

Steigerung des Gehaltes an nutzbarem Protein bei Körnerleguminosen mittels ökologisch konformer technischer Bearbeitungsverfahren zur Förderung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Hochleistungskühen im ökologischen Landbau

Increasing utilisable protein of field beans, peas and lupines by technical treatments conforming to organic farming, for the advantage of health and performance of high yielding dairy cows in organic farming

FKZ: 02OE005

Projektnehmer:

Universität Hohenheim
Institut für Tierernährung
Emil-Wolff-Str. 8/10, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-24200
E-Mail: drochner@uni-hohenheim.de
Internet: <http://www.uni-hohenheim.de>

Autoren:

Bissinger, C.; Steingaß, H.; Drochner, W.

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)



Prof. Drs. & Drs. h.c. Winfried Drochner

Institut für Tierernährung
Emil-Wolff-Str. 10
D-70599 Stuttgart

Projektnummer: 02OE005

**Steigerung des Gehaltes an nutzbarem Protein bei
Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen mittels ökologisch
konformer technischer Bearbeitungsverfahren zur
Förderung von Gesundheit und Leistung von
Hochleistungskühen im ökologischen Landbau**

Laufzeit: 01. Oktober 2002 bis 31. Dezember 2003

Berichtszeitraum: 01. Oktober 2002 bis 30. April 2004

Inhaltsverzeichnis:

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	4
1.1 Planung und Ablauf des Projekts	5
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand	7
2. Material und Methoden	13
2.1 Versuchsorte	13
2.2 Versuchsdesign	13
2.3 Versuchstiere	14
2.4 Analyse des Futters	14
2.5 Rationen für die einzelnen Versuchsteile	15
2.5.1 Rationen mit Erbsen	15
2.5.1.1 Hitzebehandlung der Erbsen	15
2.5.2 Rationen mit Lupinen	16
2.5.2.1 Bestimmung der Partikelgröße	17
2.5.3 Rationen mit Ackerbohnen	17
2.5.3.1 Analyse des Tanningehaltes	17
2.6 In vitro Untersuchungen	18
2.6.1 Gasbildungsverlauf	18
2.6.2 In vitro Stickstoffabbaubarkeit	18
2.7 Untersuchung des in situ Abbaus im Pansen	19
2.8 Datenerfassung während der Bilanzversuche	20
2.8.1 Futteraufnahme	20
2.8.2 Kotproben	21
2.8.3 Harnproben	21
2.8.4 Milchproben	22
2.8.5 Respiration	23
2.9 Untersuchung der Pansenparameter	23
2.9.1 Bicarbonatkonzentration	23
2.9.2 Ammoniakkonzentration	24
2.9.3 Konzentration der flüchtigen Fettsäuren	24
2.10 Datenerfassung während der Produktionsversuche	24
2.10.1 Futteraufnahme	24
2.10.2 Lebendgewichte	25

2.10.3 Milchmenge und Milchinhaltsstoffe	25
2.11 Statistische Auswertung	25
3. Ergebnisse	26
3.1 Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	26
3.1.1 Inhaltsstoffe und Partikelgröße der Futtermittel	26
3.1.1.1 Ergebnis der Nährstoffanalyse der Körnerleguminosen	26
3.1.1.2 Ergebnis der Nährstoffanalysen der Versuchsrationen	28
3.1.1.3 Einfluss der unterschiedlichen Behandlung von Lupinen auf deren Partikelgröße	28
3.1.1.4 Ergebnis der Tanninanalyse der Ackerbohnen	29
3.1.2 In vitro Untersuchungen	30
3.1.2.1 Gasbildung	30
3.1.2.2 In vitro Stickstoffumsatz	31
3.1.3 In situ Untersuchungen	32
3.1.3.1 Abbau der Trockensubstanz in situ	32
3.1.3.2 Abbau des Rohproteins in situ	34
3.1.4 Ergebnisse der Tierversuche	36
3.1.4.1 Ergebnisse der Untersuchungen mit Erbsen	36
3.1.4.1.1 Ergebnisse der Bilanzen mit rohen und behandelten Erbsen	36
3.1.4.1.2 Ergebnisse der Untersuchung der Pansenparameter bei rohen und behandelten Erbsen	38
3.1.4.1.3 Ergebnisse des Produktionsversuches mit rohen und behandelten Erbsen	43
3.1.4.1.3.1 Futteraufnahme bei den Rationen mit rohen und behandelten Erbsen	43
3.1.4.1.3.2 Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei den Rationen mit rohen und behandelten Erbsen	43
3.1.4.1.3.3 Lebendgewicht bei den Rationen mit rohen und behandelten Erbsen	44
3.1.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen mit Lupinen	45
3.1.4.2.1 Ergebnisse der Bilanzen bei geschroteten und gequetschten Lupinen	45

3.1.4.2.2 Ergebnisse der Untersuchung der Pansenparameter bei geschroteten und gequetschten Lupinen	47
3.1.4.2.3 Ergebnisse des Produktionsversuches mit geschroteten und gequetschten Lupinen	52
3.1.4.2.3.1 Futteraufnahme bei den Rationen mit geschroteten und gequetschten Lupinen	52
3.1.4.1.3.2 Milchleistung und Milchhaltsstoffe bei den Rationen mit geschroteten und gequetschten Lupinen	53
3.1.4.2.3.3 Lebendgewicht bei den Rationen mit geschroteten und gequetschten Lupinen	54
3.1.4.3 Ergebnisse der Untersuchungen mit Ackerbohnen	55
3.1.4.3.1 Ergebnisse der Bilanzen bei den Ackerbohnsorten Samba und Valeria	55
3.1.4.3.2 Ergebnisse der Untersuchung der Pansenparameter der Ackerbohnen Samba und Valeria	57
3.1.4.3.3 Ergebnisse des Produktionsversuches mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria	62
3.1.4.3.3.1 Futteraufnahme bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria	62
3.1.4.3.3.2 Milchleistung und Milchhaltsstoffe bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria	63
3.1.4.3.3.3 Lebendgewicht bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria	65
3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	65
4. Zusammenfassung	66
5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	68
6. Literaturverzeichnis	69

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Ziel des Projekts war durch ökologisch konforme Behandlungen von Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen die Versorgung von Milchkühen an nutzbarem Rohprotein zu verbessern und dadurch ein Ersatzprodukt vor allem für Sojabohnen zu schaffen, deren Einsatz im ökologischen Landbau in der Regel nicht möglich ist.

Da zu erwarten ist, dass die Bedeutung von Körnerleguminosen als Futtermittel in konventionell geführten Betrieben künftig zunehmen wird, sind diese Untersuchungen auch für die konventionelle Landwirtschaft von großer Bedeutung.

Vorausgegangene Hohenheimer Untersuchungen zeigten, dass große Mengen an Erbsen und Ackerbohnen vertragen werden, so dass im Rahmen einer sachgerechten Rationsgestaltung keine Einsatzgrenzen bestehen. Dabei ist eine hohe Verwertung des Rohproteins anzustreben, da es durch den schnellen und weitgehenden Abbau des Rohproteins zu einem Defizit an nutzbarem Rohprotein im Dünndarm kommen kann. Zudem verringert sich bei besserer Verwertung die Aufwandmenge. Dies ist insofern von Bedeutung, da der, bis jetzt noch relativ geringe Kraftfutteranteil im ökologischen Landbau, aus wirtschaftlichen Gründen weiter steigen wird. Dabei ist eine effiziente Ausnutzung der Nährstoffe des Kraftfutters anzustreben.

Durch Verbesserung der Proteinverwertung vermindern sich die Pansen - Stickstoff-Verluste und die Ausscheidung von Harnstickstoff geht zurück. Stickstoffverluste bei Lagerung und Ausbringung können so reduziert werden. Dies bedeutet eine geringere Stickstofffreisetzung in die Umwelt.

Da heimische Körnerleguminosen unter praktischen Fütterungsbedingungen noch wenig erforscht sind, wurden bei den Versuchen Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen, die drei wichtigsten Körnerleguminosen, unter Einbeziehung von Kontrollgruppen untersucht:

Im ersten Versuch war die Wirkung der Hitzebehandlung mit dem Jet Sploder auf Erbsen untersucht worden. Der zweite Versuch beinhaltete den Vergleich von geschroteten mit angequetschten Lupinen.

Zuletzt ist der Einfluss des Tanningehaltes von Ackerbohnen, mittels der Gegenüberstellung der tanninfreien Sorte Valeria mit der tanninhaltigen Sorte Samba, untersucht worden.

1.1 Planung und Ablauf des Projekts

Zu Beginn des Projekts wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde Literatur über den Proteinstoffwechsel von Wiederkäuern, über die Inhaltsstoffe von Körnerleguminosen und deren Beeinflussung und über den Einsatz von Körnerleguminosen in der Milchviehfütterung zusammengestellt.

Die drei praktischen Versuchsteile waren alle nach dem gleichen Schema aufgebaut:

1. in-vitro Untersuchungen

Von den in den drei Tierversuchen verwendeten Körnerleguminosen wurde der Gasbildungsverlauf untersucht und der Gehalt an nutzbarem Rohprotein (nXP), an im Pansen nicht abbaubarem Rohprotein (UDP), an mikrobiellem Protein (MP) und schließlich der Anteil des „effektiven“ nXP bestimmt.

2. in-situ Untersuchungen

Zur weiteren Charakterisierung der Körnerleguminosen wurde der ruminale Abbau der Trockensubstanz und des Rohproteins durch Inkubation des Futters im Pansen von fistulierten Kühen, mittels der Nylonbag-Methode, untersucht.

3. Bilanzversuche bei laktierenden Kühen

Mit Hilfe von Gesamtstoffwechselversuchen ist der Umsatz, d.h. die Verteilung und Verwertung von Energie und Stickstoff bei den einzelnen Rationen ermittelt worden.

4. Untersuchung der Pansenparameter

Die Wirkung des Futters auf die Pansenfermentationsparameter (pH, HCO_3^- , NH_3 und flüchtige Fettsäuren) war durch die Entnahme und Analyse von Pansensaft im Zeitverlauf untersucht worden. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf Abbau des Futters und die Synthese durch die Mikroorganismen im Pansen ziehen.

5. Produktionsversuche

Um die Wirkung der Behandlung der Körnerleguminosen auf die Leistungsparameter von Milchkühen zu untersuchen, wurden Produktionsversuche mit Milchkühen durchgeführt. Diese waren nach dem Change-over-Design ausgelegt, beide Versuchsperioden umfassten jeweils 5 Wochen. Futteraufnahme, Milchleistung und Gewicht der Kühe wurden täglich tierindividuell erfasst. Die Milchzusammensetzung, d.h. Protein-, Fett- und Harnstoffgehalt, wurde einmal wöchentlich ermittelt.

Der erste Produktionsversuch wurde am 08.04.2003 begonnen und endete am 24.6.2003. Im Anschluss lief der zweite Versuch; dieser endete am 08.09.2003. Der letzte Versuch ist vom 09.09. bis zum 16.12.2003 durchgeführt worden. Parallel zum jeweiligen Produktionsversuch wurden die Bilanzversuche und die Untersuchung der Pansenparameter durchgeführt. Die genauen Daten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle1: Daten der Bilanzversuche und der Untersuchung der Pansenparameter der Erbsen (E.), Lupinen (L.) und Ackerbohnen (A.).

Durchgang	Bilanz	Respiration	Pansenparameter
Rohe E.	19.05.-25.05.03	26.05.-30.05.03	26.05.-29.05.03
Behandelte E.	16.06.-22.06.03	23.06.-27.06.03	23.06.-26.06.03
Geschrotete L.	14.07.-20.07.03	28.07.-01.08.03	21.07.-24.07.03
Gequetschte L.	16.08.-22.08.03	11.08.-15.08.03	11.08.-15.08.03
A. Samba	29.09.-05.10.03	06.10.-10.10.03	06.10.-09.10.03
A. Valeria	20.10.-26.10.03	27.10.-31.10.03	27.10.-30.10.03

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Mit zunehmender Milchleistung nimmt der Bedarf an nutzbarem Rohprotein (nXP) linear zu, so dass laut GfE (2001) für 45 kg Milch /Tag etwa 4 kg nXP /Tag benötigt werden. Bei einer Synthesekapazität von 10,1 g Mikrobenprotein je MJ ME und einer Milchleistung von 40 bis 50 kg der Kuh können jedoch nur 2,8 kg nXP /Tag von den Mikroben gebildet werden (Breves und Rodehutschord, 1999). Die Differenz zum Gesamtbedarf muss aus nicht abbaubarem Futterprotein (UDP; pansenstabiles Rohprotein) geliefert werden. Dies bedeutet, dass die ruminale Abbaubarkeit des Futterproteins höchstens 70% betragen darf.

Durch verschiedene Schätzgleichungen (Lebzien et al., 1996) kann der Gehalt an nutzbarem Rohprotein am Duodenum von Milchkühen bestimmt werden, in denen u.a. der Energiegehalt, der Proteingehalt des Futters und das im Pansen nicht abbaubare Protein (UDP) berücksichtigt werden.

Pansenstabiles Protein muss im Dünndarm verdaulich sein, eine ebenso gute Qualität wie das im Pansen gebildete Mikrobenprotein besitzen oder muss dem Mikrobenprotein fehlende Aminosäuren ergänzen, wenn die Leistung dadurch gesteigert werden soll (Schingoethe et al., 1994; zitiert von Maiga et al., 1996). Besonders pansenstabiles Futterprotein mit einem hohem Anteil an limitierenden Aminosäuren vermögen Milchleistung und Wachstum zu steigern (Maiga et al., 1996). Die Qualität und Menge der Aminosäuren, die den Dünndarm erreichen, hängt von der Synthese der Mikroorganismen und der Menge an pansenstabilen Proteinen ab, die den Darm erreichen. Die Eigenschaften des Futterproteins beeinflussen die Nutzung dieser Aminosäuren direkt (Khorasani und Kennelly, 1997).

Zu den Ursachen einer unzureichenden Proteinanflutung am Duodenum zählen eine zu niedrige Gesamt-N-Zufuhr, die allerdings kaum auftritt, ebenfalls selten ist eine zu geringe mikrobielle Proteinsynthese aufgrund zu niedriger ruminale Abbaubarkeit des Rohproteins. Hauptursachen sind eine zu geringe Energieversorgung der Kuh und eine zu hohe ruminale Abbaubarkeit des Rohproteins (Coenen, 1996).

Die Körnerleguminosen Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen zeichnen sich durch einen hohen Gehalt von Rohprotein (XP) aus. Davon haben Erbsen den geringsten

und Lupinen den höchsten XP-Gehalt (Abel, 1996). Die Proteinabbaubarkeit ist bei den drei Körnerleguminosen durchweg hoch.

Neben den erwünschten Inhaltsstoffen enthalten Körnerleguminosen auch eine Reihe von Stoffen, die sich u.a. auf Futteraufnahme und/oder Futtermittelverwertung auswirken können.

Dazu gehören Alkaloide, Tannine (Gerbstoffe), Proteaseinhibitoren (verdauungsenzym-hemmende Stoffe), Lectine, Glucoside, Saponine und Antivitamine (Jeroch, 1993; Römer, 1998; Khorasani und Kennelly, 1997; Makkar et al., 1997). Zu den Glucosiden gehören Vicin, Convicin, α - Glucoside und cyanogene Glucoside. Tannine gehören zu den Polyphenolen und werden in kondensierte (Proanthocyanide) und hydrolysierbare Tannine unterteilt (Mc Leod, 1974). In Tabelle 2 sind die wichtigsten Stoffe aufgeführt.

Tabelle 2: Gehalt an antinutritiven Stoffen in Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen:
 -: nicht enthalten; +: geringe Gehalte; ++: hohe Gehalte (Jeroch, 1993; Römer, 1998; Khorani und Kennelly, 1997; Makkar et al., 1997).

Antinutritive Stoffe	Ackerbohnen	Erbsen	Lupinen
Alkaloide	-	-	+ +**
Polyphenole (Tannine)	+ +*	+*	-
Trypsin-/Proteaseinhibitoren	+ +	+ +	+*
Lectine (Phytohämagglutinine)	+	+	+
α - Galactoside	+	+	+
Vicin und Convicin	+ +*	-	-
Saponine	+	+	-
Antivitamine	+	-	-

* Sortenunterschiede: Sorten mit geringen oder sehr niedrigen Gehalten vorhanden.

** In Bitterlupinen, Süßlupinen haben nur sehr geringen Gehalt.

Mit Ausnahme der Tannine spielen diese antinutritiven Substanzen beim Wiederkäuer nur eine untergeordnete Rolle, da sie einem intensiven Abbau im Pansen unterliegen.

Den Einsatz von Erbsen als alleiniges Krafftutter für Milchkühe prüften Hoden et al. (1992) und folgerten, dass Erbsen bei Milchleistungen von 25 bis 30 kg als alleiniges

Krafftutter eingesetzt werden können. Bei höheren Leistungen ist es jedoch erforderlich gleichzeitig Protein mit geringer Abbaubarkeit einzusetzen.

Die Ergebnisse von Versuchen, welche die Wirkung von Hitzebehandlung auf die Milchleistung von Milchkühen untersucht haben, waren unterschiedlich. Léonard und Block (1988) stellten keinen Anstieg der Milchleistung bei Holstein Färsen durch hitzebehandelte Sojabohnen fest, während van Dijk et al. (1983) einen leichten Anstieg der Milchleistung verzeichneten. Dieser war gekoppelt mit einem Rückgang des Milchfettgehaltes, so dass sich die Menge an 4% fett-korrigierter Milch nicht veränderte.

Jilg (1986) untersuchte die Wirkung mehrerer Sojaprodukte bei Milchkühen. Unter anderem wurden vollfette Sojabohnen mit dem Jet Sploder etwa eine Minute mit 300°C heißer Luft behandelt. Die Futteraufnahme der Kühe unterschied sich nicht bei den Rationen mit unbehandelten und Jet Sploder behandelten Sojabohnen. Milchleistung und ECM waren bei Jet Sploder behandelten Sojabohnen leicht niedriger als bei nicht behandelten Sojabohnen, jedoch höher als bei den Rationen mit dampferhitztem und formaldehydbehandeltem Sojaextraktionsschrot.

Im Versuch von Khorasani und Kennelly (1997) lag die Proteinabbaubarkeit der Erbsen bei 88,2% und die des Sojaschrots bei 74,0%. Die lösliche Proteinfraction war in den Erbsen mit 58,6% viel höher als im Sojaschrot (20,9%). Nach fünfminütiger Hitzebehandlung der Erbsen war der Anteil der löslichen Trockensubstanz von 47,2% auf 33,5% gesunken.

Walhain et al. (1992) untersuchten den Einfluss des Extrudierens von Erbsen auf das Verschwinden von Protein und Stärke im Pansen und im Darm. Das Extrudieren hatte keinen Einfluss auf die effektive Abbaubarkeit der Trockensubstanz, aber verminderte die effektive Abbaubarkeit des Rohproteins (88,3% vs. 65,5% bei einer Passagerate von 0,06h⁻¹). Das Verschwinden der Stärke im Pansen wurde durch das Extrudieren stark erhöht.

Autoklavieren (120°C für 30 min) verminderte bei Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen die Abbaurate der Trockensubstanz und des Stickstoffs. Die Höhe des Abbaus war jedoch kaum beeinflusst. Die größte Minderung der effektiven Proteinabbaubarkeit wurde bei Erbsen erzielt. Die effektive Abbaubarkeit des Proteins war bei nicht

hitzebehandelten Erbsen 90,8% ($k=0,0154 \text{ h}^{-1}$) und 87,5% ($k=0,0222 \text{ h}^{-1}$) und für autoklavierte Erbsen 69,2% ($k=0,0154 \text{ h}^{-1}$) und 61,9% ($k=0,0222 \text{ h}^{-1}$) (Aguilera et al., 1992).

Durch Extrusion konnte das Verschwinden von TS und XP aus dem Pansen und die effektive Abbaubarkeit bei Rapsschrot und Sojabohnen nicht beeinflusst werden. Die effektive Proteinabbaubarkeit war bei der Passagerate von $0,05 \text{ h}^{-1}$ 86,7% bei unbehandeltem, 86,2% bei extrudiertem und 60,8% bei Jet Sploder Raps. Bei unbehandeltem Sojaschrot war die effektive Abbaubarkeit des Proteins 68,2% und bei extrudiertem Sojaschrot 66,4%. Deacon et al. (1988) vermuteten, dass bei der Extrusion die innere Samentemperatur von 121°C zu niedrig war oder die Behandlungsdauer zu kurz.

In einem zweiten Experiment untersuchten Deacon et al. (1988) bei Raps die Wirkung verschiedener innerer Samentemperaturen beim Jet Splodern. Die unterschiedlichen Temperaturen wurden durch das Variieren der Behandlungsdauer bei einer Lufttemperatur von 315°C im Jet Sploder erreicht. Es zeigte sich, dass Jet Splodern das ruminale Verschwinden von TS und XP schon bei einer relativ niedrigen inneren Samentemperatur von 116°C verminderte und dieses mit steigender Produkttemperatur weiter abnahm. Bei der Produkttemperatur von 154°C war die effektive Abbaubarkeit des Proteins bei behandeltem Raps $43,6\%$ ($0,05 \text{ h}^{-1}$) und $36,6\%$ ($0,08 \text{ h}^{-1}$), die der unbehandelten Rapssamen war $83,0\%$ ($0,05 \text{ h}^{-1}$) bzw. $75,0\%$ ($0,08 \text{ h}^{-1}$).

May et al. (1993) substituierten Sojaextraktionsschrot durch 25, 50, 75 und 100% Lupinen. Kühe, die 75% des Proteinsbedarfs durch Lupinen aufnahmen, hatten eine höhere Leistung an 3,5% fett-korrigierter Milch als die mit Sojaextraktionsschrot gefütterte Kontrollgruppe.

In einem zweiten Versuch verglichen May et al. (1993) die Wirkung von geschroteten ($0,95 \text{ cm}$ Sieb) mit ganzen Lupinen bei Färsen in der frühen Laktation. Färsen, die geschrotete Lupinen erhielten, gaben $2,0 \text{ kg/Tag}$ mehr Milch und auch mehr fett-korrigierte Milch ($1,6 \text{ kg/Tag}$). Der Fettgehalt war bei geschroteten Lupinen $3,73\%$ und $3,83\%$ bei ganzen Lupinen. Durch die unterschiedliche Behandlung wurde der Ertrag von Fett und Protein in der Milch nicht beeinflusst. Die höhere Milchleistung der Kühe, denen geschrotete Lupinen gefüttert wurden, resultierte aus einer persistenteren Laktationskurve. May et al. (1993) vermuteten, dass dies auf

geringere Verdaulichkeit bei den ganzen Lupinen zurückzuführen ist, welche von Valentine und Bartsch (1986) festgestellt wurden. Die Trockensubstanzaufnahme und das Gewicht wurden durch die unterschiedliche Behandlung nicht beeinflusst.

Guillaume et al. (1987) verglichen die Wirkung von rohen Lupinen mit der von Sojaschrot. Wurden nur Lupinen verfüttert gingen die Trockensubstanzaufnahme, die Milchmenge, die Menge an 4% fett-korrigierter Milch und der Proteingehalt der Milch zurück. Der prozentuale Fettgehalt der Milch blieb unverändert. Der Rückgang der Futteraufnahme könnte laut Guillaume et al. (1987) an einer höheren Sensitivität der Milchkühe gegenüber geringen Alkaloidgehalten liegen oder auf die hohe Proteinabbaubarkeit (80,5 % in situ) der Lupinen im Pansen zurückzuführen sein, woraus möglicherweise geringere Mengen an resorbierbarem Aminostickstoff im Dünndarm resultieren.

Dass der Zerkleinerungsgrad die Geschwindigkeit des ruminalen Abbaus beeinflusst zeigte sich bei Freer und Dove (1984). Der geschätzte Stickstoffabbau von grob (dreimal ohne Sieb), mittel (4,0 mm) und fein (0,8 mm) gemahlene Lupinensamen betrug 71, 79 und 90 %.

Bei Lykos und Varga (1995) wurden sowohl Rohprotein als auch die Nicht-Struktur-Kohlenhydrate (von Sojabohnen) bei Verminderung der Partikelgröße schneller abgebaut.

Kibeloud et al. (1991) zeigten in situ, dass durch grobes Zerquetschen im Gegensatz zu feinem Zerquetschen die Abbaubarkeit des Rohproteins von Lupinen zurückgeht, ohne seine Verdaulichkeit zu beeinflussen. Bei feinerer Vermahlung stiegen die N-Löslichkeit und die N-Abbaubarkeit an.

Zurückgeführt wird ein verminderter Nährstoffabbau durch Tannine im Pansen auf Komplexbildung mit Proteinen und Kohlenhydraten, auf Hemmung von Enzymen und Schädigung der Mikroorganismen (Hayler, 1999). Nach Hagerman et al. (1992) hängt die Wirkung von der Konzentration und Struktur der Tannine ab. Hydrolysierbare Tannine werden zum Großteil im Pansen aufgespalten und verbinden sich danach nicht mehr mit Nährstoffen, während kondensierte Tannine die Verdaulichkeit bei Wiederkäuern stark vermindern.

Bei Buckley et al. (1983) lag das Verschwinden der Trockensubstanz in vitro bei tanninfreien Ackerbohnen höher als bei tanninhaltigen Sorten. Ebenso verringerte sich in vitro das Verschwinden der Trockensubstanz und des Proteins des Proteinkonzentrates der Ackerbohnen Sorte Diana (56% XP) als kondensierte Tannine dem Inkubationsmedium zugegeben wurden. Buckley et al. (1983) hatten jedoch nur einen Versuch durchgeführt, sodass die Datenmenge nicht für eine statistische Auswertung ausreichte.

Bei Makkar et al. (1997) war die in vitro Abbaubarkeit des Stickstoffs der buntblühenden Sorten signifikant niedriger als die der weißblühenden. Es zeigte sich eine stark negative Korrelation zwischen Tannin und der in vitro Proteinabbaubarkeit. Ebenso gab es negative Korrelationen zwischen Tanningehalten und der umsetzbaren Energie, der Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Aktivität des Trypsininhibitors.

In weißblühenden Ackerbohnen fand Bond (1976) eine um im Durchschnitt 4,7% höhere in vitro Verdaulichkeit der TS als in buntblühenden Sorten. Bei buntblühenden Sorten ist der Hauptteil der Tannine in den Schalen enthalten (Griffith und Jones, 1977). So zeigte sich bei der Untersuchung der Verdaulichkeit der organischen Substanz der Schalen in vitro, dass bei tanninfreien Sorten 56,4% und bei tanninhaltigen Sorten nur 17,2% verdaulich sind. Es konnte also beim Fehlen von Tanninen dreimal soviel Schalenmaterial von den in vitro eingesetzten Pansenbakterien genutzt werden (Bond, 1976).

Bei Griffith und Jones (1977) zeigte sich ebenfalls eine geringere in vitro Verdaulichkeit der Schalen von buntblühenden Ackerbohnen Sorten im Vergleich zu weißblühenden Sorten und dass dieser Unterschied mit dem Tanningehalt zusammenhängt. Die Wirkung der in den Schalen enthaltenen Tannine, dort ist der Hauptteil, auf die in vitro Verdaulichkeit kann laut Griffith und Jones (1977) an einer Hemmung des für die Faserverdauung verantwortlichen Enzymsystems und/oder an der Bildung eines unverdaulichen Protein-Tannin-Komplexes liegen. Zudem könnte die Hemmung von Cellulase und anderer Enzyme der Kohlenhydratverdauung zur Verminderung der Verdaulichkeit beigetragen haben, sowie ein durch Proteinbindungen hervorgerufener Stickstoffmangel im in vitro-System.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsorte

Die in vitro und in situ Untersuchungen der Körnerleguminosen wurden am Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim durchgeführt. Alle drei Produktionsversuche fanden auf der Versuchsstation für Nutztierbiologie und ökologischen Landbau (401) (Meiereihof) statt. Parallel dazu sind die Bilanz- und Respiationsversuche, sowie die Untersuchung der Pansenparameter am Institut für Tierernährung (450) der Universität Hohenheim durchgeführt worden.

2.2 Versuchsdesign

Die Bilanzversuche wurden pro Fütterungsvariante mit vier laktierenden Kühen durchgeführt. Nach 10-14-tägiger Anfütterung folgte eine Sammelperiode über sechs Tage.

Im Anschluss wurde Pansensaft entnommen und parallel wurden die Respiationsversuche durchgeführt. Es wurden von zwei Kühen die Pansenparameter untersucht, während die anderen beiden Kühe für 2 x 24 Stunden in die Respiationskammern kamen. Danach wurden die Kühe gewechselt.

Auf der Versuchsstation dauerten die Produktionsversuche jeweils zehn Wochen und wurden im Cross-Over-Design durchgeführt, d.h. die Kühe waren in zwei Gruppen eingeteilt und erhielten nach 7-tägiger Anfütterung je fünf Wochen eine der beiden Futtermittellvarianten. Anschließend wurden die Gruppen gewechselt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Versuchsdesign der Produktionsversuche.

	1. bis 5. Woche	6. bis 10. Woche
Gruppe 1/3/5:	Kontrolle	Behandlung
Gruppe 2/4/6:	Behandlung	Kontrolle

Mit den Gruppen 1 und 2 ist der Erbsenversuch durchgeführt worden, mit Gruppe 3 und 4 lief der Lupinenversuch und zuletzt, im Ackerbohnenversuch, erhielten die Gruppen 5 und 6 die Versuchsrationen.

2.3 Versuchstiere

Am Institut für Tierernährung wurden die Bilanzversuche, die Pansensaftentnahmen und die Respirationsversuche mit je vier pansenfistulierten, laktierenden Kühen der Rasse „Deutsche Holsteins“ durchgeführt.

Auf dem Meiereihof standen pro Versuch 26 bis 30 Kühe der Rasse „Deutsche Holsteins“ für die Produktionsversuche zur Verfügung. In Tabelle 4 ist die Gesamtzahl der Tiere und die Anzahl der Färsen in den einzelnen Gruppen angegeben; außerdem das durchschnittliche Alter, die durchschnittliche Anzahl der Laktationen und das durchschnittliche Laktationsstadium.

Tabelle 4: Anzahl der Tiere und der Färsen in den Produktionsversuchen auf dem Meiereihof, durchschnittliches Alter, durchschnittliche Laktationsnummer und durchschnittliches Laktationsstadium.

		Gruppe 1*	Gruppe 2*	Gruppe 3*	Gruppe 4*	Gruppe 5*	Gruppe 6*
Tierzahl	n	15	15	14	14	13	13
Anzahl der Färsen	n	3	4	4	4	4	4
Alter	Jahre	4,4	3,7	4,1	3,9	4,2	4,1
Laktationsnummer	n	2,6	2,0	2,4	2,1	2,5	2,4
Laktationsstadium	Tag	152	147	177	166	154	148

*: Gruppe 1: roh/behandelt; Gruppe 2: behandelt/roh; Gruppe 3: fein/grob; Gruppe 4: grob/fein; Gruppe 5: Samba/Valeria; Gruppe 6: Valeria/Samba.

2.4 Analyse des Futters

Während der Bilanzperioden wurden zur Bestimmung des Trockensubstanzgehalts (TS-Gehalt) der Rationen täglich Proben genommen. Die lufttrockene Substanz ist durch Trocknung bei 65° C bestimmt worden. Der Gehalt an Resttrockensubstanz (Rest-TS-Gehalt) wurde durch vierstündiges Trocken bei 103° C ermittelt. Der TS-Gehalt berechnet sich mit der Formel:

TS-Gehalt [%] = (Lufttrockene Substanz [%] x Rest-TS-Gehalt [%]) / 100

Die einzelnen Proben sind bei jeder Bilanz mit einer Schneidmühle bei einer Siebweite von 0,75 cm zu einer Wochenprobe vermahlen worden.

Der Rohnährstoffgehalt wurde mittels der Weender Analyse (Naumann et al., 1976), der Energiegehalt durch den Hohenheimer Futterwerttest (HFT) (Menke und Steingäß, 1986) ermittelt.

Kalium, Kohlenstoff und der Bruttoenergiegehalt wurden für die Bilanzen gemessen: Für die Kaliumanalyse wurden die Proben einmal bei 450 - 500°C im Muffelofen verascht und nach dem Abkühlen auf einem siedenden Wasserbad abgeraucht. Nach Verschwinden der Säure wurde die Probe unter Zugabe von HNO₃ abfiltriert. Die Messung erfolgte am AAS (Varian Typ 220FS). Sie wurde auf einer Wellenlänge von 404,4 nm in einer oxidierenden Sauerstoff-Acetylen Flamme durchgeführt. Die Spaltbreite betrug dabei 0,5 nm.

Der Kohlenstoff (C) wurde am Institut für Pflanzenernährung (330a) der Universität Hohenheim mit dem Vario Max (Elementar Analysesysteme GmbH) bestimmt. Die Analyse der Bruttoenergie erfolgte mit dem IKA Calorimeter C4000 adiabatic.

2.5 Rationen für die einzelnen Versuchsteile

2.5.1 Rationen mit Erbsen

Erbsen waren die alleinige Krafftutterkomponente in einer Total-Misch-Ration (TMR). Ihr Anteil in der Ration war 44,2% der Rations- TS.

Die Grundfutterkomponenten waren Maissilage (18,7% i. d. TS), Grassilage (19,7% i. d. TS), Heu (7,4% i. d. TS) und Heulage (7,4% i. d. TS); ergänzt wurde die Ration mit 2,6% i. d. TS Mineralfutter und 0,1% i. d. TS Harnstoff.

Diese Maßnahme war kurzfristig notwendig geworden, da nach Vorliegen der Analysenbefunde die Erbsen nur etwa 20% Rohprotein in der TM enthielten gegenüber angenommenen 22%. Um eine bedarfsdeckende N-Versorgung sicherzustellen war die Ergänzung mit Harnstoff aus methodischen Gründen notwendig, da die Versuchsvorgabe darin bestand, dass Erbsen die alleinige Krafftutter- bzw. Proteinergänzung der Grundration sein sollten. Die Alternative, ein

weiteres Proteinfuttermittel an Stelle von Harnstoff als Ergänzung einzusetzen hätte den Nachteil gehabt, dass die Ergebnisse nicht eindeutig auf die Proteinquelle Erbsen zu beziehen wären und somit Aussage der Untersuchungen deutlich geschwächt worden wäre.

Es ist zu betonen, dass mit den konzipierten Versuchsrationen nie die Absicht bestanden hat, Beispiele oder Rezepte für die praktische Milchviehfütterung zu entwickeln sondern dass allein eine klare wissenschaftliche Fragestellung der Konzeption der Versuchsdiäten zu Grunde lag, wie sie für die aufwendigen grundlagenorientierten Untersuchungen zur Protein- und Energiebilanz sowie zu Studien der Pansenfermentation erforderlich ist. Konsequenter Weise wurde die für die Bilanzversuche konzipierten Rationen auch in den parallel durchgeführten Fütterungsversuchen eingesetzt.

Der Einsatz von Futterharnstoff schränkt in keiner Weise die Schlussfolgerungen zur Verwendung der geprüften Körnerleguminosen im ökologischen Landbau ein.

2.5.1.1 Hitzebehandlung der Erbsen

Die Hälfte der Erbsen wurden im Raiffeisen Krafftutterwerk Kehl GmbH + Co. KG mit dem Jet Sploder getoastet. Zur Behandlung der Erbsen wurde die Anlage auf die Solllufttemperatur von 250°C bei einer Verweildauer von 1 – 2 min eingestellt. Innerhalb dieser Vorgaben wurde die gewünschte Produkttemperatur von 160°C erzielt.

2.5.2 Rationen mit Lupinen

Die TMR setzte sich aus Grassilage (8,3% i. d. TS), Maissilage (27,4% i. d. TS), Heu (14,0% i. d. TS), Lupinen (30,0% i. d. TS), einem Ergänzungsfutter (17,6% i. d. TS) und Mineralfutter (2,7% i. d. TS) zusammen.

Um die unterschiedlichen Partikelgrößen bei den Lupinen zu erhalten, wurde ein Teil mit einem 4 mm Sieb geschrotet, der andere Teil grob angequetscht.

2.5.2.1 Bestimmung der Partikelgröße

Die Partikelgröße der Lupinen und der zwei Rationen wurde durch eine Nasssiebanalyse bestimmt. Dafür sind 20g Lupinen oder 15g TMR für eine Stunde in 200 bzw. 150 ml destilliertem Wasser eingeweicht worden und anschließend 12 min mit einer Siebmaschine (AS 200 digit) von Retsch gesiebt worden. Die Partikel, die in den acht unterschiedlichen Sieben zurückblieben, wurden quantitativ in zuvor gewogene Filter überführt und 24 h bei 80°C getrocknet. Nach circa 12 h an der Luft wurden sie zurückgewogen und daraus die prozentuale Partikelverteilung berechnet.

2.5.3 Rationen mit Ackerbohnen

Die Rationen des letzten Versuchs bestanden aus Maissilage (25,0% i. d. TS), Grassilage (9,8% i. d. TS), Heu (15,1% i. d. TS), Ackerbohnen, Ergänzungsfutter (75% Mais und 25% Weizen) und Mineralfutter (2,6% i. d. TS).

Um in beiden Rationen den gleichen XP- Gehalt zu erreichen, differierte der Anteil der Ackerbohnen entsprechend ihrer Proteingehalte (Samba: 30,92% XP i. d. TS; Valeria: 33,87% XP i. d. TS). Die TMR mit der tanninhaltigen Ackerbohne Samba (Samba) enthielt 32,3% Ackerbohnen und die TMR mit der tanninfreien Ackerbohne Valeria (Valeria) 28,4%. Dementsprechend variierte die Menge des Ergänzungsfutters (19,1% i. d. TS bei Valeria und 15,2% i. d. TS bei Samba).

2.5.3.1 Analyse des Tanningehaltes

Der Gesamtphenolgehalt wurde mit dem Folin-Ciocalteu-Reagent nach Singleton und Rossi (1965) gemessen, das einen blauen Farbkomplex bei reduzierenden Substanzen bildet, dessen Stärke proportional zum Gehalt an reduzierenden Substanzen ist. Dieser Farbumschlag wurde im Spektralphotometer (Beckman DU 640) mit einem Standard verglichen.

Die Tanninphenole sind aus der Differenz zwischen dem Gesamtphenolgehalt und dem Gehalt an Nicht-Tanninphenolen berechnet worden. Letztere können nach

Bindung der Tannine mit Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) und Zugabe des Folin-Ciocalteu-Reagent mit dem Spektralphotometer bestimmt werden.

Die kondensierten Tannine wurden gemäß Makkar et al. (1993) analysiert: Beim Erhitzen in saurem Butanol werden Proanthocyanidine zu farbigen Anthocyanidinen abgebaut und mit dem Spektralphotometer gemessen.

2.6 In vitro Untersuchungen

2.6.1 Gasbildungsverlauf

Der Gasbildungsverlauf der Futtermittel ist an Hand des Hohenheimer Futterwerttests (Menke und Steingäß, 1986) ermittelt worden. Abgelesen wurde die Gasbildung nach 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 32 und 48 Stunden.

Die Parameter des Verlaufs werden durch die Gleichung

$$p = a + b (1 - e^{-ct})$$

von Ørskov und McDonald (1979) beschrieben.

Dabei ist p die Gasbildung zur Zeit t und

a = Intercept zum Zeitpunkt t = 0

b = potentiell mögliche Gasmenge

c = Gasbildungsrate.

2.6.2 In vitro Stickstoffabbaubarkeit

Die Proben sind nach der Methode von Steingäß et al. (2001) untersucht worden. Dabei wurden Gasbildung und Ammoniak (NH₃)-N-Gehalt nach 4, 8, 12, 24, 48 h abgelesen bzw. analysiert. Zur Analyse des Kolbeninhalts wurde dieser quantitativ in einen Destillationskolben überspült und die Destillation des Ammoniaks mit einer Apparatur durchgeführt, die zur N- Bestimmung nach Kjeldahl gebräuchlich ist. Zu jedem Zeitpunkt wurden vier Blindwerte gemacht und die Proben jeweils mit und

ohne einem stickstofffreien Kohlenhydratgemisch untersucht. Dieses bestand aus 50% Stärke, 30% Zellulose und 20% Glukose.

Das nutzbare Rohprotein (nXP) der Probe wird wie folgt berechnet:

$$\text{nXP[g/kgTS]} = \frac{(\text{NH}_3\text{-N Blindw. [mg]} + \text{N Probe [mg]} - \text{NH}_3\text{-N Probe [mg]}) \times 6,25 \times 100000}{\text{Einwaage Probe [mg]} \times \text{TS Probe [\%]}}$$

Durch lineare Regression an Hand der zu den verschiedenen Zeitpunkten gemessenen nXP- Werten, erhält man die Gleichung

$$y = a \ln(x) + b \quad \text{mit}$$

$$y = \text{effektives nXP}$$

$$x = \text{Zeit (h)}.$$

Das effektive nXP wurde für die Zeiten 20 und 12,5 h ermittelt.

2.7 Untersuchung des in situ Abbaus im Pansen

Zur Bestimmung der Abbaubarkeit der Trockensubstanz und des Rohproteins in situ wurde die Nylonbeuteltechnik, wie bei Shannak et al. (2000) beschrieben, durchgeführt.

Die Futterproben wurden 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 48 h lang im Pansen inkubiert. Bei Inkubationszeiten von 0 bis 4 h wurden 1,3 g eingewogen, bei längeren Inkubationen 2,0 g. Pro Futtermittel wurden je zwei Parallelen in zwei Kühen inkubiert.

Die N- freien Polyesterbeutel (ANKOM Technology Corp.) waren 5 x 10 cm groß und hatten eine Porengröße von 50 (± 15) microns. Die wasserlösliche Substanz wurde mit Faltenfilter der Firma Macherey- Nagel GmbH & Co. KG ermittelt.

Der Abbau der kleinen Partikel, die sofort aus den Beuteln verschwinden, wurde durch die Korrekturgleichung von Weisbjerg et al. (1990) berücksichtigt. Dabei wurde angenommen, dass diese kleinen Partikel genauso abgebaut werden, wie der restliche Beutelinhalt.

$$CDI_i = DI_i - SP \times [1 - ((DI_i - (SP+WS)) / (1 - (SP+WS)))]$$

CDI_i: korrigierter Abbau zum Zeitpunkt i

DI_i: gemessener Abbau (durch Rückwaage der Beutel) zum Zeitpunkt i

SP: kleine Partikel, die zum Zeitpunkt t=0 verschwunden sind

WS: wasserlösliche Substanz

Der Abbau von Trockensubstanz und Rohprotein wird durch die Gleichung

$$p = a + b (1 - e^{-ct}) \quad (\text{Ørskov und McDonald, 1979})$$

beschrieben. Dabei ist p der prozentuale Verlust zur Zeit t und

a = Verlust zum Zeitpunkt t = 0

b = potentiell abbaubare Fraktion

c = Abbaurate.

Daraus wird die effektive Abbaubarkeit (ED) der Trockensubstanz und des Rohproteins berechnet:

$$ED_{TS} \text{ bzw. } ED_{XP} = a + (b \times c / (c + k)) \quad (\text{Ørskov und McDonald, 1979})$$

k = geschätzte Ausflussrate aus dem Pansen

Die effektive Abbaubarkeit wurde für Ausflussraten von 2, 5 und 8% ermittelt.

2.8 Datenerfassung während der Bilanzversuche

2.8.1 Futteraufnahme

Die Kühe erhielten um 8.30 Uhr und um 16.00 Uhr ihr Futter. Während der Versuche bekam jede Kuh eine individuell festgelegte Futtermenge. Futterreste wurden täglich zurückgewogen und von der Gesamtmenge abgezogen, so dass die genaue Futteraufnahme jeder Kuh ermittelt wurde.

2.8.2 Kotproben

In der Bilanz wurden alle 10 Stunden Kotproben von knapp 500 g genommen und am Ende zu einer Sammelprobe homogenisiert und getrocknet.

Der lufttrockene Kot wurde bei einer Siebgröße von 0,75 mm gemahlen und die Rohrnährstoffzusammensetzung nach der Weender Methode (Naumann et al., 1976) bestimmt. Zudem wurden Kalium, Kohlenstoff und der Bruttoenergiegehalt analysiert (siehe 2.4). Der Stickstoffgehalt im Kot ist in der Frischsubstanz ermittelt worden.

Zur Bestimmung von Kotmenge und Verdaulichkeit des Futters erhielt jede Kuh sechs Tage vor und während der Bilanzen 40 g Titandioxid / Tag als Indikator.

Der Titangehalt im Kot wurde nach der Methode von Brandt und Allam (1987) (modifiziert) bestimmt.

Die Konzentration (Konz.) des Titandioxids wurde durch lineare Regression aus den Eichpunkten des Standards berechnet. Die Extinktion (Ext.) ist der Messwert nach Abzug des Blindwerts.

$$y \text{ (Ext.)} = a + b \times x \text{ (Konz.)}$$

Die tägliche Kotmenge berechnet sich mit der Formel:

$$\text{Kot [g TS/Tag]} = (\text{TiO}_2\text{-Aufnahme [g/Tag]} \times 100) / \text{TiO}_2\text{-Konzentration im Kot [\%]}$$

Die TS-Verdaulichkeit erhält man durch die Gleichung:

$$\text{TS-Verdaulichkeit [\%]} = ((\text{TS-Aufnahme} - \text{Kotmenge in TS}) / \text{TS-Aufnahme}) \times 100$$

2.8.3 Harnproben

Während der ersten Bilanz des Erbsenversuchs wurde der Harn quantitativ mit Hilfe von Harnhosen gesammelt, welche am Institut für Tierernährung entwickelt worden waren. Nach jedem Harnen wurde für die Sammelproben ein Aliquot von 10% abgefüllt und mit 10%-iger Schwefelsäure auf einen pH-Wert <3 abgesenkt.

Während der anderen Bilanzen wurde der Harn qualitativ gesammelt. Von jeder Kuh wurde dreimal am Tag (morgens, mittags und abends) eine Harnprobe von 400 g für die Sammelprobe genommen und ebenfalls angesäuert.

Am Ende der Bilanzen sind zur Bestimmung von Stickstoff, Kalium und Kohlenstoff homogene Proben abgefüllt worden. Die Analysenmethoden wurden unter 2.4 beschrieben. Zur Kaliumbestimmung wurde der Harn 1:50 verdünnt und nicht, wie für das Futter unter 2.4 beschrieben, verascht.

Des Weiteren wurde im Harn das Allantoin nach Chen et al. (1993) (modifiziert) gemessen und daraus die Menge des mikrobiellen Stickstoffs berechnet.

Der Bruttoenergiegehalt (BE) wurde mit der Gleichung von Schieman et al. (1971) berechnet:

$$\text{BE (kcal)} = 2,94 \times \text{Harn- N [g]} + 7,42 \times \text{Harn- C [g]}$$

Zur Bestimmung der Dichte ist der Harn bei Raumtemperatur gespindelt worden.

Die Gesamtharnmenge wurde nach der Gleichung von Leberl et al. (2001) berechnet, in der Kalium (K) als Marker verwendet wird. Bei dieser Kalium-Bilanz wurde angenommen, dass keine K-Retention während der Messperiode stattfindet.

$$\text{K-Harn} = (\text{K-Aufnahme}) - (\text{K-Kot}) - (\text{K-Milch})$$

$$\text{Harnmenge} = (\text{K-Harn} / \text{K-Konzentration im Harn}) \times \text{Dichte}$$

2.8.4 Milchproben

Nach jeder Melkzeit wurde 1% der Milchmenge von jeder Kuh in Sammelproben eingefroren. Die Bestimmung des TS-Gehalts der Milch erfolgte durch Gefriertrocknung. Der Rest-TS-Gehalt ergab sich durch Trocknen des Milchpulvers bei 85°C im Vakuum bis zur Gewichtskonstanz. Im Milchpulver wurden Stickstoff, Kalium, Kohlenstoff und Bruttoenergie (siehe 2.4.) untersucht.

2.8.5 Respiration

Während jeder Bilanz wurde von den Kühen über 2 x 24 h Sauerstoff, Kohlendioxid und Methan in einer sogenannten Respirationsskammer gemessen. Diese wurde nach dem Prinzip des offenen Systems betrieben. Die Temperatur in der Kammer betrug 20°C ($\pm 0,3\%$) bei einer Luftfeuchte von 60-70% ($\pm 2\%$).

Die Abluftmengen wurden für die jeweils 24 h dauernden Messperioden ermittelt und ein Aliquot zur Analyse in Gasrezipienten gesammelt. Kohlendioxid und Methan wurden mit dem Infrarotmessverfahren mit einem Uras 10 der Firma Hartmann & Braun (Frankfurt) bestimmt. Der Sauerstoff war mit einem Magnos 16 von ABB Analytical (Mannheim) aufgrund seines Paramagnetismus gemessen worden.

Die Aufteilung der umsetzbaren Energie in Wärme und Ansatz wurde in der C/N-Bilanz berechnet.

2.9 Untersuchung der Pansenparameter

Zur Untersuchung der Rationen wurde den vier fistulierten Kühen an zwei aufeinander folgenden Tagen 1 Stunde vor, 1, 3, 5 und 7 Stunden nach der Futtervorlage Pansensaft entnommen.

Der pH-Wert und die Temperatur des Pansensaftes wurden sofort nach der Pansensaftentnahme mit einem Digital pH-Meter bestimmt.

Anschließend wurde der Pansensaft bei 4°C 20 min mit 3500U/min zentrifugiert. Der Überstand wurde abgegossen und daraus die Bicarbonatkonzentration, sowie Ammoniak und flüchtige Fettsäuren (VFA) ermittelt. Für die Analyse der letzten zwei Parameter wurden Pansensaftproben eingefroren.

2.9.1 Bicarbonatkonzentration

Die CO₂-Konzentration wurde mit einer ionenselektiven, gassensitiven Elektrode gemessen. Zu 45 ml bidestillierten Wassers wurden je 5 ml Pansensaftüberstand und 5 ml Probenvorbereitungslösung zugegeben. Die Vorbereitungslösung bestand aus Natriumcitrat, das durch Ansäuern auf einen pH < 4,8 zur Abspaltung des CO₂ führt

und als Puffer wirkt. Das CO₂ diffundiert durch die semipermeable Membran der Elektrode und reagiert mit dem Elektrolyt im Inneren der Membran. Die Elektrode misst die Konzentrationsänderung der Wasserstoffionen und das angeschlossene Digital pH-Meter zeigt die daraus resultierende Spannungsänderung an. Die Konzentration des Bicarbonats errechnet sich schließlich mit Hilfe der Henderson-Hasselbalchschen- Gleichung.

2.9.2 Ammoniakkonzentration

Zur Bestimmung des Ammoniaks im Pansensaft wurde der Stickstoffgehalt in 5 ml des Überstands mit einem Gerät zur N-Bestimmung nach Kjeldahl destilliert. Aus dem Mittelwert der drei Parallelen ist der Ammoniakgehalt berechnet worden.

$$\text{NH}_3 [\text{mmol}] = (\text{N- Mittelwert aus Analyse} \times 1,4 \times 200) / 17$$

2.9.3 Konzentration der flüchtigen Fettsäuren

Die flüchtigen Fettsäuren sind mit dem Gaschromatographen bestimmt worden (Hewlett Packard, 6890; Kapillarsäule: HP-FFAP, Länge: 25 m, Innen- Ø: 0,32 mm, Filmdicke: 0,5 µm). Dazu wurde zu 1 ml Pansensaftüberstand 1 ml ISTD-Lösung gegeben, bestehend aus 1,25 ml 2-Methylvalerinsäure pro 100 ml konz. Ameisensäure, und vakuumdestilliert. Für die Messung, gegen einen VFA- Standard, wurde mit Hilfe eines automatischen Probengebers 1 µl eingespritzt.

2.10 Datenerfassung während der Produktionsversuche

2.10.1 Futteraufnahme

Durch Futtervorlage in Wiegetrögen und individueller Einzeltierkennung konnte die Aufnahme der ad libitum angebotenen Rationen genau gemessen werden.

2.10.2 Lebendgewichte

Das Gewicht von jeder Kuh wurde nach dem Melken von einer im Laufgang integrierten Waage erfasst und zu einem Tageswert gemittelt.

2.10.3 Milchmenge und Milchinhaltsstoffe

Die Milchleistung wurde zu jeder Melkzeit von der Melkanlage automatisch erfasst. Zur Analyse der Milchinhaltsstoffe ist einmal pro Woche morgens und abends eine Milchprobe genommen worden.

Der Gehalt an Fett- Eiweiß- korrigierter Milch wurde mit der Formel von Meyer et al. (1993) berechnet:

$$\text{FECM [kg]} = (0,37 \times \text{Rohfett [\%]} + 0,21 \times \text{Rohprotein [\%]} + 0,95) / 3,1 \text{ Milchleistung [kg]}$$

2.11 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem SAS Programm Version 8e durchgeführt.

Bei den Bilanzen, den Verdauungsquotienten und der mikrobiellen Masse wurden die Unterschiede zwischen den zwei Rationen mit dem T-Test überprüft.

In den Produktionsversuchen wurden die Effekte der Behandlungen auf die Leistungsparameter anhand der Mixed Prozedur des SAS Programms untersucht. Neben dem Faktor „Ration“ wurden Laktationswoche und Tier in das Modell einbezogen. Die Versuchswochen (10) wurden als wiederholte Messungen betrachtet und im Modell als Random Faktor berücksichtigt. Lsmeans und SEM wurden berechnet und die Unterschiede zwischen den Rationen anhand der Option PDIFF für $p < 0,05$ geprüft.

Die Effekte der Rationen auf die Pansenparameter wurden mit der GLM Prozedur ausgewertet. Neben dem Faktor „Ration“ wurden Tag, Probenahmezeitpunkte, sowie Tier in das Modell für wiederholte Messungen einbezogen. Die wiederholten Messungen an verschiedenen Tagen (2) und Zeitpunkten (5) wurden durch die

Option „Random“ berücksichtigt. Berechnet wurden Lsmeans und SEM, die Unterschiede der Rationen sind anhand der Option PDIFF für $p < 0,05$ geprüft worden.

Um die Unterschiede zwischen den Rationen bei verschiedenen Zeitpunkten zu untersuchen, wurde dasselbe Modell der Varianzanalyse verwendet, wobei Messungen in verschiedenen Tagen als wiederholte Messungen betrachtet wurden.

3. Ergebnisse

3.1 Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

3.1.1 Inhaltsstoffe und Partikelgröße der Futtermittel

Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse der Rohrnährstoffanalysen der Leguminosen und deren Rationen aufgeführt, die Partikelverteilung der geschroteten und gequetschten Lupinen und deren Rationen, sowie die Tanningehalte der zwei Ackerbohnsensorten.

3.1.1.1 Ergebnis der Nährstoffanalyse der Körnerleguminosen

Das Analysenergebnis der rohen und hitzebehandelten Erbsen ist in Tabelle 5 aufgeführt. Durch die Hitzebehandlung mit dem Jet Sploder wurde der Trockensubstanzgehalt der Erbsen von 87,94% auf 92,54% erhöht. Der Protein- und der Fettgehalt stiegen nach der Behandlung leicht und der Rohfasergehalt sank um 0,6% auf 4,80%.

Tabelle 5: Rohrnährstoffgehalt der rohen und behandelten Erbsen (E.).

Rohnährstoffe	TS	OS	XP	XL	XF	NfE	MJ NEL/ kg TS	MJ ME/ kg TS
	%	% in TS						
rohe E.	87,94	96,52	20,27	2,15	5,39	68,71	9,18	14,35
behandelte E.	92,54	96,50	20,64	2,46	4,80	68,60	9,17	14,34

Der Rohrnährstoffgehalt der Lupinen, die im zweiten Versuch eingesetzt wurden, ist in Tabelle 6 aufgeführt. Sie hatten den für Lupinen charakteristischen hohen Anteil an Protein und Rohfaser. Mit 6,05% war der Fettgehalt im Vergleich zu Erbsen und Ackerbohnen ebenfalls hoch. Daraus resultierte der relativ niedrige Gehalt an NfE.

Tabelle 6: Rohrnährstoffgehalt der Lupinen.

Rohnährstoffe	TS	OS	XP	XL	XF	NfE	MJ NEL/ kg TS	MJ ME/ kg TS
	%	% in TS						
Lupinen	89,59	96,13	33,72	6,05	15,91	40,45	9,03	14,39

Die Analyse der zwei Ackerbohnsensorten zeigte leichte Unterschiede in der Nährstoffzusammensetzung, dabei war der Anteil der organischen Masse identisch. Beide hatten einen, auch für Ackerbohnen, relativ hohen Rohproteingehalt. Er war bei der tanninfreien Sorte Valeria mit 33,87% um knapp 2% höher als bei der tanninhaltigen Sorte Samba (30,92%). Im Gegensatz dazu betrug der Rohfasergehalt bei Samba 8,08% und bei Valeria 6,13%. Der Fettgehalt und die NfE waren annähernd gleich. In Tabelle 7 ist das Ergebnis der Nährstoffanalyse dargestellt.

Tabelle 7: Rohrnährstoffgehalt der Ackerbohne (Ab.) Samba und der Ackerbohne Valeria.

Rohnährstoffe	TS	OS	XP	XL	XF	NfE	MJ NEL/ kg TS	MJ ME/ kg TS
	%	% in TS						
Ab. Samba	87,71	96,47	30,92	1,67	8,08	55,8	8,79	13,90
Ab. Valeria	89,99	96,45	33,87	1,74	6,13	54,71	9,28	14,60

3.1.1.2 Ergebnis der Nährstoffanalysen der Versuchsrationen

Die Analysenergebnisse der Rationen mit rohen (roh) und jetsploderten Erbsen (behandelt), der Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten Lupinen (grob), sowie der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria) sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Rohnährstoffgehalt der Ration mit rohen Erbsen (roh) und mit jetsploderten Erbsen (behandelt), mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen, mit der Ackerbohnsorte Samba (Samba) und mit der Ackerbohnsorte Valeria (Valeria).

Rohnährstoffe	TS	OS	XP	XL	XF	NfE	MJ NEL/ kg TS	MJ ME/ kg TS
	%	% in TS						
roh	41,2	89,93	14,39	2,30	15,10	58,14	6,86	11,10
behandelt	42,7	91,26	14,51	2,63	16,84	57,28	6,95	11,25
fein	43,4	92,71	16,11	3,85	18,41	54,34	6,98	11,36
grob	42,6	92,35	16,39	3,68	18,39	53,89	7,06	11,47
Samba	43,6	93,18	14,77	2,20	15,80	60,41	6,90	11,20
Valeria	44,1	93,09	15,41	2,52	15,97	59,19	6,95	11,27

3.1.1.3 Einfluss der unterschiedlichen Behandlung von Lupinen auf deren Partikelgröße

Die prozentuale Verteilung der Partikel von geschroteten und gequetschten Lupinen ist in Tabelle 9 dargestellt. Bei den geschroteten Lupinen fielen auf die zwei größten Siebe ($\leq 4,00$ mm) kaum Partikel. Die meisten Teilchen waren mit jeweils knapp 30% in den 1,00 und 2,00 mm großen Sieben zu finden. Insgesamt lagen 70% der Partikel auf den Sieben der Größe 0,50 bis 2,00 mm und etwa 24% waren kleiner als 0,063 mm.

Im Gegensatz dazu waren 60% der gequetschten Lupinen größer 2,00 mm, davon sind knapp 2% größer als 6,30 mm gewesen. Gute 9% der Lupinen wurden von dem 1,00 mm großen Sieb retiniert. Dennoch waren 21,7% der Partikel bei den gequetschten Lupinen kleiner 0,063 mm.

Tabelle 9: Ergebnis der Siebanalyse von geschroteten und gequetschten Lupinen (L.).

Siebgröße, mm	6,30	4,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,125	0,0630	<0,063
geschrotete L., %	0,0	0,7	29,2	28,3	10,7	3,6	1,8	1,6	24,3
gequetschte L., %	1,9	17,4	45,0	9,3	1,9	1,2	0,7	1,0	21,7

Die Partikelverteilung der Rationen ist in Tabelle 10 dargestellt. Der Anteil der Partikel, der größer als 10,00 mm war und derjenige kleiner als 0,50 mm, war annähernd gleich bei den beiden Rationen. Unterschiede gab es in den mittleren Sieben. So war bei der TMR mit gequetschten Lupinen der Anteil der Partikel in den Sieben der Größe 6,30 bis 2,00 mm größer als bei der Ration der feinen Lupinen, während bei den Siebgrößen von 0,50 und 1,00 mm bei den Ration mit geschroteten Lupinen mehr Partikel zu finden waren.

Tabelle 10: Ergebnis der Siebanalyse der Ration mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Siebgröße, mm	10,00	6,30	4,00	2,00	1,00	0,50	0,25	0,063	<0,063
fein , %	27,0	1,3	2,3	8,8	9,8	7,4	4,7	4,3	34,5
grob , %	26,5	4,3	4,8	9,4	6,3	5,5	4,4	4,3	34,7

3.1.1.4 Ergebnis der Tanninanalyse der Ackerbohnen

Die Ackerbohnen Sorte Samba enthielt mit 1,69% etwa dreimal soviel Gesamtphenole wie die tanninfreie Sorte Valeria (0,52%). In Samba waren zudem 0,89% kondensierte Tannine enthalten, wohingegen bei Valeria keine kondensierten Tannine nachgewiesen wurden. Die Gehalte der Gesamtphenole, der Tanninphenole und der kondensierten Tannine sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 11: Tanningehalte in % der TS von der Ackerbohnen Samba und Valeria

	Gesamtphenole	Tanninphenole	Kondensierte Tannine
Samba	1,69	1,62	0,89
Valeria	0,52	0,46	0,00

3.1.2 In vitro Untersuchungen

3.1.2.1 Gasbildung

Die in vitro Gasbildungsverläufe über 48 h zeigten Unterschiede zwischen den Körnerleguminosen und deren Behandlung. Die Erbsen hatten insgesamt die höchste Gasbildung. Bei rohen Erbsen wurde nach 8 bis 12 h etwas mehr Gas gebildet, bei den behandelten Erbsen begann die Gasbildung nach 24 h etwas höher zu werden als bei den rohen Erbsen. Die Ackerbohnenart Valeria hatte eine stärkere Gasbildung als Samba. Die geringste Gasmenge wurde von den Lupinen gebildet. Die einzelnen Verläufe sind in Abbildung 1 dargestellt.

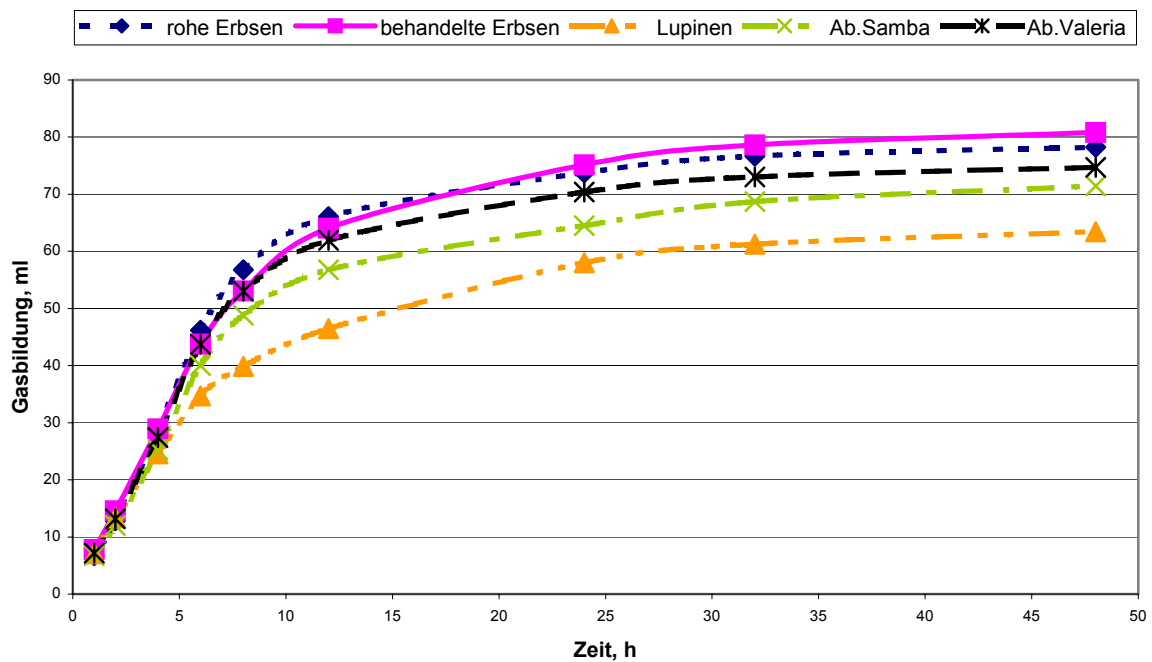


Abbildung 1: Verlauf der Gasbildung von Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen über 48 h.

Tabelle 12: Beschreibung des Gasbildungsverlaufs von Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen.

	a	b	c
Rohe Erbsen	-9,1	86,4	0,164
Behandelte Erbsen	-4,5	84,3	0,137
Lupinen	0,2	62,2	0,124
Ackerbohne Samba	-5,5	75,0	0,148
Ackerbohnen Valeria	-6,7	80,6	0,157

Die Parameter a, b und c der Verläufe von Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen sind in Tabelle 12 aufgeführt. Bis auf die Lupinen war das Intercept (a) der Körnerleguminosen negativ. Die potenziell mögliche Gasmenge (b) war bei rohen Erbsen am höchsten (86,4 ml), dicht gefolgt von den behandelten Erbsen (84,3 ml). Etwas niedriger war die potentiell mögliche Gasbildung bei den Ackerbohnen, wobei die der Sorte Valeria mit 80,6 ml größer war als die von Samba (75,0 ml). Mit Abstand am geringsten war die potentielle Gasbildung der Lupinen, sie betrug nur 62,2 ml. Die Gasbildungsraten (c) sind bei den rohen Erbsen (0,164) und bei der Ackerbohne Valeria mit 0,157 am höchsten gewesen und bei den Lupinen am niedrigsten (0,124). Die thermische Behandlung der Erbsen senkte die Gasbildungsrate auf 0,137 herab und die Gasbildungsrate der tanninhaltigen Ackerbohnen Sorte Samba war mit 0,148 niedriger als die von Valeria.

3.1.2.2 In vitro Stickstoffumsatz

Alle Werte des in vitro Stickstoffumsatzes sind in Tabelle 13 dargestellt. Bei den in vitro ermittelten effektiven Proteinwerten zeigte sich, dass zum Zeitpunkt 12,5 h in der tanninhaltigen Ackerbohne Samba etwas mehr UDP vorhanden war als in der Sorte Valeria und Samba insgesamt das meiste pansenstabile Protein (UDP) enthielt (74g/kg = 23,9% des XP). Nach 20 h sind nur bei den Lupinen noch nennenswerte UDP Mengen vorhanden (45g/kg = 13,4% des XP). Sowohl rohe also auch behandelte Erbsen enthielten relativ wenig UDP, wobei die thermische Behandlung nur eine geringe Erhöhung bewirkte.

Tabelle 13: Effektive Proteinwerte (UDP, MP, nXP) von Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen zum Zeitpunkt 12,5 h und 20 h.

	12,5h			20h		
	UDP	MP g/kg TS	nXP	UDP	MP g/kg TS	nXP
Rohe Erbsen	7	152	160	-12	144	132
Behandelte Erbsen	21	152	173	3	141	144
Lupinen	71	96	167	45	89	135
Ab. Samba	74	134	207	40	134	174
Ab. Valeria	61	121	181	29	111	140

Der Anteil an mikrobiellem Protein (MP) war bei rohen und behandelten Erbsen so gut wie gleich und bei der Ackerbohnen sorte Samba höher als bei Valeria. Bei Lupinen ist mit Abstand am wenigsten MP ermittelt worden. Im Bezug auf das mikrobiell gebildete Protein wurde bei diesen das meiste UDP gefunden. So war die Menge an nutzbarem Rohprotein (nXP) bei Lupinen höher als bei rohen Erbsen. Sowohl bei 12,5 h als auch bei 20 h enthielt die Ackerbohne Samba insgesamt das meiste nXP (207 /174 g/kg), gefolgt von der Ackerbohne Valeria (181 /140 g/kg) und den behandelten Erbsen (173 / 144 g/kg).

3.1.3 In situ Untersuchungen

3.1.3.1 Abbau der Trockensubstanz in situ

Die einzelnen Parameter des in situ TS-Abbaus und die effektiven Abbaubarkeiten sind in Tabelle 14 aufgeführt. Die wasserlösliche Fraktion (a) der Trockensubstanz lag bei Erbsen und Ackerbohnen zwischen 11,4 und 13,6%. Die Lupinen hingegen hatten eine rund doppelt so hohe wasserlösliche Fraktion (23,9 %).

Tabelle 14: Parameter (a, b, c) des in situ TS-Abbaus und die effektiven Abbaubarkeiten ED (in %) bei Passageraten von 2, 5 und 8 % bei Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen.

	a	b	c	ED 2%	ED 5%	ED 8%
Rohe Erbsen	11,4	91,6	0,114	89,0	74,8	65,0
Behandelte Erbsen	10,4	89,7	0,121	87,4	73,9	64,5
Lupinen	23,9	72,0	0,139	87,0	77,0	69,8
Ackerbohne Samba	11,8	78,6	0,194	83,6	74,9	68,0
Ackerbohnen Valeria	13,6	84,8	0,181	90,3	80,4	72,7

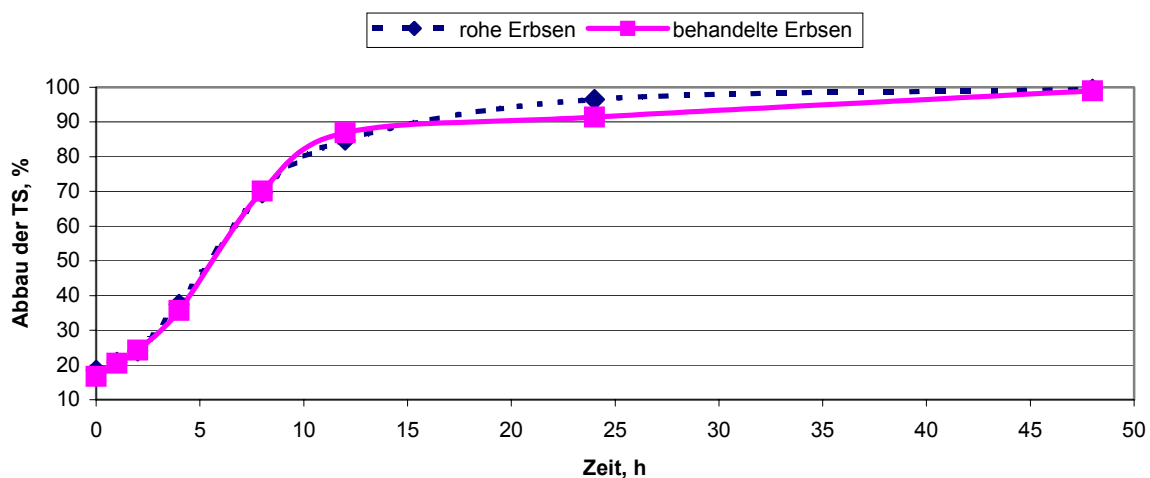


Abbildung 2: Verlauf des in situ TS-Abbaus bei rohen und behandelten Erbsen.

Der Verlauf des TS-Abbaus der rohen und behandelten Erbsen ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Abbau war zwischen 8 und 12 h bei den behandelten Erbsen etwas höher, zwischen 12 und 24 h bei den rohen Erbsen. Die Unterschiede waren allerdings gering.

Die geringste TS- Abbaurrate (c) zeigte sich mit 0,114 bei den rohen Erbsen, gefolgt von behandelten Erbsen (0,121) und Lupinen (0,139). Die effektive Abbaubarkeit der TS bei Passageraten von 2, 5 und 8 % unterschied sich bei rohen (89,0 / 74,8 / 65,0%) und behandelten (87,4 / 73,9 / 64,5%) Erbsen kaum, sie war bei den behandelten Erbsen minimal niedriger.

Die höchste Abbaurrate von 0,194 hatte die Ackerbohnen sorte Samba, bedingt durch den anfänglich schnellen, jedoch nicht vollständigen Abbau (Abb. 3); die effektiven Abbaubarkeiten waren 83,6 / 74,9 / 68,0%. Der Abbau der Trockensubstanz bei Valeria war in den ersten 8 h knapp über dem von Samba und im weiteren Verlauf

wurde Valeria vollständig abgebaut. Daraus resultierte eine TS-Abbaurrate von 0,181 und die im Vergleich höheren effektiven Abbaubarkeiten von 90,3 / 80,4 / 72,7%.

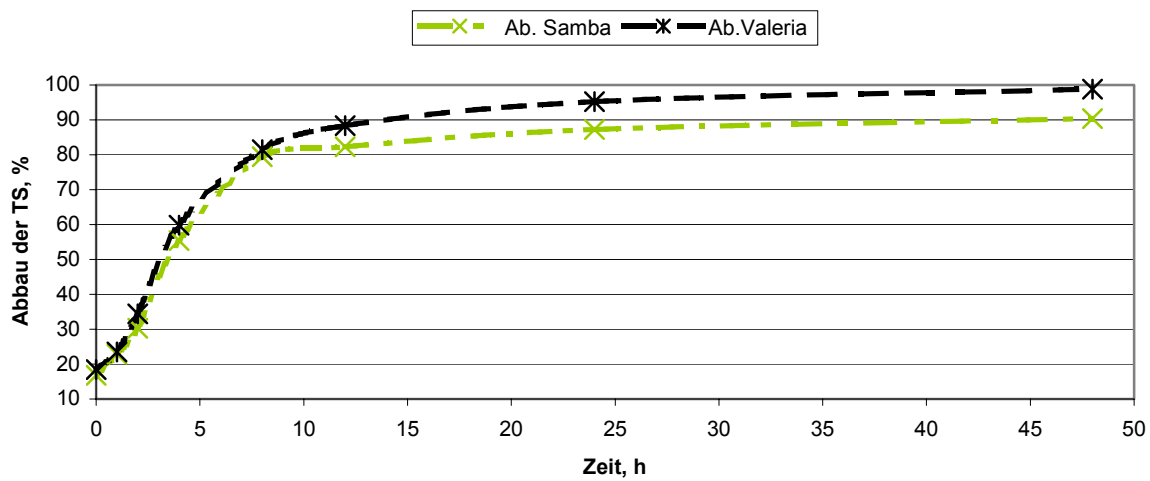


Abbildung 3: Verlauf des in situ TS-Abbaus bei den Ackerbohnen (Ab.)Samba und Valeria.

3.1.3.2 Abbau des Rohproteins in situ

In Tabelle 15 sind die Parameter des Rohproteinabbaus der fünf Körnerleguminosen dargestellt. Bei den rohen Erbsen war 26,9% des Proteins wasserlöslich und sank durch die Behandlung auf 15,4%. Die wasserlösliche Fraktion der Lupinen betrug 26%, die der Ackerbohne Samba 29,0% und war bei Valeria mit 34,5% am höchsten. Trotz der unterschiedlichen Löslichkeit bei den Erbsen, waren die Abbauraten von rohen und behandelten Erbsen gleich (0,145 vs. 0,146). So wurde bei den rohen Erbsen im Verlauf der ersten acht Stunden mehr abgebaut, ausgehend von der höheren Löslichkeit des Proteins (Abb. 4). Bei den Ackerbohnen war die Abbaurrate der Sorte Samba mit 0,224 wieder etwas größer als von Valeria 0,217. Beim Verlauf zeigten sich ebenfalls nur minimale Unterschiede (Abb. 5). Das Protein der Lupinen hatte bei weitem die höchste Abbaurrate, sie betrug 0,393.

Tabelle 15: Parameter (a, b, c) des in situ XP-Abbaus und die effektiven Abbaubarkeiten ED (in %) bei Passageraten von 2, 5 und 8 % bei Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen.

	a	b	c	ED 2%	ED 5%	ED 8%
Rohe Erbsen	26,9	75,7	0,145	92,8	82,5	75,0
Behandelte Erbsen	15,4	87,0	0,146	92,0	80,3	71,7
Lupinen	26,0	72,3	0,393	94,6	89,9	85,8
Ackerbohne Samba	29,0	70,2	0,224	92,7	85,6	80,0
Ackerbohnen Valeria	34,5	65,7	0,217	94,9	88,1	82,7

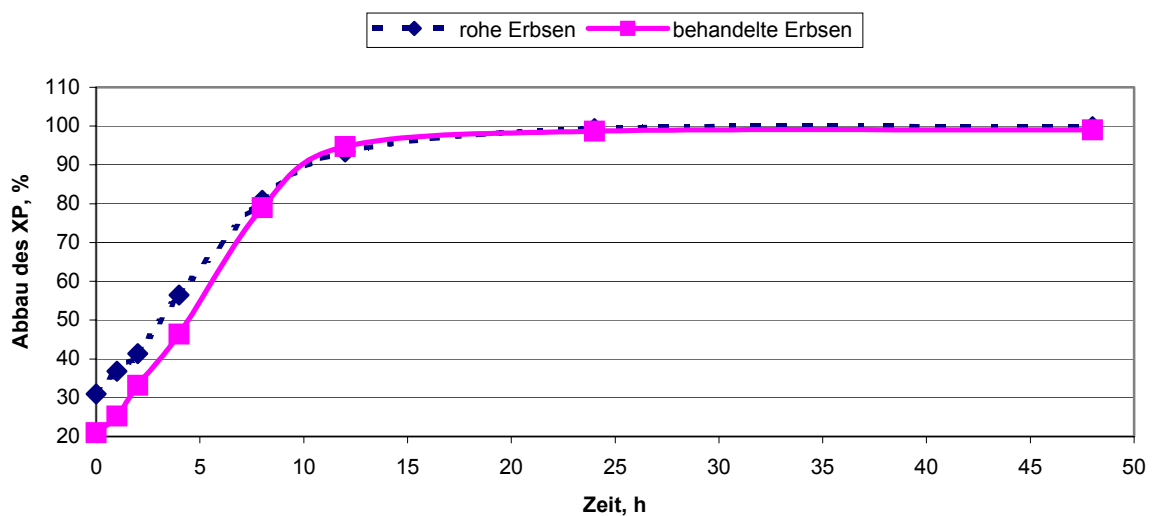


Abbildung 4: Verlauf des in situ XP- Abbaus bei rohen und behandelten Erbsen.

Die in situ gemessenen effektiven XP- Abbaubarkeiten der rohen Erbsen waren für Passageraten von 2, 5 und 8 % 92,8, 82,5 und 75,0% und bei behandelten Erbsen mit 92,0, 80,3 und 71,7%. Die Lupinen hatten bei Passageraten von 5 und 8% die höchsten effektiven Abbaubarkeiten (89,9 und 85,8%), die Ackerbohne Valeria bei einer Passagerate von 2% (94,9%).

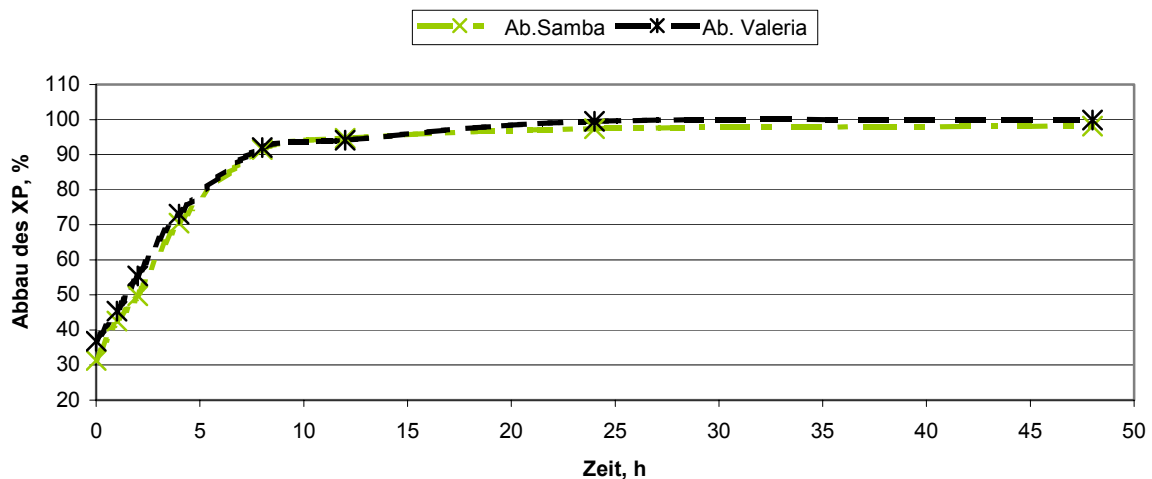


Abbildung 5: Verlauf des in situ XP- Abbaus bei den Ackerbohnen (Ab.) Samba und Valeria.

3.1.4 Ergebnisse der Tierversuche

3.1.4.1 Ergebnisse der Untersuchungen mit Erbsen

3.1.4.1.1 Ergebnisse der Bilanzen mit rohen und behandelten Erbsen.

In der **Stickstoff (N) Bilanz** zeigte sich, dass die Verdaulichkeit des Stickstoffs bei der Ration mit behandelten Erbsen zwar höher war (36,4% vs. 41,4% Kot-N bei der Ration mit rohen Erbsen), dafür wurde aber bei der Ration mit behandelten Erbsen mehr N über den Harn ausgeschieden (42,1% vs. 37,1%). Es unterschied sich jedoch nur die N-Menge im Kot signifikant.

Tabelle 16: Vergleich der Stickstoff (N) Bilanz von den Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten (behandelt) Erbsen.

Parameter	roh	behandelt	p
N- Aufnahme, g	432,2±14,87	403,8±41,03	n.s.
N- Kot, % d. Aufnahme	41,4±1,03	36,4±0,86	*
N- Harn, "	37,1±3,07	42,1±4,83	n.s.
N- Milch, "	32,4±2,04	32,6±1,77	n.s.
N-Retention, "	-10,9±2,66	-11,2±3,39	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Die N-Menge, die mit der Milch ausgeschieden wurde, war für beide Rationen gleich. Für beide Rationen war die N- Retention negativ, bei rohen Erbsen –10,9% und – 11,2% der N-Aufnahme. Die Werte der N-Bilanz der Erbsen sind in Tabelle 16 dargestellt.

Die aus der Purinausscheidung im Harn berechnete Menge an mikrobiellem Stickstoff differierte kaum zwischen den zwei Rationen. Pro kg TS bildeten die Mikroorganismen im Pansen bei der Ration mit rohen Erbsen etwas mehr N, ebenfalls bezogen auf die organische Masse (OS) und die verdaubare OS (Tabelle 17).

Tabelle 17: Vergleich des mikrobiell gebildeten N pro kg TS, OS und verdaubare (verdau.) OS bei den Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten (behandelt) Erbsen.

Parameter	roh	behandelt	p
mikrob. N / kg TS	18,1±1,84	17,6±0,94	n.s.
mikrob. N / kg OS	20,1±2,04	19,3±1,03	n.s.
mikrob. N / kg verdau. OS	28,1±2,90	26,1±1,74	n.s.

*: p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Tabelle 18: Vergleich der Energie (E) Bilanz der Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten (behandelt) Erbsen.

	roh	behandelt	p
GE-Aufnahme, MJ/Tag	331,1±11,4	312,4±31,8	n.s.
E-Kot, % der GE	30,9±1,85	28,5±1,31	n.s.
DE, "	69,1±1,85	71,5±1,31	n.s.(0,083)
E-Harn, "	3,5±0,49	3,9±0,20	n.s.
CH4-E, "	6,5±0,21	5,9±0,09	*
CH4-E, % der DE	9,5±0,47	8,3±0,178	*
ME, % der GE	59,1±1,78	61,7±1,34	n.s.(0,057)
E-Milch, "	31,5±5,90	28,7±3,90	n.s.
Fett-E-Retention, "	-3,2±8,54	4,5±3,35	n.s.
E-Retention, "	-5,3±8,13	2,3±3,04	n.s.
Wärme, "	33,0±1,62	30,7±2,9	n.s.

*: p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Bei der **Energie (E) Bilanz** war die Energieverdaulichkeit der Ration mit den behandelten Erbsen höher als bei den rohen Erbsen (71,5% vs. 69,1%) ($p=0,083$). Dadurch erhöhte sich die ME dieser Ration. Im Bilanzversuch kam es zu einer größeren E-Retention bei behandelten Erbsen zu Lasten der Milchenergieabgabe (Tabelle 18).

Die **Verdaulichkeit** der organischen Substanz war bei den hitzebehandelten Erbsen etwas höher als bei den rohen. Bei der Ration mit den behandelten Erbsen waren das Rohprotein, das Rohfett und die Rohfaser signifikant höher verdaulich, während die N- freien Extraktstoffe für beide Rationen gleich verdaulich waren. Die einzelnen Werte sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Vergleich der Verdaulichkeit von organischer Substanz und der Rohnährstoffe der Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten Erbsen (behandelt).

Parameter	roh	behandelt	p
VQ OS	71,6±1,81	73,7±1,44	n.s.
VQ XP	58,6±1,03	63,2±1,18	**
VQ XL	66,0±1,49	75,2±1,22	***
VQ XF	45,0±3,98	52,2±4,00	*
VQ NfE	82,0±1,57	82,6±0,91	n.s.

*** : $p<0,0001$; ** : $p<0,001$; * : $p<0,05$; n.s.: nicht signifikant;

3.1.4.1.2 Ergebnisse der Untersuchung der Pansenparameter bei rohen und behandelten Erbsen

Die mittlere TS-Aufnahme der TMR mit rohen Erbsen betrug 19,06 kg während der Untersuchung der Pansenparameter. Von der TMR mit behandelten Erbsen wurde im Mittel 18,08 kg gefressen.

Die Mittelwerte der Fermentationsparameter des Pansens der Rationen mit rohen und behandelten Erbsen sind in Tabelle 20 aufgeführt. Sowohl pH-Wert des Pansens, als auch Bicarbonatkonzentration lagen bei rohen Erbsen signifikant höher als bei behandelten (6,48 vs. 6,30 und 39,18 mmol/l vs. 24,60 mmol/l).

Zudem unterschieden sich bei rohen und behandelten Erbsen die prozentualen Anteile von Essigsäure (C2) (61,7 vs. 63,4), Propionsäure (C3) (21,5 vs. 19,2), Buttersäure (C4) (12,2 vs. 13,1) und der BCFAs (branched chain fatty acids) (4,6 vs.

4,4) signifikant. Die Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren (VFA) war mit 108,8 mmol/l bei rohen Erbsen nur geringfügig höher als die der behandelten Erbsen (104,9 mmol/l).

Bei der Ration mit behandelten Erbsen war das C2/C3 und das C2+C4/C3-Verhältnis 2,9 und 3,5 und somit signifikant höher als bei rohen Erbsen (3,5 und 4,1).

Tabelle 20: Mittelwerte der Pansenparameter des Vergleichs zwischen den Rationen mit rohen Erbsen (roh) und mit hitzebehandelten Erbsen (behandelt).

Parameter	roh	behandelt	SEM	p
pH-Wert	6,48	6,30	0,039	*
HCO₃, mmol/l	39,18	24,60	1,884	***
NH₃, mmol/l	11,93	11,34	0,326	n.s.
Gesamt-VFA, mmol/l	108,8	105,0	1,89	n.s.
C₂, mmol/l	66,7	65,9	1,00	n.s.
C₂, %	61,7	63,4	0,37	*
C₃, mmol/l	23,6	20,2	0,54	***
C₃, %	21,5	19,2	0,27	***
C₄ mmol/l	13,5	14,2	0,47	n.s.
C₄ %	12,2	13,1	0,22	*
BCFA, mmol/l	5,0	4,6	0,10	*
BCFA, %	4,6	4,4	0,06	*
C₂/C₃	2,9	3,4	0,06	***
C₂+C₄/C₃	3,5	4,1	0,07	***

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n = 40 für jede Ration.

Die pH-Werte der einzelnen Zeitpunkte sind in Tabelle 21 aufgeführt. Drei Stunden nach der Futtervorlage lag der pH-Wert des Pansens bei der Ration mit rohen Erbsen tendenziell höher als bei hitzebehandelten Erbsen, fünf Stunden nach der Futtervorlage war er bei rohen Erbsen (6,36 vs. 5,78) signifikant höher.

Tabelle 21: pH-Werte der Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten Erbsen (behandelt) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	roh	behandelt	SEM	p
pH-Wert	-1	6,82	6,89	0,037	n.s.
	+1	6,63	6,50	0,055	n.s.
	+3	6,29	5,98	0,114	n.s.(0,055)
	+5	6,36	5,78	0,092	**
	+7	6,27	6,34	0,049	n.s.

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Bei der Ration mit behandelten Erbsen war die Bicarbonatkonzentration zu allen Zeitpunkten niedriger als bei rohen Erbsen. Signifikant erniedrigt war die Konzentration des Bicarbonats bei behandelten Erbsen eine, drei und fünf Stunden nach der Fütterung (Tabelle 22).

Tabelle 22: Bicarbonatkonzentrationen (HCO₃⁻) der Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten Erbsen (behandelt) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	roh	behandelt	SEM	p
HCO ₃ ⁻ , mmol/l	-1	63,85	55,21	4,098	n.s.
	+1	47,79	29,83	3,913	*
	+3	27,09	11,67	4,642	*
	+5	31,82	7,32	2,753	***
	+7	25,32	18,97	2,730	n.s.

***: p<0,0001; **: p<0,001; *: p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n = 8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Die Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren (VFA) ist in Tabelle 23 aufgeführt. Eine Stunde vor, eine und sieben Stunden nach der Futtevorlage war der Gesamtgehalt an VFA bei rohen Erbsen größer und nach drei und fünf Stunden niedriger als bei den hitzebehandelten Erbsen. Die Unterschiede sind zu den Zeitpunkten -1 und +7 signifikant gewesen.

Tabelle 23: VFA- Konzentrationen der Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten Erbsen (behandelt) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	roh	behandelt	SEM	p
VFA, mmol/l	-1	87,8	76,7	2,67	*
	+1	104,3	97,6	3,22	n.s.
	+3	119,4	121,4	3,63	n.s.
	+5	113,9	125,6	5,72	n.s.
	+7	118,6	103,5	2,33	**

***: p<0,0001; **: p<0,001; *: p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n = 8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

In den Ammoniakkonzentrationen (NH₃) unterschieden sich die beiden Fütterungsvarianten zu allen Zeitpunkten nur wenig voneinander. Sieben Stunden nach der Futtervorlage war die NH₃-Konzentration bei rohen Erbsen dennoch signifikant höher als bei den behandelten Erbsen (11,22 vs. 8,08 mmol/l) (Tabelle 24).

Tabelle 24: NH₃-Werte der Rationen mit der rohen (roh) und hitzebehandelten Erbsen (behandelt) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	roh	behandelt	SEM	p
NH ₃ , mmol/l	-1	8,93	9,02	0,341	n.s.
	+1	15,92	15,69	0,750	n.s.
	+3	13,31	14,71	1,293	n.s.
	+5	10,26	9,18	0,498	n.s.
	+7	11,22	8,08	0,864	*

***: p<0,0001; **: p<0,001; *: p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n = 8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

In Tabelle 25 sind die prozentualen Anteile der einzelnen Fettsäuren sowie der BCFA und das Verhältnis von C2+C4 zu C3 dargestellt.

Der prozentuale Anteil der Essigsäure war bei der Ration mit behandelten Erbsen zum Zeitpunkt -1 und +7 signifikant höher als bei der Kontrollration. Dagegen standen niedrige Konzentrationen an Propionsäure bei den hitzebehandelten Erbsen. Die Unterschiede waren eine Stunde vor, fünf und sieben Stunden nach der Fütterung signifikant.

Daraus resultierte ein für rohe Erbsen signifikant niedrigeres Verhältnis der beiden Fettsäuren zu den Zeitpunkten -1 und +7.

Tabelle 25: Verlauf von C2, C3, C4, BCFA in % und des Verhältnisse von C2 +C4 zu C3 der Rationen mit rohen (roh) und behandelten (behandelt) Erbsen im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	roh	behandelt	SEM	p
C2 %	-1	65,6	69,4	0,71	*
	+1	60,7	61,3	0,54	n.s.
	+3	59,7	59,4	0,27	n.s.
	+5	61,3	61,8	0,98	n.s.
	+7	61,1	65,1	1,01	*
C3 %	-1	21,0	18,0	0,56	*
	+1	22,0	21,6	0,42	n.s.
	+3	22,1	21,3	0,42	n.s.
	+5	21,2	18,0	0,60	*
	+7	21,4	17,0	0,71	**
C4 %	-1	9,4	8,6	0,19	*
	+1	12,7	13,1	0,24	n.s.
	+3	13,3	14,9	0,27	*
	+5	12,8	15,7	0,51	*
	+7	12,9	13,2	0,46	n.s.
BCFA %	-1	3,9	4,1	0,06	n.s.
	+1	4,7	4,1	0,12	*
	+3	4,9	4,5	0,20	n.s.
	+5	4,7	4,5	0,09	n.s.
	+7	4,7	4,7	0,10	n.s.
C2+C4/C3- Verhältnis	-1	3,6	4,3	0,13	*
	+1	3,6	3,5	0,08	n.s.
	+3	3,3	3,5	0,08	n.s.
	+5	3,6	4,3	0,15	*
	+7	3,6	4,6	0,20	*

***: p<0,0001; **: p<0,001; *: p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n = 8 für jeden Ration und jeden Zeitpunkt.

3.1.4.1.3 Ergebnisse des Produktionsversuches mit rohen und behandelten Erbsen

3.1.4.1.3.1 Futteraufnahme bei den Rationen mit rohen und behandelten Erbsen

Die Futteraufnahme wurde durch die Behandlung der Erbsen nicht beeinflusst. Von der Ration mit rohen Erbsen wurde durchschnittlich 21,36 kg TS gefressen und bei der Ration mit den behandelten Erbsen war die TS- Aufnahme 21,43 kg (Tabelle 26).

Tabelle 26: Futteraufnahme der Milchkühe (n=30) bei den Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten Erbsen (behandelt).

Parameter	roh	behandelt	SEM	p
Futteraufnahme, kg TS/Tag	21,36	21,43	0,248	n.s.
Aufn./meta. Leb.gewicht	0,165	0,166	0,002	n.s.

*: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant

Bei den Kühen mit einer durchschnittlichen Milchleistung über 30 kg (n=17) war die Futteraufnahme um etwa 1 kg höher (22,02 kg TS bei rohen Erbsen und 22,22 kg bei behandelten Erbsen). Zwischen den Rationen bestand ebenfalls kein signifikanter Unterschied.

3.1.4.1.3.2 Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei den Rationen mit rohen und behandelten Erbsen

Der Produktionsversuch zeigte einen signifikanten Anstieg der Milchleistung bei der Ration mit hitzebehandelten Erbsen. Bei der Ration mit rohen Erbsen betrug sie 30,58 kg/Tag, bei den behandelten Erbsen wurde eine Milchleistung von 31,94 kg/Tag erzielt. Ebenso erhöhte sich die Menge an Milchfett (1,200 kg/Tag bei rohen vs. 1,247 kg/Tag bei behandelten Erbsen) und Milcheiweiß (1,011 vs. 1,046 kg/Tag) und somit die Menge an Fett-Eiweiß- korrigierter Milch (30,45 vs. 31,75 kg/Tag). Der prozentuale Gehalt an Fett und Eiweiß in der Milch änderte sich nicht durch die Behandlung. Bei der Ration mit rohen Erbsen wurde ein Fettgehalt von 3,96% und bei den behandelten Erbsen von 3,95% erzielt. Der Eiweißgehalt betrug 3,35% bei rohen Erbsen und war bei behandelten Erbsen 3,32%. Der Harnstoffgehalt in der Milch wurde ebenfalls nicht beeinflusst. Milchleistung und Milchinhaltsstoffe sind in

Tabelle 27 zusammengefasst. Die Reaktion der Kühe mit einer durchschnittlichen Milchleistung über 30 kg (n=17) entsprach der aller Kühe.

Tabelle 27: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe der Kühe (n=30) bei den Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten (behandelt) Erbsen.

Parameter	roh	behandelt	SEM	p
Milchleistung, kg/Tag	30,58	31,94	0,189	***
Fett, kg/Tag	1,200	1,247	0,010	**
Eiweiß, kg/Tag	1,011	1,046	0,010	**
Fett, %	3,96	3,95	0,026	n.s.
Eiweiß, %	3,35	3,32	0,016	n.s.
FECM, kg/Tag	30,54	31,75	0,205	***
Harnstoff, mg/100ml	25,47	25,80	1,161	n.s.

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

3.1.4.1.3.3 Lebendgewicht bei den Rationen mit rohen und behandelten Erbsen

Das durchschnittliche Gewicht der Kühe war bei der Ration mit behandelten Erbsen um 3 kg höher. Umgerechnet auf die täglichen Zunahmen ergaben sich jedoch kaum Unterschiede. Bei den rohen Erbsen betrug sie im Durchschnitt 48 g, bei den behandelten –34 g (Tabelle 28).

Tabelle 28: Lebendgewicht der Kühe (n=30) bei den Rationen mit rohen (roh) und hitzebehandelten (behandelt) Erbsen.

Parameter	roh	behandelt	SEM	p
Lebendgewicht, kg	655	658	1,148	*
Tägl. Zunahmen, g/Tag	48±383	-34±375		n.s.

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

Auch hier entsprach die Reaktion der Kühe mit einer Milchleistung über 30 kg/Tag der aller Tiere.

3.1.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen mit Lupinen

3.1.4.2.1 Ergebnisse der Bilanzen bei geschroteten und gequetschten Lupinen

In der **Stickstoff (N) Bilanz** zeigten sich bei der prozentualen Stickstoffausscheidung und der N-Retention keine signifikanten Unterschiede. Bei den geschroteten Lupinen waren 28,6% des Stickstoffes im Kot; 29,1% waren es bei der Ration mit den gequetschten Lupinen. Der meiste Stickstoff wurde über den Harn ausgeschieden. Mit 53,4% bei der Ration mit den feinen Lupinen war diese etwas höher als bei den groben Lupinen (48,3%). Die N-Abgabe über die Milch war bei den gequetschten Lupinen geringfügig höher (30,1% vs. 29,3% für feine Lupinen). Die Stickstoffretention war für beide Rationen negativ: -11,4% bei den groben und -7,6% bei den feinen Lupinen (Tabelle 29).

Tabelle 29: Vergleich der Stickstoff (N) Bilanz von den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	p
N- Aufnahme, g	439,5±19,81	408,8±15,24	*
N- Kot, % d. Aufnahme	28,6±1,35	29,1±1,00	n.s.
N- Harn, "	53,4±3,85	48,3±5,44	n.s.
N- Milch, "	29,3±1,12	30,1±0,55	n.s.
N-Retention, "	-11,4±3,99	-7,6±5,68	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Tabelle 30: Vergleich des mikrobiellen Stickstoffes (N) bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	p
Mikrob. N / kg TS	20,6±5,0	17,7±2,5	n.s.
Mikrob. N / kg OS	22,2±5,4	19,2±2,8	n.s.
Mikrob. N / kg verdau. OS	30,6±7,6	26,3±4,0	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Die Tabelle 30 zeigt die Tendenz zu einer größeren Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese bei feinerer Zerkleinerung der Lupinen.

In der **Energie (E) Bilanz** war der prozentuale Energieverlust über den Kot für geschrotete (28,5) und gequetschte (28,9) Lupinen so gut wie gleich. Daraus resultierten gleiche Mengen an verdaubarer Energie. Sie betrug bei der Ration mit den feinen Lupinen 71,5% und 71,1% für die groben Lupinen. Weiter ergaben sich für beide Rationen gleiche Gehalte an umsetzbarer Energie. Die ME betrug 62,5% bei der Ration mit den geschroteten Lupinen und 61,4% bei den gequetschten Lupinen. Auch bei der Energieabgabe durch die Milch war nur ein geringer Unterschied zu sehen. Bei den Rationen setzen die Kühe 3,6% (fein) bzw. 3,7% (grob) als Fettenergie an. Die Gesamt-Energieretention war bei den gequetschten Lupinen etwas höher als bei der Ration mit den geschroteten Lupinen. Dagegen fielen die Wärmeverluste bei der Ration mit den feinen Lupinen geringfügig größer aus. Alle Unterschiede waren nicht signifikant, die dazugehörigen Werte sind in Tabelle 31 aufgeführt.

Tabelle 31: Vergleich der Energie (E) Bilanz von den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	p
GE-Aufnahme, MJ/Tag	316,0±14,69	286,5±10,76	*
E-Kot, % der GE	28,5±1,13	28,9±1,39	n.s.
DE, "	71,5±1,13	71,1±1,39	n.s.
E-Harn, "	4,5±0,39	4,3±1,62	n.s.
CH4-E, "	4,6±0,58	5,5±0,74	n.s.
CH4-E, % der DE	6,4±0,85	7,7±1,00	n.s.(0,097)
ME, % der GE	62,5±1,58	61,4±2,49	n.s.
E-Milch, "	27,2±2,74	26,7±2,77	n.s.
Fett E-Retention, "	3,6±4,31	3,7±3,82	n.s.
E-Retention, "	1,2±5,00	2,0±5,02	n.s.
Wärme, "	34,0±2,69	32,7±2,86	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Die **Verdaulichkeit** der organischen Substanz und des Rohproteins waren für beide Rationen annähernd gleich. Beim Rohfett zeigte sich eine leichte Tendenz zu höherer Verdaulichkeit bei der Ration mit den feinen Lupinen. Mit Verdaulichkeiten von 47,6% bei den geschroteten und 54,8% bei den gequetschten Lupinen für die Rohfaser wurde bei letzteren eine signifikant höhere Verdaulichkeit erreicht. Im

Gegenzug war die Verdaulichkeit der NfE bei der Ration mit feinen Lupinen höher (81,2 vs. 79,4%). Alle Werte sind in Tabelle 32 dargestellt.

Tabelle 32: Vergleich der Verdaulichkeit von organischen Substanz und der Roh Nährstoffe der Ration mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	p
VQ OS	72,7±1,15	72,9±1,40	n.s.
VQ XP	71,4±1,33	70,9±0,97	n.s.
VQ XL	78,6±6,67	76,4±4,91	n.s.
VQ XF	47,6±3,50	54,8±4,07	*
VQ NfE	81,2±1,07	79,4±0,96	*

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

3.1.4.2.2 Ergebnisse der Untersuchung der Pansenparameter bei geschroteten und gequetschten Lupinen

Die durchschnittliche Futteraufnahme während der Untersuchungen zur Pansenfermentation lag bei der TMR mit geschroteten Lupinen (fein) bei 16,91 kg TS und bei der Ration mit gequetschten Lupinen (grob) bei 16,19 kg TS.

Die Mittelwerte der Fermentationsparameter des Pansen stehen in Tabelle 33. Die Mittelwerte von pH-Wert und Bicarbonatkonzentration (HCO₃) waren bei feinen Lupinen etwas geringer als bei den groben. Signifikant niedriger lagen die Ammoniakkonzentration und der prozentuale Anteil der Essigsäurekonzentration (C₂) bei den feinen Lupinen. Im Gegensatz dazu waren sowohl die Konzentration und der prozentuale Anteil der Propionsäure (C₃) als auch die Konzentration der BCFAs (branched chain fatty acids) bei den feinen Lupinen höher.

Das Verhältnis von Essigsäure und Propionsäure, sowie das von Essigsäure + Buttersäure (C₄) und Propionsäure ist bei feinen Lupinen signifikant erniedrigt gewesen.

Tabelle 33: Mittelwerte der Pansenparameter des Vergleichs zwischen den Rationen mit geschroteten Lupinen (fein) und gequetschten Lupinen (grob).

Parameter	fein	grob	SEM	p
pH-Wert	6,23	6,32	0,035	n.s.
HCO₃, mmol/l	24,30	24,47	1,618	n.s.
NH₃, mmol/l	13,61	15,21	0,278	***
Gesamt- VFA, mmol/l	105,3	103,2	1,97	n.s.
C₂, mmol/l	59,5	60,0	1,04	n.s.
C₂, %	57,0	58,5	0,20	***
C₃, mmol/l	25,4	23,5	0,56	*
C₃, %	24,0	22,7	0,16	***
C₄ mmol/l	13,9	13,8	0,40	n.s.
C₄ %	13,0	13,1	0,21	n.s.
BCFA, %	6,0	5,7	0,08	**
C₂/C₃	2,4	2,6	0,02	***
C₂+C₄/C₃	3,0	3,2	0,03	***

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=40 für jede Ration.

Tabelle 34: pH-Werte der Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	fein	grob	SEM	p
pH-Wert	-1	6,88	6,78	0,066	n.s.
	+1	6,23	6,33	0,040	n.s.
	+3	6,07	6,23	0,089	n.s.
	+5	5,79	6,07	0,072	*
	+7	6,16	6,17	0,075	n.s.

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Der pH-Wert war bei den geschroteten Lupinen eine Stunde vor der Fütterung (6,88) um 0,1 höher als bei gequetschten Lupinen (6,78). Nach der Fütterung nahm der pH-Wert bei den feinen Lupinen jedoch stärker ab, so dass er eine, drei und fünf Stunden nach der Fütterung niedriger ausfiel als bei groben Lupinen. Dieser Unterschied war zum Zeitpunkt +5 signifikant, mit 5,79 für die Ration mit feinen und

6,07 für grobe Lupinen. Bis sieben Stunden nach der Fütterung stieg der pH wieder und erreichte für beide Rationen den gleichen Wert (6,16 vs. 6,17) (Tabelle 34).

Bei den feinen Lupinen war die Bicarbonatkonzentration im Pansen zum Zeitpunkt –1 höher, nach der Futtevorlage verminderte sich die Konzentration stärker als den bei groben Lupinen. So übertraf im weiteren Verlauf der Bicarbonatgehalt bei groben den der Ration mit feinen Lupinen. Fünf Stunden nach der Fütterung betrug die HCO₃-Konzentration 7,35 mmol/l bei feinen und 13,81 mmol/l bei groben Lupinen, was einen signifikanten Unterschied darstellte. Zum Zeitpunkt +7 ist die Bicarbonatmenge bei geschroteten Lupinen wieder auf 20,56 mmol/l angestiegen, die Konzentration bei gequetschten Lupinen blieb auf etwa gleichem Niveau (14,25 mmol/l)(Tabelle35).

Tabelle 35: Bicarbonatkonzentrationen (HCO₃⁻) der Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	fein	grob	SEM	p
HCO₃⁻, mmol/l	-1	64,32	52,91	8,392	n.s.
	+1	17,26	22,24	1,886	n.s.
	+3	12,05	19,11	3,107	n.s.
	+5	7,35	13,81	1,565	*
	+7	20,56	14,25	2,313	n.s.

***: p<0,0001; **: p<0,001; *: p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Die Konzentration der flüchtigen Fettsäuren (VFA) war eine Stunde vor der Fütterung bei geschroteten Lupinen kleiner, sie stieg aber nach der Fütterung steiler an und erreichte fünf Stunden nach der Fütterung 128,7 mmol/l. Bei groben Lupinen wurde die signifikant niedrigere Konzentration von 116,0 mmol/l gemessen.

Tabelle 36: VFA-Konzentrationen der Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	fein	grob	SEM	p
VFA, mmol/l	-1	74,3	81,4	4,09	n.s.
	+1	92,2	95,9	3,26	n.s.
	+3	120,3	113,0	4,72	n.s.
	+5	128,7	116,0	2,84	*
	+7	110,7	109,7	4,91	n.s.

***: p<0,0001; **: p<0,001; *: p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Danach verringerte sich die Konzentration der flüchtigen Fettsäuren bei beiden Rationen wieder auf etwa 110 mmol/l. Die zu den einzelnen Zeitpunkten gemessenen Werte stehen in Tabelle 36.

Bis auf den Zeitpunkt -1 war die Ammoniakkonzentration (NH₃) bei gequetschten Lupinen durchweg höher. Bis drei Stunden nach der Fütterung nahm die Konzentration zu, danach fiel sie wieder. Der Konzentrationsunterschied war fünf und sieben Stunden nach der Fütterung signifikant (+5 h: fein: 12,30 mmol/l; grob: 15,59 mmol/l) (+7 h: fein: 10,59 mmol/l; grob: 12,99 mmol/l) (Tabelle 37).

Tabelle 37: NH₃-Werte der Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	fein	grob	SEM	p
NH ₃ , mmol/l	-1	9,90	9,75	0,513	n.s.
	+1	17,41	18,18	0,922	n.s.
	+3	17,86	19,56	0,881	n.s.
	+5	12,30	15,59	0,619	*
	+7	10,59	12,99	0,613	*

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Der prozentuale Anteil der einzelnen Fettsäuren sowie der BCFAs und das Verhältnis von C2+C4 zu C3 sind in Tabelle 38 dargestellt.

Der prozentuale Anteil der Essigsäure an der Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren war zu den Zeitpunkten +1 und +5 bei feinen Lupinen signifikant niedriger, für Propionsäure war er nach der Fütterung stets signifikant höher im Vergleich zu groben Lupinen. Bei der Buttersäure zeigten sich keine Signifikanzen.

Der Anteil der BCFAs tendierte bei feinen Lupinen zu etwas höheren Werten; signifikant war der Unterschied drei Stunden nach der Fütterung.

Das Verhältnis von C2, sowie von C2+C4 zu C3 war für grobe Lupinen durchweg größer und die Differenz zu allen Zeitpunkten nach der Fütterung signifikant. Der Verlauf des C2/C3- Verhältnisses ist in Abbildung 6 dargestellt.

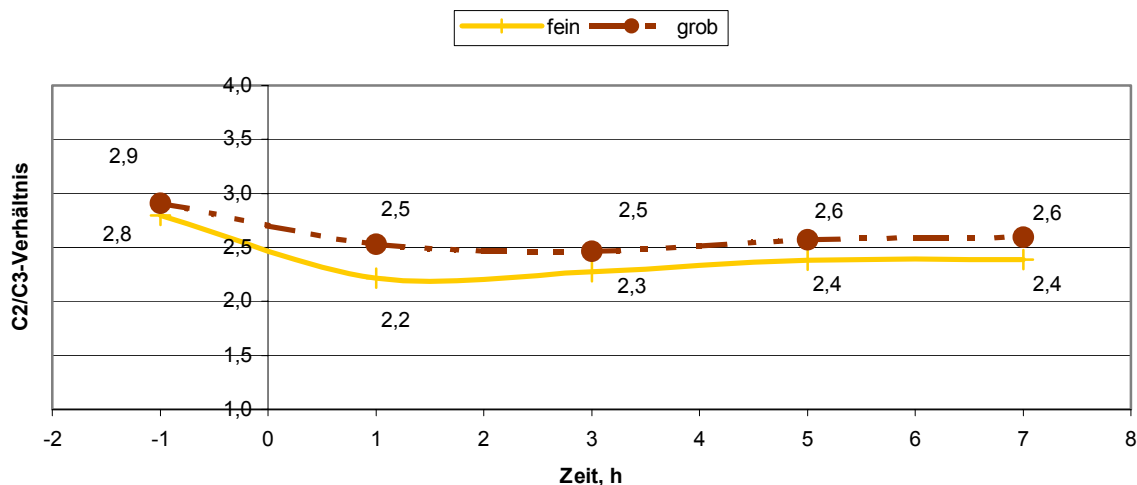


Abbildung 6: Verlauf des C2/C3-Verhältnisses bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten Lupinen (grob).

Tabelle 38: Verlauf von C2, C3, C4, BCFA in % und des Verhältnisse von C2 + C4 zu C3 der Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	fein	grob	SEM	p
C2 %	-1	62,5	63,3	0,32	n.s.
	+1	56,3	58,7	0,31	**
	+3	54,3	55,6	0,47	n.s.
	+5	55,9	57,2	0,50	*
	+7	56,2	57,8	0,64	n.s.
C3 %	-1	22,5	22,1	0,39	n.s.
	+1	25,5	23,3	0,35	***
	+3	24,1	22,7	0,38	*
	+5	23,7	22,6	0,37	*
	+7	24,0	22,7	0,62	*
C4 %	-1	9,5	9,5	0,28	n.s.
	+1	13,5	13,2	0,31	n.s.
	+3	15,0	15,5	0,50	n.s.
	+5	13,9	14,0	0,67	n.s.
	+7	13,1	13,3	0,62	n.s.

Fortsetzung Tabelle 38

BCFA %	-1	5,5	5,1	0,18	n.s.
	+1	4,8	4,7	0,17	n.s.
	+3	6,6	6,2	0,12	*
	+5	6,5	6,2	0,20	n.s.
	+7	6,7	6,3	0,22	n.s.
C2+C4/C3- Verhältnis	-1	3,2	3,4	0,08	n.s.
	+1	2,8	3,1	0,05	***
	+3	2,9	3,2	0,06	*
	+5	3,0	3,2	0,07	*
	+7	3,0	3,2	0,11	*

***: $p < 0,0001$; **: $p < 0,001$; *: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant; $n=8$ für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

3.1.4.2.3 Ergebnisse des Produktionsversuches mit geschroteten und gequetschten Lupinen

3.1.4.2.3.1 Futteraufnahme bei den Rationen mit geschroteten und gequetschten Lupinen

Die Futteraufnahme wurde durch die unterschiedlichen Partikelgrößen der Lupinen signifikant beeinflusst. Von der Ration mit den geschroteten Lupinen fraßen die Kühe im Mittel 18,90 kg TS, von den gequetschten Lupinen wurden nur 18,57 kg aufgenommen. Auch die auf das metabolische Körpergewicht bezogene Futteraufnahme war für die geschroteten Lupinen höher. Die Werte stehen in Tabelle 39.

Tabelle 39: Futteraufnahme der Milchkühe ($n=28$) bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten Lupinen (grob).

Parameter	fein	grob	SEM	p
Futteraufnahme, kg TS/Tag	18,90	18,57	0,375	*
Aufn./meta. Leb.gewicht	0,150	0,148	0,003	*

*: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant

Um den Einfluss der Behandlungen auf Kühe mit einer hohen Milchleistung zu klären, wurden alle Tiere, deren Milchleistung im Durchschnitt größer als 29 kg/Tag war, separat ausgewertet.

Bei der Futteraufnahme gab es hier keinen signifikanten Unterschied, sie lag bei 20,28 kg TS für die feinen und 20,48 kg für die gequetschten Lupinen. Im Gegensatz zur gesamten Versuchsgruppe nahmen die Kühe mit der höheren Leistung sogar etwas mehr von der Ration mit den gequetschten Lupinen auf (Tabelle 40).

Tabelle 40: Futteraufnahme der Milchkühe mit einer Milchleistung größer 29 kg (n=10) bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten Lupinen (grob).

Parameter	fein	grob	SEM	p
Futteraufnahme, kg TS/Tag	20,28	20,48	0,500	n.s.
Aufn./meta. Leb.gewicht	0,160	0,160	0,004	n.s.

*: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant

3.1.4.1.3.2 Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei den Rationen mit geschroteten und gequetschten Lupinen

Die Höhe der Milchleistung sowie die in der Milch gemessenen Inhaltsstoffe sind in Tabelle 41 aufgeführt. Zwischen den zwei Zerkleinerungsgraden der Lupinen gab es keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 41: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe der Kühe (n=28) bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	SEM	p
Milchleistung, kg/Tag	27,65	27,74	0,474	n.s.
Fett, kg/Tag	1,061	1,064	0,025	n.s.
Eiweiß, kg/Tag	0,881	0,880	0,019	n.s.
Fett, %	3,85	3,86	0,040	n.s.
Eiweiß, %	3,21	3,20	0,025	n.s.
FECM, kg/Tag	27,11	27,18	0,571	n.s.
Harnstoff, mg/100ml	33,78	33,87	1,133/1,137	n.s.

*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,0001$, n.s.: nicht signifikant

Die Milchleistung bei der Ration mit geschroteten Lupinen betrug 27,65 kg/Tag, bei den gequetschten Lupinen wurde die minimal höhere Leistung von 27,74 kg/Tag

erreicht. Der prozentuale Fettgehalt war 3,85 bei den feinen Lupinen und 3,86 bei den groben Lupinen. Auch der Eiweißgehalt blieb mit 3,21% für geschrotete und 3,20% für gequetschte Lupinen bei beiden Rationen auf gleichem Niveau. Dementsprechend unbeeinflusst war der Gehalt an Fett-Eiweiß- korrigierter Milch (27,11 kg/Tag für geschrotete Lupinen vs. 27,18).

Für die Kühe mit höherer Milchleistung zeigte sich ein etwas anderes Bild. Die Milchleistung war bei den gequetschten Lupinen mit 31,79 kg/Tag signifikant höher als bei den geschroteten (30,66 kg/Tag). Der prozentuale Fettgehalt war dabei für die gequetschten niedriger als für die geschroteten Lupinen (3,72 vs. 3,83). Dagegen blieb der Eiweißgehalt stabil, er betrug 3,11% bei den feinen und 3,10% bei der Ration mit groben Lupinen. Daraus ergab sich die signifikant höhere Eiweißmenge bei den gequetschten Lupinen. Zudem war die Menge an Fett-Eiweiß- korrigierter Milch für die Ration mit den gequetschten Lupinen im Vergleich höher (30,43 kg/Tag vs. 29,87 kg/Tag) (Tabelle 42).

Tabelle 42: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe der Kühe mit einer Milchleistung größer 29 kg (n=10) bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	SEM	p
Milchleistung, kg/Tag	30,66	31,79	0,666/0,667	***
Fett, kg/Tag	1,176	1,176	0,031	n.s.
Eiweiß, kg/Tag	0,952	0,983	0,024	*
Fett, %	3,83	3,72	0,053	n.s.
Eiweiß, %	3,11	3,10	0,021	n.s.
FECM, kg/Tag	29,87	30,43	0,713	n.s.
Harnstoff, mg/100ml	35,42	36,14	1,203/1,212	n.s.

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

3.1.4.2.3.3 Lebendgewicht bei den Rationen mit geschroteten und gequetschten Lupinen

Das Lebendgewicht der Kühe war für die Ration mit den geschroteten Lupinen 634 kg und 635 kg bei den gequetschten Lupinen (Tabelle 43) und wurde somit durch die Rationsgestaltung nicht beeinflusst.

Tabelle 43: Lebendgewicht der Kühe (n=28) bei den Rationen mit geschroteten (fein) und gequetschten (grob) Lupinen.

Parameter	fein	grob	SEM	p
Lebendgewicht, kg	634	635	1,810	n.s.
Tägl. Zunahmen, g/Tag	271±476	238±488		n.s.

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

3.1.4.3 Ergebnisse der Untersuchungen mit Ackerbohnen

3.1.4.3.1 Ergebnisse der Bilanzen bei den Ackerbohnen Sorten Samba und Valeria

Beim Vergleich der **Stickstoff (N) Bilanzen** der zwei Ackerbohnen Sorten zeigte sich eine bessere Stickstoffverdaulichkeit der Ration mit Valeria (Valeria). Der N-Verlust im Kot betrug 31,8% und war somit signifikant niedriger als bei der Ration mit Samba (Samba) (39,1%). Demgegenüber wurde bei Valeria tendenziell mehr N über den Harn ausgeschieden (43,9 vs. 39,3%). Bei der Ration mit Samba ist 31,4% des Stickstoffes über die Milch abgegeben worden und 29,3% bei Valeria.

Aus diesen Verlusten resultierte die für beide Rationen negative N-Retention. Sie betrug -9,4 bei Samba und -5,0% bei Valeria; dieser Unterschied war nicht signifikant. Die einzelnen Werte der Stickstoffbilanz sind in Tabelle 44 aufgeführt.

Tabelle 44: Vergleich der Stickstoff (N) Bilanz der Rationen mit den Ackerbohnen Sorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	P
N- Aufnahme, g	385,9±19,71	407,6±20,78	n.s.
N- Kot, % d. Aufnahme	39,1±1,41	31,8±1,75	*
N- Harn, "	39,3±3,47	43,9±2,98	n.s.
N- Milch, "	31,4±3,40	29,3±5,11	n.s.
N-Retention, "	-9,7±2,78	-5,0±3,48	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

In der **Energie (E) Bilanz** war die Energieverdaulichkeit der Ration mit Valeria signifikant höher als bei der Ration mit der Ackerbohnen Sorte Samba. Sie betrug 71,5% für Valeria und nur 67,0% bei der Ration mit Samba. Weiter zeigte die Abgabe der Methanenergie signifikante Differenzen. Bei der Ration mit Samba ging 9,9% der

verdaubaren Energie in Form von Methan verloren und bei der Ration mit Valeria lediglich 7,0%.

Das Mehr an umsetzbarer Energie (62,8% bei Valeria vs. 58,1% bei Samba) wurde nicht in die Milch umgesetzt, sondern führte zu einem signifikant höherem Fettenergieansatz bei leicht höherem Wärmeverlust (Tabelle 45).

Tabelle 45: Vergleich der Energie (E) Bilanz der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

	Samba	Valeria	P
GE-Aufnahme, MJ/Tag	295,9±15,12	298,7±15,23	n.s.
E-Kot, % der GE	33,0±2,06	28,5±0,31	*
DE, "	67,0±2,06	71,5±1,31	*
E-Harn, "	2,3±0,31	3,6±1,10	n.s. (0,059)
CH4-E, "	6,6±0,78	5,0±0,46	*
CH4-E, % der DE	9,9±1,18	7,0±0,55	*
ME, % der GE	58,1±2,14	62,8±1,84	*
E-Milch, "	26,0±3,59	23,7±4,54	n.s.
Fett E-Retention, "	-1,9±4,24	2,9±1,60	n.s.
E-Retention, "	-3,8±3,95	1,9±1,99	*
Wärme, "	35,9±2,49	37,2±3,07	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Tabelle 46: Vergleich der Verdaulichkeit von organischen Substanz und der Rohnährstoffe der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	p
VQ OS	69,6±2,12	73,8±1,39	*
VQ XP	60,9±1,41	68,2±1,75	**
VQ XL	75,0±1,39	75,0±3,29	n.s.
VQ XF	37,1±6,95	48,9±3,56	*
VQ NfE	80,0±1,19	81,9±0,87	*

** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

Die **Verdaulichkeit** der organischen Substanz war bei Samba mit 69,6% niedriger als bei Valeria (73,8%). Dies ergab sich aus signifikant niedrigeren Verdaulichkeiten

der Ration mit Samba beim Rohprotein (60,9 vs. 68,2%) und bei der Rohfaser (37,1 vs. 48,9%) und bei den NfE. Das Rohfett hatte für beide Rationen gleiche Verdaulichkeiten (Tabelle 46).

Bei den zwei Rationen gab es keinen signifikanten Unterschied bei der Bildung des mikrobiellen Stickstoffes, es war allenfalls ein gewisser Trend zu höherer N-Bildung bei der Ration mit der Ackerbohnsorte Valeria zu erkennen (Tabelle 47).

Tabelle 47: Vergleich des mikrobiell gebildeten N pro kg TS, OS und verdaubaren (verdau.) OS der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	P
Mikrob. N / kg TS	14,3±1,95	16,2±2,76	n.s.
Mikrob. N / kg OS	15,3±2,09	17,3±2,96	n.s.
Mikrob. N / kg verdau. OS	22,0±2,58	23,5±4,17	n.s.

* : p<0,05; n.s.: nicht signifikant.

3.1.4.3.2 Ergebnisse der Untersuchung der Pansenparameter der Ackerbohnen Samba und Valeria

Von der Ration mit der Sorte Samba wurde während der Pansensaftentnahme im Mittel 16,32 kg TS gefressen und 16,67 kg TS von der Ration mit der Sorte Valeria. Die Mittelwerte der einzelnen Parameter, die von den beiden Rationen ermittelt wurden, stehen in Tabelle 48.

Für die Ackerbohne Valeria wurde ein mittlerer pH-Wert von 6,39 gemessen, bei Samba betrug er 6,69 und war somit bei dieser Sorte signifikant höher.

Dementsprechend lag die mittlere Bicarbonatkonzentration der Ration mit Valeria (29,30 mmol/l) signifikant unter der Konzentration, die bei der Ration mit Samba erreicht wurde (37,18 mmol/l). Der Ammoniakgehalt bei den beiden Sorten unterschied sich nur gering und war für Samba mit 12,43 mmol/l (vs. 11,81 bei Valeria) etwas größer.

Die Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren war bei der Sorte Valeria (97,0 mmol/l) signifikant höher als die Konzentration, welche bei der Ration mit Samba (90,7 mmol/l) erreicht wurde. Bei den einzelnen Fettsäuren zeigten sich, außer bei der Konzentration von Buttersäure (C4), durchweg Signifikanzen. Bei der Ration mit

der Ackerbohne Samba war die Essigsäuremenge (C2) höher und die Propionsäuremenge (C3) niedriger als bei Valeria. Die BCFA's unterschieden sich ebenfalls signifikant (4,8% für Samba und 6,4%). Weiter war das C2/C3-Verhältnis mit 3,6 für Samba signifikant größer als bei Valeria (2,7) und ebenso das C2+C4/C3-Verhältnis (4,4 für Samba vs. 3,4).

Tabelle 48: Mittelwerte der Pansenparameter des Vergleichs zwischen den Rationen mit Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	SEM	p
pH-Wert	6,69	6,39	0,042	***
HCO₃, mmol/l	37,18	29,80	1,549	**
NH₃, mmol/l	12,43	11,81	0,273	n.s.
Gesamt- VFA, mmol/l	90,7	97,0	1,92	*
C2, mmol/l	56,4	55,4	1,10	n.s.
C2, %	62,5	57,9	0,28	***
C3, mmol/l	16,1	21,2	0,55	***
C3, %	17,8	21,8	0,28	***
C4 mmol/l	13,8	14,1	0,40	n.s.
C4 %	14,9	14,0	0,26	*
BCFA, %	4,8	6,4	0,10	***
C2/C3	3,6	2,7	0,05	***
C2+C4/C3	4,4	3,4	0,07	***

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=40 für jede Ration.

Im Zeitverlauf waren die pH-Werte bei der Ackerbohnenart Samba durchweg signifikant höher als bei der Ackerbohnenart Valeria (Tabelle 49 und Abb. 7).

Tabelle 49: pH-Werte der Rationen mit den Ackerbohnenarten mit Samba (Samba) und Valeria (Valeria) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	Samba	Valeria	SEM	p
pH-Wert	-1	7,16	7,01	0,047	*
	+1	6,69	6,53	0,021	**
	+3	6,52	6,03	0,144	*
	+5	6,37	5,95	0,160	*
	+7	6,68	6,40	0,081	*

*** : p<0,0001; ** : p<0,001; * : p<0,05; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

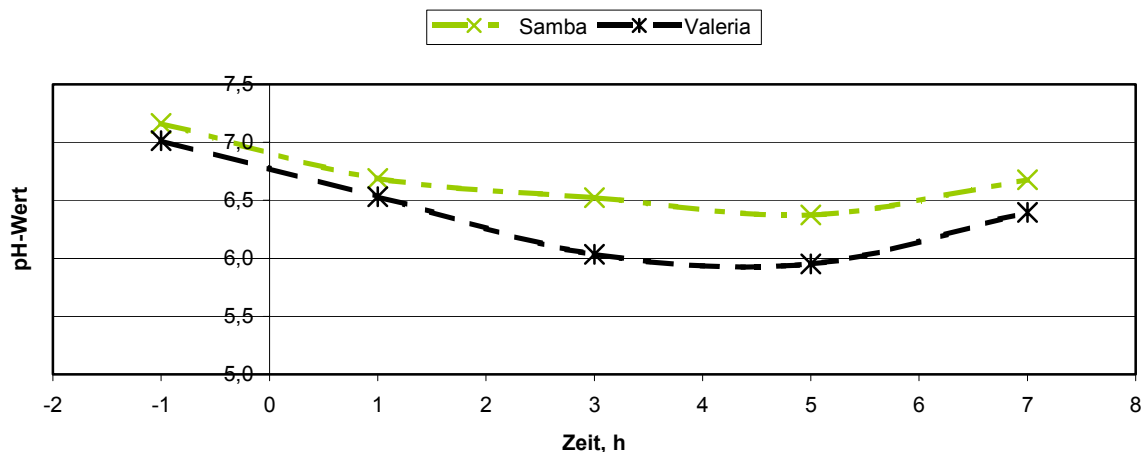


Abbildung 7: Verlauf des pH-Wertes bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Als die Ration mit der Ackerbohne Samba verfüttert wurde, betrug der pH- Wert eine Stunde vor der Fütterung 7,16 sank fünf Stunden nach der Fütterung auf ein Minimum von 6,37 und stieg bis zur letzten Probenahme auf den Wert 6,68. Zum Beginn der Messungen war der pH bei Valeria mit 7,01 tiefer als bei Samba und verminderte sich nach der Fütterung stärker, so dass nach fünf Stunden ein Minimum von 5,95 erreicht wurde. Im Anschluss stieg der Wert wieder auf 6,40.

Die Bicarbonatkonzentration (HCO_3^-) war eine Stunde vor und nach der Futtevorlage für beide Rationen etwa gleich, verminderte sich dann bei der Ration mit Valeria stärker, was zum Zeitpunkt +3 und +5 zu signifikant geringeren Konzentrationen führte. Nach sieben Stunden stieg das Bicarbonat bei beiden Rationen wieder an (Tabelle 50).

Tabelle 50: HCO_3^- -Werte der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	Samba	Valeria	SEM	p
HCO_3^- , mmol/l	-1	69,86	71,12	2,662	n.s.
	+1	32,93	32,23	1,939	n.s.
	+3	28,70	11,40	4,849	*
	+5	22,19	10,29	4,851	*
	+7	32,22	23,98	3,152	n.s.

*** : $p < 0,0001$; ** : $p < 0,001$; * : $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

In Tabelle 51 sind die Werte für die flüchtigen Fettsäuren (VFA) aufgeführt. Im Zeitverlauf stieg die Konzentration der flüchtigen Fettsäuren bis fünf Stunden nach der Fütterung an und sank danach wieder. Der Anstieg war bei der Ration mit Valeria zwischen +1 und +3 größer als bei Samba, so dass die VFA- Konzentration drei Stunden nach der Fütterung für Valeria mit 118,7 mmol/l signifikant höher war als bei der Ration mit Samba (98,3 mmol/l).

Tabelle 51: VFA- Konzentrationen der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	Samba	Valeria	SEM	p
VFA, mmol/l	-1	68,2	65,6	3,19	n.s.
	+1	76,9	77,6	3,06	n.s.
	+3	98,3	118,7	6,49	*
	+5	111,3	120,7	6,09	n.s.
	+7	98,6	102,1	3,29	n.s.

***: $p < 0,0001$; **: $p < 0,001$; *: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant; $n=8$ für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

Die Ammoniakkonzentration (NH_3) (Tabelle 52 und Abb. 8) war zum Zeitpunkt +3 bei der Ration mit Samba signifikant höher und zum Zeitpunkt +7 niedriger als bei Valeria. So stieg der Ammoniakgehalt bei Valeria nach der Fütterung um 8,00 mmol auf 17,07 mmol/l und verminderte sich bis drei Stunden nach der Fütterung wieder auf 12,91 mmol/l. Ebenso stieg die Konzentration bei Samba nach der Fütterung an (von 9,29 auf 16,78 mmol/l), blieb aber in den nächsten zwei Stunden fast unverändert und sank erst nach fünf Stunden um knapp 6 mmol auf 10,79 mmol/l.

Tabelle 52: NH_3 -Werte der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	Samba	Valeria	SEM	p
NH_3 , mmol/l	-1	9,29	9,00	0,272	n.s.
	+1	16,78	17,01	0,327	n.s.
	+3	16,66	12,91	0,624	*
	+5	10,79	10,06	0,630	n.s.
	+7	8,63	10,09	0,464	*

* : $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant; $n=8$ für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

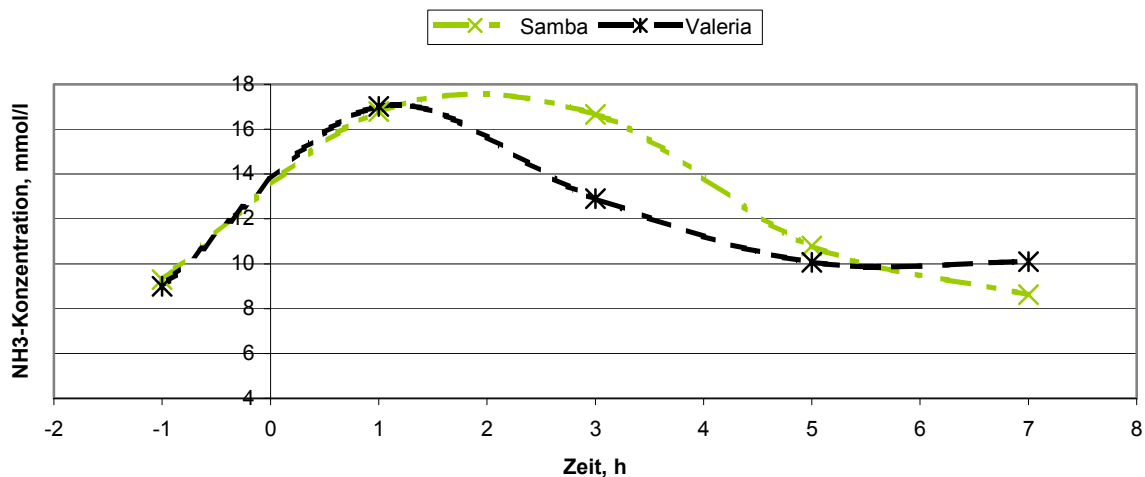


Abbildung 8: Verlauf der Konzentration des Ammoniaks(mmol/l) bei den Rationen mit Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

In Tabelle 53 sind weitere Fermentationsparameter aufgeführt. Der prozentuale Anteil der Essigsäure zur Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren war zu allen Messzeitpunkten signifikant höher als bei Valeria. Die Konzentration der Propionsäure und der BCFA war dagegen geringer als bei Valeria. Den erniedrigten BCFA's lagen v.a. signifikant verminderte Gehalte an Valeriansäure zugrunde.

Bei der Ration mit Samba lagen die Werte der Verhältnisse von C2+C4 zu C3 zu allen Messzeitpunkten unter denen der Ration mit Valeria.

Tabelle 53: Verlauf von C2, C3, C4, BCFA in %, und des Verhältnisse von C2 +C4 zu C3 der Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria(Valeria) im Zeitverlauf.

Parameter	Zeitpunkt	Samba	Valeria	SEM	p
C2 %	-1	66,2	63,0	0,49	**
	+1	62,0	59,6	0,34	**
	+3	59,3	55,2	0,48	***
	+5	61,6	55,3	0,56	***
	+7	63,3	56,4	0,56	***
C3 %	-1	17,6	22,6	0,58	***
	+1	20,0	21,7	0,54	n.s. (0,051)
	+3	18,8	22,1	0,36	***
	+5	16,6	21,0	0,66	**
	+7	16,2	21,4	0,68	**

Fortsetzung Tabelle 53

C4 %	-1	11,6	8,7	0,50	*
	+1	13,9	13,1	0,62	n.s.
	+3	16,6	16,0	0,60	n.s.
	+5	16,8	16,8	0,50	n.s.
	+7	15,7	15,3	0,44	n.s.
BCFA %	-1	4,7	5,6	0,21	*
	+1	4,0	5,6	0,20	**
	+3	5,2	6,8	0,24	**
	+5	5,0	6,9	0,15	***
	+7	4,9	6,9	0,23	***
C2+C4/C3- Verhältnis	-1	4,5	3,2	0,20	**
	+1	3,9	3,4	0,12	*
	+3	4,1	3,3	0,09	***
	+5	4,8	3,6	0,14	***
	+7	4,9	3,4	0,13	***

***: $p < 0,0001$; **: $p < 0,001$; *: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant; n=8 für jede Ration und jeden Zeitpunkt.

3.1.4.3.3 Ergebnisse des Produktionsversuches mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria

3.1.4.3.3.1 Futteraufnahme bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria

Der Einfluss der Ackerbohnsorte auf die Trockensubstanzaufnahme der Milchkühe ist in Tabelle 54 dargestellt. Von der TMR mit der tanninhaltigen Sorte Samba wurden 21,51 kg aufgenommen, von der Ration mit Valeria etwas weniger (21,25 kg; $p=0,065$). Bezogen auf das metabolische Gewicht unterschied sich die Futteraufnahme signifikant. Pro kg metabolischem Lebendgewicht wurden 0,163 kg von der Ration mit Samba gefressen und 0,161 kg von der Ration mit Valeria.

Tabelle 54: Futteraufnahme der Milchkühe (n=26) bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	SEM	p
Futteraufnahme, kg TS/Tag	21,51	21,25	0,326	n.s.(0,065)
Aufn. / meta. Leb.gewicht	0,163	0,161	0,003	*

*: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant

Bei den Kühen mit einer Milchleistung über 30 kg/Tag wurden die Futteraufnahme und die Futteraufnahme pro Kilo metabolischem Lebendgewicht von der Sortenwahl signifikant beeinflusst. Von der Ration mit der Ackerbohne Samba wurde mehr gefressen als von der Ration mit Valeria. Die TS- Aufnahme der Ration mit der Sorte Samba lag bei 22,06 kg, die der Ration mit Valeria bei 21,56 kg (Tabelle 55).

Tabelle 55: Futteraufnahme der Milchkühe (n=10) mit einer Milchleistung über 30 kg/Tag bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	SEM	p
Futteraufnahme, kg TS/Tag	22,06	21,56	0,337/0,339	*
Aufn. / meta. Leb.gewicht	0,170	0,166	0,003	*

*: $p < 0,05$; n.s.: nicht signifikant

3.1.4.3.3.2 Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria.

Die Milchleistung wurde durch die unterschiedlichen Ackerbohnsorten nicht beeinflusst. Beim Verfüttern der Ration mit Samba gaben die Kühe 27,62 kg Milch/Tag und 27,64 kg bei der Ration mit Valeria. Ebenso unverändert waren der Fettgehalt der Milch mit 4,33% für die Ration mit Samba und 4,30% für Valeria und die täglichen Fettmengen (1,186 kg bei Samba, 1,177 kg bei Valeria) (Tabelle 56).

Mit einem Eiweißgehalt von 3,75% hatte die Ration mit der Ackerbohne Valeria ein signifikant höheres Ergebnis. Der prozentuale Gehalt von 3,64 bei der Ration Samba war jedoch immer noch vergleichsweise hoch. Die Eiweißmengen waren 0,995 kg bei Samba und 1,025 kg für die Ration mit Valeria, der Unterschied war signifikant. Die Menge an Fett-Eiweiß- korrigierter Milch war dennoch für beide Rationen gleich.

Tabelle 56: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe der Kühe (n=26) bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	SEM	p
Milchleistung, kg/Tag	27,62	27,64	0,417	n.s.
Fett, kg/Tag	1,186	1,177	0,015	n.s.
Eiweiß, kg/Tag	0,995	1,025	0,015	**
Fett, %	4,33	4,30	0,036	n.s.
Eiweiß, %	3,64	3,75	0,022	***
FECM, kg/Tag	29,36	29,46	0,392	n.s.
Harnstoff, mg/100ml	29,71	31,81	0,352	***

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

Der Harnstoffgehalt der Milch war, wie der Eiweißgehalt, bei der Ration mit der Ackerbohne Samba niedriger als bei der Ration mit Valeria (29,71 mg/100ml bei Samba und 31,81 bei Valeria).

Auch bei den Kühen mit einer Milchleistung von über 30 kg/Tag unterschied sich der Eiweißgehalt der Milch signifikant. Er war mit 3,57% bei der Ration mit Valeria höher als bei Samba (3,44%). Insgesamt reagierten die Kühe mit der höheren Milchleistung so wie die gesamte Herde, die Werte stehen in Tabelle 57.

Tabelle 57: Milchleistung und Milchinhaltsstoffe der Kühe (n=10) mit einer Milchleistung von über 30 kg/Tag bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	SEM	p
Milchleistung, kg/Tag	32,29	31,83	0,428/0,430	n.s.
Fett, kg/Tag	1,338	1,302	0,020	n.s.
Eiweiß, kg/Tag	1,105	1,134	0,012	*
Fett, %	4,15	4,10	0,059/0,060	n.s.
Eiweiß, %	3,44	3,57	0,022	***
FECM, kg/Tag	33,34	32,98	0,332/0,336	n.s.
Harnstoff, mg/100ml	30,49	31,58	0,471/0,478	n.s.(0,085)

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

3.1.4.3.3 Lebendgewicht bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba und Valeria.

Das Lebendgewicht der Kühe blieb unbeeinflusst, es betrug bei der Ration mit Samba 674 kg und bei der Ration mit Valeria 675 kg. Bei beiden Rationen erhöhte sich das Gewicht der Kühe, bei täglichen Zunahmen von 354 g/Tag bei Samba und 452 g/Tag bei Valeria (Tabelle 58). Bei den Kühen mit einer Milchleistung über 30 kg/Tag verhielt sich das Gewicht entsprechend dem aller Kühe.

Tabelle 58: Lebendgewicht der Kühe (n=26) bei den Rationen mit den Ackerbohnsorten Samba (Samba) und Valeria (Valeria).

Parameter	Samba	Valeria	SEM	p
Lebendgewicht, kg	674	675	1,201	n.s.
Tägl. Zunahmen, g/Tag	354±376	452±377		n.s.

*: p< 0,05, **: p<0,01, ***:p <0,0001, n.s.: nicht signifikant

3.2. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die vorliegenden Untersuchungen haben zu deutlichen Erkenntnisfortschritten zum Einsatz von Körnerleguminosen bei Milchkühen geführt. Dies ist besonders wichtig für die ökologische Landwirtschaft, hat aber auch für die konventionelle Landwirtschaft große Bedeutung.

Anhand der Ergebnisse kann nachgewiesen werden, dass die Körnerleguminosen Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen sehr wertvolle Futtermittel in der Milchviehfütterung darstellen und im Rahmen einer sachgerechten Rationsgestaltung keine Mengenbegrenzung für den Einsatz dieser Körnerleguminosen besteht.

Es zeigte sich, dass gute Milchleistung bei guter Verträglichkeit und Gesundheit mit Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen als alleinige Eiweißkomponente im Kraftfutter möglich sind. Die geprüften Behandlungen zur Verbesserung des Proteinwertes führen nur zu geringen Änderungen der tierischen Leistung und sind für eine erfolgreiche Fütterung nicht essentielle Voraussetzung.

4. Zusammenfassung

In diesem Projekt sollte der Einsatz von Erbsen, Lupinen und Ackerbohnen, den drei wichtigsten heimischen Körnerleguminosen in Milchviehrationen untersucht werden. Dabei sollte die Wirkung von ökologisch konformen Behandlungsmethoden getestet werden, um diese Körnerleguminosen wiederkäuergerecht in auf hohe Milchleistung ausgelegte Rationen integrieren zu können. Untersucht wurden die Hitzebehandlung von Erbsen, der Zerkleinerungsgrad von Lupinen und die Wirkung zweier Ackerbohnsorten mit unterschiedlichem Tanningehalt. Ziel war es, durch entsprechende Behandlung den Anteil an pansenstabilem Protein bei den Leguminosen zu erhöhen, um so ein Defizit an nutzbarem Rohprotein am Dünndarm vorzubeugen.

Es konnte in den Untersuchungen, besonders *in vitro* und *in situ*, z.T. positive Effekte nachgewiesen werden, die sich jedoch nur im geringen Maß auf die tierische Leistung auswirkte.

Bei den Untersuchungen zum Einfluss der **Hitzebehandlung von Erbsen** wurden diese als alleiniges Krafffutter eingesetzt und gut vertragen. Als Kontrollration bekamen die Kühe eine TMR mit rohen Erbsen, die andere Hälfte der Erbsen ist nach Behandlung mit dem Jet Sploder verfüttert worden.

Im Produktionsversuch auf der Versuchsstation für Nutztierbiologie und ökologischen Landbau (401) wurde durch die Hitzebehandlung eine Steigerung der Milchleistung um 1,36 kg erreicht, ohne Rückgang der Milchinhaltsstoffe und bei gleicher Futteraufnahme der Rationen. Daraus resultierten höhere Mengen an Fett, Eiweiß und Fett-Eiweiß- korrigierter Milch.

In den am Institut für Tierernährung (450) durchgeführten Stoffwechselversuchen zeigte sich jedoch, dass dieser Leistungsanstieg eher auf eine bessere Energieverfügbarkeit der Ration mit den hitzebehandelten Erbsen zurückzuführen ist. So war beim *in situ* XP- Abbau nur ein geringer Effekt der Behandlung festzustellen. Für die behandelten Erbsen ergaben sich dabei etwas niedrigere Abbaubarkeiten. *In vitro* zeigte sich durch die Behandlung ein Anstieg des pansenstabilen Proteins, der Gehalt blieb jedoch insgesamt niedrig.

Die Behandlungskosten der Erbsen betragen 6,96 Euro/100 kg FS Erbsen (87,5%TS) (Behandlung + Ein- und Auslagerung, inkl. Mehrwertsteuer). Bei einer täglichen TS- Aufnahme von 21,0 kg wurden 9,28 kg TS Erbsen (44,2% der Ration) gefressen, so dass sich Mehrkosten von 0,74 Euro pro Tag ergaben. Dabei wurde durch die Behandlung ein durchschnittlicher Milchleistungsanstieg von 1,36 kg/Tag erreicht, wobei derzeit lediglich mit 28 Cent pro Kilo Milch gerechnet werden kann. Unter diesem Aspekt und unter Berücksichtigung der insgesamt geringen Effekte auf den Proteinwert ist eine derartige thermische Behandlung nicht zu empfehlen.

Bei unterschiedlichem **Zerkleinerungsgrad von Lupinen** wurden Milchleistung und Milchinhaltstoffe kaum beeinflusst, dabei war der Harnstoffgehalt bei beiden Rationen hoch, was auf hohe N-Abbauraten hindeutet. Auch in der Stickstoff- und Energiebilanz, sowie beim mikrobiell gebildeten Stickstoff zeigten sich nur geringe Unterschiede. Die Verdaulichkeit der Rohfaser war bei der Ration mit den gequetschten Lupinen höher, was u.a. an besseren Bedingungen für zellulolytischen Bakterien gelegen haben mag, durch den im Vergleich höheren und stabileren pH-Wert. Bei der Bicarbonatkonzentration und der Menge an VFA zeigten sich keine Unterschiede. Dagegen war der prozentuale Anteil der Essigsäure bei den groben Lupinen signifikant höher und derjenige der Propionsäure niedriger.

Nur bei den Kühen mit einer Milchleistung über 29 kg/Tag war die Milchleistung beim Verfüttern der Ration mit den groben Lupinen um über 1 kg höher als bei der Ration mit den feinen Lupinen, was zu einer höheren Milcheiweißmenge führte. Dabei sank der Milchfettgehalt bei der Ration mit den groben Lupinen leicht ab.

Obwohl insgesamt nur geringe Effekte auftraten ist das Quetschen der Feinvermahlung vorzuziehen. Es verursacht keine höheren Kosten und gewährleistet insgesamt stabilere Fermentationsbedingungen in den Vormägen ohne Beeinträchtigung der gesamten Nährstoff- und Energieausnutzung.

Beim **Vergleich zweier Ackerbohnsorten** wurde bei der tanninhaltigen Sorte Samba ein höherer Gehalt an nutzbarem Rohprotein erwartet. In situ waren die effektiven Abbaubarkeiten der Trockensubstanz bei der tanninhaltigen Sorte Valeria höher als bei Samba, beim Abbau des Rohproteins zeigten sich keine Unterschiede. Das Pansenmilieu der Kühe wurde durch die Sortenwahl relativ stark beeinflusst und war bei der Ration mit der tanninhaltigen Sorte Samba stabiler. So fiel die Absenkung

das pH-Wertes nach der Fütterung bei dieser Ration moderater aus und der pH erholte sich schneller.

Trotz dieser Unterschiede war die Milchleistung für beide Rationen gleich und die unterschiedlichen Anteile der einzelnen VFA beeinflussten den Fettgehalt der Milch nicht. Es kam dagegen zu einem Anstieg des Eiweißgehaltes bei der tanninfreien Sorte Valeria, woraus sich eine höhere Eiweißmenge ergab. Der Harnstoffgehalt der Milch war für beide Rationen relativ hoch und bei der Sorte Valeria signifikant erhöht im Vergleich zur tanninhaltigen Sorte Samba. Die Futteraufnahme der Ration mit Samba war etwas höher, dieser Unterschied war bei den Kühen mit einer Milchleistung über 30 kg/Tag signifikant.

Im Rahmen einer insgesamt sachgerechten Rationsgestaltung scheint der Sortenwahl nur eine untergeordnete Rolle zuzukommen. Tanninhaltige Sorten verbessern die Proteinversorgung nur wenig, führen aber auch zu keinerlei negativen Effekten. Nach der Sortenwahl ist demnach abzuwägen zwischen Energiekonzentration (tanninfrei) und besserer Verträglichkeit aufgrund langsamerer Fermentationsrate (tanninhaltig).

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Alle geplanten Versuche zur Untersuchung der thermischen Behandlung von Erbsen, des Zerkleinerungsgrades von Lupinen und des Einflusses von unterschiedlichen Tanningehalten zweier Ackerbohnsorten wurden umgesetzt.

6. Literaturverzeichnis

Abel, H.J. (1996): Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland, Kapitel Tierernährung, UFOP-Schriften, Heft 3.

Aguilera, J.F., M. Bustos and E. Molina (1992): The degradability of legume seed meals in the rumen: effect of heat treatment. Anim. Feed Sci. Technol., 36: 101-112

Bond, D. A. (1976): In vitro digestibility of testa in tannin-free field beans (*Vicia faba* L.). J. agric. Sci., Camb. (1976), 86, 561-566

Brandt, M. und S.M. Allam (1987): Analytik von TiO₂ im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluß. Arch. Anim. Nutr., Berlin 37 5

Breves, G. und M. Rodehutschord (1999): Gibt es Grenzen in der Zucht auf Milchleistung? Aus der Sicht der Physiologie. In: Fütterung von Hochleistungskühen. Arbeitskreis Großtierpraxis Gesellschaft für tierärztliche Fortbildung (2001).

Buckley, K.E., T.J. Devin, and R. Marquart (1983): Factors affecting in vitro rumen digestion of faba bean cultivars (*vicia faba* L.). Can. J. Anim. Sci. 63: 89-96 (Mar. 1983).

Chen et al. (1993) J. Chromatogr. A 617, 214 – 247

Coenen (1996): Protein- und Aminosäurenversorgung der Milchkuh. Übers. Tierernährung, 24, 41-51

Deacon, M.A., G. de Boer, J.J. Kennelly (1988): Influence of jet-sploding® and extrusion on ruminal and intestinal disappearance of canola and soybeans. J Dairy Sci 71: 745-753

Van Dijk, H.J., G.D. O'Dell, P.R. Perry and L.W. Grimes (1983): Extruded versus raw ground soybeans for dairy cows in early lactation. J Dairy Sci 66: 2521-2525

Freer, M.; H. Dove (1984): Rumen degradation of protein from sunflower meal, rapeseed meal and lupin seed meal placed in nylon bags. *Anim. Feed Sci. Technol.* 11, 87-101

GfE: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder 2001. DLG Verlag, ISBN 3-7690-0591-0

Griffiths, D. Wynne and D. Iorwerth H. Jones (1977): Cellulase inhibition by tannins in the testa of field beans (*Vicia faba*). *J. Sci. Food Agric.* 1977, 28, 983-989

Guillaume, B., D.E. Otterby, J.G. Linn, and M.D. Stern and D.G. Johnson (1987): Comparison of sweet white lupin seeds with soybean meal as a protein supplement for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 70: 2339-2348

Hagerman, Anne, Robbins C.T., Weerasuriya., Wilson, C.T. und Mc Arthur, C. (1992): Tannin chemistry in relation to digestion. *J. Range Management* 45: 51- 62

Hayler, Ruth (1999): Wirkung tanninhaltiger Futtermittel auf die ruminale Methanbildung in vitro und in vivo. Dissertation, Universität Hohenheim.

Hoden, A., L. Delay, B. Marquis (1992): Pois protéagineux comme concentré unique pour vaches laitières. *INRA Prod. Anim.*, 1992, 5 (1), 43-58

Jeroch, H. (1993): Samen und Körner. In Jeroch, H, G. Flachowsky, F. Weißbach: *Futtermittelkunde*. Gustav Fischer Verlag.

Jilg (1986): Zur Wirkung verschiedener Sojaprodukte auf die Stickstoff- und Energiebilanz bei Hochleistungskühen. Dissertation, Hohenheim Universität.

Kaufmann, W. and W. Lüpping (1982): Protected proteins and protected amino acids for ruminants. In E.L. Miller and I.H. Pike: *Protein contribution of feedstuffs for ruminants: application to feed formulation*. Butterworth scientific.

Kibelolaud, A.R., M. Vernay, C. Baryourthe, and R. Moncoulon, P. Cros (1991): Estimation in situ chez le ruminat de la valeur azotée du lupin en fonction de la qualité du broyage et de la taille des particules. *Ann. Zootech.* 40, 247-257

Khorasan, G. Reza, John J. Kennelly (1997): Peas for ruminants- defining their worth. *Feed Mix* 5; 3; 34, 1997, 9 ref.

Leberl, P., S. Keller, H. Steingaß und W. Drochner (2001): Eignung von Kalium als Indikator zur Bestimmung der Harnmenge beim Wiederkäuer. In *Kurzfassungen der Vorträge des VDLUFA. Landwirtschaft in mittel- und osteuropäischen Ländern- Potenziale und deren Nutzung*, Berlin, pp142

Lebzien, P., J. Voigt, M. Gabel, D. Gädeken (1996): Zur Schätzung der Menge an nutzbaren Rohprotein am Duodenum von Milchkühen. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 76, 218-223

Lykos, T., G.A. Varga (1995): Effects of processing method on degradation characteristics of protein and carbohydrate sources in situ. *J Dairy Sci* 78: 1789-1801

Léonard, M. and E. Block (1988): Effect of ration protein content and solubility on milk production of primiparous Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 77, 2709-2722

Maiga, Harouna A., D. J. Schingoethe, and Judy E. Henson (1996): Ruminant degradation, amino acid composition, and intestinal digestibility of the residual components of five protein supplements. *J Dairy Sci* 79 1647-1653

Makkar H.P.S., N.K. Borowy und K. Becker (1993): Gravimetric determination of tannins and their correlation with chemical and protein precipitation methods. *J.Sci.FoodAgric.*61: 161-165

Makkar, H.P.S., K. Becker, H. Abel und Elke Pawelzik (1997): Nutrient contents, rumen protein degradability and antinutritional factors in some colour- and white-flowering cultivars of *Vicia faba* beans. *J. Sci. Food Agrc.* 75, 511-520

Makowski, N.: 6.4 Körnerleguminosen in Entrup, N.L., J. Oehmichen (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 2: Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann. Gelsenkirchen.

May, M. G., D. E. Otterby, J. G. Linn, and W.P. Hansen (1993): Lupins (*Lupinus albus*) as a protein supplement for lactating Holstein cows. *J. Dairy Science* 76: 2682-2691

McLeod, M.N. (1974): Plant tannins – their role in forage quality. *Nutr. Abstr. Rev.* 44: 803 – 815

Meyer, H., K. Bronsch und J. Leibetseder (1993): Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. 7. überarb. Aufl., Verlag M. Und H. Scharper, Alfeld-Hannover.

Muduuli, D. S., R. R. Marquart und W. Guenther (1981): *Can.J. Anim. Sci.* 61, 757

Naumann, K., Bassler, R. Seibold R. & K. Barth (1976): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln . Methodenbuch, Bd. III mit Ergänzungslieferungen 1983 und 1988. VDLUFA- Verlag Darmstadt.

Ørskov, E. R. and I. McDonald (1979): The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. agric. Sci., Camb.* (1979), 92, 499-503

Römer, A. (1998): Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und zum Futterwert von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Dissertation Georg-August-Universität Göttingen.

Schiemann, R., K. Nehring, L. Hoffmann, W. Jentsch und A. Chudy (1971): Energetische Futterbewertung und Energienormen, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Schingoethe, D.J. 1994: Dietary influence on protein level in milk and milk yield. Page 1 in Proc. 15th Western Nutr. Conf. Winnipeg, Manitoba, Canada. Univ. Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.

Shannak, S., K.-H. Südekum, A. Susenbeth (2000): Estimating ruminal crude protein degradation with in situ and chemical reaction procedures. Anim. Feed Sci. Techn. 85, 195-214

Singleton V.L. und J.A. Rossi (1965): Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphatotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic., 16, 144-158

Steingass, H. & K.H. Menke (1986): Schätzung des energetischen Futterwertes aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. I. Untersuchung zur Methode. Übersichten Tierernährung 14: 251-270

Steingass, H., D. Nibbe, K.-H. Südekum, P. Lebzien und H. Spiekers (2001): Schätzung des Gehaltes an nutzbarem Rohprotein in vitro mit dem Hohenheimer Futterwerttest und dessen Anwendung zur Bewertung von Raps- und Sojaextraktionsschroten. 113. VDLUFA Kongress, Berlin.

Valentine, S.C. and B.D. Brasch (1988): Degradation of dry matter, crude protein, fat, crude fibre and nitrogen-free-extract in milled barley and lupin grains incubated in nylon bags cows. J. agric. Sci. Camb. (1988) 110, 395-398

Walhain, P., Foucart, M. and A. Théwis (1992): Influence of extrusion on ruminal and interstitial disappearance in sacco of pea (*Pisum sativum*) proteins and starch. Animal Feed Science and Technology, 38 (1992) 43-55

Weisbjerg, M.R., Hvelplind, T., Maden, J. (1990): Anvendelse af nedbrydningsprofiler i fodermiddelvurderingen. Beretning fra Statns Husdyrbrugsforsøg No.679, Tjele, 33 pp.