

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

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae (Dr. agr.))

an der Professur für Ernährungsphysiologie und Tierernährung

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

Rostock, 2012

vorgelegt von:

Dipl.-agr. Ing. Annett Gefrom

aus Rostock

geboren am 11.07.1978 in Berlin

Die Frage, was man alles aus Lupinen machen kann, wurde eindrucksvoll beim „Lupinenfestessen“ der Gesellschaft für Angewandte Botanik im Oktober 1918 in Hamburg demonstriert: Auf einem Tischtuch aus Lupinenfasern wurden eine Lupinensuppe, danach ein in Lupinenöl gebratenes und mit Lupinenextrakt gewürztes Lupinensteak serviert. Dazu wurden gereicht: Lupinenmargarine mit 20% Lupinenbestandteilen, Käse aus Lupineneiweiß, Lupinenschnaps und Lupinenkaffee. Erhältlich waren außerdem Lupinenseife sowie Papier und Briefumschläge mit Lupinenklebstoff.

„Der Boden, auf dem Ackerbohnen angebaut werden, freut sich gleich, als ob er eine Düngung erhalten habe.“

Plinius, der Ältere (23 - 79 n. Chr.)



A1: Erbse bei Feldaufgang



A2: Ackerbohne bei Feldaufgang



A3: Lupine bei Feldaufgang



A4: Blüte Ackerbohne



A5: Blüte Futtererbse



A6: Blüte Blaue Lupine ('Borlu')



A7: Blüte Blaue Lupine ('Bora')



A8: Ackerbohne



A9: Futtererbse



A10: Blaue Lupine



A11: Blaue Lupine

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	i
ABSTRACT	iv
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	vii
1 EINLEITUNG	1
2 SCHRIFTTUM	3
2.1 EINHEIMISCHE GROßKÖRNIGE LEGUMINOSEN – BOTANIK, ANBAU UND BEDEUTUNG	3
2.2 FUTTERWERTPOTENZIAL VON ACKERBOHNEN, ERBSEN UND LUPINEN BEI DER KÖRNERNUTZUNG	8
2.2.1 <i>Nutritive Inhaltsstoffe</i>	8
2.2.2 <i>Antinutritive Inhaltsstoffe</i>	13
2.2.3 <i>Energetischer Futterwert, Verdaulichkeit und Einsatzmengen in der Ration mit Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern bei Monogastriern</i>	20
2.3 KONSERVIERUNGSVERFAHREN FÜR KÖRNER GROßSAMIGER LEGUMINOSEN UND REDUZIERUNG VON ANTINUTRITIVEN INHALTSSTOFFEN	25
2.3.1 <i>Konservierungsverfahren bei Körnernutzung</i>	25
2.3.2 <i>Reduzierung von antinutritiven Inhaltsstoffen</i>	26
3 AUFGABEN- UND ZIELSTELLUNG	31
4 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUM FUTTERWERTPOTENZIAL UND ZUR SILIERUNG VON ACKERBOHNEN-, ERBSEN- UND LUPINENKÖRNERN	34
4.1 MATERIAL UND METHODEN.....	34
4.1.1 <i>Material, Probengewinnung und Probenaufbereitung</i>	34
4.1.1.1 <i>Reife, lagertrockene Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner</i>	34
4.1.1.2 <i>Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten bei Ernte mit hohen Restfeuchtegehalten</i>	34
4.1.2 <i>Prüfung der Vergärbarkeit von Körnern verschiedener Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten</i>	36
4.1.2.1 <i>Rostocker Fermentationstest nach PIEPER et al. (1989) und ZIERENBERG (2000)</i> 36	
4.1.2.2 <i>Herstellung von Modellsilagen und Aufbereitung von Silagematerial</i>	39
4.1.2.2.1 <i>Modellsilagen aus rückbefeuchtetem Körnerschrot zum Screening verschiedener Milchsäurebakterienpräparate</i>	41
4.1.2.2.2 <i>Modellsilagen aus mit hohem Restfeuchtegehalt geernteten Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern</i>	41
4.1.3 <i>Chemische Analysen</i>	42
4.1.3.1 <i>Probenaufbereitung zur Analyse</i>	42
4.1.3.2 <i>Charakterisierung von chemischen Silierparametern und Bestimmung der nutritiven Inhaltsstoffe</i>	43
4.1.3.3 <i>Schätzung des energetischen Futterwertes</i>	44
4.1.3.4 <i>Analyse der antinutritiven Inhaltsstoffe</i>	45
4.1.3.5 <i>Bestimmung der Gärprodukte und Veränderungen im Silierprozess</i>	47
4.1.4 <i>Statistische Auswertung</i>	49
4.2 ERGEBNISSE	51
4.2.1 <i>Ergebnisse zum Futterwertpotenzial großsamiger Leguminosenkörner</i>	51
4.2.1.1 <i>Nutritive Futterwertparameter und Schätzung des energetischen Futterwertes bei reifen, lagertrockenen Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern</i>	51
4.2.1.2 <i>Nutritive Futterwertparameter und Schätzung des energetischen Futterwertes in Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern mit hohem Restfeuchtegehalt</i>	53

4.2.1.3	<i>Antinutritive Inhaltsstoffe in reifen, lagertrockenen Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern</i>	55
4.2.1.4	<i>Antinutritive Inhaltsstoffe in mit hohen Restfeuchtegehalten geernteten Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern</i>	57
4.2.2.	<i>Ergebnisse zur Prüfung der Silierbarkeit von großsamigen, einheimischen Leguminosenkörnern</i>	59
4.2.2.1	<i>Charakterisierung der chemischen Silierparameter</i>	59
4.2.2.1.1	<i>Reife, lagertrockene Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner</i>	59
4.2.2.1.2	<i>Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner bei Ernte mit hohen Feuchtegehalten</i>	59
4.2.2.2	<i>In-vitro-Untersuchung zur Prüfung der Vergärbarkeit von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern mit Hilfe des Rostocker Fermentationstestes</i>	61
4.2.2.2.1	<i>Reife, lagertrockene Leguminosenkörner verschiedener Arten und Sorten</i>	61
4.2.2.2.2	<i>pH-Wert-Verlauf und Gärsäurespektrum im Rostocker Fermentationstest mit Leguminosenkörnern bei Ernte mit hohen Restfeuchtegehalten</i>	66
4.2.2.3	<i>Auswertung der Modellsilagen zum Screening kommerziell verfügbarer Milchsäurebakterienpräparate mit unterschiedlichen Arten und Stämmen (Silierung reifer, lagertrockener Leguminosenkörner)</i>	69
4.2.2.4	<i>Auswertung der Modellsilagen aus mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten zur Bestimmung des für Milchsäuregärung und enzymatische Umsetzungen notwendigen Wassers</i>	71
4.2.2.4.1	<i>Ergebnisse zur Auswirkung der Silierung auf die Gehalte an nutritiven Inhaltsstoffen</i>	79
4.2.2.4.2	<i>Ergebnisse zur Auswirkung der Silierung auf die Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen</i>	80
4.2.2.4.3	<i>Auswirkungen verschiedener Milchsäurebakterienpräparate auf die mögliche Reduzierung antinutritiver Substanzen im Silierprozess</i>	83
5	DISKUSSION	86
5.1	FUTTERWERTPOTENZIAL VON ACKERBOHNEN-, ERBSEN- UND LUPINENKÖRNERN	86
5.1.1	<i>Nutritive Futterwertparameter</i>	86
5.1.2	<i>Antinutritive Futterwertparameter</i>	89
5.2	SILIERBARKEIT VON GROBSAMIGEN EINHEIMISCHEN LEGUMINOSENKÖRNERN.....	92
5.2.1	<i>Charakterisierung der chemischen Silierparameter</i>	92
5.2.2	<i>In-vitro-Untersuchungen zur Prüfung der Vergärbarkeit</i>	98
5.2.2.1	<i>Rostocker Fermentationstest nach PIEPER et al. (1989) und ZIERENBERG (2000)</i> 98	
5.2.2.2	<i>Modellsilagen aus mit unterschiedlichen TS-Gehalten geernteten Leguminosenkörnern verschiedener Arten und Sorten</i>	101
5.2.2.2.1	<i>Auswirkungen der Silierung auf die Gehalte an nutritiven Inhaltsstoffen</i>	104
5.2.2.2.2	<i>Verdaulichkeit der nutritiven Nährstoffe und energetischer Futterwert</i>	106
5.2.2.2.3	<i>Auswirkungen der Silierung auf die Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen</i>	107
5.3	TECHNISCHE FRAGESTELLUNGEN ZUR VERFAHRENSGESTALTUNG DER SILIERUNG VON FEUCHTEN LEGUMINOSENKÖRNERN	110
6	SCHLUSSFOLGERUNG	113
7	ZUSAMMENFASSUNG	115
8	LITERATURVERZEICHNIS	119
9	TABELLEN-, ABBILDUNGS- UND ANHANGSVERZEICHNIS	
10	ANHANG	
	Thesen	
	Dank	
	Lebenslauf	
	Publikationen	

Kurzfassung

Körnerleguminosen bieten aufgrund ihrer hohen Protein- und Energiegehalte ein hochwertiges Futtermittel. Durch die uneinheitliche Abreife der Bestände ist zum konventionellen Erntetermin zumeist eine kostenintensive technische Trocknung der Körner notwendig. Die Silierung von feuchten Leguminosenkörnern könnte ein preiswertes und ökologisches Konservierungsverfahren für die Produktion eiweißreicher Futtermittel im konventionell und ökologisch wirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieb sein. Aus technologischen Aspekten bietet die Ernte und Konservierung der noch feuchten Leguminosenkörner durch Milchsäurebakterien weitere Vorteile:

- Unabhängigkeit des Erntezeitpunktes vom Trockensubstanzgehalt
- frühe Feldräumung und damit effektivere Nutzung der Ackerflächen
- Minimierung der Feldverluste (Lager- und Druschverluste)
- reduzierte Kosten durch Einsparung der technischen Nachtrocknung

Ziel der vorliegenden Arbeit war neben den Untersuchungen zur Siliereignung die Prüfung einer möglichen Futterwertverbesserung durch die Reduzierung der Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor, Tannine). Bei durch milchsäure Fermentation nachgelagerter Reduzierung von antinutritiven Inhaltsstoffen, welche für die Pflanze gleichzeitig eine Schutzfunktion vor Krankheitserregern innehaben, könnten sich zukünftige Anbauentscheidungen verstärkt nach der phytosanitären Situation richten.

Die Untersuchungen wurden mit reifen, lagertrockenen Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern verschiedener Sorten sowie mit Leguminosenkörnern verschiedener Vegetationsjahre (2005 und 2006) bei Ernte mit hohem Restfeuchtegehalt (65 % und 75 % TS) durchgeführt. Im Ausgangsmaterial erfolgte die Bestimmung der nutritiven Futterwertparameter, ausgewählter antinutritiven Inhaltsstoffe (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor, Tannine) und der chemischen Silierparameter. Die Fermentationsstudien (Rostocker Fermentationstest nach PIEPER *et al.* 1989 und ZIERENBERG 2000 sowie der Bereitung von Modellsilagen mit 65 % und 75 % TS) erfolgten unter dem Einsatz verschiedener biologischer Silierzusätze (3 Wiederholungen pro Variante):

- Kontrolle (ohne Silierzusatz)
- Melassezusatz (2 % der Frischmasse (FM))
- Milchsäurebakterien (MSB; homofermentativ, *Lb. plantarum*; $3 \cdot 10^5$ KbE/g FM; DSM 8862, 8866)
- kombinierte Zugabe von Milchsäurebakterien + Melasse (2 % der FM)

Neben den üblichen Gärparametern wurden die Osmolalität und die aerobe Stabilität analysiert. Anhand der Gärqualität der untersuchten Körnerschrotsilagen im Trockensubstanzbereich von 65–75 % und weiteren Ergebnissen erweist sich die Silierung als ein geeignetes Verfahren zur Konservierung. Der Zusatz von Milchsäurebakterien sichert den Gärerfolg durch eine frühe und ausgeprägte Milchsäurebildung. Die Bildung von Essigsäure und Alkohol wurde reduziert. Im hohen TS-Bereich von 75 % war die milchsäure Fermentierung eingeschränkt und das Silagematerial sollte zur sicheren Milchsäuregärung auf 65 % TS rückbefeuchtet werden. Eine Reduzierung des Phytat-Phosphor bzw. des Alkaloidgehaltes bei Lupinenschrotsilagen durch den Silierprozess konnte vorerst nicht nachgewiesen werden. Durch den Silierprozess wurden aber die ernährungsphysiologisch flatugen wirkenden Oligosaccharide (Raffinose, Stachyose, Verbascose) sowie die antinutritiv wirkenden Tannin und Phenolverbindungen in Ackerbohnen- und Erbsenschrotsilagen reduziert.

Aus den methodischen Untersuchungen zur Silierung von Körnerschrotsilagen mit hohem Restfeuchtegehalt lassen sich anhand der erzielten Ergebnisse folgende wesentliche Aussagen ableiten:

- a. Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner stellen aufgrund ihres hohen Energie- und Proteingehaltes sowie dessen Zusammensetzung ein wertvolles Futtermittel dar.
- b. Trotz ungünstiger chemischer Siliereigenschaften ist die Konservierung von Leguminosenkörnern auch im hohen Trockensubstanzbereich möglich. Die konservierende Wirkung durch Säurebildung oder CO₂-Atmosphäre hängt in erster Linie vom Restfeuchtegehalt ab. Das im Körnerschrot befindliche Restwasser ermöglicht im Silierprozess enzymatische Umsetzungen der in der wässrigen Phase gelösten bzw. in suspendierter Form vorliegenden Stoffe. Eine umfassende Wirkung von pflanzeigenen und mikrobiellen Enzymen ist aufgrund der Zerkleinerung der Körner und der Einwirkzeiten während der Silierung möglich.
- c. Die Konservierung von Körnerschrot bei ca. 75 % TS ist weniger auf dem Prinzip der milchsäuren Fermentation als durch anaeroben Verhältnisse und den hohen Osmolalitäten zu begründen. Die Konservierung der Körner in diesem TS-Bereich ist über die luftdichte Lagerung möglich. Im Hinblick auf die Verfahrenssicherheit sind für die milchsäure Silierung unter Praxisbedingungen im Siliergut Restfeuchten von 35 % zu empfehlen.
- d. Erntefeuchte Körner sind problemlos auch ohne den Einsatz von Silierhilfsmitteln durch milchsäure bzw. anaerobe Konservierung lagerfähig. Der Einsatz leistungsfähiger Milchsäurebakterienpräparate erhöht die Sicherheit des Gärprozesses. Der Einsatz

zusätzlicher Zuckerquellen zur Silierung ist nicht notwendig. Leguminosen sind aufgrund der hohen Gehalte an Oligosacchariden und deren Aufschluss im Silierprozess – trotz ungünstiger chemischer Siliereigenschaften – durch Milchsäuregärung konservierbar.

- e. Die Gehalte an nutritiven Futterwertparametern sind bis auf die fermentierbaren Kohlenhydrate durch den Silierprozess nicht beeinträchtigt und so bleibt der geschätzte hohe Futter- und Energiewert von Leguminosen in den Körnerschrotsilagen erhalten. Im Rahmen der milchsäuren Fermentation erfolgt eine Reduzierung der Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen (Oligosaccharide, Tannine) und somit eine Verbesserung des Futterwertes. Eine Reduzierung des Phytat-Phosphors bzw. Alkaloidgehaltes durch den Silierprozess konnte aufgrund der unregelmäßigen Dynamik der Gehaltsgrößen vorerst nicht angenommen werden.

Die Silierung von vor der Abreife geernteten Leguminosenkörnern mit hohem Restfeuchtegehalt kann somit als eine geeignete Möglichkeit zur Konservierung empfohlen werden. Unter Beachtung der ökonomischen und arbeitsorganisatorischen Vorteile im Vergleich zu der diskutierten Maßnahme der chemischen Konservierung bietet die Form der milchsäuren Körnerfermentation unter anaeroben Bedingungen ein ökologisch konformes Bearbeitungsverfahren und ist daher auch für den ökologischen Landbau interessant.

Schlüsselbegriffe: Körnerleguminosen, milchsäure Feuchtkornsilierung, nutritive und antinutritive Inhaltsstoffe

Abkürzungsverzeichnis

AB	Ackerbohne
Abb.	Abbildung
ADF	Saure-Detergenzienfaser
ADL	Saure-Detergenzienlignin
AL	Alkohol (Σ aus Ethanol, Propanol, Butanol, Butandiol)
ALK	Alkohol
aqua dest.	destilliertes Wasser
AS	Aminosäure
ASM	Ausgangsmaterial
a_w-Grenze	Wasseraktivitätsgrenze
BBCH-Code	Phänologische Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen, abgeleitet von: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BS	Buttersäure
c	Konzentration osmotisch wirksamer Teilchen
CCM	Corn-Cob-Mix
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DM	dry matter
DOS	verdauliche organische Substanz
DSM-Nummer	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen
E	Erbse
<i>E. faecium</i>	<i>Enterococcus faecium</i>
ES	Essigsäure
EW	Einwaage
F	Verdünnungsfaktor aus (50 g Einwaage + 200 ml aqua dest.) nach BLOCK & WEISSBACH (1982): = (200 ml + (50 g - (% TS * 50 g) : 100)) : 50 g
FFS	Flüchtige Fettsäuren
FM	Frischmasse
GAP	Gemeinsame Europäische Agrarpolitik
GC-MS	Gaschromatographie
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GP	Gesamtphenol
Gesamt-P	Gesamt-Phosphor
Ges-N/ Gesamt-N	Gesamt-Stickstoff
h	Stunde
HCl	Salzsäure
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
ILN	Institut für Landnutzung der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät Rostock
k. A.	keine Angaben
KbE	Kolonie bildende Einheiten
KCl	Kaliumchloridlösung
kfK	keimfähige Körner
KON	Kontrolle
konz.	konzentriert
KT	kondensierte Tannine
LAB	Lactic acid bacteria
<i>L. angust.</i>	<i>Lupinus angustifolius</i>
LD₅₀	mittlere letale Dosis
<i>Lb. plantarum</i>	<i>Lactobacillus plantarum</i>
LALLF	Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg Vorpommern
LM	Lebendmasse
IS	lehmiger Sand
Lsg.	Lösung
max.	maximal

ME MJ	Megajoule Umsetzbare Energie
MEL	Melasse
ME_s	Umsetzbare Energie Schwein
ME_G	Umsetzbare Energie Hühnergeflügel
min.	mindestens
MS	Milchsäure
MSB	Milchsäurebakterien
mval	Kationenaustauschkapazität
NCIMB	National Collection of Industrial and Marine Bacteria, Aberdeen, Scotland
NDF	Neutral-Detergenzienfaser
NfE	N-freie Extraktstoffe (XX)
NH₃-N	Ammoniak-Stickstoff
NPN	Nicht-Protein-Stickstoff
NS (LJM)	Niederschlag (langjährige Mittel)
NSP	Nicht Stärke Polysaccharide
NTP	Nicht-Tanninphenol
n. a.	nicht analysiert
OS	Originalsubstanz
OSM/ osmol/ mosmol	Osmolalität/ Milliosmol
<i>Ped. acidilactici</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>
P	Phosphor
Phytat-P	Phytatphosphor
PK	Pufferkapazität
PS	Propionsäure
pV_k	präzäkale Verdaulichkeit
PVPP	Polyvinylpolypyrrolidon
RFO	Oligosaccharide (raffinose family of oligosaccharides); Raffinose, Stachyose, Verbascose
RFT	Rostocker Fermentationstest
RP	Reinprotein
SNK	Student-Newman-Keuls-Test
SI	anlehmiger Sand
Tab.	Tabelle
Tha	Tausend Hektar
TP	Tanninphenol
TS	Trockensubstanz
TS_{min}	Mindesttrockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VerfVerbG	Verfütterungsverbotsgesetz
VK	Vergärbarkeitskoeffizient
WLK	wasserlösliche Kohlenhydrate
WPSA	World's Poultry Science Association
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Rohstärke
XZ	Rohzucker
XZ_{MEL}	Zucker: XZ+Melasse (2 % der FM)
XZ_{RFO}	Zucker + Raffinose, Stachyose, Verbascose
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH
Z/PK	Quotient aus Zucker und Pufferkapazität

1 Einleitung

Weltweit werden Körnerleguminosen für die menschliche sowie die tierische Ernährung als Proteinlieferant und zur Ölgewinnung genutzt. Leguminosen wie Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen stellen aufgrund ihres hohen Protein- und Energiegehaltes ein wertvolles Futtermittel dar. Seit dem Fütterungsverbot von tierischen Eiweißfuttermitteln (VerfVerbG 2001) und im Kontext der umstrittenen Importe gentechnisch veränderter Pflanzen, sowie dem Ziel der Kreislaufwirtschaft und Regionalisierung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion, sind Körnerleguminosen als alternative heimische Eiweißpflanzen für die bedarfsgerechte Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere von besonderem Interesse.

Der für die ausgewogene Eiweiß- und Aminosäureversorgung durch pflanzliche Rohproteinträger zu substituierende Anteil des aus dem Tiermehlverbot resultierenden Eiweißdefizits in der Europäischen Union wurde nach Angaben der EU-Kommission auf ein erforderliches Äquivalent von rund 2 Mio. t Tiermehl für Futtermittel jährlich kalkuliert (ANON 2001a). Angesichts eines weltweit zunehmenden Bedarfes an Rohprotein in der Fütterung wird die Bedeutung der Eiweißergänzungsfuttermittel verstärkt zunehmen. Derzeit kann die Deckung des Proteinbedarfs landwirtschaftlicher Nutztiere in der Europäischen Union aber nur durch Importe gesichert werden. Dafür werden bis zu 65 % der Eiweißträger für die Verwendung in der Futtermittelindustrie von der EU (EU-27) vor allem in Form von Sojabohnen (12,9 Mio. t) und Sojaschrot (23,6 Mio. t) aus den USA, Brasilien und Argentinien importiert (SCHUMACHER 2006, ZINKE 2011). Als Konsequenz der steigenden Nachfrage an entsprechend kostengünstigen und qualitativ hochwertigen Proteinquellen hat die EU-Kommission (ANON 2001b) bereits darauf hingewiesen, dass in Europa der Anbau von Futterpflanzen wie einheimische Körnerleguminosen gefördert werden sollte, um dieses Proteindefizit abzubauen. Aus diesem Grund erfolgt aktuell auch eine Verstärkung der integrierten Forschung über einheimische Proteinträger zur Bedarfsdeckung landwirtschaftlicher Nutztiere und zur Zukunftssicherung in der europäischen Landwirtschaft. Obwohl langfristig der Import von Sojaprodukten weiterhin für die Proteinversorgung entscheidend sein wird, könnte durch die Erweiterung der Anbaufläche heimischer Körnerleguminosen (derzeit 1–7 % der Ackerfläche verschiedener EU-Staaten; KLIEM & HEIM 2006) die Proteinversorgung in Kombination mit einzelnen, großtechnisch gewonnenen Aminosäuren im Wesentlichen stabilisiert werden. Aufgrund ihrer vielseitig geschätzten pflanzenbaulichen Eigenschaften und positiven Vorfruchtwirkung sind sie zudem in einer ausgewogenen Fruchtfolge von großer Bedeutung. Leguminosen binden über die Symbiose mit Knöllchenbakterien beträchtliche Mengen an Luftstickstoff (LÜTKE ENTRUP *et al.* 2003).

Dieser Beitrag zur Minimierung von Umweltbelastungen (z. B. Energieverbrauch bei der Produktion von Mineraldüngern, Einfluss solcher Chemikalien auf die Umgebung, CO₂-Emissionen) muss in der ökonomischen Bilanz diesen Kulturpflanzen zugerechnet werden. Bei der Körnernutzung gelten jedoch die uneinheitliche Abreife der Bestände und die dadurch mögliche erhebliche Variation des Restwassergehaltes in der Erntepartie für eine langfristige Lagerung als problematisch. Zur Vermeidung von Schimmelbildung und der für die Gesundheit der Tiere bedenklichen Mykotoxine darf bei Einlagerung der Wassergehalt im Erntegut 12 % nicht übersteigen. Die technische Trocknung ist daher das am meisten verbreitete Verfahren, um die Lagerfähigkeit zu sichern. Weiterhin steigende Energiepreise fordern alternative Verfahren der Lagerung. Durch milchsäure Fermentation von Körnern mit hohem Restfeuchtegehalt könnten die zum konventionellen Erntetermin üblicherweise anfallenden Trocknungskosten umgangen werden. Mit der Erarbeitung geeigneter Silierverfahren für Körner der großsamigen Leguminosen soll in den Landwirtschaftsbetrieben die Bereitstellung hofeigener eiweißreicher Konzentratfuttermittel ohne zusätzlichen Energieaufwand gewährleistet werden. Gemäß dem ab 2012 bestehendem Fütterungsverzicht von konventionellen Futtermitteln und synthetischen Aminosäuren in der ökologischen Tierhaltung (EG-ÖKO-VERORDNUNG 2005) kann so auf ökologisch, aber auch konventionell wirtschaftenden Betrieben die Futtermittelbasis erweitert werden.

In Bezug auf eine kostengünstige und der Arbeitsorganisation angepasste Futterbereitstellung in der ganzjährigen Stallhaltung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit geprüft, inwieweit durch milchsäure Fermentierung auch in Anbetracht der bisher praktizierten, aber aufwändigen Feuchtkonservierung mit organischen Säuren ein qualitativ hochwertiges Futtermittel gewonnen werden kann, welches den Anforderungen der bedarfs- und leistungsgerechten Nutztierfütterung entspricht und die Qualität der tierischen Erzeugnisse garantiert. Gleichzeitig wurde untersucht, ob und in welchem Umfang die in Körnerleguminosen vorhandenen Gehalte an den Futterwert mindernden Inhaltsstoffen durch pflanzliche und mikrobielle Enzymwirkung während des Silierprozesses reduziert werden. Diese sekundären Inhaltsstoffe (z. B. Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor und Tannine) haben zumeist für die Pflanze eine Schutzfunktion und unterstützen die Abwehr der Pflanze gegen Schädlinge und pathogene Mikroorganismen. Ziel ist demnach, zukünftige Anbauentscheidungen verstärkt nach der phytosanitären Situation (z. B. den Resistenzeigenschaften bestimmter Sorten) zu treffen und den Einsatz von Lupinen, Erbsen und Ackerbohnen in der Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere stärker zu etablieren, um somit die Verfütterung von importiertem Soja teilweise zu substituieren.

2 Schrifttum

2.1 Einheimische großkörnige Leguminosen – Botanik, Anbau und Bedeutung

Aus Sicht der botanischen Systematik gehört die Familie der Leguminosen mit ca. 600 Gattungen und über 13.000 Arten zur Ordnung der *Fabales*. Sie gliedern sich in 3 Unterfamilien, wobei die landwirtschaftlich wichtigen Arten den *Papilionoideae* (Schmetterlingsblütler) verschiedenen Gattungen zugeordnet werden (ROTHMALER 1994; SCHUSTER *et al.* 2000). In den gemäßigten Breiten werden hauptsächlich Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen als Gründüngungspflanze, zur Grünfutttergewinnung oder zur Körnerproduktion kultiviert (Anhang A1–A11). Ihre ökologische Bedeutung beruht vor allem auf der Symbiose mit Knöllchenbakterien, wodurch sie in der Lage sind, den Luftstickstoff zu fixieren. Weitere in Tabelle 1 aufgeführte botanische Merkmale sind ihnen im Anbau mit dementsprechend vorteilhaften Umweltwirkungen innerhalb der Fruchtfolge gemein. Bei Lupinen lassen sich diese z. B. gegenüber einer Getreiderotation mit folgenden ökonomischen Effekten beziffern:

Tab. 1: Botanische Merkmale von Leguminosen und daraus resultierende Effekte in der Fruchtfolge im Vergleich zu einer Getreiderotation von Weizen (LÜTKE ENTRUP *et al.* 2003; KLIEM & HEIM 2006; GEMEINSAMES POSITIONSPAPIER ZUR EIWEISSSTRATEGIE 2012)

botanisches Merkmal	ackerbauliche/ ökonomische Effekte
<ul style="list-style-type: none"> ○ Stickstofffixierung für Folgekulturen ○ Aufschluss schwer löslicher Mineralstoffe (Phosphat bei Lupinen) ○ Humuslieferant durch Pflanzenreste ○ Verbesserung der Bodengare durch tief reichende Pfahlwurzeln 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Einsparung von Stickstoffdünger (15–25 %) ○ Einsparung von Mineraldünger ○ niedrigere Herbizid- und Fungizidkosten (20–25 %) ○ verbesserte Wirksamkeit der Unkrautregulierung durch Wechsel von Sommerungen und Winterungen, von Blatt- und Halmfrüchten ○ Einsparungen bei Bodenbearbeitung durch pfluglose Bestellung (25–30 %); Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energieträgern ○ Erweiterung Kulturpflanzenspektrum; Fruchtfolgeauflockerung ○ Unterbrechung von Infektionsketten bei Krankheitserregern; Vermeidung von unerwünschten Resistenzbildungen ○ Entzerrung von Arbeitsspitzen, Verringerung von Arbeitsstunden, effizientere Maschinennutzung; ○ höhere und stabilere Erträge des nachfolgenden Getreides, durchschnittlicher Mehrertrag 8 dt/ha

Moderne Zuchtprogramme verfolgen das Ziel, Sorten mit hoher Ertragsfähigkeit sowie verbesserter Anbau- und Erntesicherheit zu entwickeln (ABEL *et al.* 2004). Die in Deutschland zugelassenen Sorten, deren morphologische Eigenschaften, Leistungsfähigkeit und pflanzenbauliche Ansprüche sind der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes zu entnehmen (MIELKE & SCHÖBER-BUTIN 2004).

Ackerbohne (*Vicia faba*)

Zur Kultivierung als einjährige Sommer- oder Winterform benötigt die Ackerbohne ausreichende Niederschlagsmengen. Aufgrund des hohen Keimwasserbedarfes und der langen Vegetationszeit ist eine Saatgutablage (in ca. 4–6 cm Tiefe) in tiefgründigen Böden bei einer Temperatur von 2 °C schon ab Ende Februar erforderlich. Ackerbohnen zeichnen sich durch die

bis zu 1,7 m tiefe Pfahlwurzel und ihre ausgesprochene Standfestigkeit aufgrund ihres kantigen hohlen Stängels (bis 175 cm Höhe) aus. In den Blattachsen entwickeln sich ein bis fünf kurz gestielte Blütentrauben in weiß-rötlichen Farbkombinationen. Im Allgemeinen gelten bunt blühende Sorten als widerstandsfähiger als weiß blühende (ABEL *et al.* 2004). Pro Pflanze bilden sich entsprechend dem Blühverlauf bis zu 12 Hülsen, wobei die Reifestadien sehr heterogen ausfallen. Bei höchster Ertragsfähigkeit aller Körnerleguminosen, aber einer meist durch Trockenheitsintoleranz bedingten Instabilität, können die Samenerträge zwischen 30–73 dt/ha schwanken (KELLER *et al.* 1999; SCHUSTER *et al.* 2000; MIELKE & SCHÖBER-BUTIN 2004).

Erbse (*Pisum sativum*)

Als eine der ältesten Kulturpflanzen wird diese Proteinpflanze nach wie vor als Nahrungs- und Futtermittel geschätzt. Aufgrund der guten Anpassungsfähigkeit bei guten Standortbedingungen mit hinreichender Feuchtigkeit breitete sich die Erbse weltweit aus. Durch die Kreuzung der verschiedenen Arten, Unterarten und Varietäten entstand eine große Formenmannigfaltigkeit. Charakteristisch für die Erbsen ist deren dünne, tief reichende Hauptwurzel. Im Körneranbau werden verstärkt "blattlose" oder "halbblattlose" Sorten gezüchtet, bei denen die Blätter ganz oder teilweise umgewandelt sind, da diese eine gute Standfestigkeit aufweisen (SCHUSTER *et al.* 2000). Die Aussaat sollte je nach Witterung früh im März bis spätestens Anfang April mit einer Bestandsdichte bis 90 Pflanzen pro m² in einer Tiefe von 4–6 cm erfolgen. Nach Selbstbefruchtung bilden sich aus den Blütenständen Hülsen mit je vier bis zehn Samen. Die Ernte erfolgt im Mähdrusch bei standortabhängigen und saisonal schwankenden Erträgen zwischen 50–60 dt/ha (MIELKE & SCHÖBER-BUTIN 2004).

Lupine (*Lupinus ssp.*)

In der Nomenklatur wird die Lupine zu den *Genisteeae* und schließlich zur Gattung *Lupinus L.* eingeordnet. Diese ist in ihren Genressourcen mit über 300 Arten vertreten, welche ursprünglich von zwei Genzentren, dem Mittelmeerraum und Äquatorialbereich der Kordilleren (Neuwelt-Arten) stammen (SCHUSTER *et al.* 2000). Von diesem Artenspektrum werden bislang in Europa aber nur die Weiße Lupine (*Lupinus albus L.*), die Gelbe Lupine (*Lupinus luteus L.*) und aufgrund der geringeren Anfälligkeit gegenüber dem Anthraknoseerreger (*Colletotrichum gloeosporioides*) sowie der höheren Ertragsstabilität und Frühreife vor allem die Blaue Lupine (*Lupinus angustifolius L.*) als einjährige Kulturformen angebaut (FRICK *et al.* 2002; ROTH-MAIER *et al.* 2004). Neben den aufgrund ihrer hohen Gehalte an Alkaloiden als Bitterlupinen benannten Sorten kommen seit den Züchtungserfolgen durch VON SENGBUSCH im Jahr 1927 hauptsächlich bitterstoffarme Süßlupinen in der Nutztierfütterung zum Einsatz (VON SENGBUSCH

1930, 1931). Die Vegetationszeit bei Lupinen beläuft sich auf Ende März bis Anfang September, wobei Ernteerträge von 20–60 dt/ha (Weiße Lupine), 15–20 dt/ha (Gelbe Lupine) und 20–45 dt/ha (Blaue Lupine) erwirtschaftet werden können (EICKMEYER 2006). Gegenüber Erbsen und Ackerbohnen weist vor allem die Blaue Lupine geringere Standort- und Niederschlagsansprüche auf und eignet sich auch für den Anbau auf sandigen Grenzstandorten.

Anbau und Bedeutung einheimischer Leguminosen

Im Öko-Landbau finden Körnerleguminosen als Gründüngungspflanze und im Feldfutterbau als einheimische Proteinträger bereits seit längerer Zeit Verwendung. Bedingt durch die Agrarreform 2001, mit dem damit verbundenen Verzicht auf die Verwendung von Tiermehl in der Nutztierfütterung, veränderte sich die Marktsituation, was eine erhöhte Nachfrage nach alternativen pflanzlichen Proteinträgern und eine Ausweitung des Körnerleguminosenanbaus in Europa zur Folge hatte. Aufgrund der schwierigen Vermarktungsbedingungen und instabiler Erträge der Hülsenfrüchte werden vorwiegend andere Eiweißpflanzen kultiviert und so bleibt im Vergleich zu anderen Fruchtarten das Anbauspektrum von Leguminosen – allerdings mit stark regionaler Differenzierung – insgesamt auf niedrigem Niveau bzw. ist in den letzten 10 Jahren zurückgegangen. Im Jahr 2011 wurden noch auf knapp 100.000 Hektar Eiweißpflanzen angebaut, vor allem Erbsen, Süßlupinen und Ackerbohnen, das ist weniger als 1 % der Ackerfläche Deutschlands. Gut die Hälfte entfällt auf Erbsen (56.000 ha), danach folgen Süßlupinen (22.000 ha) und Ackerbohnen (17.000 ha). Die Anbaufläche ist damit seit 1998 um zwei Drittel zurückgegangen (GEMEINSAMES POSITIONSPAPIER ZUR EIWEISSSTRATEGIE 2012). In den Jahren 2008 und 2009 hatten alle Arten der Körnerleguminosen mit insgesamt 80 Tha die geringste Anbaufläche. Der Futtererbsenanbau befand sich für das Jahr 2008 auf einem Tiefstand von 48 Tha. Da Ackerbohnen bedingt durch ihre Trockenheitsintoleranz um bessere Ackerstandorte konkurrieren, war auch hier eine Verringerung der Anbaufläche zu verzeichnen. Lupinen werden vorwiegend in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt angebaut. Auch bei Lupinen war im Vergleich der Jahre, unter Berücksichtigung regionaler Differenzierungen, der Anbauschwerpunkte ein klarer Rückgang zu verzeichnen. Im Jahr 2010 wurde erstmals wieder mehr Lupinenanbaufläche gemeldet (24,1 Tha). Gegenwärtig zeigt die Gesamtanbaufläche von Hülsenfrüchten in Deutschland wieder eine leicht zunehmende Tendenz (Tab. 2).

Die Gründe für die geringe Anbaufläche stehen klar in Korrelation zum Deckungsbeitrag von Leguminosen, da durch hohe Saatgutpreise und niedrige Erzeugerpreise kaum eine positive Gesamtbilanz kalkuliert werden kann.

Tab. 2: Anbau von Körnerleguminosen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2012 (KLIEM & HEIM 2006, 2008, 2011; ZMP – Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH; Statistisches Bundesamt; GEMEINSAMES POSITIONSPAPIER ZUR EIWEISSSTRATEGIE 2012)

Fruchtart	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	in 1000 ha												
Ackerbohne	17,7	20,6	18,5	20,0	15,5	15,7	15,0	12,2	11,1	12,0	16,9	17,0	15,8
Futtererbse	141,3	163,6	148,4	135,9	121,5	110,3	92,7	67,7	48,0	48,4	58,7	56,0	44,8
Lupine	k. A.	k. A.	k. A.	45,6	35,8	38,6	33,0	25,2	19,9	19,3	24,1	22,0	17,8
Summe	159,0	184,2	166,9	201,5	172,8	164,6	140,7	105,1	79,0	79,7	99,7	95,0	78,4

k. A.: keine Angaben

Hervorgerufen durch die aktuellen gesetzlichen Vorgaben zu einer von der Produktion entkoppelten Flächenzahlung (EG VERORDNUNG Nr. 1782/ 2003), wird in der Pflanzenproduktion ein steigender ökonomischer Druck verursacht. Gleichzeitig reduziert das steigende Angebot von günstigen Nebenprodukten wie Rapsextraktionsschrot, Schlempen oder Rapskuchen aus der in den letzten Jahren ausgeweiteten Bioenergiegewinnung aus Pflanzen den Anreiz für einen zusätzlichen Anbau von Proteinpflanzen für die Futterproduktion. Der wirtschaftliche Nachteil von Leguminosen konnte bisher durch Förderung der EU-Agrarpolitik wie der Eiweißpflanzenprämie (55,57 €/ha) nicht wettgemacht werden (GEMEINSAMES POSITIONSPAPIER ZUR EIWEISSSTRATEGIE 2012). Die Agrarumweltprogramme der zweiten Säule gemäß PLANAK-Beschluss vom Februar 2010 stellen zwar für Eiweißpflanzen in Deutschland einen Anreiz dar, werden jedoch nur von wenigen Bundesländern angeboten, so dass dieses Instrument bislang nicht ausreichend wirkt (KLIEM & HEIM 2011).

Deutschland deckt seit Jahrzehnten einen erheblichen Anteil seines Bedarfes an proteinhaltigen Futtermitteln aus Importen, vor allem Sojaschrot. Heute werden in Deutschland etwa 3,0 Mio. Tonnen Rapsschrot und 5,0 Mio. Tonnen andere Ölschrote, vor allem Sojaschrote, verfüttert (GEMEINSAMES POSITIONSPAPIER ZUR EIWEISSSTRATEGIE 2012). Derzeit beansprucht Deutschland etwa 1,2 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche für Eiweißpflanzen außerhalb der EU (ANON 2012). Die Diskussionen über den Import von gentechnisch veränderten Eiweißträgern, Ertragsrisiken und Preisschwankungen bei Soja sowie den zukünftigen Anspruch der Soja produzierenden Länder zur eigenen Verwertung im Bioenergiemarkt untermauern die Argumentation für die Maximierung des Selbstversorgungsgrades mit hochwertigem Protein durch den Anbau heimischer Pflanzen. Hier bieten Körnerleguminosen ein vielschichtiges Potenzial zur Substitution von Soja, dessen Anbau in Europa aufgrund klimatischer Bedingungen nicht in dem Maße ausgeweitet werden kann. Bei prognostiziertem Anstieg der Weltbevölkerung und höherem Eiweißbedarf eröffnen sich für Ackerbohnen, Erbsen und Lupinensorten neue Einsatzbereiche, die bei erhöhter Rentabilität das Einkommen der Produzenten verbessern werden. Die monetäre Bewertung von Körnerleguminosen muss daher in Anbetracht der ökonomischen Entwicklung konkurrierender

und begrenzter Märkte beurteilt werden, so dass sie bei geringen Direktkosten durch die niedrige Intensität des Produktionsmitteleinsatzes, bei Entzerrung der Arbeitsspitzen im Anbau und bei weiteren Einsparungen in der Folgekultur durch die positive Vorfruchtwirkung eine Anbaualternative darstellen (Tab. 1; KLIEM & HEIM 2006). Durch den wissenschaftlichen Informationsgewinn, z. B. über wesentliche Inhaltsstoffe und die effiziente Nutzung und Verarbeitung mit Hilfe neuer Technologien, kann das Potenzial von Körnerleguminosen darüber hinaus weiter ausgebaut werden. Einer Ausweitung des Anbauumfanges von derzeit 1–7 % der Ackerfläche innerhalb wie außerhalb Europas auf 15–25 % würde laut KLIEM & HEIM (2006) nichts entgegenstehen.

Als wesentliche übergeordnete Fragestellung gilt, ob nach 2013 eine Besserstellung der heimischen Körnerleguminosen im Rahmen der nächsten Finanzierungsperiode der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP) erreicht werden kann. Möglichkeiten zur Förderung des heimischen Körnerleguminosenanbaus ergeben sich sowohl aus dem aktuellen Diskussionsstand zur Einführung von Ressourcenschutzprogrammen („Greening“), um in den Genuss der vollständigen Direktzahlungen der ersten Säule zu gelangen, als auch aus dem aktuellen Diskussionsstand zur Umsetzung von landwirtschaftsnahen Agrarumweltprogrammen der zweiten Säule gemäß GAP. Mit einer Verabschiedung der Vorschläge für die künftige Agrarpolitik ist nicht vor 2013 zu rechnen (KLIEM & HEIM 2011).

Verbände fordern, dass aus agrarpolitischer Sicht der Eiweißpflanzenanbau im Rahmen des „Greening“ in der GAP-Reform 2014 bis 2020 berücksichtigt werden sollte. Folgende Maßnahmen zur Steigerung des Eiweißpflanzenanbaus werden als dringend erforderlich angesehen (GEMEINSAMES POSITIONSPAPIER ZUR EIWEISSSTRATEGIE 2012):

- Anreize für Eiweißpflanzen im Zuge der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik 2014–2020,
- langfristig angelegte Stärkung der Agrarforschung als Basis für die Pflanzenzüchtung,
- Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes der Wertschöpfungskette von der Forschung über die Züchtung bis hin zu Anbau und der Vermarktung bzw. Verarbeitung,
- Verbesserung der Rahmenbedingungen für Innovationen in der Pflanzenzüchtung.

3 Aufgaben- und Zielstellung

Einheimische Körnerleguminosen wie Ackerbohne, Erbse und Lupine sind aufgrund ihrer hohen Energie- und Proteingehalte ein hoch geschätztes Futtermittel. Sie können als einheimische Proteinressource den Einsatz von Sojaprodukten substituieren, um dem Bestreben einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion Rechnung zu tragen. 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.) Probleme bereiten kann. Um eine Nachtrocknung zu umgehen, bestand das Ziel der Arbeit in der Erarbeitung von Grundlagen für Silierverfahren für Körner großsamiger einheimischer Leguminosen im labortechnischen Maßstab. Durch die Silierung von Leguminosenkörnern mit hohem Restfeuchtegehalt könnte die kostengünstige Bereitstellung wirtschaftseigener eiweißreicher Konzentratfuttermittel sichergestellt werden. Dieses Verfahren bedarf keiner chemischen Zusätze. Daher bietet die milchsaure Körnerfermentation unter anaeroben Bedingungen ein Bearbeitungsverfahren, welches auch in den Betrieben des ökologischen Landbaus anwendbar ist (EG-ÖKO-VERORDNUNG 2005). Zugleich wird von der Möglichkeit der fermentativen Reduzierung antinutritiver Inhaltsstoffe ausgegangen.

Nach pflanzenbaulichen und technologischen Aspekten liegen bei der Ernte vor der Vollreife die Vorteile in:

- der Unabhängigkeit des Erntezeitpunktes vom Trockensubstanzgehalt und besseren Maschinenauslastung
- einer frühen Feldräumung und damit effektiveren Nutzung der Ackerflächen
- der geringeren Verpilzung (Mykotoxine) und der Minimierung der Feldverluste (Lager- und Druschverluste)

Für eine erfolgreiche Silierung mit einer stabilen gärbiochemischen Qualität ist neben den Silierparametern im Ausgangsmaterial u. a. eine optimale Verfahrensgestaltung notwendig. Im Allgemeinen ist für den Konservierungserfolg eine ausreichende Ansäuerung aufgrund von Milchsäurebildung notwendig, um das Wirken von Gärschädlingen zu unterbinden und die Futterqualität zu gewährleisten. Zur Silierung von Leguminosenkörnern liegen bislang in der Literatur kaum Angaben vor. Aufgrund der geringen Zuckerkonzentration und hohen Rohproteingehaltes im Korn wird das Material als schwer silierbar eingeschätzt. Die erfolgreiche Silierung von schwer vergärbaren Pflanzenmaterialien mit hohem Gehalt an Oligosacchariden bzw. Stärke ist durch den technologischen Fortschritt und den Einsatz von leistungsfähigen

Milchsäurebakterien bereits möglich (STEINHÖFEL & WEBER 2006). Daher sollte die Feuchtkornsilierung in Anlehnung an die in den letzten Jahren vielfach untersuchte biologische Silierung von feuchten Getreidekörnern bzw. Maisschrot (WOLF *et al.* 2001; SANFTLEBEN & DRESCHER 2002; PIEPER *et al.* 2006, 2007) durch Milchsäurebakterien erfolgen.

Für die Untersuchungen wurden lagertrockene Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensamen verschiedener Sorten sowie aus einer zweijährigen praxisorientierten Feldstudie gewonnenes Kornmaterial, welches mit unterschiedlichen TS-Gehalten (65 % und 75 %) geerntet wurde, herangezogen. Als wesentliche Aufgaben der vorliegenden Arbeit wurden folgende Punkte erarbeitet. Eine Übersicht der zugehörigen experimentellen Untersuchungen ist im Anhang A18 aufgeführt.

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 & WINE (1967))
 - Analyse antinutritiver Inhaltsstoffe (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-P, Tannine)
2. Chemische Bestimmung der Siliereignung ausgewählter Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten zur Charakterisierung der potentiellen Vergärbarkeit
 - Analyse von Rohasche, Zucker- und Proteingehalt, Pufferkapazität (PK), 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, Gärsäuren und Alkoholen
 - Analyse der Osmolalität im Verlauf des Silierprozesses (HOEDTKE 2008)
4. Screening kommerziell verfügbarer Milchsäurebakterienpräparate unterschiedlicher Arten und Stämme
 - Wirkung verschiedener Milchsäurebakterienpräparate 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 aus den Jahren 2005 und 2006
 - Erprobung von Silierzusätzen (Milchsäurebakterien, Zuckerrübenmelasse)
 - Bestimmung der gärbioologischen Qualität nach Punkt 3
 - Bestimmung von Ammoniak und α -Amino-N
 - Bestimmung der aeroben Stabilität der Modellsilagen nach 50 Tagen Lagerdauer (nach HONIG 1990)
 - Bestimmung der Auswirkungen der Silierung auf die enthaltenen nutritiven und antinutritiven Inhaltsstoffe bei Verwendung verschiedener Silierzusätze (Punkt 1)

Folgende sich aus der Literaturrecherche ableitende **Arbeitshypothesen** sollten durch die experimentelle Untersuchung geprüft werden:

1. Leguminosenkörner von Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen stellen aufgrund ihres hohen Energie- und Proteingehaltes sowie dessen Zusammensetzung ein wertvolles Futtermittel dar.
2. Körner großsamiger Leguminosen sind auch mit hohen Trockensubstanzgehalten (65 % und 75 %) silierfähig. Trotz ungünstiger chemischer Vergärbarkeitsparameter ist die Konservierung von Leguminosenkörnern durch milchsäure Fermentation möglich.
3. Die Silierfähigkeit von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensamen wird durch den Einsatz biologischer Silierhilfsmittel wie Melassezusatz und Starterkulturen auf Basis von Milchsäurebakterien verbessert.
4. Neben der zu erwartenden ernährungsphysiologisch positiven Wirkung der Milchsäure für die monogastrischen Tierarten (ROTH *et al.* 1993), erfolgt im Rahmen der milchsäuren Fermentation über pflanzliche und mikrobielle Enzymwirkung eine Reduzierung der Gehalte bzw. Inaktivierung antinutritiver Inhaltsstoffe (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-P und Tannine) und somit eine Verbesserung des Futterwertes der Silagen.

6 Schlussfolgerung

Aus den methodischen Untersuchungen zur Silierung von Körnerschrot der großsamigen Leguminosen mit hohem Restfeuchtegehalt lassen sich anhand der erzielten Ergebnisse folgende wesentliche Schlussfolgerungen ableiten:

1. Aufgrund der hohen Protein- und Energiegehalte stellen Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen ein wertvolles Futtermittel dar. Die Nährstoffgehalte in lagertrockenen und mit hohem Restfeuchtegehalt geernteten Körnern verschiedener großsamiger Leguminosenarten und -sorten entsprechen überwiegend den Anforderungen an die in der Tierernährung relevanten Kennwerte zur Versorgung mit essenziellen Nährstoffen wie Protein und Aminosäuren, Fett und Fettsäuren, den Faserstoffen sowie dem Energiegehalt.

2. Die Silierbarkeit der Leguminosenkörner ist aufgrund der chemischen Vergärbarkeitsparameter wie dem geringen Zuckergehalt und der hohen Pufferkapazität als ungünstig einzuschätzen. Die ungünstige Silierbarkeit von Körnern großsamiger Leguminosen wird im Rostocker Fermentationstest nicht bestätigt. Der Verlauf der Ansäuerung im RFT und das Gär säurespektrum nach Inkubation lässt auf eine gute Silierfähigkeit des Materials schließen (ausreichend Gärsubstrat und leistungsfähiger MSB-Besatz).

3. Erntefeuchte Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörner mit TS-Gehalten von 65 % und 75 % sind problemlos auch ohne den Einsatz von Silierhilfsmitteln konservierbar.

4. Das Prinzip der Konservierung (durch Säurebildung oder CO₂-Atmosphäre) hängt in erster Linie vom Restfeuchtegehalt ab. Aufgrund der geringen Fermentationsrate (Milchsäurebildung) ist der Konservierungserfolg in Körnerschrotsilagen mit 75 % TS weniger über das Prinzip der pH-Wert-Senkung als durch anaerobe Verhältnisse und hohe Osmolalitäten zu begründen. Die Konservierung der Körner in diesem TS-Bereich erfolgt somit über die anaerobe Lagerung.

Im Hinblick auf die Verfahrenssicherheit sind für die milchsaure Silierung unter Praxisbedingungen Restfeuchten von 35 % im Siliergut zu empfehlen.

Der Einsatz leistungsfähiger Milchsäurebakterienpräparate erhöht die Sicherheit des Gärprozesses und verbessert die aerobe Stabilität der Silagen.

5. Der Einsatz zusätzlicher Zuckerquellen zur Silierung ist nicht notwendig. Körner großsamiger Leguminosen enthalten insbesondere aufgrund der hohen Gehalte an Oligosacchariden (Raffinose, Stachyose, Verbascose) ausreichende Mengen an fermentierbaren Kohlenhydraten.

6. Die Gehalte an nutritiven Futterwertparametern werden mit Ausnahme von Stärke und Zucker durch den Silierprozess nicht beeinträchtigt. So bleibt der hohe Futter- und Energiewert von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen in Körnerschrotsilagen erhalten.

7. Durch die Silierung wird eine teilweise Verbesserung des Futterwertes durch Reduzierung bestimmter antinutritiver Inhaltsstoffe (Oligosaccharide und Tannine) erreicht. Bei den Gehalten an Phytat-P und Alkaloiden (Lupine) konnte keine eindeutige Reduzierung festgestellt werden.

8. Die Silierung von vor der Abreife geernteten Körnerleguminosen mit hohem Restfeuchtegehalt kann als eine geeignete Möglichkeit zur Konservierung empfohlen werden.

9. Die Formulierungen zur Silierfähigkeit von Körnerleguminosen, welche sich aus Parametern der chemischen Analyse des Ausgangsmaterials ergeben, stützen sich auf die für Grünfütter modellierten Zusammenhänge. Aufgrund der sich von Grüngut und Grünfüttersilagen unterscheidenden Eigenschaften des Körnerschrotes können für die Einschätzung der Silierbarkeit die Restfeuchtegehalte und weitere Vergärbarkeitskenndaten nach dem bisherigen Beurteilungsmodell der Gärfähigkeit von Siliergut aus vegetativen Materialien nicht ohne Vorbehalt angewendet werden. Bei der Silierung von Leguminosenkörnern im hohen Trockensubstanzbereich könnten die Kenndaten für den Siliererfolg bzw. die Gewichtung der Einflussgrößen verändert vorliegen. Aus dem erkannten Widerspruch zwischen den chemischen Vergärbarkeitsparametern und der erzielten Gärqualität ergibt sich der Anspruch eines für feuchtes Körnerschrot korrekten Beurteilungsmaßstabes der Vergärbarkeit. Durch die Formulierung eines ergänzenden Systems mit weiteren Prüfkriterien z. B. den osmotischen Verhältnissen (HOEDTKE *et al.* 2005) und quantitativer bzw. qualitativer Erfassung der fermentierbaren Kohlenhydrate könnte die Vergärbarkeit von feuchtem Körnerschrot realitätsnah eingeschätzt werden.

7 Zusammenfassung

Körnerleguminosen bieten aufgrund ihrer hohen Protein- und Energiegehalte ein hochwertiges Futtermittel. Durch die uneinheitliche Abreife der Bestände ist zum konventionellen Erntetermin zumeist eine kostenintensive technische Trocknung der Körner notwendig.

Ziel der vorliegenden Arbeit war neben den Untersuchungen zur Siliereignung von feuchten Leguminosenkörnern für die Empfehlung eines preiswerten Konservierungsverfahrens für konventionelle und ökologisch wirtschaftende Landwirtschaftsbetriebe auch die Prüfung einer möglichen Futterwertverbesserung durch die Reduzierung der Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-P, Tannine). Bei durch milchsäure Fermentation nachgelagerter Reduzierung von antinutritiven Inhaltsstoffen, welche für die Pflanze gleichzeitig eine Schutzfunktion vor Krankheitserregern innehaben, könnten sich zukünftige Anbauentscheidungen verstärkt nach der phytosanitären Situation richten.

Die Untersuchungen wurden mit reifen, lagertrockenen Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern verschiedener Sorten sowie mit Leguminosenkörnern verschiedener Vegetationsjahre (2005 und 2006) bei Ernte mit hohem Restfeuchtegehalt (65 % und 75 % TS) durchgeführt. Entsprechend der Zielstellung wurden u. a. Sorten mit hohen Gehalten an antinutritiven Inhaltsstoffen ausgewählt.

Im Ausgangsmaterial erfolgte die Bestimmung der nutritiven Futterwertparameter, ausgewählter antinutritiver Inhaltsstoffe (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-P, Tannine) und der chemischen Silierparameter.

Anhand des Rostocker Fermentationstestes (PIEPER *et al.* 1989 und ZIERENBERG 2000) und der Bereitung von Modellsilagen (65 % und 75 % TS) erfolgte unter Einsatz verschiedener biologischer Silierzusätze (Milchsäurebakterien, Zuckerrübenmelasse) die Prüfung der Vergärbarkeit von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenkörnern. Neben den üblichen Gärparametern wurden die Osmolalität und die aerobe Stabilität sowie die nutritiven und antinutritiven Inhaltsstoffe der Körnerschrotsilagen analysiert.

Im Hinblick auf die Vergärbarkeit von Leguminosenkörnern und den Futterwert der Silagen führten die Untersuchungen zu folgenden **Ergebnissen**:

1. Die analysierten Nährstoffgehalte in lagertrockenen und in mit hohen Restfeuchtegehalten geernteten 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 Silierbarkeit von Körnerleguminosen ist aufgrund der chemischen Vergärbarkeitsparameter wie der geringen Konzentration an Zucker als negativ zu bewerten. Zusammen mit dem hohen Proteingehalt, welcher sich puffernd auf die Gärssäuren auswirkt, und der daraus folgenden hohen Pufferkapazität von im Durchschnitt 27–60 g MS/kg TS, 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. Anhand der *in-vitro*-Versuche im Rostocker Fermentationstest mit Körnern verschiedener Leguminosenarten und -sorten wird die theoretisch ungünstige Silierbarkeit von Körnern großsamiger Leguminosen nicht bestätigt. Der Verlauf der Ansäuerung im Rostocker Fermentationstest zeigt eine gute Silierfähigkeit des Materials. Bei Inkubation in aqua dest. setzt eine nennenswerte Säuregradabsenkung relativ früh ein (nach 18–26 h) und es wird unabhängig vom anfänglichen pH-Wert bis Stunde 42 ein End-pH-Wert um 4 erreicht.

Selbst bei hohen Osmolalitäten (9 %ige KCl-Lösung) konnte durch die Zugabe leistungsfähiger Milchsäurebakterien eine in Bezug zur simulierten TS ausreichend tiefe pH-Wert-Absenkung erzielt werden. Bei mit hohen Restfeuchtegehalten geernteten Körnern konnten im RFT relativ schnell eintretende pH-Wert-Absenkungen (Stunde 38) vermerkt werden. In den wässrigen Extrakten mit reifen, lagertrockenen Körnern wurden nach 70 Stunden pH-Werte um 4 bzw. bei erntefrischem Körnerschrot < 4 festgestellt.

Die langsamere Ansäuerung bei den Kontrollvarianten weist im Vergleich dazu auf einen weniger leistungsfähigen epiphytischen Mikrobenbesatz hin. Daneben zeigt sich 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 umfassendere Ansäuerung herbeizuführen. Dies spiegelt sich auch in den weniger ausgeprägten Milchsäuregehalten am Ende der Inkubation wider.

4. Die erfolgreiche Silierung des auf ca. 65 % TS rückbefeuchteten Körnerschrotes von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen bzw. der mit 35 % Restfeuchte geernteten Körner ist als wesentliches Ergebnis herauszustellen. Das im Körnerschrot befindliche Restwasser ermöglicht enzymatische Umsetzungen.

Nach 34 bzw. 90 Tagen Lagerdauer weisen alle geprüften Silagen in Bezug zum TS-Gehalt hinreichend tiefe pH-Werte auf. Die erzielten Milchsäuregehalte in den Silagen entsprechen überwiegend den nach DLG-Schlüssel geforderten Anteil von $> 3 \%$ der TS. Die verderbfreie und somit verlustarme Lagerung wird über den geringen Gärverlust (maximal 2% der Einwaage), die geringen Alkoholgehalte ($< 1 \%$ der TS) und den maximal in Spuren ($< 0,07 \%$ der TS) vorhandenen Propionsäure- und Buttersäuregehalten bestätigt.

5. Die mikrobiellen Umsetzungen im Silierprozess sind abhängig vom TS-Gehalt. Aufgrund der reduzierten Wasseraktivität bei Trockensubstanzen um 75% waren der epiphytische MSB-Besatz sowie die inokulierten Milchsäurebakterien in ihrer Stoffwechselaktivität stark beeinträchtigt. Es konnten nur leichte pH-Wert-Absenkungen um $0,6$ (pH-Wert $5,6$) und maximal $0,6 \%$ MS in der TS festgestellt werden. Demnach scheint es sich bei der „Silierung“ mit 75% TS eher um eine Form der konservierenden Lagerung zu handeln. Die Modellsilagen waren lagerstabil, wiesen jedoch kaum nennenswerte Gehalte an Fermentationsprodukten auf, so dass nicht von einer Konservierung durch milchsaure Gärung ausgegangen werden kann.

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

6. Auch ohne den Einsatz von Silierhilfsmitteln konnten in jedem Fall organoleptisch einwandfreie Silagen mit geringen Gärverlusten (max. 2% der Einwaage) und sehr geringen Gehalten an Nebengärungsprodukten (Essigsäure $< 1 \%$ der TS, Propion- und Buttersäure $< 0,1 \%$ der TS, Alkohol $< 1 \%$ der TS) produziert werden. Der Anteil von $\text{NH}_3\text{-N}$ am Gesamt-N betrug maximal $2,4 \%$.

7. Der Zusatz leistungsfähiger Milchsäurebakterien sichert die Silagequalität und aerobe Stabilität der Silagen. Gegenüber dem epiphytischen MSB-Besatz sind die Milchsäurebakterien des zugesetzten MSB-Präparates osmotoleranter und vor allem in der Anpassungsphase der Fermentation in ihrem Stoffwechsel leistungsfähiger. In Körnerschrotsilagen mit 65% TS werden bereits nach 5 Inkubationstagen pH-Werte deutlich < 5 und Milchsäuregehalte entsprechend den Silagequalitätskriterien von $2,0\text{--}3,5 \%$ der FM erzielt (Ausnahme 'Borlu').

8. Zusätzliche Zuckerquellen sind bei Einsatz leistungsfähiger Milchsäurebakterien nicht erforderlich. Leguminosenkörner beinhalten einen ausreichend hohen Gehalt an zu Milchsäure vergärbaren Kohlenhydraten.

9. Die Gehalte an nutritiven Futterwertparametern wurden bis auf die Stärke- und Zuckerfraktion durch den Silierprozess nicht verändert.

Bei den untersuchten antinutritiven Inhaltsstoffen zeigen die Untersuchungen zumindest im Hinblick auf den Gehalt an Oligosacchariden und Tanninen eine deutliche Reduzierung und damit eine teilweise Verbesserung des Futterwertes durch den Silierprozess. Zu vermuten ist daher auch eine verbesserte Verdaulichkeit der Nährstoffe. Alkaloide und Phytat-P konnten durch den Silierprozess nicht eindeutig reduziert werden.

10. Anhand der Gärqualität und der Inhaltsstoffzusammensetzung von Körnerschrotsilagen kann die milchsaure Fermentation von nicht lagertrocken geernteten Leguminosenkörnern als ein Konservierungsverfahren zur Erzeugung von eiweißreichen Konzentratfuttermitteln ohne zusätzlichen Energieaufwand bestätigt werden.

Thesen zur Dissertation:

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

vorgelegt von Dipl.-Ing. agr. Annett Gefrom

Einheimische Leguminosen wie Ackerbohne, Futtererbse und Lupinen stellen aufgrund ihres hohen Protein- und Energiegehaltes wertvolle Futtermittel dar und sind zudem in einer ausgewogenen Fruchtfolge von großer Bedeutung.

Als problematisch bei der Körnernutzung gilt die uneinheitliche Abreife der Bestände und es ist insbesondere bei feuchter Spätsommerwitterung von hohen Restfeuchtegehalten im Erntegut auszugehen. Durch milchsäure Fermentation vor der Vollreife geernteter Körner könnten die zum konventionellen Erntetermin üblicherweise anfallenden Trocknungskosten umgangen werden.

Aufgrund der kalkulierten chemischen Vergärbarkeitsparameter (Rohproteingehalt, Z/PK-Quotient) ist die geschätzte Silierfähigkeit der Leguminosenkörner als ungenügend zu beurteilen. **Ziel** war es daher die Silierbarkeitsparameter an einem definierten Material experimentell zu bestimmen und diese mit dem jeweiligen Siliererfolg zu verifizieren. Dazu wurden Untersuchungen von Körnern der großsamigen Leguminosen bei der Ernte mit hohen Restfeuchtegehalten durchgeführt, wobei gleichzeitig geprüft werden sollte, ob und in welchem Umfang im Rahmen des Silierprozesses die Gehalte an in einheimischen Körnerleguminosen gegebenenfalls vorhandenen antinutritiven Inhaltsstoffen (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor, Tannine) reduziert werden können.

Entsprechend der wissenschaftlichen Zielstellung wurden folgende **Arbeitsziele** erstellt:

1. Ermittlung des Gehaltes nutritiven und antinutritiven (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor, Tannine) Inhaltsstoffen in Körnern ausgewählter Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten (reife und lagertrocken bzw. mit Restfeuchte bis 35 % geerntet)
2. chemische Bestimmung der Siliereignung von Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinensorten
3. *in-vitro* Prüfung (Rostocker Fermentationstest, Modellsilagen) der Vergärbarkeit von Leguminosenkörnerschrot bei Rückbefeuchtung reifer Körner und bei Ernte der Körner mit hohem Restfeuchtegehalt
4. Erprobung von Silierzusätzen (Milchsäurebakterien, Melasse)
5. Ermittlung der Auswirkungen der Silierung auf die Gehalte an nutritiven und antinutritiven (Alkaloide, Oligosaccharide, Phytat-Phosphor, Tannine) Inhaltsstoffen

In Auswertung der Ergebnisse und aus den gezogenen Schlussfolgerungen der vorangestellten Untersuchungen werden folgende **Thesen** abgeleitet:

1. Körner einheimischer Leguminosen (Ackerbohne, Futtererbse und Lupine) stellen aufgrund ihres hohen Protein- und Energiegehaltes ein wertvolles Futtermittel dar.
 2. Ackerbohlen-, Erbsen- und Lupinenkörner mit hohem Restfeuchtegehalt sind, trotz ihrer aufgrund chemischer Vergärbarkeitsparameter als theoretisch negativ zu bewertenden Silierbarkeit, durch milchsaure Fermentation konservierbar.
 3. Anhand der *in-vitro* Versuche (Rostocker Fermentationstest, Modellsilagen) mit reifen, lagertrockenen Körnern verschiedener Leguminosenarten und -sorten bzw. mit feucht geernteten Ackerbohlen-, Erbsen- und Lupinenkörnern wird die theoretisch ungünstige Silierbarkeit widerlegt.
 4. Das im Körnerschrot befindliche Restwasser ermöglicht im Silierprozess enzymatische Umsetzungen der in der wässrigen Phase gelösten bzw. in suspendierter Form vorliegenden Stoffe. Eine umfassende Wirkung von pflanzeigenen und mikrobiellen Enzymen ist aufgrund der Zerkleinerung der Körner und der Einwirkzeiten während der Silierung möglich. Dadurch ist das Kornmaterial großsamiger Leguminosen im hohen Trockensubstanzbereich silierfähig.
 5. Auch ohne den Einsatz von Silierhilfsmitteln (Melasse, Milchsäurebakterien) können durch milchsaure Fermentation organoleptisch einwandfreie Körnerschrotsilagen produziert werden.
 6. Die Zugabe von Milchsäurebakterien führt zu niedrigeren pH-Werten, einer signifikant höheren Milchsäurebildung und signifikant geringeren Alkoholgehalten sowie einer Verbesserung der aeroben Stabilität der Silagen als in den Vergleichsvarianten ohne Silierzusätze. Durch Zusatz leistungsfähiger Milchsäurebakterienpräparate kann die Silagequalität weiter verbessert werden.
 7. Zusätzliche Zuckerquellen sind bei der Silierung von Leguminosenkörnerschrot zum Erreichen einer stabilen Silage nicht erforderlich. Die in Körnerleguminosen vorkommenden niedermolekularen Oligosaccharide (Raffinose, Stachyose, Verbascose) können für den Bakterienstoffwechsel zur Milchsäurebildung genutzt werden.
- Milchsäurebakterien mit amylolytischer Aktivität nutzten zusätzlich das durch den hohen Stärkegehalt bei Ackerbohlen und Erbsen gegebene Gärsubstrat.

8. Anhand der Gärqualität, der Inhaltsstoffzusammensetzung und der ernährungsphysiologisch positiven Wirkung der Milchsäure können Ackerbohnen-, Erbsen- und Lupinenschrotsilagen als ein wertvolles Futtermittel für monogastrische Tierarten verwendet werden.

9. Im Rahmen der milchsäuren Fermentation erfolgt über pflanzliche und mikrobielle Enzymwirkung eine Reduzierung der Gehalte bzw. Inaktivierung bestimmter antinutritiver Inhaltsstoffe (Oligosaccharide und Tannine) und somit eine teilweise Verbesserung des Futterwertes der Silagen. Eine Reduzierung der flatulenten Eigenschaften und womöglich eine Verbesserung der Verdaulichkeit an Nährstoffen sind zu vermuten.

10. Die milchsäure Fermentation von Leguminosenkörnern mit hohem Restfeuchtegehalt bedarf keiner chemischen Zusätze. Daher bietet die milchsäure Körnerschrotfermentation unter anaeroben Bedingungen ein Bearbeitungsverfahren zur kostengünstigen Bereitstellung wirtschaftseigener eiweißreicher Konzentratfuttermittel, welches auch in den Betrieben des ökologischen Landbaus anwendbar ist.

Publikationen

- Gefrom, A. und Ott, E.M. (2006): Untersuchungen zur Silierbarkeit von Körnern der Lupinensorte „Bora“. Vortrag auf der 6. Heidelberger Lupinentagung, 25.–27.01.2006 in Heidelberg
- Gefrom, A. und Ott, E.M. (2006): Investigations on ensilability of pea and field bean seeds. In: Martens, H. (Hrsg.): Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, 15, 93
- Ott, E.M. und Gefrom, A. (2006): Investigations on ensilability of pea seeds (*Pisum sativum*) harvested before maturation. In: Proceedings of the 12th International Symposium on Forage Conservation, 2nd–5th April 2006 in Brno, Czech Republic, 189
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2006): Untersuchungen zur Silierbarkeit von Lupinenkörnern der Sorte „Borlu“ bei Ernte vor der Vollreife. In: Kurzfassungen der Referate zum 118. VDLUFA-Kongress vom 19.–22.09.2006 in Freiburg, 134
- Ott, E.M.; Gefrom, A. und Zeyner, A. (2007): Investigations on the ensilability of field bean seeds (*Vicia faba*) harvested before maturation. In: Martens, H. (Hrsg.): Proceedings of the Society of Nutrition Physiology. 16, 110
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2007): Investigations on the ensilability of pea (*Pisum sativum*), field bean (*Vicia faba*) and lupine seeds (*Lupinus angustifolius*) harvested before maturation. Proceedings of the 6th European Conference on grain legumes, 12.–16.11.2007, Lisbon, Portugal, 188
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2008): Ensiling natively moist seeds of field bean and pea and the influence of conservation on tannins. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, 17, 131
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2009): Ensiling moistly harvested lupine seeds and the influence of conservation on oligosaccharides. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, 18, 115
- Frank, A.; Hackl, W.; Ott, E.M.; Gefrom, A. und Zeyner, A. (2009): Untersuchungen zum Einsatz von Lupinenkornsilage in der Ferkelaufzucht. Tagungsunterlage DLG Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, 01.–02.04.2009, 168–171
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2012): Silierung von Lupinenkörnern vor der Vollreife – Untersuchung der Alkaloid- und Oligosaccharidgehalte. 17. Vortragsveranstaltung Gesellschaft zu Förderung der Lupine, Groß Lüsewitz (bei Rostock), 17.01.2012
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2012): Silierung von feuchtem Lupinenkörnerschrot – Alkaloidgehalte bei Süß- & Bitterlupine. PlantsProFood – Gewinnung von funktionellen Food Ingredients aus Lupinensaaten, Fachtagung 18.01.2012, Rostock
- Gefrom, A.; Ott, E.M.; Hoedtke, S. und Zeyner, A. (2012): Ensiling legume grains to reduce anti-nutritional factors; Effect of ensiling moist field bean (*Vicia faba*), pea (*Pisum sativum*) and lupine (*Lupinus spp.*) grains on the contents of alkaloids, oligosaccharides and tannins. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, online: DOI:10.1111/jpn.12024
- Gefrom, A.; Ott, E.M. und Zeyner, A. (2012): Die Silierung von Körnern der großsamigen Leguminosen. Vortrag LFA Fachveranstaltung „13. Dummerstorfer Seminar Futter und Fütterung“, 05.12.2012, Rostock
- Gefrom, A.; Ott, E.M.; Hoedtke, S. und Zeyner, A. (2013): Ensiling legume seeds and the influence of conservation on contents of alkaloids, oligosaccharides, phytate-phosphorus and tannins. Züchtungskunde, 85 (2), 154–168
- Zeyner, A.; Gefrom, A.; Hillegeist, D. und Sommer, W. (2013): Contribution to the method of sugar analysis in legume grains for ensiling. In: European Society of Veterinary and Comparative Nutrition: Proceedings of the 17th European Society of Veterinary and Comparative Nutrition Congress. ISBN 978-90-5864-353-7, 53