24,86 ± 3,2	23,69 ± 1,9	25,38 ± 3,7
Futtermittelverzehr	g TM/ Tier u. Tag	668 ± 101	639 ± 73	654 ± 107
	rel. %	100	96	98
Lebendmassezunahme	g/ Tier und Tag	467 ± 74	426 ± 50	475 ± 81
	rel. %	100	91	102
Futtermittelaufwand	kg TM/kg LMZ	1,44 ± 0,09	1,49 ± 0,14	1,38 ± 0,09
	rel. %	100	103	96
<b>Versuch 2</b>				
LM am Versuchsbeginn	kg	8,89 ± 1,3	8,73 ± 1,3	8,78 ± 1,5
LM am Versuchsende	kg	26,49 ± 3,2	26,93 ± 3,0	26,88 ± 3,5
Futtermittelverzehr	g TM/ Tier u. Tag	678 ± 94	694 ± 84	700 ± 119
	rel. %	100	102	103
Lebendmassezunahme	g/ Tier und Tag	503 ± 70	520 ± 61	517 ± 73
	rel. %	100	103	103
Futtermittelaufwand	kg TM/kg LMZ	1,35 ± 0,11	1,34 ± 0,08	1,35 ± 0,09
	rel. %	100	100	100



Tab. 62: Zootechnische Parameter – Ferkelaufzuchtversuche, Durchschnitt Versuch 1 und 2

Variante		Kontrollgruppe	Versuchsgruppen	
Gruppe		A	B	C
Lupinenanteil	%	-	8/10 trocken	10/12 Silage
LM am Versuchsbeginn	kg	8,71 ± 1,2	8,82 ± 1,2	8,78 ± 1,4
LM am Versuchsende	kg	25,70 ± 3,3	25,49 ± 3,0	26,15 ± 3,6
Futtermittelverzehr	g TM/Tier u. Tag	673 ± 96	669 ± 83	678 ± 114
	rel. %	100	99	101
Lebendmassezunahme	g/ Tier und Tag	485 ± 73	478 ± 73	496 ± 79
	rel. %	100	99	102
Futtermittelaufwand	kg TM/kg LMZ	1,39 ± 0,11	1,41 ± 0,13	1,37 ± 0,09
	rel. %	100	101	99

Tab. 63: Versuchsergebnisse Broilermast- und Ferkelaufzuchtversuche  
- Relativzahlen (Kontrollgruppen = 100 %) -

Tierart/ Gruppe/ Variante	Zootechnische Parameter		
	tägl. Futtermittelverzehr gTM/Tier u. Tag	tägl. Zunahme g/Tier u. Tag	Futtermittelauf- wand kgTM/kg
<b>Broilermastversuche</b>			
Kontrollgruppe A Sojaexschrot	72	51	1,41
rel. %:			
Versuchsgruppe B Sojaexschrot/ Lupine trocken	99	97	102
Versuchsgruppe C Sojaexschrot/ Lupinensilage	99	99	99
<b>Ferkelaufzuchtversuche</b>			
Kontrollgruppe A Sojaexschrot	673	485	1,39
rel. %:			
Versuchsgruppe B Sojaexschrot/ Lupine trocken	99	99	101
Versuchsgruppe C Sojaexschrot/ Lupinensilage	101	102	99

### 3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Haupteiweißquelle in der Schweine- und Geflügelfütterung ist das Sojaextraktionsschrot. Doch nicht zuletzt vor dem Hintergrund der in der Öffentlichkeit geführten Diskussion über den Einsatz von gentechnisch verändertem Soja und dem Fütterungsverbot von Tiermehlen seit Dezember 2000 wächst das Interesse an den eiweißreichen einheimischen Körnerleguminosen. Neben ihrer hervorragenden Bedeutung im Acker- und Pflanzenbau gewinnen sie unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Erzeugung und Erweiterung des Futtermittelspektrums in der Nutztierfütterung insbesondere auch im ökologischen Landbau zunehmend an Bedeutung. In der Fütterung der Monogastriden sind die bitterstoffarmen, auch als süß bezeichneten Sorten der Blauen Lupinen von besonderem Interesse, da sie im Vergleich zu Erbsen und Ackerbohnen weniger anspruchsvoll und krankheitsanfällig (Anthraknose) und damit ertragssicherer sind. Dem Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch Ackerbohnen, Erbsen oder Lupinen in der Schweine- und Geflügelfütterung sind aber aufgrund ihres Gehaltes an spezifischen antinutritiven Inhaltsstoffen Grenzen gesetzt. Zur Inaktivierung der sekundären Inhaltsstoffe werden teilweise mechanische, chemische oder hydrothermische Behandlungsverfahren praktiziert, die jedoch sehr zeit- und kostenintensiv sind. Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Silierung der Ackerbohnen-, Erbsen- oder Lupinenkörner diesbezüglich eine relevante Alternative ist, die neben der Verbesserung des Futterwertes auch agrotechnische Vorteile hat (Ernteverfrühung, Witterungsunabhängigkeit). Das von Pieper et al. (2005) beschriebene und großtechnisch erprobte kostengünstige Verfahren zur Getreidefeuchtkornsilierung mit Milchsäurebakterienzusatz kann auch für feuchte zerkleinerte Leguminosenkörner angewendet werden, sodass die Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens in der Praxis gegeben sind. Der Feuchtegehalt des Erntegutes sollte dabei vorzugsweise, gegebenenfalls durch Wasserzusatz, auf 35 % eingestellt werden. Die Ergebnisse der im Rahmen des Projektes exemplarisch mit Lupinen durchgeführten Fütterungsversuche an Absetzferkeln und Broilern deuten zweifelsfrei darauf hin, dass durch die Silierung ein höherer Lupinenanteil, als gegenwärtig empfohlen, ohne Leistungseinbußen in den Rationen möglich und darüber hinaus eine höhere Einsatzsicherheit gegeben ist. Eine Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf Erbsen und Ackerbohnen erscheint prinzipiell möglich. Die praktische Umsetzung der Leguminosenfeuchtkornsilierung ist für die Fütterung der Monogastriden, insbesondere unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus, von herausragender Bedeutung.

## 4 Zusammenfassung

Körnerleguminosen wie Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen stellen aufgrund ihrer hohen Protein- und Energiegehalte sowie der Proteinqualität und guten Verdaulichkeit eine wertvolle Alternative zur Substitution von Soja dar. In Anbetracht von möglichen Ertragsrisiken und Preisschwankungen bei Soja sowie des zukünftigen Anspruchs der Soja produzierenden Länder zur eigenen Verwertung im Bioenergiemarkt sind Körnerleguminosen derzeit als hochwertige einheimische Futtermittel und als proteinreiche Komponente in der Ration für die Tierernährung von Interesse. Durch ihre geschätzten pflanzenbaulichen Eigenschaften und positive Vorfruchtwirkung sind sie zudem in einer ausgewogenen Fruchtfolge von großer Bedeutung.

Aufgrund ungleichmäßiger Kornabreife im Bestand und bei ungünstigen, instabilen Wetterlagen in der Erntezeit werden die Leguminosenbestände oder einzelne Erntepartien häufig in einem nicht lagerfähigen Zustand mit Restfeuchtegehalten  $> 12\%$  geerntet, wodurch zumeist ein technischer Nachtrocknungsprozess notwendig wird, um die verderbfreie und verlustarme Lagerung sicherzustellen (JEROCH 1993). Um den steigenden Kostendruck der technischen Trocknung zu umgehen, sowie die Aktivität schädlicher Mikroorganismen zu unterbinden, wird oft eine Konservierung der noch feuchten Körner durch chemische Siliermittel wie Propionsäure (FRASER *et al.* 2005a, b) und Harnstoff durchgeführt. Dabei sind jedoch Einschränkungen für die Verwendung der Körner zu Fütterungszwecken sowie die Probleme des Arbeitsschutzes zu beachten.

Ziel des Projektes war daher die Erarbeitung von Grundlagen für Silierverfahren für großkörnige Leguminosen (Lupinen, Erbsen, Ackerbohnen), die den Landwirtschaftsbetrieben die sichere Konservierung selbst erzeugter eiweißreicher Konzentratfuttermittel ohne zusätzlichen Energieaufwand ermöglichen. Dabei sollte das Verfahren so gestaltet werden, daß in den einheimischen Körnerleguminosen gegebenenfalls vorhandene antinutritive Faktoren in ihrer Wirkung reduziert oder beseitigt werden.

Die Untersuchungen wurden anhand von reifen lagertrockenen Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner verschiedener Sorten sowie mit vor der Vollreife geernteten Leguminosenkörnern mit hohem Restfeuchtegehalt (65 und 75 % TS) durchgeführt. Entsprechend der Zielstellung wurden u.a. Sorten mit hohen Gehalten an antinutritiven Inhaltsstoffen ausgewählt. Die Bestimmung der Vergärbarkeit erfolgte *in-vitro* im Rostocker Fermentationstest nach PIEPER *et al.* (1989) und ZIERENBERG (2000) sowie anhand von Modellsilagen im Labormaßstab. Eine mögliche Reduzierung der Gehalte an Oligosacchariden, Alkaloiden, Tanninen und Phytat-Phosphor wurde ebenfalls mit Hilfe der Modellsilagen geprüft. Zur Verifizierung der Ergebnisse wurden Fütterungsversuche mit wachsenden Schweinen und Broilern durchgeführt.

Die Ergebnisse sind wie folgt zusammenzufassen:

**1.** Die analysierten Nährstoffgehalte in Leguminosenkörnern bestätigen unter Berücksichtigung der bei den Arten bzw. entsprechenden Sorten zu erwartenden Variationsbreite zwischen den Vegetationsperioden die in der Literatur veröffentlichten Daten. Einheimische Leguminosen wie Ackerbohne, Futtererbse und Lupinen stellen daher aufgrund ihres hohen Proteingehaltes (Ackerbohne bis 31 % der TS, Erbse bis 27 % der TS, Lupine bis 47 % der TS) und Energiegehaltes (Ackerbohne bis 13 MJ ME/ kg TS, Erbse bis 14 MJ ME/ kg TS, Lupine bis 15 MJ ME/ kg TS) ein wertvolles Futtermittel dar.

**2.** Die theoretische Silierbarkeit von Körnerleguminosen ist aufgrund der chemischen Vergärbarkeitsparameter, wie z.B. der geringen Konzentration an Zucker, als negativ zu bewerten. Zusammen mit dem hohen Proteingehalt und der daraus folgenden hohen Pufferkapazität, ergibt sich ein für die Silierung ungünstiger, geringer Z/PK-Quotient von unter 1 bei Ackerbohnen- und Erbsenkörnern bzw. maximal 1,2 bei Süßlupinen.

**3.** Die Ergebnisse des Rostocker Fermentationstestes bestätigen die theoretisch ungünstige Silierbarkeit von reifen Körnern großsamiger Leguminosen nicht. Der Verlauf der Ansäuerung im Rostocker Fermentationstest zeigte eine gute Silierfähigkeit des Materials. Selbst bei hohen Osmolalitäten (9 % KCl) konnte durch die Zugabe leistungsfähiger Milchsäurebakterien eine im Hinblick auf die simulierte TS ausreichend tiefe pH-Wert-Absenkung erzielt werden. Gleiches wurde für vor der Vollreife geerntete Körner festgestellt.

Die langsame Ansäuerung in den Kontrollvarianten weist auf einen weniger leistungsfähigen epiphytischen Mikrobenbesatz hin. Des weiteren zeigt sich darin die begrenzte Fähigkeit des epiphytischen Besatzes die im Pflanzenmaterial vorhandenen und potentiell fermentierbaren Kohlenhydrate vollständig zu nutzen und unter den gegebenen Bedingungen (hohe Osmolalität) eine umfassende Ansäuerung herbeizuführen. Dies spiegelt sich auch in den geringeren Milchsäuregehalten am Ende der Inkubation wieder.

**4.** Bei Feuchtegehalten von 35 % konnte sowohl Schrot aus reifen, rückbefeuchteten Körnern von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen als auch Schrot von vor der Vollreife geernteten Körnern erfolgreich siliert werden. Das im Korn befindliche Wasser ermöglichte die notwendigen enzymatischen Umsetzungen.

Nach 90 Tagen Lagerdauer wiesen alle geprüften Silagen hinreichend tiefe pH-Werte auf. Der nach WEISSBACH (1968) berechnete kritische pH-Wert von mindestens 5,4 wurde in allen Silagen erreicht. Die Milchsäuregehalte in den reifen Silagen entsprachen überwiegend dem nach DLG-Schlüssel geforderten Gehalt von > 3 % der TS. Die Möglichkeit der verderbfreien und somit verlustarmen Lagerung wird durch den geringen Gärverlust (maximal 2 % der Einwaage), den geringen Alkoholgehalt (< 1 % der TS) und den maximal in Spuren (< 0,07 % der TS) vorhandenen Propionsäure- und Buttersäuregehalt bestätigt.

**5.** Aufgrund der reduzierten Wasseraktivität bei Trockensubstanzen um 75 % waren sowohl die epiphytischen als auch die zugesetzten Milchsäurebakterien in ihrer Stoffwechselaktivität stark beeinträchtigt. Es konnten nur leichte pH-Wert-Absenkungen und maximal 0,6 % Milchsäure in der TS festgestellt werden. Die Modellsilagen waren lagerstabil, wiesen jedoch kaum nennenswerte Gehalte an Fermentationsprodukten auf, so dass nicht von einer Konservierung durch milchsäure Gärung ausgegangen werden kann. Bei der „Silierung“ mit 75 % TS handelt es sich vermutlich um eine Form der konservierenden Lagerung unter CO<sub>2</sub>-Atmosphäre.

Im Hinblick auf die Verfahrenssicherheit sind für die Silierung unter Praxisbedingungen im Siliergut Wassergehalte von mindestens 35 % zu empfehlen. Bei zu geringem Feuchtegehalt der Körner bietet sich das Anfeuchten mit Wasser vor der Füllung der Silos an.

**6.** Silagen mit guter Gärqualität konnten auch ohne den Einsatz von Silierhilfsmitteln in jedem Fall bereitet werden (Essigsäure < 1 % der TS, Propion- und Buttersäure < 0,1 % der TS, Alkohol < 1 % der TS). Der Zusatz leistungsfähiger Milchsäurebakterien erhöht jedoch die Sicherheit des Gärprozesses. In Silagen mit 65 % TS konnten bei Applikation von Milchsäurebakterien bereits nach 5 Tagen Lagerung pH-Werte deutlich unter 5 und Milchsäuregehalte von 2,0-3,5 % der FM erzielt werden (Ausnahme „Borlu“).

**8.** Zusätzliche Zuckerquellen sind bei Einsatz leistungsfähiger Milchsäurebakterien nicht erforderlich. Leguminosenkörner beinhalten für diesen Fall einen hinreichend hohen Gehalt an vergärbaren Kohlenhydraten.

**9.** Die Gehalte an nutritiven Inhaltsstoffen wurden bis auf die Stärkefraktion durch den Silierprozess nicht verändert. Im Hinblick auf die antinutritiven Inhaltsstoffe konnte für den Gehalt an Oligosacchariden und Tanninen eine deutliche Reduzierung und damit eine Verbesserung des Futterwertes durch den Silierprozess nachgewiesen werden. Ein Einfluß der Silierung auf den Phytat-P- bzw. Alkaloidgehalt war nicht eindeutig festzustellen.

**10.** Die Verfütterung von Lupinenschrot aus lagertrockenen Körnern zeigte im Vergleich zu den Kontrollgruppen (Sojaextraktionsschrot) bei beiden geprüften Tierarten, dass die altersabhängig gewählten Lupinenanteile bei Broilern von 5 bzw. 7 % und Absetzferkeln von 8 bzw. 10 % bei Einsatz von lagertrockenem Lupinenschrot grenzwertig waren. Da jedoch diese Ergebnisse sowohl bei Broilern als auch bei Absetzferkeln in den jeweiligen Wiederholungsversuchen nicht zweifelsfrei reproduzierbar waren, ist eine eindeutige Aussage nicht möglich. Dahingegen waren die Ergebnisse bei Einsatz von Lupinenschrotsilage über die Versuche hinweg gleich gerichtet und haben gezeigt, dass durch die Feuchtkornsilierung höhere Lupinenanteile im Futter für Broiler und Ferkel ohne Leistungseinbußen möglich sind.

**11.** In Zusammenfassung der vorgenannten Ergebnisse ist die milchsäure Fermentation von vor der Vollreife geernteten Körnern der einheimischen, großkörnigen Leguminosen als ein geeignetes Verfahren zur Erzeugung hofeigener, eiweißreicher Konzentratfuttermittel herauszustellen.

## 5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Das Ziel des Projektes bestand darin, Grundlagen für die Silierung von Körnern einheimischer, großsamiger Leguminosen zu erarbeiten und eine mögliche Reduzierung der Gehalte antinutritiver Inhaltsstoffe während des Gärprozesses zu prüfen. Folgende Arbeitsziele waren geplant:

1. Bestimmung des Futterwertes von ausgewählten reifen Ackerbohnen-, Futtererbsen- und Lupinenkörnern

Es wurden alle vorgesehenen Analysen durchgeführt, wobei die geprüften Leguminosenkörner als wertvolles Futtermittel bestätigt werden konnten.

2. Prüfung der Vergärbarkeit von ausgewählten Ackerbohnen-, Futtererbsen- und Lupinenkörnern unter Verwendung von reifem, lagertrockenem sowie von vor der Vollreife geerntetem Material sowohl in-vitro im Rostocker Fermentationstest nach Pieper et al. (1989) und Zierenberg (2000) als auch anhand von Modellsilagen im Labormaßstab

Alle konzipierten Versuchsanstellungen wurden mit den entsprechenden Analysen im notwendigen Umfang durchgeführt. Für alle geprüften Leguminosenkörner konnte eine gute Vergärbarkeit nachgewiesen werden. Zur Erhöhung der Sicherheit des Gärprozesses wird für den Einsatz in der Praxis ein Wassergehalt von ca. 35 % im Siliergut empfohlen.

3. Überprüfung der Notwendigkeit des Einsatzes von Silierhilfsmitteln

Im Rahmen der wie geplant durchgeführten Untersuchungen, wurde festgestellt, dass Silagen mit guter Gärqualität auch ohne den Einsatz von Silierhilfsmitteln produziert werden können. Bei Applikation von Milchsäurebakterienstarterkulturen wird die Gärqualität weiter verbessert, während der Einsatz zusätzlicher Zuckerquellen (geprüft wurde Melasse) keinen Einfluß zeitigt.

4. Prüfung der Reduzierung bzw. Inaktivierung ausgewählter antinutritiver Inhaltsstoffe im Silierprozeß

Die geplanten Analysen erfolgten im notwendigen Umfang. Phytat-Phosphor wurde jedoch nur in Modellsilagen aus reifen, rückbefeuchteten Körnern geprüft, da bereits in diesem Material keine wesentlichen Veränderungen der Gehalte nach der Fermentation festgestellt werden konnten. Im Gegensatz dazu wurde für die Gehalte an Oligosacchariden und Tanninen eine deutliche Reduzierung nachgewiesen, während auch für die Alkaloidgehalte keine Veränderung aufgezeigt werden konnte. Eine Reduzierung der Gehalte konnte somit nicht für alle geprüften antinutritiven Inhaltsstoffe bestätigt werden.

5. Prüfung der Auswirkung erhöhter Anteile an Leguminosenschrotsilage in Rationen für Monogastrier auf Tiergesundheit und Leistung (exemplarische Prüfung anhand einer Sorte)

Aufgrund der im Rahmen des Projektes erhaltenen Ergebnisse, wurde für den Einsatz in den Fütterungsversuchen die Lupinensorte Borlu ausgewählt. Aus arbeitsorganisatorischen Gründen wurde die Silage aus rückbefeuchteten Körnern bereitet.

Im Verlauf des ersten und zweiten Projektjahres wurde in der Literatur Konsens zu den Einsatzgrenzen von Lupinen in der Ration von Mastschweinen erreicht. Es wurde daher auf den Mastversuch mit Schweinen verzichtet und stattdessen jeweils zwei Ferkelaufzucht- und Broilermastversuche durchgeführt. In Auswertung der Ergebnisse konnte nachgewiesen werden,

dass silierte Leguminosenkörner ohne Leistungseinbußen in höheren Anteilen im Futter für Broiler und Ferkel eingesetzt werden können als unsilierte Körner.

## 6 Literatur

- Abel, Hj. und Gerken, M. (2004): Ackerbohnen als Futterkomponente des ökologischen Landbaus für Masthühner-Elterntiere und verschiedene Mastbroilerherkünfte. Bericht, Forschungs- und Studienzentrum für Landwirtschaft und Umwelt, Georg-August-Universität Göttingen. Forschungsprojekt: 514-43.20/02OE622
- Abel, Hj.; Rothenberger, L.G. und Mainka, S. (2002): Ackerbohnen in der Tierernährung. Übersicht Tierernährung 30, 109-133
- Abel, Hj. (1996): Verwendungspotentiale und Probleme. 7. Tierernährung. In: Brinkmann, J. und Abel, Hj. (Hrsg.): Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland. UFOP-Schriften, Heft 3, 161-208
- Abel, Hj. und Gerken, M. (2004): Ackerbohnen als Futterkomponente des ökologischen Landbaus für Masthühner-Elterntiere und verschiedene Mastbroilerherkünfte. Bericht, Forschungs- und Studienzentrum für Landwirtschaft und Umwelt, Georg-August-Universität Göttingen
- Abel, Hj.; Rothenberger, L.G. und Mainka, S. (2002): Ackerbohnen in der Tierernährung. Übers. Tierernährung, 30, 109-133
- Abel, Hj.; Sommer, W. und Weiß, J. (2004): Inhaltsstoffe, Futterwert und Einsatz von Ackerbohnen in der Nutztierfütterung. UFOP-Praxisinformation. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., Berlin
- Acosta, Y. A. (2004): Silierung von Mais- und Sorghumkörnern bei unterschiedlichen Tanningehalten und deren Auswirkung auf den Futterwert. Dissertation, Universität Rostock, unveröffentlicht
- Allen, J.G. (1998): Toxins and lupinosis. In: Gladstones, J.S. (Hrsg.): Lupins as crop plants: biology, production and utilization. CAB International, Cambridge, 411-435
- Alloui, O.; Smulikowska, S.; Chibowska, M. und Pastuszewska, B. (1994): The nutritive value of lupin seeds (*L. luteus*, *L. angustifolius* and *L. albus*) for broiler chickens as affected by variety and enzyme supplementation. Journal of Animal and Feed Sciences 3, 215-227
- Angel, R.; Tamim, N.M.; Applegate, T.J.; Dhandu, A.S. und Ellestad, L.E. (2002): Symposium - Phytic acid chemistry: Influence on phytin-phosphorus availability and phytase efficacy. The Journal of Applied Poultry Research 11, 471-480
- Ayed, L. und Hamdi, M. (2002): Culture conditions of tannase production by *Lactobacillus plantarum*. Biotechnology Letters, 24, 1763-1765
- Barampama, Z. und Simard, R.E. (1994): Oligosaccharides, antinutritional factors, and protein digestibility of dry beans as affected by processing. Journal of Food Science, 59, 833-838
- Bastianelli, D.; Grosjean, F.; Peyronnet, C.; Duparque, M. und Regnier, J.M. (1998): Feeding value of pea (*Pisum sativum* L). 1. Chemical composition of different categories of pea. Animal Science 67, 609-619
- Batterham, E.S. (1992): Availability and utilization of amino acid for growing pigs. Nutrition Research Reviews 5, 1-18
- Batterham, E.S.; Andersen, L.M.; Lowe, R.F. und Darnell, R.E. (1986): Nutritional value of lupin (*Lupinus albus*)-seed meal for growing pigs: availability of lysine, effect of autoclaving and net energy content. British Journal of Nutrition 56, 645-659
- Batterham, E.S.; Murison, R.D. und Lewis, C.E. (1979): Availability of lysine in vegetable prote in concentrates as determined by the slope-ration assay with growing pigs and rats and by chemical techniques. British Journal of Nutrition 41, 383-391 In: Brinkmann, J. und Abel, Hj. (Hrsg.): Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland. UFOP-Schriften, Heft 3
- Bellof, G.; Spann, B. und Weiß, J. (2004): Inhaltsstoffe, Futterwert und Einsatz von Erbsen in der Nutztierfütterung. UFOP-Praxisinformation. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., Berlin
- Beuchat, L und Nail, B. (1978): Fermentation of peanut milk with *L bulgaricus* and *L. acidophilus*. Journal of food science, 43, 1109-1112
- Bhat, T.K.; Singh, B. und Sharma, O.P. (1998): Microbial degradation of tannins - A current perspective. Biodegradation 9, 343-357
- Bickel, A.; Gabel, M.; Friedel, K. (2006): Einfluss der Silierung auf ausgewählte Proteinfractionen. In: VDLUFA-Kongress, Freiburg: Workshop Futterkonservierung, 19.-22.09.2006, 124
- Bickel, A.; Gabel, M. und Friedel, K. (2006): Einfluss der Silierung auf ausgewählte Proteinfractionen. VDLUFA-Kongress, Workshop Futterkonservierung, Freiburg, 19.-22.09.2006, 124
- Bishnoi, S.; Khetarpaul, N. und Yadav, R.K. (1994): Effect of domestic processing and cooking methods on phytic acid and polyphenol contents of pea cultivars (*Pisum sativum*). Plant Foods for Human Nutrition, 45, 381-388
- Bucker, R.; Mitchell, J. und Johnson, M. (1979): Lactic fermentation of peanut milk. Journal of food science, 44, 1534-1538
- Butler, L.G. (1981): Polyphenols and their effects on sorghum quality. Proceedings of the international symposium on sorghum grain quality. In: Rooney, L.W.; Morty, D.S. und Martin, J.Y. (Hrsg.): KRISAT Center. Patanchere, India, 294-311



- Camacho, L.; Sierra, C.; Marcus, D.; Guzman, E.; Campos, R.; von Bäer, D. und Trugo, L. (1991): Nutritional quality of lupine (*Lupinus albus* cv. Multolupa) as affected by lactic acid fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 14, 277-286
- Carre, B. und Lacassagne, L. (1992): Digestibility of carbohydrates and metabolisable energy value of peas, faba beans and white lupins in chickens. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Grain Legumes*, Angers, France, 481-482
- Cerning, J.; Saposnik, A. und Guilbot, A. (1975): Carbohydrate composition of horse beans (*Vicia faba*) of different origins. *Cereal Chemistry*, 52, 2, 125-138
- Chompreeda, P.T. und Fields, M.L. (1984): Effects of heat and natural fermentation on the extractability of minerals from soybean meal and corn meal blends. *Journal Food science*, 49, 566-568
- Da Silva, L.G.; Trugo, L.C.; da Costa Terzi, S und Couri, S. (2005): Low phytate lupin flour based biomass obtained by fermentation with a mutant of *Aspergillus niger*. *Process Biochemistry*, 40, 951-954
- Degussa AG (2006): Amino Dat 3.0, Platinum Print Version, Datenträger (CD) im Vertrieb der DEGUSSA AG, Feed Additives, Rodenbacher Chaussee 4, D-63457 Hanau-Wolfgang, Germany
- Deschamps, A.M.; Mohudeau, G.; Conti, M. und Lebeault, J.M. (1980): Bacteria degrading tannic acid and related compounds. *J. Ferment Technol* 58, 93-97
- Deshpande, S.S.; Salunkhe, D.K.; Oyewole, O.B.; Azam-Ali, S.; Battcock, M. und Bressani, R. (2000): Fermented grain legumes, seeds and nuts: a global perspective. *Food and Agriculture Organization*, Rome, Italy
- DLG (1991): DLG-Futterwerttabellen – Schweine -, 6. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Doblado, R.; Frias, J.; Munoz, R. und Vidal-Valverde, C. (2003): Fermentation of *Vigna sinensis* var. Carilla flours by natural microflora and lactobacillus species. *Journal of Food Protection*, 66, 2313-2320
- Dumas, J.B.A. (1831): Procédé de l'analyse organique. *Annales de chimie et de physique*, 47, 198-213
- DuPont, M.S.; Muzquiz, M.; Estrella, I.; Fenwick, G.R. und Price, K.R. (1994): Relationship between the sensory properties of lupin seed with alkaloid and tannin content. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 65, 95-100
- DUSKE, K. (2002): Die Ansäuerung von Lupinen (Körnern) durch Milchsäuregärung als ein Verfahren der Konservierung und der Erhöhung des ernährungsphysiologischen Wertes für die monogastrischen Nutztierarten - Modellversuche mit der Sorte „Borweta“. *Diplomarbeit*, Universität Rostock, unveröffentlicht
- Duszkiewicz-Reinhard, W.; Gujska, E. und Khan, K. (1994): Reduction of stachyose in legume flours by lactic acid bacteria. *Journal of Food Science*, 59, 115-117
- EG-ÖKO-VERORDNUNG (2005): Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2005: EG-ÖKO-VERORDNUNG (EWG) Nr. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. AB I. Nr. L 198 vom 22.07.1991, S. 1
- Eidelsburger, U.; Grosse-Sommer, A. und Roser, U. (2006): Die Ökoeffizienzanalyse - ein modernes Verfahren zum Vergleich verschiedener Konservierungsmethoden von Futtergetreide. 5. BOKU-Symposium Tierernährung, 02. November, Wien
- Fan, M.Z. und Sauer, W.C. (1999): Variability of apparent ileal amino acid digestibility in different pea samples for growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 79, 467-476
- Ferguson, N.S.; Bradford, M.M.V. und Gous, R.M. (2002): Diet selection priorities in growing pigs offered a choice of feeds. *South African Journal of Animal Science*, 32, 2, 136-143
- Fernandez-Orozco, R.; Frias, J.; Munoz, R.; Zielinski, H.; Piskula, M.K.; Kozłowska, H. und Vidal-Valverde, C. (2007): Effect of fermentation conditions on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of *Lupinus angustifolius* cv. Zapaton. *European Food Research and Technology*, Springer-Verlag
- Flis, M.; Sobotka, W.; Purwin, C. und Zdunczyk, Z. (1999): Nutritional value of diets containing field bean (*Vicia faba* L.) seeds with high or low proanthocyanidin levels for pig. *Journal of Animal and Feed Sciences* 8, 171-180
- Fraser, M.D.; Fychan, R. und Jones, R. (2005a): Comparative yield and chemical composition of two varieties of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) when harvested as whole-crop, moist grain and dry grain. *Animal Feed Science and Technology*, 120, 43-50
- Fraser, M.D.; Fychan, R. und Jones, R. (2005b): The effect of harvest date and inoculation on the yield and fermentation characteristics of two varieties of white lupin (*Lupinus albus*) when ensiled as a whole crop. *Animal Feed Science and Technology*, 119, 307-322
- Fredrikson, M.; Larsson Alminger, M.; Carlsson, N.-G. und Sandberg, A.-S. (2001): Phytate content and phytate degradation by endogenous phytase in pea (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1139-1144
- Frias, J.; Doblado, R. und Vidal-Valverde, C. (2003b): Kinetics of soluble carbohydrates by action of endo/ exo  $\alpha$ -galactosidase in lentils and peas. *European Food Research and Technology*, 216, 199-203
- Frias, J.; Doblado, R.; Antenaza, J.R. und Vidal-Valverde, C. (2003a): Inositol phosphate degradation by the action of phytase enzyme in legume seeds. *Food Chemistry*, 81, 233-239
- Frias, J.; Miranda, M.L.; Doblado, R. und Vidal-Valverde, C. (2005): Effect of germination and fermentation on the

- antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. var. Multolupa. Food Chemistry, 92, 211-220
- Friedel, K. (1990): Vorläufiges Bewertungsschema für die Ergebnisse des Tests auf Silierbarkeit. Vorläufige Institutsvorschrift, Universität Rostock
- Friedel, K.; Bremer, S. und Gabel, M. (2002): Die Charakterisierung der Kohlenhydratfraktion von Futtermitteln - Vorschlag für die Anwendung von unterschiedlichen enzymatischen Hydrolysen. (unveröffentlicht)
- Fürll, C.; Idler, C. und Hoffmann, T. (1997): Untersuchungen zu Verfahren der Konservierung von erntefeuchtem, grobgeschrotetem Getreide. Agrartechnische Forschung 3, 66-75
- Fürll, C.; Oberbarnscheidt, B. und Wartenberg, G. (1992): Lagern und Konservieren von feuchtem Getreide. Neue Landwirtschaft, Heft 7, 83-86
- Gdala, J.; Jansman, A.J.M.; Buraczewska, L.; Huisman, J. und van Leeuwen, P. (1997): The influence of  $\alpha$ -galactosidase supplementation on the ileal digestibility of lupin seed carbohydrates and dietary protein in young pigs. Animal Feed Science and Technology, 67, 115-125
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen, DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Giraud, E.; Champailier, A. und Raimbault, M. (1994): Degradation of raw starch by a wild amylolytic strain of *Lactobacillus plantarum*. Applied and Environmental Microbiology 60, 4319-4323
- Grala, W.; Jansman, A.J.M.; van Leeuwen, P.; Huisman, J.; van Kempen, G.J.M. und Versteegen, M.W.A. (1993): Nutritional value of faba beans (*Vicia faba* L.) fed to young pigs. Journal of Animal and Feed Sciences, 2, 169-179
- Granito, M. und Alvarez, G. (2005): Lactid acid fermentation of Black beans (*Phaseolus vulgaris*): microbiological and chemical characterization. J. Sci Food Agric 86; 1164-1171
- Granito, M. und Alvarez, G. (2006): Lactid acid fermentation of Black beans (*Phaseolus vulgaris*): microbiological and chemical characterization. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86, 1164-1171
- Granito, M.; Frias, J.; Doblado, R.; Guerra, M.; Champ, M. und Vidal-Valverde, C. (2002): Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. European Food Research and Technology, 214, 226-231
- Greenhill, W. L. (1964): Plant juices in relation to silage fermentation. Journal of the British Grassland Society Soc. 19, 336-339
- Greiner, R. (2002): Purification and characterization of three phytases from germinated lupine seeds (*Lupinus albus* var. Amiga). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 6858-6864
- Griffiths, D.W. (1981): The polyphenolic content and enzyme inhibitory activity of testa from beans (*Vicia faba*) and peas (*Pisum* spp.) varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture 32, 797-804
- Guerrero, A. (1984): Cultivos herbáceos extensivos. Mundi-Prensa, Madrid
- Guillaume, J. (1978): Digestibilité des protéines, de l'amidon et des lipides de deux types de fève (*Vicia faba* L.) crue ou autoclavée chez le poussin. Archiv für Geflügelkunde, 42, 179-182
- Hackl et al. (2008): Vergleichende Untersuchungen zur Nährstoffverdaulichkeit und zum Futterwert von erntetrocknem Getreide und Getreide-Feuchtkornsilagen bei Schweinen, Tagungsbericht, Forum für angewandte Forschung, Fulda 2008, S. 168-171
- Halle, I. (2006): Vicin - Convicin. In: Flachowsky, G. (Hrsg.): Möglichkeiten der Dekontamination von Unerwünschten Stoffen nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung (2006). Landbauforschung Völknerode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 294, 231-234
- Harland, B.F. und Oberleas, D. (1986): Anion-exchange method for determination on phytate in foods: collaborative study. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 69, 667-670
- Hartmann, A. (2003): Untersuchungen zur Silierung von Sorghumkolben als Grundlage für Verfahren der Konservierung und zur Verbesserung des Futterwertes tanninhaltiger roter Sorghumsorten. Diplomarbeit, Universität Rostock, unveröffentlicht
- Hartmann, A.; Friedel, K.; Díaz Casas, R.F.; Ott, E.M. und Gabel, M. (2005): Ensiling - a method for reducing tannin contents in red sorghum breeds. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Agricultural Development and Sustainability, June 14 - 16, 2005, Santa Clara, Kuba, PSA-31
- Heinz, T.; Souffrant, W.B.; Kesting, S. und Kellner, O. (1991): Ackerbohnen und Futtererbsen in Rationen für Schweine und Geflügel im Vergleich zum Sojaschrot. Tierzucht 45, 84-86
- Hoedtker, S.; Friedel, K. und Gabel, M. (2005): Introducing a method for quantifying the osmolality in green forage and silages. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 14
- Hoedtker, S. (2008): Die Quantifizierung der Osmolalität in Futterpflanzen und ihre Veränderung in verschiedenen Stadien der Silierung. Dissertation Universität Rostock
- Hoffmann M. und O. Steinhöfel (2006): Futtermittelspezifische Restriktionen, Eine Empfehlung des Landesarbeitskreises „Futter und Fütterung im Freistaat Sachsen“, 3. Auflage, 40 S, Lichterwalde/Köllitsch, 2006
- Honig, H. (1990): Evaluation of aerobic stability. In: Lindgren, S. und Lunden Petterson, K. (Hrsg.): proceedings of the EUROBAC Conference, Uppsala, 1986, Grovfoder Grass and Forage Reports 3, 76-82
- Hopper, D.J.; Rogozinski, J. und Toczko, M. (1991): Lupanine hydroxylase, a quinocytochrome c from an alkaloid-

- degrading *Pseudomonas* sp. *Biochemical Journal*, 279, 105-109
- Holzschuh, W. und Schmidt, W. (1963): Silage: Herstellung, Fütterung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag
- Hurrell, R.F. (2002): Chapter 9: Enhanced iron absorption from cereal and legume grains by phytic acid degradation. *ACS symposium series*, 816, 117-129
- Idler, C. und Fuchs, H. (1995): Milchsäure konserviert Futtergetreide -neue Möglichkeiten zur Konservierung von feuchten Futtergetreide. *Landtechnik*, 1, 38-39
- Igbasan, F.A.; Guenter, W. und Slominski, B.A. (1997): Field peas: chemical composition and energy and amino acid availabilities for poultry. *Canadian Journal of Animal science*, 293-299
- Iibuchi, S.; Minoda, Y. und Yamada, K. (1967): Studies on tannin acyl hydrolase of microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry*, 31, 513-518
- Jansen, G.; Jürgens, H.U. und Flamme, W. (2005): Einfluss von Standort und Sorte auf ausgewählte Qualitätsparameter ökologisch erzeugter Lupinen für die Nutztierfütterung. In: Rahmann, G. (Hrsg.): Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, 1-9
- Jansman, A. J. M.; Enting, H.; Verstegen, M. W. A. und Huisman, J. (1994): Effect of condensed tannins in hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) on the activities of trypsin (EC 2.4.21 .4) and chymotrypsin (EC 2.4.21. 1) in digesta collected from the small intestine of pigs. *British Journal of Nutrition* 71, 627-641
- Jansman, A.J.M. (1993): Tannis in faba beans (*Vicia faba* L.): antinutritional properties in monogastric animals. *Hochschulschrift: Wageningen, Landbouwniversiteit, Prüfschrift*, 207
- Jeroch, H.; Drochner, W. und Simon, O. (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ulmer-Verlag, Stuttgart
- Jeroch, H. (1993): Körner und Samen. In: Jeroch, H.; Flachowsky, G. und Weissbach, F. (Hrsg.): *Futtermittelkunde*. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, 281-293
- Johnson, H.E.; Merry, R.J.; Davies, D.R.; Kell, D.B.; Theodorou, M.K. und Griffith, G.W. (2005): Vacuum packing: a model system for laboratory-scale silage fermentations. *Journal of Applied Microbiology*, 98, 106-113
- Jondreville, C.; Peyronnet, C. und Grosjean, F. (1992): Effect of variety on the digestibility of pea components in pigs: influence of trypsin inhibiting activity. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Grain Legumes*, Angers, France, 485-486
- Jones, D.I.H. (1970): The ensiling characteristics of different herbage species and varieties. *Journal of Agricultural Science* 75, 293-300
- Jürgens, H.-U.; Jansen, G. und Kuhlmann, J. (2007): Züchterische Bearbeitung von Süßlupinen für den ökologischen Landbau - Variabilität wichtiger Inhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Standort. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Stuttgart-Hohenheim, 20.-23.03.2007, 149-152
- Julkunen-Tiito, R. (1985): Phenolic constituents of leaves of Northern Willows: methods of analysis of certain phenolics. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33, 213-217
- Jungbluth, T. (1989): Beurteilung von Verfahren der Feuchtgetreidekonservierung. *Habilitationschrift Universität Hohenheim*
- Jungbluth, T.; Büscher, W. und Krause, M. (2005): *Technik Tierhaltung*. UTB Grundwissen Bachelor, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- Kanda, H.; Wang, H.; Hesseltine, C. und Warner, K. (1976): Yoghurt production by *Lactobacillus* fermentation of soybean milk. *Process Biochem.* 11, 23-25
- Kasperson, A.; Lindgren, S. und Ekström, N. (1988): Microbial dynamics in barley grain stored under controlled atmosphere. *Animal Feed Science and Technology*, 19, 4, 299-312
- Kazanas, H. und Fields, M.L. (1981): Nutritional improvement of sorghum by fermentation. *Journal of Food Science*, 46, 819-920
- Kirchgeßner, M., F.X. Roth, F.J. Schwarz und Gabriele I. Stangl (2008): *Tierernährung*, 12. neu überarbeitete Auflage, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main
- Kjeldahl, J. (1883): Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffes in organischen Körpern. *Zeitschrift für Analytische Chemie* 22, S. 366 - 382
- Kluge, H. (2007): Methode zur Bestimmung der Oligosaccharide, Universität Halle, mdl. Mitteilung
- Kluge, H.; Hirche, F. und Eder, K. (2002): NSP- und Oligosaccharidgehalte von Lupinen der Spezies *L. angustifolius*, *L. luteus* und *L. albus*. 7. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Lutherstadt Wittenberg, 26.11.-28.11.2002, 145-147
- Kocher, A.; Choct, M.; Hughes, R.J. und Broz, J. (2000): Effect of food enzymes on utilization of lupin carbohydrates by broilers. *British Poultry Science*, 41, 75-82
- Kostinek, M.; Specht, I.; Edward, V.A.; Pinto, C.; Egonlety, M.; Sossa, C.; Mbugua, S.; Dortu, C.; Thonart, P.; Taljaard, L.; Mengu, M.; Franz, C.M.A.P. und Holzapfel, W.H. (2007): Characterisation and biochemical properties of predominant lactic acid bacteria from fermenting cassava for selection as starter cultures. *International Journal of Food Microbiology*, 114, 3, 342-351
- Kozłowska, H.; Honke, J.; Sadowska, J.; Frias, J. und Vidal-Valverde, C. (1996): Natural fermentation of lentils: influence of time, concentration and temperature on the kinetics of hydrolysis of inositol phosphates. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 71, 367-375

- Kratochvílová, P.; Sikora, M. und Zeman, L. (2006): Influence of the level of *Vicia faba L.* in experimental diets on performance of chickens. 5. BOKU-Symposium Tierernährung, 02. November, Wien
- Lampart-Szczapa, E.; Siger, A.; Trojanowska, K.; Nogala-Kalucka, M.; Malecka, M. und Pacholek, B. (2003): Chemical composition and antibacterial activities of lupin seeds extracts. *Nahrung* 47, 286-290
- Laurent, S. (1975): Etude comparative de differentes methodes d'extraction et de dosage des tanins chez quelques pteridhytes. *Archive International Physiology and Biochemistry* 83, 735-752
- Lavrencic, A. und Levart, A. (2005): Tannins as silage additives. 4 BOKU-Symposium Tierernährung, Wien, 27. Oktober 2005, 168-173
- Leinmüller, E. und Menke, K.H. (1991): I. Chemische Eigenschaften und Reaktionen mit Makromolekülen. *Übersicht Tierernährung*, 19, 91-113
- Lindgren, S. und Refai, O. (1984): Amylolytic lactic acid bacteria in fish silage. *Journal of Applied Bacteriology* 57, 221-228
- Lopez, H.W.; Leenhardt, F.; Coudray, C. und Rémésy, C. (2002): Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition? *International Journal of Food Science & Technology*, 37, 727-739
- Lopez, H.W.; Ouvry, A.; Bervas, E.; Guy, C.; Messenger, A.; Demigne, C. und Remesy, C. (2000): Strains of lactic acid bacteria isolated from sour doughs degrade phytic acid and improve calcium and magnesium solubility from whole wheat flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2281-2285
- Lopez, Y.; Gordon, D.T. und Fields, L. (1983): Release of phosphorus from phytate by natural lactic acid fermentation. *Journal of Food Science*, 48, 953-954
- Macrae, R. und Zand-Moghaddam, A. (1978): The determination of the component oligosaccharides of lupin seeds by HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29 1083-1086
- Mahajan, S. und Chauhan, B.M. (1987): Phytic acid and extractable phosphorus of pearl millet flour as affected by natural lactic acid fermentation. *Journal of the science of food and agriculture*, 41, 381-386
- Makkar, H.P.S. (1989): Protein Precipitation Methods for Quantitation of Tannins: A Review. *J. Agric. Food Chem.* 37, 1197-1202
- Makkar, H.P.S. (2003): Quantification of tannins in tree and shrub foliage a laboratory manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands 2003
- Makkar, H.P.S.; Becker, K.; Abel, H. und Pawelzik, E. (1997): Nutrient Contents, Rumen Protein Degradability and Antinutritional Factors in Some Colour- and White-Flowering Cultivars of *Vicia faba* Beans. *Journal of the science of food and agriculture* 75, 511-520
- Makkar, H.P.S.; Gary Gamble, Klaus Becker (1999): Limitation of the butanol hydrochloric acid iron assay for bound condensed tannins. *Food Chemistry* 66, 129-133
- Makkar, H.P.S. und Bekker, K. (1996): Effect of pH, temperature and time on inactivation of tannins and possible implications in detannification studies. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44, 5, 1291-1295
- Makkar, H.P.S. und Goodchild, A.V. (1996): Quantification of tannins: a laboratory manual. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo (Syria), iv+25 pp.
- Makkar, H.P.S.; Blümmel, M.; Borowy, N.K. und Becker, K. (1993): Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61, 161-165
- Mariscal-Landín, G.; Lebreton, Y. und Seve, B. (2002): Apparent and standardised true ileal digestibility of protein and amino acids from faba bean, lupin and pea, provided as whole seeds, dehulled or extruded in pig diets. *Animal feed science and technology* 97, 183-198
- Marquard, R. (2000): III. Nutritive und antinutritive Inhaltsstoffe der Leguminosen. [www.bild.uni-giessen.de](http://www.bild.uni-giessen.de)
- Marquardt, R.; Ward, A.T.; Campbell, L.D. und Cansfield, P.E. (1977): Purification, Identification and Characterization of a Growth Inhibitor in Faba Beans (*Vicia faba L.* var. *minor*). *J. Nutr.*, 107, 1313-1324
- Martinez-Villaluenga, C.; Frias, J. und Vidal-Valverde, C. (2005): Raffinose family oligosaccharides and sucrose contents in 13 spanish lupin cultivars. *Food Chemistry*, 91, 645-649
- Martinez-Villaluenga, C.; Frias, J. und Vidal-Valverde, C. (2006): Functional lupin seeds (*Lupinus albus L.* and *Lupinus luteus L.*) after extraction of  $\alpha$ -galactosides. *Food Chemistry*, 98, 291-299
- Martinez-Villaluenga, C.; Gulewicz, P.; Frias, J. und Vidal-Valverde, C. (2007): Amino acid profile in fermented *Lupinus angustifolius* cv. Zapaton. Integrating legume biology for sustainable agriculture, 12.-16. November, Lissabon, Portugal, 181
- Matthias, J. und Pries, M. (2006): Feuchtgetreidekonservierung. In: *Praxishandbuch Futterkonservierung*. DLG-Verlag, 7. Auflage, 117-125
- McDonald, P., Henderson, A.R. und Heron, S.J.E. (1991): *The Biochemistry of Silage*. Cambrian Printers Ltd, Aberystwyth
- Meyer, U.; Schulz, E.; Flachowsky, G. und Berk, A. (2001): Tiermehlverfütterungsverbot! Forschungsbedarf bezüglich der Alternativen. In: *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung*. Fulda, 21.-22.3.02, 77-79
- Mieczkowska, A.; Smulikowska, S. und Nguyen, C.V. (2004): Effect of enzyme supplementation of white lupin (*Lupinus albus* var. Butan) - containing diets on performance, nutrient digestibility, viscosity, pH, and passage rate of digesta in broiler chickens. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13, 475-486

- Mosenthin, R. und Steiner, T. (2005): Bestimmung der Gehalte an Gesamt-Phosphor, Phytat-Phosphor sowie der nativen Phytaseaktivität in sortenreinen Körnerleguminosen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses verschiedener Konservierungsverfahren auf die nativen Phytaseaktivitäten; online publiziert
- Mosenthin, R.; Sauer, W.C.; Lien, K.A. und De Lange, C.F.M. (1993): Apparent, true and real ileal protein and amino acid digestibilities in growing pigs fed two varieties of faba beans (*Vicia faba L.*) different in tannin content. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 70, 253-265
- Münste, H. (1931): *Einsäuerungsversuche mit grünen Lupinen*. Dissertation, Universität Kiel
- Nowak, J. und Steinkraus, K.H. (1988): Effect of tempeh fermentation of pea on their potential flatulence productivity as measured by gas production and growth of *Clostridium perfringens*. *Nutrition Reports International*, 38, 1163-1171
- Ohshima, M. und McDonald, P. (1978): A Review of the changes in Nitrogenous compounds of Herbage During Ensilage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 497-505
- Osawa, R.O.; Kuroiso, K.; Goto, S. und Shimizu, A. (2000): Isolation of tannin-degrading lactobacilli from humans and fermented foods. *Applied and Environmental Microbiology*, 6, 3093-3097
- Pastuszewska, B. und Ochtabinska, A. (1995): Protein value of legume seeds fed to rats as the only source of protein or in combination with cereals. *Proceedings of the 2nd European Conference on Grain Legumes*, Copenhagen, Denmark, 272-273
- Perez, J.M. und Bourdon, D. (1992): Energy and protein value of peas for pigs: synthesis of french results. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Grain Legumes*, Angers, France, 489-490
- Petersen, J. (2002): *Jahrbuch für die Geflügelwirtschaft*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Petterson, M. (1998): Composition and food uses of Lupins. In: Gladstones, J.S. (1998): *Lupins as crop plants: biology, production and utilization*. CAB International, Cambridge, 353-384
- Pieper, B., J. Kleemann; S. Poppe; H. Allert; K. Losch; H. Wittchen; E. Mielitz und A. Schulz (1989): Verfahren zur Bestimmung der Vergärbarkeit von Futtermitteln. Patentschrift, DD 281 255 A5
- Pieper, B., U. Korn, R. Pieper und W. Hackl (2005): Einene neue Epoche der Getreidelagerung: BIO-SIL plus Wasser als Konservierungsmittel, Tagungsbericht 9. Symposium „Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen“, 27.10.2005, Neuruppin, 159-187
- Pieper, R.; Hackl, W.; Pieper, B. und Korn, U. (2006): Einfluss der Silierung von Feuchtkorn-Maisschrot mit Milchsäurebakterien (*Lactobacillus plantarum*) auf ausgewählte Fermentationsparameter und den Futterwert beim Schwein. In: Rodehutschord, M. (Hrsg.): 9. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle, 28.-30. November, 274-276
- Piotrowicz-Cieslak, A.I.; Gorecki, R.J. und Adomas, B. (1999): The content and composition of soluble carbohydrates in lupin seeds of different species and cultivars. *Plant Breeding and Seed Science*, 43, 2, 29-37
- Porter, L.J., R.Y. Wong, H.F. Benson, B.G. Chang, V.N. Viswanadhan, R.E. Gandour und W.L. Mattice (1986): Conformational analysis of flavan. *Journal of Chemistry Research* 86, 830
- Reddy, N.R. und Pierson, M.D. (1994): Reduction in antinutritional and toxic components in plant foods by fermentation. *Food Research International*, 27, 281-290
- Reed, J.D. (1995): Nutritional Toxicology of Tannins and Related Polyphenols in Forage Legumes. *J. Anim. Sci.* 73, 1516-1528.
- Römer, A. (1998): *Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und zum Futterwert von Ackerbohnen (Vicia faba L.)*. Dissertation, Göttingen
- Rosen, H. (1957): A modified ninhydrin colorimetric analysis for amino acids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 67, 10-15
- Roth-Maier, D. und Kirchgessner, M. (1993): Nährstoffzusammensetzung und Futterwerte verschiedener Weißer und Gelber Lupinen (*Lupinus albus L.* und *Lupinus luteus L.*) für Schwein und Geflügel. *Agribiological Research*, 46, 3, 218-228
- Roth-Maier, D.A.; Paulicks, B.R.; Steinhöfel, O. und Weiß, J. (2004): *Inhaltsstoffe, Futterwert und Einsatz von Lupinen in der Nutztierfütterung*. UFOP-Praxisinformation. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., Berlin
- Ruperez, P. (1998): Oligosaccharides in raw and processed legumes. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung/ A*, 206, 130-133
- Salawu, M.B., Acamovic, T., Stewart, C.S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R. (1999): The use of tannins as silage additives: effects on silage composition and mobile bag disappearance of dry matter and protein. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 82, 243-259
- Sanftleben, P. und Dreschel, H. (2002): *Feuchtgetreidekonservierung – Möglichkeiten und Einsatz*. URL: <http://www.lfamv.de/index.php?/content/view/full/833>
- Santana, F.C. und Empis, J. (2001): Bacterial removal of quinolizidine alkaloids from *Lupinus albus* flours. *European Food Research and Technology*, 212, 217-224
- Santana, F.M.C.; Fialho, A.M.; I Sa-Correia, I. und Empis, J.M.A. (1996): Isolation of bacterial strains capable of using lupanine, the predominant quinolizidine alkaloid in white lupin, as sole carbon and energy source. *Journal of Industrial Microbiology*, 17, 110-115

- Sauvant, D.; Perez, J.M.; Gilles, T. (2004): Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic
- Saxena, R.K.; Sharmila, P. und Singh, V.P. (1995): Microbial degradation of tannins. Progress in industrial microbiology 32, 259-270
- Scalbert, A. (1991): Antimicrobial properties of Tannins. Phytochemistry, 30, 12, 3875-3883
- Schonfield, P.; Mbugua, D.M. und Pell, A.N. (2001): Analysis of condensed tannins: a review. Animal Feed Science and Technology, 91, 21-40
- Seale, D. (1987): Bacteria and enzymes as products to improve silage preservation. Silage Information, Dezember 2000 In Wilkinson, J.M.; Stark, B.A. (eds) Developments in silage. Chalcombe, Marlow, pp 47-61
- Selle, P.H.; Walker, A.R. und Bryden, L. (2003): Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of australian sourced feed ingredients for pigs and poultry. Australian Journal of Experimental Agriculture, 43, 475-479
- Shimelis, E.A. und Rakshit, S.K. (2007): Influence of natural and controlled fermentation on  $\alpha$ -galactosides, antinutrients and protein digestibility of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Food Science and Technology, 1-8
- Shirai, K.; Revah-Moisseev, S.; Garcia-Garibay, M. und Marshall V.M. (1994): Ability of some strains of lactic acid bacteria to degrade phytic acid. Letters in Applied Microbiology, 19, 366-369
- Siewwright, C.A. und Shipe, W.F. (1986): Effect of storage conditions, chemical treatment on firmness, in vitro protein digestibility, condensed tannins, phytic acid and divalent cations of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris*). Journal Science Food Agric., 31, 341-350
- Smulikowska, S.; Pastuszewska, B.; Swiech, E.; Ochtabinska, A.; Mieczkowska, A.; Nguyen, V.C. und Buraczewska, L. (2001): Tannin content affects negatively nutritive value of pea for monogastrics. Journal of animal and feed sciences 10, 511-523
- Stein, H.H.; Everts, A.K.R.; Sweeter, K.K.; Peters, D.N.; Maddock, R.J.; Wulf, D.M. und Pedersen, C. (2006): The influence of dietary field peas (*Pisum sativum* L.) on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. Journal of Animal Science, 84, 3110-3117
- Steiner, T.; Mosenthin, R.; Zimmermann, B.; Greiner, R. und Roth, S. (2007): Distribution of phytase activity, total phosphorus and phytate phosphorus in legume seeds, cereals and cereal by-products as influenced by harvest year and cultivar. Anim. Feed Sci. and Tech. 133, 320-334
- Steinhöfel, O. und Weber, U. (2006): Untersuchungen zur kombinierten Aufbereitung und Silierung von Feuchtkornmais in Folienschläuchen. URL: [http://www.agbag.de/fileadmin/Aktuelles/DMK\\_Alsf.pdf](http://www.agbag.de/fileadmin/Aktuelles/DMK_Alsf.pdf)
- Sudarmadji, S. und Markakis, P. (1977): The phytate and phytase of soy bean tempeh. Journal of the Science of Food and Agriculture, 28, 381-383
- Sujak, A.; Kotlarz, A. und Strobel, W. (2006): Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. Food Chemistry, 98, 711-719
- Svanberg, U. und Sandberg, A.S. (1987): Improved iron availability in weaning foods using germination and fermentation. In: Alnwick, D.; Moses, S. und Schmidt, O.G. (Hrsg.): International Workshop on Household Level Technologies for Improving Young Child Feeding in Eastern and Southern Africa, Nairobi, IDRC, Ottawa, Canada, 366-373
- Svihus, B.; Newman, C.W.; Newman, R.K. und Selmer-Olsen, I. (1997): Changes in extract viscosity, amino acid content, and soluble and insoluble  $\beta$ -glucan and dietary fibre content of barley during different high moisture storage conditions. Animal Feed Science Technology, 64, 257-272
- Sweeney, T. E. und Beuchat, C. A. (1993): Limitations of methods of osmometry: measuring the osmolality of biological fluids. American journal of physiology Soc. 264, 469-480
- Swiech, E.; Buraczewska, L. und Taciak, M. (2004): In vivo and in vitro ileal digestibility of protein and amino acids of peas containing different tannin levels. In: Muzquiz, M.; Hill, G.D.; Cuadrado, C.; Pedrosa, M.M. und Burbano, C. (2004): Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the 4<sup>th</sup> international workshop on antinutritional factors in legume seeds and oilseeds, 8.-10. March 2004, Toledo, Spain
- Toczko, M. (1966): Induced lupanine hydroxylase from *Pseudomonas lupanini*. Biochemica et Biophysica Acta, 128, 570-573
- Toczko, M.; Brzeski, W. und Kakolewska-Baniuk, A. (1963): Microbial degradation of lupanine. V. Identification of 17-hydroxylupanine. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Cl. II, 11, 161-164
- Trugo, L. C. (1994): Effect of germination on nutritive value of lupin seed. Proceedings of the 7th International Lupin Conference, Évora, Portugal, 418 – 423
- Trugo, L.C.; Donangelo, C.M.; Duarte, Y.A. und Tavares, C.L. (1993): Phytic acid and selected mineral composition of seed from wild species and cultivated varieties of lupin. Food Chemistry, 47, 391-394
- van der Poel, A.F.B.; Dellaert L.M.W.; van Norel, A. und Helsper, J.P.F.G. (1992): The digestibility in piglets of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by breeding towards the absence of condensed tannins. British Journal of Nutrition, 68, 793-800
- van Soest, P.J.; Wine, R. (1967): Use of detergents in the analyse of fibrous feeds. IV Determination of plant-wall constituents. Journal Association of Official Analytical Chemists 50, 50-55

- VDLUF (1997): VDLUF Methodenbuch, Band III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 4. Ergänzungslieferung, Darmstadt
- Vidal-Valverde, C.; Frias, J.; Prodanov, M.; Tabera, J.; Ruiz, R. und Bacon, J. (1993): Effect of natural fermentation on carbohydrates, riboflavin and trypsin inhibitor activity in lentils. *European Food Research and Technology*, 197, 449-452
- Voigt, J. und Steger, H. (1967): Zur qualitativen Bestimmung von Ammoniak, Harnstoff und Ketokörpern in biologischem Material mit Hilfe eines modifizierten Mikrodiffusionsgefäßes. *Archiv für Tierernährung*, 17, 289
- Von Lengerken, J. und Zwierz, P. (1983): Vorschlag zur rationellen Rohfaserbestimmung in der Routine-Analytik. *Archiv für Tierernährung*, 2, 259
- Wang, N. und Daun, J.K. (2004): Effect of variety and crude protein content on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). *J. Sci. Food Agric* 84: 1021-1029
- Wang, X.; Warkentin, T.D.; Briggs, C.J.; Oomah, B.D.; Campbell, C.G. und Woods, S. (1998): Total phenolics and condensed tannins in field pea (*Pisum sativum* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Euphytica* 101, 97-102
- Wasilewko, L.; Gdala, J.; Buraczewska, L. und Han, I.K. (1999): Assessment of ileal digestibility of lupin amino acids and their use in formulating diets for pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 8, 13-26
- Waterson, J.J. und G.L. Butler (1983): Occurrence of an unusual leucoanthocyanidin and absence of proanthocyanidins in sorghum leaves. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 31, 41-45
- Weißbach, F. (1968): Beziehung zwischen Ausgangsmaterial und Gärungsverlauf bei der Grünfuttersilierung. Inaug. Diss. Universität Rostock
- Weissbach, F. (1967): Die Bestimmung der Pufferkapazität der Futterpflanzen und ihre Bedeutung für die Beurteilung der Vergärbarkeit. Tagungsbericht 92, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, 211-220
- Weissbach, F. (1968): Beziehungen zwischen Ausgangsmaterial und Gärungsverlauf bei der Grünfuttersilierung. Habilitationsschrift, Universität Rostock
- Wilkinson, J.M. (1983): Valor alimenticio de las forrajeras ensiladas de clima tropical y templado: Parte I. In: Ott, E. (1997): Siliereignung und Futterwert zweier Sorghumsorten sowie weiterer tropischer Futtergräser und Leguminosen. Diplomarbeit, Agrarwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock
- Wilson, R.F. und Wilkins, R.J. (1972): An evaluation of laboratory ensiling techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 23 (3), 377-385
- Wink, M. (1984a): Biochemistry and chemical ecology of lupin alkaloids. Proc. III International Lupin Conference, La Rochelle, 325-343
- Wink, M. (1984b): Stoffwechsel und Funktion von Chinolizidinalkaloiden in Pflanzen und pflanzlichen Zellkulturen. Habilitation, University Braunschweig
- Wink, M.; Meißner, C. und Witte, L. (1995): Patterns of quinolizidine alkaloids in 56 species of the genus *Lupinus*. *Phytochemistry* 38 (1), 139-153
- Wink, M. und Witte, L. (1985): Quinolizidine alkaloids as nitrogen source for lupin seedlings and cell cultures. *Zeitschrift für Naturforschung*, 40c, 767-775
- Wink, M. und Witte, L. (1985): Quinolizidine alkaloids as nitrogen source for lupin seedlings and cell cultures. *Zeitschrift für Naturforschung*, 40c, 767-775
- Wiseman, J. und Cole, D.J.A. (1988): European legumes in diets for non-ruminants. In: Haresign, W. und Cole, D.J.A. (Hrsg.): *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, London, 13-37
- Wolf, J.; Jänike, H. und Losand, B. (2001): Ergebnisse der Silierung von feuchtem Körnermais mit unterschiedlichen Konservierungstoffen. In: Pieper, B. und Poppe, S. (Hrsg.): 5. Symposium zu Fragen der Fütterung von Kühen mit hohen Leistungen, Dr. Pieper Technologie- und Produktentwicklung GmbH, Neuruppin
- Yumoto, I. und Ikeda, K. (1995): Direct fermentation of starch to L-(+)-lactic acid using *Lactobacillus amylophilus*. *Biotechnology Letters* 17, 543-546
- Zamora, A.F. und Fields, A.M. (1979): Nutritive quality of fermented cowpeas (*Vigna sinensis*) and chickpeas (*Cicer arietinum*). *Journal of Food Science*, 44, 1, 234-236
- Zierenberg, B. (2000): *In vitro* Methode zur Beurteilung der Fermentationsleistung von Milchsäurebakterien und deren Einfluss auf die Stoffwechselaktivität weiterer für die Silierung relevanter Mikroorganismen bei unterschiedlichen Fermentationsbedingungen. Dissertation, Universität Rostock
- Zimmer, E. (1985): Verluste bei der Maiskonservierung, *Mais Heft* 4, 30-35

## **Anhang**





Tab. A1: Aminosäuregehalt der geprüften reifen, lagertrockenen Leguminosenkörner in g As/kg TS im Vergleich zu Weizen und Sojaextraktionsschrot

	Aminosäuregehalt in g/kg TS												Weizen*	Sojaex- traktionsss.
	<i>L. angustifolius</i>				<i>L. luteus</i>		<i>L. albus</i>		<i>V. faba</i>		<i>P. sativum</i>			
	Bora	Borlu	Azuro	Rubine	Bornal	Borsaja	Bardo	Weibit	Limbo	Scirocco	Lisa	Santana		
<b>essentielle Aminosäuren</b>														
Methionin	2,0	1,9	2,0	2,0	2,7	2,7	2,6	2,3	2,0	1,9	1,9	2,3	1,9	6,2
Cystin	4,7	4,3	4,7	4,4	9,5	8,0	6,2	5,4	3,4	2,9	2,9	3,4	2,7	6,8
Methionin + Cystin	6,7	6,2	6,6	6,4	12,2	10,6	8,7	7,7	5,4	4,8	4,9	5,6	4,6	13,0
Lysin	18,0	16,7	16,8	15,5	21,6	21,9	17,5	16,1	19,6	17,3	17,2	18,9	3,4	28,1
Threonin	12,5	11,7	11,5	10,7	13,2	13,7	13,4	12,4	10,7	9,3	8,3	9,2	3,5	18,1
Arginin	39,0	38,7	38,4	31,3	42,0	47,1	34,1	30,0	26,1	21,0	17,6	21,6	5,9	33,7
Isoleucin	15,7	14,9	14,2	12,5	15,8	16,8	14,8	14,9	12,5	10,7	9,7	10,3	4,1	20,7
Leucin	26,4	24,6	24,3	21,8	32,1	32,3	27,2	25,6	22,9	19,1	17,0	18,1	8,1	35,0
Valin	14,3	14,0	13,0	13,8	15,5	17,2	14,4	14,0	14,8	12,2	9,2	10,2	5,1	21,8
Histidin	10,0	9,6	9,4	8,4	11,1	11,4	8,5	7,9	7,9	6,8	5,5	6,3	2,9	12,3
Phenylalanin	15,2	13,8	13,3	11,9	16,1	16,4	13,4	12,8	12,9	11,1	11,2	12,0	5,6	23,2
Tyrosin	11,7	11,4	10,0	9,0	9,2	10,6	13,2	11,6	6,6	6,2	5,6	6,0	4,9	16,6
<b>nichtessentielle Aminosäuren</b>														
Glycin	15,6	14,8	14,6	13,0	15,7	17,0	14,5	13,7	12,5	10,8	9,5	10,6	4,9	19,7
Serin	19,3	17,7	18,4	16,2	19,8	20,7	19,6	17,7	14,9	12,5	11,1	12,0	5,6	23,3
Prolin	15,4	14,6	14,1	12,4	15,5	15,4	13,8	13,0	12,7	10,6	9,2	10,1	12,2	23,5
Alanin	12,9	11,5	12,8	12,2	13,9	15,4	13,0	10,6	11,1	10,8	8,9	9,9	4,3	20,0
Asparaginsäure	38,7	36,0	35,7	31,1	39,9	42,0	37,7	35,0	32,9	27,2	25,8	28,6	6,2	52,9
Glutaminsäure	86,2	87,4	86,3	72,6	98,9	104,1	79,8	79,6	51,7	42,9	38,7	42,9	34,8	83,1
g RP/kg T	392	393	391	332	421	457	366	383	318	282	237	266	124	463

\* DEGUSSA (2006)

Tab. A2: Verhältnis der erstlimitierenden Aminosäuren in reifen, lagertrockenen Leguminosenkörner zueinander

	Verhältnis der erstlimitierenden Aminosäuren													Weizen*	Sojaex- traktionss.
	Bedarf*	<i>L. angustifolius</i>				<i>L. luteus</i>		<i>L. albus</i>		<i>V. faba</i>		<i>P. sativum</i>			
		Bora	Borlu	Azuro	Rubine	Bornal	Borsaja	Bardo	Weibit	Limbo	Scirocco	Lisa	Santana		
Lysin	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Methionin + Cystin	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	0,5
Threonin	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,6

\* optimales Aminosäureverhältnis für Mastschweine; \*\* DEGUSSA (2006)

Tab. A3: PH-Wert-Verläufe im Rostocker Fermentationstest mit reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern sowie Gärparameter in den Filtraten nach Ende der Inkubation (n = 3), Ansatz mit *aqua dest.*

Leguminose	Sorte	Variante	pH-Wert				OSM		MS	ES	PS	BS	ΣAL	
							[mosmol/kg OS]				[% TS]			
			Messung zu Stunde:											
			0	18	26	42	0	42	42	42	42	42	42	
Lupine	Bora	KON	5,78 <sup>b</sup>	4,85 <sup>cB</sup>	4,46 <sup>cB</sup>	4,26 <sup>abA</sup>	163,0 <sup>a</sup>	407,9 <sup>abB</sup>	6,28 <sup>abB</sup>	0,37 <sup>bbB</sup>	0,04	0,24	0,36 <sup>dA</sup>	
	Borlu		5,70 <sup>b</sup>	5,69 <sup>bA</sup>	4,86 <sup>aA</sup>	4,37 <sup>aA</sup>	162,2 <sup>a</sup>	440,8 <sup>a</sup>	6,17 <sup>abB</sup>	0,55 <sup>b</sup>	0,03	0,01	0,97 <sup>bA</sup>	
	Azuro		5,61 <sup>b</sup>	5,21 <sup>dB</sup>	4,64 <sup>bcA</sup>	4,25 <sup>abA</sup>	163,6 <sup>a</sup>	437,2 <sup>a</sup>	7,31 <sup>abB</sup>	0,97 <sup>a</sup>	0,02	0,00	0,68 <sup>cA</sup>	
Ackerbohne	Limbo		6,34 <sup>a</sup>	5,92 <sup>aA</sup>	4,78 <sup>abA</sup>	4,18 <sup>bA</sup>	88,0 <sup>b</sup>	295,8 <sup>b</sup>	6,89 <sup>a</sup>	0,40 <sup>b</sup>	0,03	0,00	0,74 <sup>bcA</sup>	
Erbse	Lisa		6,31 <sup>a</sup>	5,49 <sup>cA</sup>	4,82 <sup>abA</sup>	4,33 <sup>abB</sup>	97,2 <sup>b</sup>	306,6 <sup>baA</sup>	4,75 <sup>bbB</sup>	0,51 <sup>b</sup>	0,03	0,05	1,33 <sup>aA</sup>	
Lupine	Bora	MEL	5,77 <sup>b</sup>	5,43 <sup>cA</sup>	4,60 <sup>bA</sup>	4,12 <sup>bbB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Borlu		5,68 <sup>b</sup>	5,68 <sup>bA</sup>	4,72 <sup>abA</sup>	4,31 <sup>bA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Azuro		5,63 <sup>b</sup>	5,41 <sup>cA</sup>	4,58 <sup>bA</sup>	4,18 <sup>bbB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Ackerbohne	Limbo		6,36 <sup>a</sup>	5,83 <sup>aA</sup>	4,67 <sup>bA</sup>	4,22 <sup>bA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Erbse	Lisa		6,33 <sup>a</sup>	5,51 <sup>cA</sup>	4,90 <sup>aA</sup>	4,67 <sup>aA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Lupine	Bora	MSB	5,74 <sup>b</sup>	4,50 <sup>cC</sup>	4,03 <sup>bcC</sup>	3,86 <sup>bcC</sup>	163,0 <sup>a</sup>	428,3 <sup>abA</sup>	9,77 <sup>aA</sup>	0,60 <sup>baA</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,00	0,08 <sup>dB</sup>	
	Borlu		5,71 <sup>b</sup>	4,67 <sup>abC</sup>	4,24 <sup>abB</sup>	3,86 <sup>bbB</sup>	162,2 <sup>a</sup>	421,1 <sup>b</sup>	10,55 <sup>aA</sup>	0,52 <sup>c</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,00	0,16 <sup>cB</sup>	
	Azuro		5,63 <sup>b</sup>	4,25 <sup>dcC</sup>	4,02 <sup>bbB</sup>	3,86 <sup>bcC</sup>	163,6 <sup>a</sup>	433,0 <sup>a</sup>	10,59 <sup>aA</sup>	0,86 <sup>a</sup>	0,00 <sup>b</sup>	0,00	0,08 <sup>cdB</sup>	
Ackerbohne	Limbo		6,34 <sup>a</sup>	4,75 <sup>aC</sup>	4,20 <sup>abB</sup>	3,96 <sup>abB</sup>	88,0 <sup>b</sup>	289,0 <sup>c</sup>	7,86 <sup>b</sup>	0,34 <sup>e</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,00	0,35 <sup>bbB</sup>	
Erbse	Lisa		6,31 <sup>a</sup>	4,64 <sup>bcC</sup>	4,23 <sup>abB</sup>	3,99 <sup>aC</sup>	97,2 <sup>b</sup>	292,4 <sup>cbB</sup>	6,64 <sup>caA</sup>	0,43 <sup>d</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,00	0,83 <sup>abB</sup>	
Lupine	Bora	MSB+MEL	5,73 <sup>b</sup>	4,28 <sup>cdD</sup>	3,93 <sup>cdD</sup>	3,84 <sup>ccC</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Borlu		5,70 <sup>b</sup>	4,82 <sup>bbB</sup>	4,17 <sup>abB</sup>	3,86 <sup>bcB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Azuro		5,62 <sup>b</sup>	4,30 <sup>ccC</sup>	4,02 <sup>bbB</sup>	3,87 <sup>ccC</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Ackerbohne	Limbo		6,36 <sup>a</sup>	4,95 <sup>abB</sup>	4,16 <sup>abB</sup>	3,92 <sup>abB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Erbse	Lisa		6,32 <sup>a</sup>	4,87 <sup>abB</sup>	4,22 <sup>abB</sup>	3,98 <sup>aC</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
±s.d.			0,000	0,063	0,089	0,084	6,120	15,137	0,699	0,126	0,000	0,130	0,100	

OSM ... Osmolalität; MS ... Milchsäure; ES ... Essigsäure; PS ... Propionsäure; BS ... Summe aus Buttersäure und i-Valeriansäure; ΣAL ... Summe aus Ethanol, Propanol, Butanol und 2,3-Butandiol; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; n.a.: nicht analysiert; ±s.d.:  $\sqrt{\text{MQR}}$ ; <sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten; <sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

Tab. A4: PH-Wert-Verläufe im Rostocker Fermentationstest mit reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern sowie Gärparameter in den Filtraten nach Ende der Inkubation (n = 3), Ansatz mit 9 %iger KCl-Lösung

Leguminose	Sorte	Variante	pH-Wert					OSM		MS	ES	PS	BS	ΣAL	
								[mosmol/kg OS]		[% TS]					
			Messung zu Stunde:												
			0	26	38	46	70	0	70	70	70	70	70	70	
Lupine	Bora	KON	5,30 <sup>c</sup>	5,21 <sup>cA</sup>	5,18 <sup>cA</sup>	5,10 <sup>abA</sup>	4,87 <sup>aA</sup>	1880,7 <sup>b</sup>	2385,1	0,40 <sup>dB</sup>	0,35 <sup>bc</sup>	0,01 <sup>b</sup>	0,00	0,22 <sup>bA</sup>	
	Borlu		5,34 <sup>b</sup>	5,28 <sup>cA</sup>	5,24 <sup>cAB</sup>	5,19 <sup>aA</sup>	4,68 <sup>abB</sup>	2027,1 <sup>ab</sup>	2384,0	1,73 <sup>cB</sup>	0,58 <sup>aA</sup>	0,04 <sup>a</sup>	0,00	0,55 <sup>aA</sup>	
	Azuro		5,30 <sup>c</sup>	5,23 <sup>dB</sup>	5,17 <sup>cA</sup>	5,03 <sup>bA</sup>	4,64 <sup>abA</sup>	2024,0 <sup>ab</sup>	2420,4	1,73 <sup>cB</sup>	0,46 <sup>ab</sup>	0,00 <sup>b</sup>	0,00	0,47 <sup>aA</sup>	
Ackerbohne	Limbo		5,90 <sup>a</sup>	5,86 <sup>aA</sup>	5,66 <sup>ab</sup>	4,60 <sup>cB</sup>	3,94 <sup>cB</sup>	2175,6 <sup>a</sup>	2387,3	10,70 <sup>ab</sup>	0,31 <sup>bcB</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,00	0,04 <sup>c</sup>	
Erbse	Lisa		5,87 <sup>a</sup>	5,83 <sup>bAB</sup>	5,50 <sup>bA</sup>	5,14 <sup>abA</sup>	4,48 <sup>bA</sup>	2062,9 <sup>ab</sup>	2432,2	2,95 <sup>bB</sup>	0,16 <sup>cB</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,00	0,17 <sup>bA</sup>	
Lupine	Azuro	MEL	5,33 <sup>b</sup>	5,26 <sup>cA</sup>	5,20 <sup>bA</sup>	5,08 <sup>bAB</sup>	4,74 <sup>aA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Bora		5,33 <sup>b</sup>	5,25 <sup>cA</sup>	5,21 <sup>bA</sup>	5,03 <sup>bA</sup>	4,81 <sup>aA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Borlu		5,36 <sup>b</sup>	5,31 <sup>dA</sup>	5,27 <sup>bA</sup>	5,17 <sup>bA</sup>	4,88 <sup>aA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Ackerbohne	Limbo		5,92 <sup>a</sup>	5,88 <sup>aA</sup>	5,82 <sup>aA</sup>	5,53 <sup>aA</sup>	4,05 <sup>bA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Erbse	Lisa		5,90 <sup>a</sup>	5,85 <sup>bA</sup>	5,03 <sup>bB</sup>	4,57 <sup>cB</sup>	3,83 <sup>cC</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Lupine	Bora	MSB	5,31 <sup>b</sup>	5,24 <sup>cdA</sup>	5,14 <sup>aA</sup>	4,87 <sup>ab</sup>	4,52 <sup>ab</sup>	1880,7 <sup>b</sup>	2338,0 <sup>b</sup>	0,92 <sup>dA</sup>	0,25 <sup>ab</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,00	0,05 <sup>bB</sup>	
	Borlu		5,32 <sup>b</sup>	5,28 <sup>cA</sup>	5,20 <sup>ab</sup>	4,99 <sup>ab</sup>	4,57 <sup>ab</sup>	2027,1 <sup>ab</sup>	2471,8 <sup>a</sup>	2,32 <sup>cA</sup>	0,35 <sup>ab</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,00	0,21 <sup>ab</sup>	
	Azuro		5,32 <sup>b</sup>	5,21 <sup>dC</sup>	4,82 <sup>cB</sup>	4,51 <sup>bB</sup>	4,06 <sup>bB</sup>	2024,0 <sup>ab</sup>	2457,1 <sup>a</sup>	5,38 <sup>bA</sup>	0,21 <sup>b</sup>	0,00 <sup>b</sup>	0,00	0,05 <sup>bB</sup>	
Ackerbohne	Limbo		5,90 <sup>a</sup>	5,54 <sup>bB</sup>	4,16 <sup>dC</sup>	3,97 <sup>cC</sup>	3,87 <sup>cC</sup>	2175,6 <sup>a</sup>	2374,9 <sup>b</sup>	11,33 <sup>aA</sup>	0,34 <sup>aA</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,00	0,04 <sup>b</sup>	
Erbse	Lisa		5,87 <sup>a</sup>	5,81 <sup>ab</sup>	4,97 <sup>bB</sup>	4,47 <sup>bB</sup>	3,94 <sup>bcB</sup>	2062,9 <sup>ab</sup>	2459,3 <sup>a</sup>	5,79 <sup>bA</sup>	0,38 <sup>aA</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,00	0,05 <sup>bB</sup>	
Lupine	Bora	MSB+MEL	5,31 <sup>b</sup>	5,03 <sup>cB</sup>	4,82 <sup>bB</sup>	4,80 <sup>bc</sup>	4,42 <sup>ab</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Borlu		5,36 <sup>b</sup>	5,16 <sup>bb</sup>	5,11 <sup>aC</sup>	5,00 <sup>ab</sup>	4,15 <sup>bc</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Azuro		5,34 <sup>b</sup>	5,10 <sup>bcd</sup>	4,41 <sup>cC</sup>	4,32 <sup>cC</sup>	3,99 <sup>cB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Ackerbohne	Limbo		5,92 <sup>a</sup>	5,47 <sup>aC</sup>	4,12 <sup>dC</sup>	3,92 <sup>dC</sup>	3,81 <sup>dD</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Erbse	Lisa		5,91 <sup>a</sup>	4,43 <sup>dC</sup>	3,87 <sup>cC</sup>	3,79 <sup>dC</sup>	3,65 <sup>eD</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
±s.d.			0,00	0,032	0,089	0,095	0,095	99,211	49,143	0,322	0,089	0,000	0,000	0,055	

OSM ... Osmolalität; MS ... Milchsäure; ES ... Essigsäure; PS ... Propionsäure; BS ... Summe aus Buttersäure und i-Valeriansäure; ΣAL ... Summe aus Ethanol, Propanol, Butanol und 2,3-Butandiol; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; n.a.: nicht analysiert; ±s.d.:  $\sqrt{\text{MQR}}$ ; <sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten; <sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

Tab. A5: PH-Wert-Verläufe im Rostocker Fermentationstest mit reifen, lagergetrockneten Leguminosenkörnern sowie Gärparameter in den Filtraten nach Ende der Inkubation (n = 3), Ansatz mit 12 %iger KCl-Lösung

Leguminose	Sorte	Variante	pH-Wert					OSM		MS	ES	PS	BS	ΣAL
								[mosmol/kg OS]				[% TS]		
			Messung zu Stunde:											
			0	26	38	46	70	0	70	70	70	70	70	70
Lupine	Bora	KON	5,30 <sup>dB</sup>	5,23 <sup>eD</sup>	5,22 <sup>dB</sup>	5,21 <sup>dB</sup>	5,15 <sup>cA</sup>	2803,1 <sup>b</sup>	3006,4 <sup>c</sup>	0,00 <sup>c</sup>	0,16	0,05 <sup>a</sup>	0,00	0,06 <sup>b</sup>
	Borlu		5,33 <sup>cBC</sup>	5,29 <sup>cB</sup>	5,25 <sup>cB</sup>	5,25 <sup>cA</sup>	5,20 <sup>cA</sup>	2571,1 <sup>c</sup>	3147,1 <sup>a</sup>	0,00 <sup>c</sup>	0,17	0,04 <sup>ab</sup>	0,00	0,07 <sup>a</sup>
	Azuro		5,32 <sup>cB</sup>	5,26 <sup>dA</sup>	5,19 <sup>eAB</sup>	5,16 <sup>eB</sup>	5,10 <sup>cA</sup>	3077,8 <sup>a</sup>	3074,2 <sup>b</sup>	0,26 <sup>b</sup>	0,16	0,00 <sup>c</sup>	0,00	0,04 <sup>c</sup>
Ackerbohne	Limbo		5,90 <sup>b</sup>	5,87 <sup>aBC</sup>	5,85 <sup>aA</sup>	5,84 <sup>aA</sup>	5,71 <sup>aA</sup>	2884,9 <sup>b</sup>	3002,4 <sup>c</sup>	0,27 <sup>bB</sup>	0,17	0,04 <sup>ab</sup>	0,00	0,05 <sup>bc</sup>
Erbse	Lisa		5,84 <sup>aB</sup>	5,80 <sup>bB</sup>	5,76 <sup>bAB</sup>	5,76 <sup>bA</sup>	5,56 <sup>bA</sup>	1792,0 <sup>d</sup>	3105,3 <sup>ab</sup>	0,55 <sup>a</sup>	0,17	0,03 <sup>b</sup>	0,00	0,06 <sup>bB</sup>
Lupine	Bora	MEL	5,33 <sup>dA</sup>	5,27 <sup>dA</sup>	5,24 <sup>dA</sup>	5,23 <sup>dA</sup>	5,17 <sup>bcA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Borlu		5,35 <sup>cA</sup>	5,31 <sup>cA</sup>	5,28 <sup>cA</sup>	5,27 <sup>cA</sup>	5,21 <sup>bcA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Azuro		5,35 <sup>cA</sup>	5,26 <sup>eA</sup>	5,19 <sup>eA</sup>	5,17 <sup>eA</sup>	5,03 <sup>cA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ackerbohne	Limbo		5,92 <sup>a</sup>	5,90 <sup>aA</sup>	5,87 <sup>aA</sup>	5,86 <sup>aA</sup>	5,72 <sup>aA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Erbse	Lisa		5,87 <sup>bA</sup>	5,83 <sup>bA</sup>	5,79 <sup>bA</sup>	5,75 <sup>bA</sup>	5,41 <sup>bA</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Lupine	Bora	MSB	5,29 <sup>dB</sup>	5,24 <sup>dC</sup>	5,22 <sup>dD</sup>	5,21 <sup>dB</sup>	5,16 <sup>bA</sup>	2803,1 <sup>b</sup>	3028,7 <sup>c</sup>	0,00 <sup>b</sup>	0,17	0,02 <sup>bc</sup>	0,00	0,05 <sup>b</sup>
	Borlu		5,32 <sup>cC</sup>	5,29 <sup>cB</sup>	5,26 <sup>cB</sup>	5,25 <sup>cA</sup>	5,21 <sup>bA</sup>	2571,1 <sup>c</sup>	3139,6 <sup>a</sup>	0,00 <sup>b</sup>	0,16	0,05 <sup>a</sup>	0,00	0,06 <sup>b</sup>
	Azuro		5,34 <sup>cAB</sup>	5,24 <sup>dB</sup>	5,18 <sup>eAB</sup>	5,16 <sup>eAB</sup>	5,05 <sup>cA</sup>	3077,8 <sup>a</sup>	3074,0 <sup>c</sup>	0,32 <sup>b</sup>	0,20	0,00 <sup>c</sup>	0,00	0,07 <sup>b</sup>
Ackerbohne	Limbo		5,90 <sup>a</sup>	5,86 <sup>aC</sup>	5,81 <sup>aB</sup>	5,63 <sup>bB</sup>	4,29 <sup>dB</sup>	2884,9 <sup>b</sup>	3027,6 <sup>c</sup>	8,02 <sup>aA</sup>	0,19	0,03 <sup>ab</sup>	0,00	0,04 <sup>b</sup>
Erbse	Lisa		5,86 <sup>bA</sup>	5,82 <sup>bA</sup>	5,77 <sup>bAB</sup>	5,76 <sup>aA</sup>	5,69 <sup>aA</sup>	1792,0 <sup>d</sup>	3086,0 <sup>ab</sup>	0,47 <sup>b</sup>	0,16	0,03 <sup>ab</sup>	0,00	0,16 <sup>aA</sup>
Lupine	Bora	MSB+MEL	5,33 <sup>dA</sup>	5,26 <sup>dB</sup>	5,23 <sup>cB</sup>	5,15 <sup>cC</sup>	4,51 <sup>aB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Borlu		5,35 <sup>cdAB</sup>	5,30 <sup>cAB</sup>	5,21 <sup>dC</sup>	4,90 <sup>eB</sup>	4,51 <sup>aB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Azuro		5,36 <sup>cA</sup>	5,26 <sup>dA</sup>	5,18 <sup>eB</sup>	5,02 <sup>dC</sup>	4,04 <sup>bB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ackerbohne	Limbo		5,92 <sup>a</sup>	5,89 <sup>aAB</sup>	5,82 <sup>aB</sup>	5,60 <sup>bB</sup>	4,14 <sup>bC</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Erbse	Lisa		5,84 <sup>bB</sup>	5,79 <sup>bB</sup>	5,75 <sup>bB</sup>	5,67 <sup>aB</sup>	4,44 <sup>aB</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
±s.d.			0,00	0,007	0,00	0,00	0,095	85,081	33,983	1,410	0,032	0,000	0,000	0,032

OSM ... Osmolalität; MS ... Milchsäure; ES ... Essigsäure; PS ... Propionsäure; BS ... Summe aus Buttersäure und i-Valeriansäure; ΣAL ... Summe aus Ethanol, Propanol, Butanol und 2,3-Butandiol; KON ... Kontrolle ohne Zusatz; MEL ... Zusatz Melasse; MSB ... Zusatz Milchsäurebakterien; MEL+MSB ... Zusatz Melasse und Milchsäurebakterien; n.a.: nicht analysiert; ±s.d.:  $\sqrt{\text{MQR}}$ ; <sup>a,b</sup> unterschiedliche Kleinbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Arten innerhalb der Varianten; <sup>A,B</sup> unterschiedliche Großbuchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Körnerart

Tab. A6: Zucker und Oligosaccharidfraktionen in reifen, lagertrockenen Leguminosenkörnern und in Modellsilagen aus rückbefeuchtetem Körnerschrot (34 d Inkubation; n=3)

Art/ Sorte	Variante	TS		pH-Wert	Milchsäure		Galactose		Saccharose		Raffinose		Stachyose		Verbascose		Σ RFO		
		[%]									[% TS]								
Acker- bohne Limbo	ASM	65,3	-	6,3	-	n. a.	0,00	-	2,49	-	0,17	-	0,75	-	2,58	-	3,51	-	
	KON	64,8	±0,1	4,3 <sup>b</sup>	±0,1	4,5 <sup>b</sup>	±0,2	0,20 <sup>b</sup>	±0,04	0,00	±0,00	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,16	±0,04	0,00	±0,00	0,16	±0,04
	MEL	65,3	±0,0	4,5 <sup>a</sup>	±0,1	3,4 <sup>c</sup>	±0,5	0,36 <sup>b</sup>	±0,33	0,00	±0,00	0,12 <sup>a</sup>	±0,11	0,06	±0,10	0,00	±0,00	0,18	±0,19
	MSB1	65,5	±0,0	4,2 <sup>bc</sup>	±0,0	4,8 <sup>ab</sup>	±0,1	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,16 <sup>a</sup>	±0,01	0,11	±0,09	0,00	±0,00	0,27	±0,10
	MSB2	66,4	±0,1	4,1 <sup>bc</sup>	±0,0	5,0 <sup>ab</sup>	±0,1	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,17 <sup>a</sup>	±0,02	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,18	±0,02
	MSB3	65,3	±0,1	4,2 <sup>bc</sup>	±0,0	5,0 <sup>ab</sup>	±0,1	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,15 <sup>a</sup>	±0,02	0,14	±0,12	0,00	±0,00	0,29	±0,13
	MSB1+MEL	65,5	±0,1	4,2 <sup>bc</sup>	±0,0	5,0 <sup>ab</sup>	±0,0	0,69 <sup>a</sup>	±0,06	0,00	±0,00	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB2+MEL	64,9	±0,2	4,1 <sup>c</sup>	±0,0	5,3 <sup>a</sup>	±0,0	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,19 <sup>a</sup>	±0,07	0,10	±0,01	0,00	±0,00	0,30	±0,07
MSB3+MEL	65,1	±0,0	4,2 <sup>bc</sup>	±0,0	5,1 <sup>ab</sup>	±0,0	0,16 <sup>b</sup>	±0,28	0,00	±0,00	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,09	±0,15	0,00	±0,00	0,09	±0,15	
Erbse Lisa	ASM	63,2	-	6,3	-	n. a.	0,00	-	1,97	-	0,52	-	2,01	-	3,01	-	5,53	-	
	KON	61,9	±0,6	4,4 <sup>a</sup>	±0,2	3,9 <sup>b</sup>	±0,7	0,19 <sup>b</sup>	±0,18	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,05	±0,09	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,05	±0,09
	MEL	62,2	±0,5	4,3 <sup>ab</sup>	±0,0	4,4 <sup>b</sup>	±0,5	0,45 <sup>a</sup>	±0,07	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB1	62,5	±0,1	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,4 <sup>a</sup>	±0,1	0,50 <sup>a</sup>	±0,08	0,29 <sup>ab</sup>	±0,50	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB2	63,6	±0,1	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,3 <sup>a</sup>	±0,2	0,05 <sup>bc</sup>	±0,08	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB3	62,1	±0,1	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,5 <sup>a</sup>	±0,0	0,14 <sup>bc</sup>	±0,12	0,71 <sup>a</sup>	±0,62	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB1+MEL	62,6	±0,2	4,2 <sup>b</sup>	±0,0	5,4 <sup>a</sup>	±0,0	0,42 <sup>a</sup>	±0,02	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB2+MEL	61,9	±0,9	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,1 <sup>a</sup>	±0,2	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
MSB3+MEL	62,5	±0,2	4,2 <sup>b</sup>	±0,0	5,3 <sup>a</sup>	±0,1	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00 <sup>b</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	
Süß- lupine Bora	ASM	65,0	-	5,8	-	n. a.	0,51	-	2,85	-	0,88	-	3,77	-	1,89	-	6,54	-	
	KON	62,0	±0,1	4,3 <sup>a</sup>	±0,1	4,7 <sup>b</sup>	±0,7	0,00	±0,00	0,29	±0,25	0,00	±0,00	0,13	±0,23	0,06	±0,10	0,19	±0,33
	MEL	61,7	±0,3	4,3 <sup>a</sup>	±0,1	4,7 <sup>b</sup>	±0,6	0,00	±0,00	0,16	±0,27	0,00	±0,00	0,27	±0,47	0,08	±0,14	0,35	±0,61
	MSB1	62,2	±0,1	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,9 <sup>a</sup>	±0,1	0,29	±0,50	0,24	±0,41	0,00	±0,00	0,07	±0,12	0,00	±0,00	0,07	±0,12
	MSB2	62,9	±0,1	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,5 <sup>ab</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,15	±0,27	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB3	62,0	±0,1	4,2 <sup>ab</sup>	±0,0	5,6 <sup>a</sup>	±0,3	0,00	±0,00	0,41	±0,36	0,00	±0,00	0,18	±0,16	0,00	±0,00	0,18	±0,16
	MSB1+MEL	63,4	±0,3	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,9 <sup>a</sup>	±0,1	0,00	±0,00	0,57	±0,49	0,00	±0,00	0,09	±0,16	0,00	±0,00	0,09	±0,16
	MSB2+MEL	63,8	±0,4	4,1 <sup>b</sup>	±0,0	5,4 <sup>ab</sup>	±0,1	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,16	±0,17	0,00	±0,00	0,16	±0,17
MSB3+MEL	63,1	±0,3	4,2 <sup>ab</sup>	±0,0	5,7 <sup>a</sup>	±0,1	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,18	±0,16	0,00	±0,00	0,18	±0,16	
Bitter- lupine Azuro	ASM	65,0	-	5,6	-	n. a.	0,22	-	2,84	-	0,63	-	3,74	-	1,33	-	5,70	-	
	KON	63,0	±0,5	4,7 <sup>a</sup>	±0,2	2,7 <sup>i</sup>	±0,2	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,16	±0,14	0,05	±0,09	0,21	±0,20
	MEL	64,0	±0,5	4,5 <sup>b</sup>	±0,0	3,3 <sup>e</sup>	±0,3	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,09	±0,09	0,09	±0,16	0,18	±0,25
	MSB1	63,8	±0,0	4,0 <sup>c</sup>	±0,0	5,3 <sup>bcd</sup>	±0,0	1,42 <sup>a</sup>	±0,31	0,70 <sup>b</sup>	±0,31	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB2	64,6	±0,3	4,1 <sup>c</sup>	±0,0	5,2 <sup>cd</sup>	±0,1	0,40 <sup>bc</sup>	±0,70	0,00 <sup>c</sup>	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB3	63,5	±0,5	4,0 <sup>c</sup>	±0,0	5,8 <sup>a</sup>	±0,1	0,97 <sup>ab</sup>	±0,07	0,26 <sup>bc</sup>	±0,23	0,00	±0,00	0,08	±0,14	0,00	±0,00	0,08	±0,14
	MSB1+MEL	64,5	±0,1	4,0 <sup>c</sup>	±0,0	5,5 <sup>abc</sup>	±0,1	1,17 <sup>a</sup>	±0,43	1,35 <sup>a</sup>	±0,63	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB2+MEL	65,9	±0,6	4,1 <sup>c</sup>	±0,0	5,0 <sup>d</sup>	±0,0	0,99 <sup>ab</sup>	±0,04	0,50 <sup>bc</sup>	±0,04	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
MSB3+MEL	64,2	±0,3	4,0 <sup>c</sup>	±0,0	5,6 <sup>ab</sup>	±0,1	0,90 <sup>ab</sup>	±0,25	0,75 <sup>b</sup>	±0,16	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	

ASM: Ausgangsmaterial (n=1); KON: Kontrolle ohne Zusatz; MEL: Melasse (2 % der FM); MSB: Milchsäurebakterien (MSB1: *Lb. plantarum*, 3\*10<sup>5</sup> Kbe/g FM, ; MSB2: *Lb. plantarum*, 1\*10<sup>5</sup> Kbe/g FM; MSB3: *Lb. plantarum*, *Pediococcus acidilactici*, *E. faecium*, 3\*10<sup>5</sup> Kbe/g FM); n.a.: nicht analysiert; RFO: Σ Raffinose, Stachyose, Verbascose; <sup>ab</sup> signifikante (p < 0,05) Mittelwertdifferenzen zwischen den Varianten im Silierversuch einer Sorte

Tab. A7: Zucker und Oligosaccharidfraktionen im unsilierten Erntegut sowie in den Modellsilagen (90 Tage Lagerung) aus Leguminosenkörnern (65 % TS, n=3)

Art/ Sorte	Variante	TS		pH-Wert	Milchsäure	Galactose	Saccharose	Raffinose		Stachyose	Verbascose	$\Sigma$ RFO							
		[%]						[% TS]											
Ackerbohne	ASM	65,3	-	6,6	-	n. a.	2,85	-	2,42	-	0,62	-	1,06	-	1,49	-	3,17	-	
	KON	65,6	$\pm 0,5$	4,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	4,9 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,44	$\pm 0,38$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,44	$\pm 0,38$
Limbo	MEL	65,9	$\pm 0,5$	4,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	4,7 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,48	$\pm 0,12$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,48	$\pm 0,12$
Versuch 2005	MSB	66,1	$\pm 0,0$	4,1 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	5,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,26	$\pm 0,23$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,26	$\pm 0,23$
	MSB+MEL	66,1	$\pm 0,2$	4,1 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	5,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	0,00	$\pm 0,00$	0,39	$\pm 0,68$	0,39	$\pm 0,34$	0,62	$\pm 1,08$	0,41	$\pm 0,70$	1,42	$\pm 2,03$
Limbo Versuch 2006	ASM	66,9	-	6,6	-	n. a.	0,00	-	1,31	-	0,00	-	0,90	-	2,40	-	3,30	-	
	KON	65,5	$\pm 0,3$	4,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	4,3 <sup>c</sup>	$\pm 0,3$	0,34	$\pm 0,01$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
Versuch 2006	MEL	65,3	$\pm 0,2$	4,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	4,6 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	0,54	$\pm 0,05$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
	MSB	66,2	$\pm 0,2$	4,2 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	5,1 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	0,56	$\pm 0,04$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
	MSB+MEL	64,8	$\pm 0,2$	4,1 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	5,4 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	0,98	$\pm 0,31$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
Erbse Lisa	ASM	64,4	-	6,5	-	n. a.	2,07	-	2,76	-	0,52	-	1,80	-	1,67	-	3,98	-	
Lisa	KON	63,7	$\pm 0,3$	4,4 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	4,5 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
	MEL	64,3	$\pm 0,4$	4,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	4,5 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	0,64	$\pm 1,10$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,14	$\pm 0,24$	0,00	$\pm 0,00$	0,14	$\pm 0,24$
Versuch 2005	MSB	63,5	$\pm 0,5$	4,1 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	5,5 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	0,23	$\pm 0,28$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,09	$\pm 0,15$	0,00	$\pm 0,00$	0,09	$\pm 0,15$
	MSB+MEL	63,6	$\pm 0,1$	4,2 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	5,5 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,20	$\pm 0,18$	0,00	$\pm 0,00$	0,20	$\pm 0,18$
Lupine (süß)	ASM	67,2	-	5,8	-	n. a.	0,00	-	2,94	-	0,85	-	4,03	-	1,53	-	6,41	-	
	KON	65,5	$\pm 0,7$	5,3 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	1,1 <sup>c</sup>	$\pm 0,1$	0,00 <sup>b</sup>	$\pm 0,00$	0,80 <sup>a</sup>	$\pm 0,08$	0,33	$\pm 0,10$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,33	$\pm 0,10$
Borlu	MEL	66,7	$\pm 0,5$	4,7 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	2,7 <sup>b</sup>	$\pm 0,1$	1,27 <sup>ab</sup>	$\pm 0,19$	0,49 <sup>b</sup>	$\pm 0,04$	0,11	$\pm 0,09$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,11	$\pm 0,09$
	MSB	66,4	$\pm 0,1$	4,2 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	4,8 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	2,18 <sup>a</sup>	$\pm 0,81$	0,78 <sup>a</sup>	$\pm 0,08$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
Versuch 2005	MSB+MEL	66,1	$\pm 0,0$	4,2 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	4,9 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	1,31 <sup>ab</sup>	$\pm 1,13$	0,70 <sup>a</sup>	$\pm 0,16$	0,21	$\pm 0,37$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,21	$\pm 0,37$
	Bora	ASM	67,1	-	5,8	-	n. a.	1,90	-	3,00	-	0,83	-	3,71	-	1,58	-	6,12	-
Bora	KON	66,0	$\pm 0,9$	4,9 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	2,1 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,59 <sup>a</sup>	$\pm 0,16$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
	MEL	66,4	$\pm 0,1$	4,4 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	4,1 <sup>b</sup>	$\pm 0,1$	0,00	$\pm 0,00$	0,25 <sup>ab</sup>	$\pm 0,04$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
Versuch 2005	MSB	66,0	$\pm 0,1$	4,2 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	5,6 <sup>a</sup>	$\pm 0,2$	0,00	$\pm 0,00$	0,13 <sup>b</sup>	$\pm 0,22$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
	MSB+MEL	65,8	$\pm 0,2$	4,2 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	5,7 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	0,00	$\pm 0,00$	0,13 <sup>b</sup>	$\pm 0,23$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$
Lupine (bitter)	ASM	66,1	-	5,8	-	n. a.	2,21	-	3,03	-	0,71	-	3,24	-	1,59	-	5,55	-	
	KON	66,5	$\pm 0,3$	4,8 <sup>a</sup>	$\pm 0,0$	1,8 <sup>d</sup>	$\pm 0,0$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,08	$\pm 0,07$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,08	$\pm 0,07$
Azuro	MEL	66,6	$\pm 0,0$	4,5 <sup>b</sup>	$\pm 0,0$	3,4 <sup>c</sup>	$\pm 0,1$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,09	$\pm 0,08$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,09	$\pm 0,08$
	MSB	66,7	$\pm 0,4$	4,1 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	5,3 <sup>b</sup>	$\pm 0,1$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,10	$\pm 0,17$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,10	$\pm 0,17$
Versuch 2005	MSB+MEL	65,6	$\pm 0,4$	4,1 <sup>c</sup>	$\pm 0,0$	5,7 <sup>a</sup>	$\pm 0,1$	0,00	$\pm 0,00$	0,08	$\pm 0,13$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$	0,00	$\pm 0,00$

ASM: Ausgangsmaterial (n=1); KON: Kontrolle ohne Zusatz; MEL: Melasse (2 % der FM); MSB: Milchsäurebakterien (*Lb. plantarum*, 3\*10<sup>5</sup> KBE/g FM, DSM 8862, 8866); n.a.: nicht analysiert; RFO (raffinose family of oligosaccharides): Raffinose, Stachyose, Verbascose; <sup>ab</sup> signifikante (p < 0,05) Mittelwertdifferenzen zwischen den Varianten im Silierversuch innerhalb einer Sorte



Tab. A8: Zucker und Oligosaccharidfraktionen im unsilierten Erntegut sowie in den Modellsilagen (90 Tage Lagerung) aus Leguminosenkörnern (75 % TS, n=3)

Art/ Sorte	Variante	TS		pH-Wert		Milchsäure	Galactose	Saccharose	Raffinose				Stachyose		Verbascose		Σ RFO		
		[%]							[% TS]										
Ackerbohne	ASM	75,6	-	6,4	-	n, a,	3,09	-	2,23	-	0,37	-	0,88	-	1,67	-	2,92	-	
Limbo	KON	74,9	±0,1	6,2 <sup>a</sup>	±0,1	0,0 <sup>d</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
Versuch	MEL	74,6	±0,2	6,2 <sup>a</sup>	±0,0	0,2 <sup>c</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,18	±0,31	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
2005	MSB	74,6	±0,2	6,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,4 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB+MEL	74,7	±0,1	5,8 <sup>b</sup>	±0,1	0,6 <sup>a</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
Limbo	ASM	77,0	-	6,5	-	n, a,	0,00	-	1,32	-	0,00	-	0,79	-	2,19	-	2,98	-	
Versuch	KON	75,5	±0,4	6,2 <sup>a</sup>	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,51	±0,05	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
2006	MEL	76,0	±0,5	6,1 <sup>b</sup>	±0,0	0,1 <sup>a</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,48	±0,07	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB	74,9	±0,2	6,2 <sup>a</sup>	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,48	±0,02	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB+MEL	75,0	±0,7	6,1 <sup>b</sup>	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,38	±0,05	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
Erbse	ASM	75,1	-	6,6	-	n, a,	1,85	-	2,50	-	0,58	-	1,71	-	2,10	-	4,39	-	
Lisa	KON	74,5	±0,2	6,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,0 <sup>c</sup>	±0,0	0,00	±0,00	2,77 <sup>a</sup>	±1,24	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MEL	74,7	±0,3	5,9 <sup>b</sup>	±0,0	0,2 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,50 <sup>b</sup>	±0,87	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB	74,6	±0,3	6,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,1 <sup>c</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,69 <sup>b</sup>	±0,67	0,00	±0,00	0,02	±0,03	0,00	±0,00	0,02	±0,03
	MSB+MEL	74,2	±0,2	5,8 <sup>a</sup>	±0,0	0,5 <sup>a</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,39 <sup>b</sup>	±0,67	0,00	±0,00	0,04	±0,08	0,00	±0,00	0,04	±0,08
Lupine (süß)	ASM	73,9	-	6,0	-	n, a,	1,89	-	3,06	-	0,85	-	3,77	-	1,51	-	6,14	-	
	KON	74,2	±0,9	5,7	±0,0	0,0 <sup>c</sup>	±0,0	0,00	±0,00	1,64 <sup>b</sup>	±0,28	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
Borlu	MEL	73,2	±0,3	5,7	±0,0	0,1 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	2,82 <sup>a</sup>	±0,49	0,18	±0,30	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,18	±0,30
	MSB	72,9	±0,6	5,7	±0,0	0,1 <sup>c</sup>	±0,0	0,00	±0,00	2,27 <sup>ab</sup>	±0,49	0,26	±0,24	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,26	±0,24
	MSB+MEL	72,6	±0,1	5,7	±0,0	0,2 <sup>a</sup>	±0,0	0,00	±0,00	2,14 <sup>ab</sup>	±0,28	0,16	±0,27	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,16	±0,27
Bora	ASM	74,6	-	5,9	-	n, a,	1,78	-	2,95	-	0,89	-	3,84	-	1,65	-	6,37	-	
	KON	75,4	±0,1	5,7	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,69	±0,59	1,82	±0,91	0,37	±0,14	0,15	±0,13	0,00	±0,00	0,51	±0,26
	MEL	75,1	±0,6	5,6	±0,0	0,1 <sup>a</sup>	±0,0	0,00	±0,00	3,08	±0,63	0,86	±0,49	0,25	±0,10	0,14	±0,25	1,25	±0,81
	MSB	74,9	±0,0	5,7	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	1,22	±0,37	2,18	±0,52	0,47	±0,06	0,10	±0,04	0,15	±0,06	0,71	±0,08
	MSB+MEL	74,8	±0,1	5,6	±0,0	0,1 <sup>ab</sup>	±0,0	1,43	±1,31	2,92	±0,39	0,35	±0,18	0,20	±0,07	0,22	±0,12	0,76	±0,35
Lupine (bitter)	ASM	70,8	-	6,1	-	n, a,	1,98	-	3,28	-	0,72	-	3,37	-	1,08	-	5,16	-	
	KON	70,6	±1,3	5,7	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,16 <sup>b</sup>	±0,28	0,07	±0,06	0,25	±0,23	0,00	±0,00	0,32	±0,28
Azuro	MEL	71,2	±0,4	5,6	±0,0	0,1 <sup>a</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,34 <sup>ab</sup>	±0,37	0,00	±0,00	0,18	±0,16	0,19	±0,23	0,37	±0,30
	MSB	71,0	±0,3	5,7	±0,0	0,0 <sup>b</sup>	±0,0	0,00	±0,00	1,58 <sup>a</sup>	±1,16	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
	MSB+MEL	70,1	±0,1	5,6	±0,0	0,1 <sup>ab</sup>	±0,0	0,00	±0,00	0,72 <sup>ab</sup>	±0,63	0,00	±0,00	0,09	±0,15	0,00	±0,00	0,09	±0,15

ASM: Ausgangsmaterial (n=1); KON: Kontrolle ohne Zusatz; MEL: Melasse (2 % der FM); MSB: Milchsäurebakterien (*Lb. plantarum*, 3\*10<sup>5</sup> KBE/g FM, DSM 8862, 8866); n.a.: nicht analysiert; RFO (raffinose family of oligosaccharides): Raffinose, Stachyose, Verbascose; <sup>a,b</sup> signifikante (p < 0,05) Mittelwertdifferenzen zwischen den Varianten im Silierversuch innerhalb einer Sorte

