

# BÖL

Bundesprogramm  
Ökologischer  
Landbau

## Mikrobielle Proteinsynthese im Pansen bei der Verfütterung von artenreichen Grünlandaufwüchsen des Ökologischen Landbaus

Rumen microbial protein synthesis in response to species rich forages in organic farming

**FKZ: 06OE139**

**Projektnehmer:**

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover  
Physiologisches Institut  
Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover  
Tel.: +49 511 856-7272  
Fax: +49 511 856-7687  
E-Mail: [presse@tiho-hannover.de](mailto:presse@tiho-hannover.de)  
Internet: [www.tiho-hannover.de](http://www.tiho-hannover.de)

**Autoren:**

Breves, G.; Abel, Hj.; Seip, K.; Isselstein, J.

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

# Abschlussbericht

zum Vorhaben 06OE139, BÖL

## Mikrobielle Proteinsynthese im Pansen bei der Verfütterung von artenreichen Grünlandaufwüchsen des Ökologischen Landbaus

von

G. Breves, Hj. Abel, K. Seip, J. Isselstein

### Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zum Programm zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im ökologischen Landbau .....</b>	<b>2</b>
1.1. Projektplanung und Ablauf .....	2
1.2. Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde.....	3
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>4</b>
2.1. Futteranalysen: Grasnarben, Siliereignung, Silagequalität und <i>in situ</i> -Abbaubarkeit.....	4
2.2. Mikrobieller Pansenstoffwechsel und Futterbewertung im Stoffwechselversuch .....	5
2.2.1. Bilanzperioden .....	6
2.2.2. Infusionsperioden .....	7
2.3. Statistische Auswertung .....	7
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>8</b>
3.1. Futteranalysen: Grasnarben Siliereignung, Silagequalität und <i>in situ</i> -Abbaubarkeit.....	8
3.2. Mikrobieller Pansenstoffwechsel und Futterbewertung im Stoffwechselversuch ...	15
3.2.1. Bilanzperioden .....	15
3.2.2. Infusionsperioden .....	17
3.3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	18
<b>4. Zusammenfassung.....</b>	<b>21</b>
<b>5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....</b>	<b>22</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>23</b>
<b>7. Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>26</b>

# **1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zum Programm zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im ökologischen Landbau**

Unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus muss infolge fehlender mineralischer N-Düngung eine möglichst hohe Effizienz der Stickstoffverwertung erreicht werden. Diese wird in der Wiederkäuerhaltung wesentlich von der Grundfutterleistung bestimmt. In der Grünlandwirtschaft des Ökologischen Landbaus bilden sich deutlich klee- und kräuterreichere Aufwüchse als in konventionell bewirtschafteten Beständen heraus. Hinsichtlich einer leistungsgerechten Proteinversorgung der Wiederkäuer und zur Erzielung einer möglichst hohen Effizienz der Stickstoffverwertung müssen die Kenntnisse über Menge und Zusammensetzung des am Duodenum nutzbaren Rohproteins (nXP) bei Fütterung solcher artenreicher Grünlandaufwüchse, die sich nicht nur aufgrund ihrer Nährstoffgehalte, sondern auch durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in spezifischer Weise auf die mikrobielle Aktivität bei der Silierung der Aufwüchse und im Pansen auswirken können, erweitert werden.

In dem nachfolgend beschriebenen Projekt wurde je ein artenreicher und ein artenarmer Grünlandaufwuchs siliert und die mikrobielle Proteinsynthese im Pansen von Schafen bei alleiniger Fütterung dieser Silagen sowie in Kombination mit Gerste untersucht. Mit diesem Versuchsschema sollten die Wirkungen der beiden Silagen und mögliche Wechselwirkungen zwischen Art der Silagen und konzentratreicher Fütterung modellhaft untersucht werden.

Die Messung der ruminalen mikrobiellen Proteinsynthese erfolgte unter Verwendung des stabilen Isotops  $^{15}\text{N}$  als Marker. Zudem wurde diese direkte Messmethode mit der indirekten tierschonenderen Methode mittels Messung der Allantoinausscheidung über den Harn verglichen. Durch standardisierte experimentelle Bedingungen sollten Basisdaten geliefert werden, die eine Übertragung auf Fütterungsverhältnisse in der Praxis des Ökologischen Landbaus ermöglichen.

## **1.1. *Projektplanung und Ablauf***

Die für das Projekt zu untersuchenden Grünlandaufwüchse stammten von einem mäßig artenreichen alten Dauergrünland (>15 Jahre, Weißklee-Weidelgrasweide), auf dem Versuchsgut Relliehausen der Universität Göttingen. Im Sommer 2006 wurden auf die Hälfte der Parzellen Herbizide (Fluoroxypyr und Mecoprop P) zur Beseitigung der dikotylen Pflanzenarten aufgebracht. Durch das darauf folgende Absterben der Kräuter und Leguminosen konnten Monokotyle den freiwerdenden Raum nutzen und eine dichte Grasnarbe bilden. Dieser von Gras dominierte, relativ artenarme Aufwuchs stellte die Kontrollvariante dar. Der unbehandelte Aufwuchs war relativ artenreich und repräsentierte nach Regeln des Ökologischen Landbaus erzeugtes Grünfutter. Die verwendeten Herbizide weisen eine kurze Halbwertszeit auf, so dass zum Zeitpunkt der Siliergutgewinnung im Juli 2007 keine direkten Herbizideffekte mehr vorlagen. Die Unterschiede der beiden Flächen waren demnach auf die verschiedenen Vegetationszusammensetzungen zurückzuführen.

Für den Versuch wurden je Variante die Aufwüchse von drei Parzellen (0,5 ha/Parzelle) geschnitten (3. Nutzung), etwa 16 Stunden vorgewelkt, gehäckselt und nach Zusatz von 100.000 KbE Laktobazillen/t Erntegut in dicht verschließbaren Plastiktonnen durch intensives Festtreten während der Beschickung einsiliert. Die Silagen kamen von Oktober 2007 bis März 2008 in Stoffwechselversuchen an Schafen zum Einsatz. Die Laboranalysen des Erntegutes 2008 einschließlich der in den *in vivo*-Versuchen anfallenden Proben konnten im April 2009 vollständig abgeschlossen werden. Ergänzend hierzu wurden bis November 2009 weitere Aufwüchse der beiden Grünlandvarianten laboranalytisch und *in vitro* untersucht.

## **1.2. Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde**

Im Gegensatz zu konventionell bewirtschafteten Flächen zeichnen sich Grünfuturaufwüchse des Ökologischen Landbaus durch einen größeren Artenreichtum und durch höhere Anteile an dikotylen Pflanzen (Kräuter und Leguminosen) aus. Untersuchungen aus der landwirtschaftlichen Praxis zeigen, dass die Grünlandleistungen, d. h. die Nutztierleistungen, die unmittelbar dem Grünland zugeordnet werden können, im Ökologischen Landbau oftmals deutlich unter denen des konventionellen Landbaus liegen (Scheringer & Isselstein, 2001). Die Ursachen hierfür sind nicht allein in der geringeren Produktivität des Grünlands zu suchen. Grundsätzlich kann artenreiches Grünland durch symbiotische Stickstoff-Bindung der Leguminosen auch ungedüngt Ertragsleistungen erzielen, die kaum oder nicht unter denen von Stickstoff-gedüngten reinen Grasbeständen liegen (Frame & Newbould, 1986; Hopkins et al., 1994; Elgersma & Schlepers, 1997).

Bisher kaum untersucht sind Futterqualitätsunterschiede zwischen artenarmen und artenreichen Grünlandnarben. Zwar weiß man, dass sich monokotyle und dikotyle Pflanzenarten hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und ruminalen Abbaubarkeiten unterscheiden (Scehovic, 1991; Wilson, 1994; Bruinenberg et al., 2002), jedoch können auch pflanzenspezifische sekundäre Inhaltsstoffe wie Tannine, Saponine und Kieselsäure die Substrateigenschaften für Silier- und Pansenmikroorganismen beeinflussen. Diese Stoffe treten in der Regel stärker in Kräutern und Leguminosen als in Gräsern auf. Hinsichtlich des Futterwertes sind hohe Anteile an dikotylen Pflanzen (>30-40%) eher negativ zu bewerten. Niedrigere Anteile sind aber unter Umständen auch positiv zu beurteilen (Scehovic, 2000). In *in vitro*-Untersuchungen führten kondensierte Tannine und Saponine zu vermindertem Substratabbau und geringerer Produktion kurzkettiger Fettsäuren (SCFA) (Makkar et al., 1995). Außerdem verminderten kondensierte Tannine aus *Lotus corniculatus* bei 11 aus dem Pansen stammenden Bakterienstämmen die Wachstumsraten (Min et al., 2005).

In einem vorangegangenen Projekt, in dem verschiedene Aufwüchse (Gras, Gras/Klee, Gras/Klee/Kräuter) im Hinblick auf ihre Konservierungseigenschaften, Silagequalitäten und Wirkung der Silagen auf den mikrobiellen Pansenstoffwechsel mittels der Pansensimulationstechnik Rusitec untersucht wurden, verbesserten sich die Siliereigenschaften und Qualitäten vom Gras- über Gras/Klee- bis zum Gras/Klee/Kräuter-Aufwuchs (Isselstein & Abel, 2003; Seng et al., 2008). Von den Pansenmikroben wurden jedoch in Verbindung mit der reinen Grassilage die höchsten SCFA-Mengen gebildet.

Für silierte Aufwüchse aus intensiv gedüngten, grasdominierten Flächen wurden mit der *in situ*-Nylonbaggmethode höhere ruminale Abbaubarkeiten für Rohprotein und Faserfraktionen als für extensiv bewirtschaftete, artenreiche Aufwüchse ermittelt (Bruinenberg et al., 2004). Dies stimmte mit Ergebnissen aus *in vivo*-Studien an Färsen und Kühen überein (Bruinenberg et al., 2003). In ähnlichen Untersuchungen mit frischen Pflanzen ergaben sich für Luzerne und Rotklee höhere ruminal abbaubare N-Anteile (RDN) als für Knautgras (Gosselink et al., 2004). Diese Unterschiede zwischen den Pflanzenarten traten nach der Silierung allerdings nicht mehr auf. Dies dürfte in dem Anstieg der N-Löslichkeit durch den Konservierungsprozess begründet sein (Givens & Rulquin, 2004).

Geringere ruminale Abbaubarkeiten des Futterproteins werden häufig von höherer Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese (g Mikrobenprotein/g ruminal scheinbar abgebauter organischer Substanz) begleitet (Makkar et al., 1995). Jaurena et al. (2005) zeigten im Rusitec-System, dass die Zulage von Gerstenschrot zu Rotkleesilage zu einer gesteigerten Effizienz führt, während in Verbindung mit Grassilage kein derartiger Effekt zu beobachten war. Beim Einsatz von Luzernesilage wurde ebenfalls eine höhere mikrobielle Effizienz als bei Grassilage festgestellt (Eriksson et al., 2004).

*In vivo* gemessene Effizienzen der ruminalen mikrobiellen Proteinsynthese bei Fütterung von Leguminosensilagen fallen deutlich niedriger aus als bei Verabreichung von Grassilagen, wie sich einer umfassenden Literaturlauswertung (Givens & Rulquin, 2004) entnehmen lässt.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1. Futteranalysen: Grasnarben, Siliereignung, Silagequalität und *in situ*-Abbaubarkeit**

Zur botanischen Charakterisierung der Grasnarben, von denen das Futter für die hier durchgeführte Untersuchung gewonnen wurde, wurden in beiden Versuchsjahren Pflanzenbestandserhebungen vorgenommen. Hierzu wurden je Variante 15 Parzellen von je 9m<sup>2</sup> Größe erfasst bzw. die vorkommenden Pflanzenarten notiert. Proben des Frischmaterials von artenreichem bzw. grasbetontem Aufwuchs dienten zur Erfassung der botanischen Zusammensetzung durch Bestimmung der Massenanteile der vorkommenden Arten. Außerdem wurde das Ausgangsmaterial auf wasserlösliche Kohlenhydrate (WLK), und Pufferkapazität (PK; Weißbach, 1967) sowie mittels NIRS auf Rohprotein (XP), Rohfaser (XF), neutrale Detergentienfaser (NDF) und saure Detergentienfaser (ADF) analysiert.

Von den Silagen wurden während der Fütterungsperioden täglich Proben zur weiteren Analyse gezogen. Die Silageproben wurden nach vorheriger Trocknung bei 60°C und Vermahlung in einer Retschmühle mit 0,5 mm Siebung auf Weender Rohnährstoffe (Naumann u. Bassler, 1997) sowie auf ADF und NDF (van Soest, 1991) analysiert.

Wässrige und saure Extrakte der Silagen dienten zur Messung von pH-Werten bzw. zur Analyse auf Gärssäuren mittels HPLC und zur Bestimmung von NH<sub>3</sub>-N (Conway, 1942). Die Energiegehalte der Silagen (ME, MJ/kg TS) wurden im Hohenheimer

Futterwerttest (HFT) unter Einbeziehung von XA, XL, XP und ADF ermittelt (GfE, 2008).

Die *in situ*-Abbaubarkeit beider Silagen wurde mit Hilfe der Nylonbag-Methode bestimmt (Shannak et al., 2000). In diesem Verfahren wurden die Silagen nach Gefriertrocknung und Zerkleinerung in Nylonbeutel eingewogen und in den Pansen zweier pansenfistulierter Jerseyochsen verbracht. Nach Inkubationszeiten im Pansen von 2, 4, 8, 16, 24, 48 bzw. 96 h wurden die Beutel entnommen, der mikrobielle Abbau durch Eintauchen in Eiswasser gestoppt und anhaftende grobe Futterpartikel unter fließendem Wasser kurz abgespült. Anschließend wurden die Nylonbeutel für 45 Min. in einem Wasserbad gewaschen und für 24 h bei 60°C getrocknet. Durch die Rückwaage des nicht abgebauten Materials und Bestimmung der wasserlöslichen Fraktion konnte der um den Anteil an kleinen Partikeln korrigierte prozentuale Abbau ( $p_t$ ) von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohprotein und NDF beider Silagen zum Zeitpunkt  $t$  errechnet werden (McDonald, 1981):

$$p_t = a + b \cdot (1 - e^{-c \cdot (t - \text{lag})}),$$

mit  $a$  = sofort lösliche Fraktion,  $b$  = unlösliche und potentiell abbaubare Fraktion,  $c$  = fraktionelle Abbaurrate der unlöslichen Fraktion  $b$ ,  $\text{lag}$  = Zeit bis zum Beginn des Abbaus der jeweiligen Stofffraktion. Die potentielle Abbaubarkeit  $d$  entspricht der Summe  $a + b$ . Zusätzlich wurde der effektive Abbau der Nährstoffe bei angenommener Passagerate von 5%/h berechnet (McDonald, 1981). Aufgrund der begrenzten Füllkapazität der Nylonbags waren auch die nach der *in situ*-Incubation verbliebenen Rückstandsmengen begrenzt. Deshalb konnten die Inkubationsrückstände nicht mehr auf ADF analysiert werden.

Um saisonale Einflüsse auf die Futterqualität und Siliereignung der Aufwüchse vom Grasland zu erfassen, wurden im Verlauf von zwei Versuchsjahren jeweils ein Frühjahrs- und ein Sommeraufwuchs durch Handbeerntung beprobt. Jeweils unmittelbar anschließend wurde das Futter im frischen Zustand bis zur Gewichtskonstanz bei 60 °C getrocknet und dann vermahlen (1 mm Siebung). Zur Beurteilung der Futterqualität wurden die Rohnährstoffe, NDF und ADF, die Gasbildung im HFT bestimmt und die Gehalte der Proben an ME berechnet (GfE, 2008). Die Siliereigenschaft wurde mit den Kriterien WLK, PK und XP beurteilt.

## **2.2. Mikrobieller Pansenstoffwechsel und Futterbewertung im Stoffwechselversuch**

Die 4 Tiere wurden in Vorbereitung des Projektes am dorsalen Pansensack operativ fistuliert. Nach dem Prinzip des lateinischen Quadrates wurden die Versuchsrationen aus artenreicher (AR) bzw. artenarmer Silage (aa) mit bzw. ohne Gerstezugabe in 4 Versuchsdurchgängen an die Schafe gefüttert (Tabelle 1). Silage und Kraftfutter wurde im Verhältnis 60:40 (Basis TS) zugeteilt. Insgesamt erhielt jedes Tier 40 g TS/kg<sup>0,75</sup> d, jeweils verteilt auf 2 Mahlzeiten. Zusätzlich wurden je Mahlzeit und Tier 8g Mineralfutter für Schafe zugefügt.

**Tab. 1: Versuchsschema**

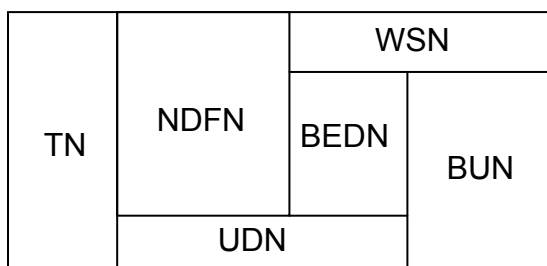
Durchgang	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4
I	AR	AR+G	aa	aa+G
II	AR+G	aa	aa+G	AR
III	aa+G	AR	AR+G	aa
IV	aa	aa+G	AR	AR+G

AR = artenreiche Silage  
 AR+G = artenreiche Silage mit Gerste  
 aa = artenarme Silage  
 aa+G = artenarme Silage mit Gerste

Innerhalb eines jeden Versuchsdurchgangs folgte nach einer 14-tägigen Vorfütterung eine 6-tägige Bilanzperiode, an die sich eine 5-tägige Infusionsperiode zur Messung des ruminal gebildeten Mikrobenproteins anschloss.

### 2.2.1. Bilanzperioden

In den Bilanzperioden wurden Kot, Harn und etwaige Futterreste für jedes Tier quantitativ erfasst und aliquote Teile bis zur weiteren Analyse bei -20°C gelagert. Die Proben wurden auf XA, XP, XL (Naumann u. Bassler, 1997) sowie ADF und NDF (Van Soest et al., 1991) analysiert. Außerdem wurde eine Kotfraktionierung nach Mason (1969) durchgeführt, die eine Unterteilung des Gesamtstickstoffs (TN) in bakteriellen und unverdauten Stickstoff (BUN), wasserlöslichen Stickstoff (WSN), unabgebauten Futterstickstoff (UDN), bakteriellen und endogenen Stickstoff (BEDN) und Kotstickstoff, der nicht aus dem Futter stammt (NDFN), ermöglicht. Die Fraktionen TN, BUN, WSN und UDN wurden analytisch erfasst, BEDN und NDFN ergaben sich durch Differenzrechnung. Die Aufteilung der einzelnen Stickstoff-Fraktionen geht aus Abbildung 1 hervor.



**Abb. 1: Kotstickstoff-Fraktionen** (n. Hanneken, 1997)

TN = total nitrogen;  
 BUN = bacterial and undigested nitrogen;  
 WSN = water-soluble nitrogen;  
 UDN = undigested dietary nitrogen;  
 BEDN = bacterial and endogenous debris nitrogen (BUN – UDN);  
 NDFN = non-dietary faecal nitrogen (TN – UDN)

In den Harnproben der Schafe wurde der Gesamtstickstoff nach Kjeldahl gemessen. Die Analysen auf Allantoin und Harnsäure erfolgten mittels HPLC (Shingfield und Offer, 1999). Harnstoff wurde mittels Testkits für Harnstoff/Ammoniak (Boehringer Mannheim/R-Biopharm) bestimmt.

### 2.2.2. Infusionsperioden

In den Infusionsphasen wurde eine Lösung mit  $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$  und Cr-EDTA als Mikroben- bzw. Volumenmarker kontinuierlich intraruminal infundiert (Breves und Höller, 1987). Am ersten Tag jeder Infusionsperiode wurde von jedem Schaf im Abstand von 2 h mittels Sonde eine Pansensaftprobe gewonnen, an den darauf folgenden Tagen erfolgte dies im 4-stündigen Rhythmus. Bei jeder Entnahme wurde der pH-Wert des Pansensaftes bestimmt und die Probe bis zur Analyse auf Cr (Atomabsorptionsspektrometrie),  $\text{NH}_3$  (Photometrie) und kurzkettige Fettsäuren (SCFA; Gaschromatographie) bei  $-20^\circ\text{C}$  tiefgefroren.

Durch die Messung der Cr-Konzentration in der partikelfreien Pansenflüssigkeit und die Approximation dieser Messwerte an eine Exponentialfunktion ( $y_t = A^0 \cdot (1 - e^{-kt})$ ) konnten Schätzwerte für das Pansenvolumen (V) und die Flüssigkeitsumsetzungen im Pansen (fraktionelle Turnoverrate k, Turnover U und Retentionszeit R) ermittelt werden. Diese Werte sind zur Bestimmung des  $\text{NH}_3$ -Abflusses aus dem Pansen erforderlich, welcher in die Berechnung zur mikrobiellen Proteinsynthese mit eingeht.

Des Weiteren wurden aus den Pansensaftproben Referenzmikroben durch Differentialzentrifugation isoliert (Brandt und Rohr, 1981), die nach anschließender Gefriertrocknung mittels Elementaranalysator und Isotopenmassenspektrometer auf ihre  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung analysiert wurden. Der Anteil an nicht-ionisiertem  $\text{NH}_3$  wurde aus der  $\text{NH}_3$ -Konzentration und dem pH-Wert im Pansensaft geschätzt (Nolan u. Leng, 1983). Mit Hilfe dieser Werte war es möglich, die  $^{15}\text{NH}_3$ -Absorption über die Pansenwand und den  $^{15}\text{NH}_3$ -Abfluss aus dem Pansen zu berechnen. Diese beiden Größen werden zur Berechnung des täglichen Zuwachses an mikrobiell gebundenem Stickstoff von dem über die Infusion zugeführten und damit den Mikroben zur Verfügung stehenden  $^{15}\text{N}$ -Pool nach folgender Formel subtrahiert (Nolan u. Leng, 1983):

$$\text{Mikrobiell gebildetes Protein [mg/d]} = \frac{{}^{15}\text{N-I}_{\text{Rate}} + {}^{15}\text{N-Futter} - ({}^{15}\text{N-Abs} + {}^{15}\text{N-Abf})}{{}^{15}\text{N-Anreicherung in Mikroben}_{\text{max}}} \times 6,25$$

${}^{15}\text{N-I}_{\text{Rate}} = {}^{15}\text{N-Infusionsrate}$  [ $\mu\text{g/d}$ ]

${}^{15}\text{N-Futter} = {}^{15}\text{N-Zufuhr}$  über das Futter [ $\mu\text{g/d}$ ]

${}^{15}\text{N-Abs} = {}^{15}\text{N-Absorption}$  über die Pansenwand [ $\mu\text{g/d}$ ]

${}^{15}\text{N-Abf} = {}^{15}\text{N-Abfluss}$  mit der Pansenflüssigkeit [ $\mu\text{g/d}$ ]

${}^{15}\text{N-Anreicherung in Mikroben}_{\text{max}} = \text{maximale } {}^{15}\text{N-Anreicherung}$  in Referenzmikroben [ $\mu\text{g/mg N}$ ]

### 2.3. Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung der Daten der Frischfutterproben und der Analysen der Silagen wurde das Programm GraphPad Prism 3 für Windows, Version 3.0 verwendet. Hier wurde ein ungepaarter t-Test durchgeführt. Die varianzanalytische Auswertung der im Stoffwechselfersuch und den Infusionsphasen gewonnenen Daten nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate (Least Square Means) erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 8.1 (1999). Das nachfolgend gezeigte mathematische Modell diente für die Analyse der Einflüsse von Silageart und Gerstefütterung auf die verschiedenen gemessenen Parameter:



$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \delta_l + \varepsilon_{ijkl}$$

$y_{ijkl}$  = Beobachtungswert

$\mu$  = Gesamtmittel

$\alpha_i$  = Effekt der Silage ( $i = 1, 2 = \text{AR, aa}$ )

$\beta_j$  = Effekt der Gerste ( $j = 0, 1 = \text{ohne, mit}$ )

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Effekt der Interaktion zwischen Silage und Gerste ( $ij = 1,2,3,4$ )

$\gamma_k$  = Effekt des Durchgangs als Blockeffekt ( $k = 1,2,3,4$ )

$\delta_l$  = individueller Effekt der Tiere ( $l = 1,2,3,4$ )

$\varepsilon_{ijkl}$  = Restfehler

Ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% ( $P < 0,05$ ) wurde ein Unterschied als signifikant bezeichnet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Futteranalysen: Grasnarben, Siliereignung, Silagequalität und in situ-Abbaubarkeit

Die botanische Zusammensetzung der Grasnarben der Feldexperiments wurde in zwei aufeinanderfolgenden Jahren untersucht. In Tabelle 2 sind die Frequenzen der Pflanzenarten gezeigt. Während im ersten Jahr die artenarme Variante weitgehend kräuterfrei war (Ertragsanteil  $< 0,1\%$ ), traten im zweiten Jahr wieder Kräuter in den Grasnarben auf. Die Ertragsanteile der Kräuter und Leguminosen lagen aber lediglich bei 0,4% und damit sehr deutlich unter dem Kräuteranteil in der artenreichen Variante (23 %).

**Tab 2: Häufigkeit des Vorkommens (%) der wichtigen Pflanzenarten in je Variante 15 Vegetationsaufnahmen (1 m<sup>2</sup> je Aufnahme)**

Pflanzenart	Jahr/Grasnarbenvariante			
	2007		2008	
	AR	aa	AR	aa
<i>Lolium perenne</i>	100	100	100	100
<i>Dactylis glomerata</i>	100	93	100	100
<i>Poa trivialis</i>	100	93	100	100
<i>Phleum pratense</i>	93	87	100	100
<i>Taraxacum officinale</i>	100	67	100	60
<i>Poa pratensis</i>	20	33	100	100
<i>Trifolium repens</i>	100	13	93	40
<i>Festuca pratensis</i>	100	100	100	100
<i>Elymus repens</i>	33	27	27	33
<i>Cerastium spec.</i>	73	7	60	33
<i>Agrostis stolonifera</i>	7	0	13	13
<i>Bromus hordeaceus</i>	0	20	7	20
<i>Geranium dissectum</i>	7	0	0	0
<i>Bellis perennis</i>	33	0	20	0
<i>Cirsium arvense</i>	33	33	0	13
<i>Ranunculus repens</i>	47	0	20	7
<i>Galium album</i>	7	0	0	0

Zur Beurteilung der Qualität des frischen Futters wurden über zwei Jahre jeweils ein Frühjahrs- und ein Sommeraufwuchs beprobt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3 bis 6 dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten wurden im

Hinblick auf den Zellwandanteil im Frühjahrswachstum des ersten Jahres festgestellt. In den weiteren Aufwüchsen waren die Unterschiede bei den Rohnährstoffen und den Zellwandanteilen gering.

**Tab. 3: Inhaltsstoffe des Frühjahrswachstums 2007 (% i. TS, n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Rohasche	9,3	7,9	0,114
Rohprotein	14,9	11,7	0,081
Rohfett	2,7	2,5	0,238
Neutrale Detergentienfaser	50,6	60,9	0,026
Saure Detergentienfaser	30,8	34,1	0,024

**Tab. 4: Inhaltsstoffe des Sommerwachstums 2007 (% i. TS, n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Werte
	AR	aa	
Rohasche	9,6	8,9	0,340
Rohprotein	12,7	11,8	0,668
Rohfett	2,8	2,6	0,504
Neutrale Detergentienfaser	50,2	54,8	0,172
Saure Detergentienfaser	29,3	29,6	0,795

**Tab. 5: Inhaltsstoffe des Frühjahrswachstums 2008 (% i. TS, n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Rohasche	7,8	7,8	0,901
Rohprotein	12,8	12,8	0,973
Rohfett	2,7	2,7	0,819
Neutrale Detergentienfaser	50,3	48,4	0,559
Saure Detergentienfaser	27,5	27,3	0,778

**Tab. 6: Inhaltsstoffe des Sommeraufwuchses 2008** (% i. TS, n=3)

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Rohasche	8,6	7,8	0,147
Rohprotein	10,4	9,4	0,289
Rohfett	3,2	3,2	0,776
Neutrale Detergentienfaser	62,5	62,5	0,997
Saure Detergentienfaser	33,2	32,4	0,411

Der Hohenheimer Futterwerttest erbrachte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Grasnarbenvarianten (Tabellen 7 bis 10). In der Tendenz war die Energiedichte im Frühjahrswachstum des ersten Jahres bei der artenreichen Variante höher als in der artenarmen Variante. Das korrespondiert gut mit den Werten für NDF und ADF.

**Tab. 7: Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttests, Frühjahrswachstum 2007** (n=3)

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Gasbildung, ml•200mg TS <sup>-1</sup> •24h <sup>-1</sup>	50,8	50,7	0,789
ME, MJ/kg TS	10,09	9,64	0,057

**Tab. 8: Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttests, Sommeraufwuchs 2007** (n=3)

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Gasbildung, ml•200mg TS <sup>-1</sup> •24h <sup>-1</sup>	47,4	50,5	0,309
ME, MJ/kg TS	9,83	9,99	0,495

**Tab. 9: Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttests, Frühjahrswachstum 2008** (n=3)

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Gasbildung, ml•200mg TS <sup>-1</sup> •24h <sup>-1</sup>	59,7	58,1	0,382
ME, MJ/kg TS	10,97	10,88	0,571

**Tab. 10: Ergebnisse des Hohenheimer Futterwerttests, Sommeraufwuchs 2008 (n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
Gasbildung, ml•200mg TS <sup>-1</sup> •24h <sup>-1</sup>	46,4	46,3	0,919
ME, MJ/kg TS	9,43	9,45	0,929

Die Silierfähigkeit des Futters wurde mit den Kriterien WLK, PK und XP bzw. der Quotienten aus WLK/PK und WLK/XP beurteilt (Tabellen 11 bis 14). Im Mittel der Aufwüchse war die Pufferkapazität der artenreichen Variante höher und die WLK-Gehalte etwas niedriger als in der artenarmen Variante. Entsprechend wiesen die artenarmen Aufwüchse gemessen an den WLK/PK- und WLK/XP-Quotienten eine geringfügig günstigere Siliereignung auf als die artenreiche Variante. Dieser Unterschied war aber nur in Einzelfällen signifikant.

**Tab. 11: Siliereigenschaften des frischen Futters, Frühjahrsaufwuchs 2007 (n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
PK, g MS/100g TS	8,7	6,5	0,019
WLK, % i.d. TS	6,8	7,5	0,256
WLK/PK-Verhältnis	0,79	1,16	0,069
WLK/XP-Verhältnis	0,47	0,65	0,123

**Tab. 12: Siliereigenschaften des frischen Futters, Sommeraufwuchs 2007 (n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
PK, g MS/100g TS	8,5	6,1	0,094
WLK, % i.d. TS	10,0	12,6	0,186
WLK/PK-Verhältnis	1,23	2,14	0,069
WLK/XP-Verhältnis	0,84	1,10	0,360

**Tab. 13: Siliereigenschaften des frischen Futters, Frühjahrsaufwuchs 2008 (n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
PK, g MS/100g TS	7,2	7,3	0,891
WLK, % i.d. TS	17,1	17,1	0,986
WLK/PK-Verhältnis	2,42	2,34	0,900
WLK/XP-Verhältnis	1,37	1,37	0,994

**Tab. 14: Siliereigenschaften des frischen Futters, Sommeraufwuchs 2008 (n=3)**

Inhaltsstoff	Aufwuchs		Signifikanz P-Wert
	AR	aa	
PK, g MS/100g TS	6,8	5,2	0,019
WLK, % i.d. TS	7,6	10,7	0,045
WLK/PK-Verhältnis	1,12	2,12	0,034
WLK/XP-Verhältnis	0,74	1,16	0,094

Die Ertragsanteile der einzelnen Arten in den beiden Narbenvarianten wurden durch Sortierung ermittelt und sind ebenso wie die Rohnährstoffe und die Parameter der Gäreignung in Tabelle 15 dargestellt.

**Tab. 15 : Botanische Zusammensetzung des Siliergutes und Parameter der Gäreignung im Siliergut (Mittelwerte und SEM; <sup>+</sup> n = 3 für aa bzw. n = 5 für AR, <sup>++</sup> n = 4, <sup>+++</sup> n = 3)**

Parameter	AR	aa	P-Wert
<b><u>Anteil Arten, % an TS-Ertrag<sup>+</sup></u></b>			
Gräser *	53,4 ± 10,11	99,77 ± 0,23	<0,05
Kräuter **	24,12 ± 4,74	0,23 ± 0,23	<0,01
Leguminosen ***	22,46 ± 7,16	n.n.	
<b><u>Rohnährstoffe, % i. TS<sup>++</sup></u></b>			
XP	15,2 ± 0,19	12,23 ± 0,35	<0,001
XF	24,23 ± 0,21	26,53 ± 0,41	<0,01
ADF	31,65 ± 0,18	32,98 ± 0,38	<0,05
NDF	55,4 ± 0,29	60,35 ± 0,62	<0,001
<b><u>Gäreignung<sup>+++</sup></u></b>			
WLK, % i. TS	7,3 ± 0,07	10,05 ± 0,18	<0,001
PK, g Milchsäure für 100g TS	4,08 ± 0,08	3,21 ± 0,08	<0,01
WLK/PK	1,81 ± 0,03	3,18 ± 0,09	<0,001

n.n. = nicht nachweisbar

\* dt. Weidelgras, Knautgras, gem. Rispengras, Wiesenschwingel, Lieschgras, gem. Quecke, Flaumtrespe, Glatthafer;

\*\* Löwenzahn, Hornkraut, Ackerkratzdistel, Wiesen-Pippau, Hahnenfuß, Gänseblümchen, Breitwegerich;

\*\*\* Weißklee, Rotklee

Wie aus der Artenanalyse hervorgeht, unterschieden sich artenreicher und artenarmer Aufwuchs deutlich voneinander. Während in der reinen Grasvariante nur verschwindend geringe Anteile an Kräutern vorkamen, war die artenreiche Variante durch hohe Ertragsanteile an Kräutern und Leguminosen gekennzeichnet. In den Proben der artenarmen Variante konnten keine Leguminosenanteile nachgewiesen werden. Der Rohproteingehalt im artenreichen Aufwuchs lag deutlich über dem der grasreichen Variante, während die Gehalte an Gerüstsubstanzen (XF, NDF, ADF) in der artenarmen Variante höhere Werte erreichten. Außerdem wiesen die Proben des artenarmen Aufwuchses höhere WLK-Gehalte bei einer geringeren Pufferkapazität

und damit ein höheres WLK/PK-Verhältnis als die Proben der artenreichen Variante auf.

Die laboranalytisch ermittelten Ergebnisse für die beiden Silagen gehen aus Tabelle 16 hervor.

**Tab. 16: Gehalte der Silagen an Trockensubstanz (TS), Rohnährstoffen und Energie (ME) sowie Parameter der Silagequalität**  
(Mittelwerte  $\pm$  SEM; n = 4 für Inhaltsstoffe und ME, n = 5 für Parameter der Silagequalität)

Parameter	AR	aa	P-Wert
<b>TS, %</b>	42,82 $\pm$ 0,38	53,07 $\pm$ 0,24	<0,001
<b>Rohnährstoffe, % i. TS</b>			
OS	89,09 $\pm$ 0,12	90,73 $\pm$ 0,29	<0,05
XP	14,06 $\pm$ 0,3	10,23 $\pm$ 0,19	<0,001
XA	10,9 $\pm$ 0,09	9,27 $\pm$ 0,24	<0,001
XL	2,85 $\pm$ 0,22	2,57 $\pm$ 0,23	>0,05
ADF	34,31 $\pm$ 0,4	37,73 $\pm$ 0,35	<0,001
NDF	50,75 $\pm$ 0,55	58,98 $\pm$ 0,46	<0,001
NFC*	21,45 $\pm$ 0,27	18,96 $\pm$ 0,38	<0,001
<b>ME, MJ/kg TS</b>	9,15 $\pm$ 0,14	8,55 $\pm$ 0,14	<0,05
<b>Silagequalität</b>			
pH	4,43 $\pm$ 0,017	4,52 $\pm$ 0,014	<0,005
NH <sub>3</sub> -N, % am Gesamt-N	7,76 $\pm$ 0,38	7,44 $\pm$ 0,29	>0,05
<b>Gärsäuren, % i. TS</b>			
Milchsäure	6,34 $\pm$ 0,29	2,79 $\pm$ 0,05	<0,001
Essigsäure	3,88 $\pm$ 0,24	3,36 $\pm$ 0,29	>0,05
Propandiol	1,24 $\pm$ 0,12	1,49 $\pm$ 0,08	>0,05
Ethanol	0,55 $\pm$ 0,04	0,48 $\pm$ 0,03	>0,05

Propionsäure, Buttersäure und Propanol konnten nicht nachgewiesen werden

\* NFC = TS – (XA + XP + XL + NDF)

Die artenreiche Silage wies geringere Trockensubstanzgehalte als die artenarme Silage auf. Bei den Inhaltsstoffen ergaben sich ähnliche Unterschiede zwischen den Silagen wie bei dem frischen Schnittgut. Die Gehalte an Rohprotein und Nicht-Faser-Kohlenhydraten (NFC) lagen in der artenreichen Silage höher während die Gehalte an Faserfraktionen in der artenarmen Variante höher ausfielen. Die artenreiche Silage enthielt mehr Rohasche und weniger Gerüstsubstanzen als die artenarme Variante. Auch der Energiegehalt der artenreichen Silage übertraf den der artenarmen Silage. Die pH-Werte beider Silagen lagen auf ähnlich niedrigem Niveau. Es ergaben sich keine Unterschiede in den NH<sub>3</sub>-N-Anteilen am Gesamtstickstoff, der den Grenzwert von 10% nicht überstieg. In der artenreichen Silage wurde ein gegenüber der artenarmen Silage mehr als doppelt so hoher Gehalt an Milchsäure nachgewiesen.

Die Ergebnisse der *in situ*-Untersuchungen (Tabelle 17) zeigen für TS, OS und XP höhere Anteile der leicht löslichen Fraktionen (a) sowie für TS und NDF höhere potentielle Abbaubarkeiten (a+b) zugunsten der artenreichen Silage. Die fraktionellen Abbauraten (c) und das Niveau der „lag time“ für TS, OS und NDF lag bei der artenarmen Silage numerisch, jedoch statistisch nicht absicherbar höher. Der negative Wert für XP der artenarmen Silage ist das Ergebnis der rechnerischen Rückextrapolation und lässt sich physiologisch nur so deuten, dass XP sehr schnell für den ruminalen Abbau verfügbar war.

Tab. 17: Parameter der *in situ*-Abbaubarkeit der Silagen (n = 4)

Inhaltsstoff	A	b	c	d	lag time	ED <sub>5</sub>
<b><u>AR</u></b>						
TS	23,6*	55,6	3,61	79,2*	4,64	41,8
OS	17,2*	61,3	3,54	78,6	4,35	37,3
XP	41,0*	43,6	3,93	84,6	5,17	55,1
NDF	1,2	72,1	3,32	73,4*	6,08	21,6
<b><u>aa</u></b>						
TS	18,8	51,3	8,03	70,2	9,58	36,9
OS	13,7	55,7	7,86	69,3	9,49	33,0
XP	31,9	45,9	4,63	77,8	-4,18	57,4
NDF	0,2	63,2	7,83	63,4	10,39	22,0

a = lösliche Fraktion [%];

b = unlösliche abbaubare Fraktion [%];

c = Abbaurate von b [%/h];

d= potentielle Abbaubarkeit [%], a+b;

lag time= Verzögerungsphase bis Abbaubeginn [h];

ED<sub>5</sub> = effektiver Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5%/h [%]

\* P<0.05 für Mittelwertdifferenz zwischen AR und aa

Der zeitliche Verlauf des Abbaus von TS, OS, XP und NDF wird für die beiden Silagen in den Abbildungen 2a und 2b dargestellt.

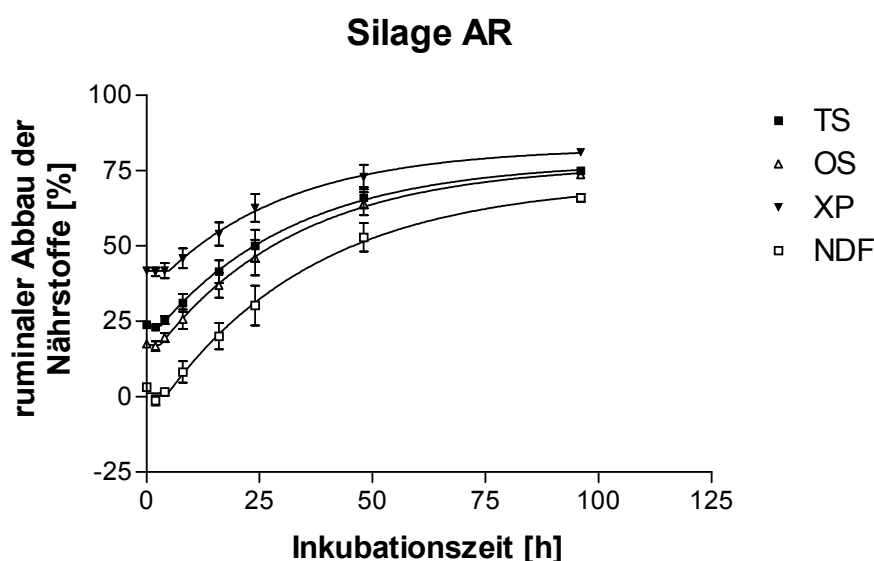


Abb. 2a: *in situ*-Abbaubarkeit der artenreichen Silage (n = 4)

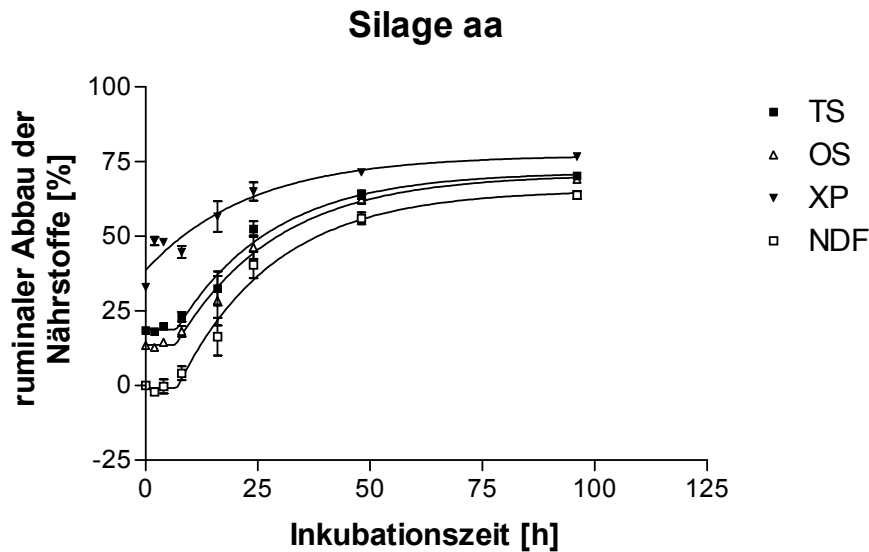


Abb. 2b: *in situ*-Abbaubarkeit der artenarmen Silage (n = 4)

### 3.2. Mikrobieller Pansenstoffwechsel und Futterbewertung im Stoffwechselversuch

#### 3.2.1. Bilanzperioden

Die in den Bilanzperioden bestimmten scheinbaren Verdaulichkeiten sind in Tabelle 18 aufgezeigt.

Tab. 18: Scheinbare Verdaulichkeiten der Rationen  
(%; LSMeans und SE; n = 8)

Inhaltsstoff	Silage		Gerste	
	AR	aa	(-)	(+)
OS	68,84 <sup>a</sup> (1,54)	65,58 <sup>b</sup> (1,74)	63,41 <sup>B</sup> (1,19)	71,01 <sup>A</sup> (0,78)
XP	65,52 <sup>a</sup> (0,84)	60,73 <sup>b</sup> (1,39)	61,08 <sup>B</sup> (1,41)	65,17 <sup>A</sup> (1,05)
XA	31,85 <sup>a</sup> (2,36)	21,52 <sup>b</sup> (2,57)	31,50 <sup>A</sup> (2,36)	21,88 <sup>B</sup> (2,76)
XL	40,18 (6,3)	36,66 (10,17)	29,75 <sup>B</sup> (10,1)	47,09 <sup>A</sup> (4,51)
ADF	60,33 <sup>a</sup> (0,61)	53,49 <sup>b</sup> (2,2)	58,80 (1,71)	55,02 (2,15)
NDF	65,25 (1,22)	60,51 (1,45)	63,45 (1,51)	62,32 (1,67)

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Zeilen und eines Faktors (Silage bzw. Gerste) kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05)

Da keine Interaktionen zwischen den beiden Faktoren Silage und Gerste auftraten, werden die Ergebnisse zur Verdaulichkeit nicht nach verabreichten Rationen (1-4), sondern unterteilt nach Verfütterung artenreicher bzw. artenarmer Silage und nach Fütterung ohne (-) bzw. mit (+) Gerste dargestellt. Die Verdaulichkeiten lagen für die artenreiche Silage durchgehend höher als für die artenarme Silage. Nur für XL und NDF ließen sich die Unterschiede statistisch nicht absichern. In Kombination mit



Gerste ergaben sich höhere Verdaulichkeiten für OS, XP und XL, während XA niedriger verdaulich war. Die bei Zufütterung von Gerste durchschnittlich niedrigeren Verdaulichkeiten von ADF und NDF konnten statistisch nicht abgesichert werden.

Die N-Bilanzen gehen aus Tabelle 19 hervor.

**Tab. 19: N-Bilanzen der Schafe** (g/Tier u. Tag; LSMMeans und SE; n = 8)

Parameter	Silage		Gerste	
	AR	aa	(-)	(+)
N-Aufnahme	19,2 <sup>a</sup> (1,1)	14,2 <sup>b</sup> (0,5)	16,9 (1,6)	16,5 (0,7)
N-Ausscheidung				
Kot	6,7 (0,5)	5,6 (0,3)	6,5 (0,6)	5,7 (0,2)
Harn	10,5 <sup>a</sup> (0,5)	7,7 <sup>b</sup> (0,5)	9,3 (0,9)	8,9 (0,4)
N-Retention	2,1 (0,4)	0,9 (0,6)	1,1 (0,6)	1,9 (0,3)

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Zeilen und eines Faktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05)

Gegenüber der artenarmen führte die artenreiche Silage zu höheren N-Aufnahmen und Harn-N-Ausscheidungen. Die Kot-N-Ausscheidungen und die N-Retentionen waren bei Fütterung der artenreichen Silage tendenziell erhöht (P = 0,099 bzw. P = 0,069). Die gemischten Rationen mit Gerste wirkten sich nicht unterschiedlich zu den reinen Silagerationen aus.

Die Ergebnisse zu den Kot-N-Fractionen sind in Tabelle 20 aufgezeigt.

**Tab. 20: Verteilung des Kotstickstoffs auf einzelne Fraktionen**  
(% vom Gesamtstickstoff; LSMMeans und SE; n = 8)

Fraktion	Silage		Gerste	
	AR	aa	(-)	(+)
BUN	95,04 <sup>a</sup> (0,32)	94,18 <sup>b</sup> (0,18)	94,79 (0,32)	94,38 (0,28)
WSN	4,96 <sup>b</sup> (0,32)	5,87 <sup>a</sup> (0,18)	5,21 (0,32)	5,63 (0,28)
UDN	19,75 (0,66)	21,33 (0,42)	20,81 (0,64)	20,28 (0,59)
BEDN	75,29 <sup>a</sup> (0,66)	72,80 <sup>b</sup> (0,41)	73,99 (0,74)	74,11 (0,71)
NDFN	80,25 (0,66)	78,67 (0,42)	79,19 (0,64)	79,73 (0,59)

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Zeilen und eines Faktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05)

Auch hier ergaben sich keine Interaktionen zwischen den beiden Faktoren Silage und Gerste. Die artenreiche Silage führte im Vergleich zu grasreicher Silage zu größerer Fraktion des bakteriellen und unverdauten Stickstoffs (BUN). Allerdings ließen sich die Unterschiede des in der BUN-Fraktion enthaltenen Anteils an unabgebautem Futterstickstoff (UDN) zwischen den beiden Silagen statistisch nicht abzusichern. Demgegenüber verursachte die artenreiche Silage signifikant höhere Anteile der BEDN-Fraktion. Die Fraktion des wasserlöslichen Stickstoffs (WSN) fiel bei Fütterung der artenarmen Silage höher aus. Die Kombination der Grünfuttersilagen mit Gerste hatte keine Auswirkungen auf die Verteilung des Kotstickstoffs.

Die renalen Ausscheidungen der Schafe an Harnstoff-N, Allantoin und Harnsäure gehen aus Tabelle 21 hervor.

**Tab. 21: Renale Harnstoff-, Allantoin- und Harnsäureausscheidungen der Schafe**  
(mg/d; LSMMeans und SE; n = 8)

Substanz	Silage		Gerste	
	AR	aa	(-)	(+)
Harnstoff	12059 <sup>a</sup> (383)	7893 <sup>b</sup> (554)	10016 (982)	9937 (1178)
Allantoin	1120 (98)	1072 (42)	1042 (100)	1151 (28)
Harnsäure	212 (35)	173 (8)	171 (26)	215 (14)

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Zeilen und eines Faktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05)

Bei Fütterung der artenreichen Silage schieden die Tiere mehr Harnstoff als bei artenarmer Silage aus. Die Allantoin- und Harnsäureausscheidungen blieben unbeeinflusst von der Silageart und dem Einsatz von Gerste.

### 3.2.2. Infusionsperioden

Die in den Pansensaftproben gemessenen pH-Werte sowie die Konzentrationen an NH<sub>3</sub>-N und flüchtigen Fettsäuren (SCFA) sind in Tabelle 22 aufgezeigt.

**Tab. 22: Im Pansensaft der Schafe ermittelte Fermentationsparameter**  
(LSMeans und SE; n = 8)

Parameter	Silage		Gerste	
	AR	aa	(-)	(+)
pH	6,39 (0,08)	6,40 (0,06)	6,55 <sup>A</sup> (0,03)	6,24 <sup>B</sup> (0,05)
NH <sub>3</sub> -N [mmol/l]	10,22 (1,13)	8,20 (1,21)	7,20 <sup>B</sup> (0,7)	11,23 <sup>A</sup> (1,18)
SCFA gesamt [mmol/l]	76,32 (3,86)	70,85 (4,03)	67,92 (2,35)	79,24 (4,31)
Acetat [mmol/l]	53,26 (2,55)	49,55 (2,78)	48,11 (1,6)	54,70 (3,09)
Propionat [mmol/l]	15,49 (0,71)	14,13 (0,83)	14,15 (0,67)	15,46 (0,87)
Butyrat [mmol/l]	7,57 (0,92)	7,18 (0,65)	5,66 <sup>B</sup> (0,38)	9,09 <sup>A</sup> (0,56)
Acetat:Propionat:Butyrat	70:20:10	70:20:10	71:21:8	69:20:11

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Zeilen und eines Faktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05)

Es ergaben sich wiederum keine signifikanten Interaktionen zwischen den Faktoren ‚Silage‘ und ‚Gerste‘. Die Parameter der Pansenfermentation blieben von der Art der verfütterten Silagen unbeeinflusst. Bei Fütterung der Silagen mit Gerste sanken die pH-Werte im Pansensaft. Entsprechend lagen die Konzentrationen an SCFA bei Fütterung der Rationen mit Gerste höher. Dies ließ sich jedoch statistisch nicht absichern. Die Acetat- und Propionatanteile änderten sich durch die Verabreichung der verschiedenen Rationen nicht. Signifikante Unterschiede ergaben sich nur in der

Konzentration an Butyrat, das bei Fütterung der Silagen mit Gerste anstieg. Die Konzentration an Ammoniak-N erhöhte sich bei Fütterung der gerstehaltigen Rationen.

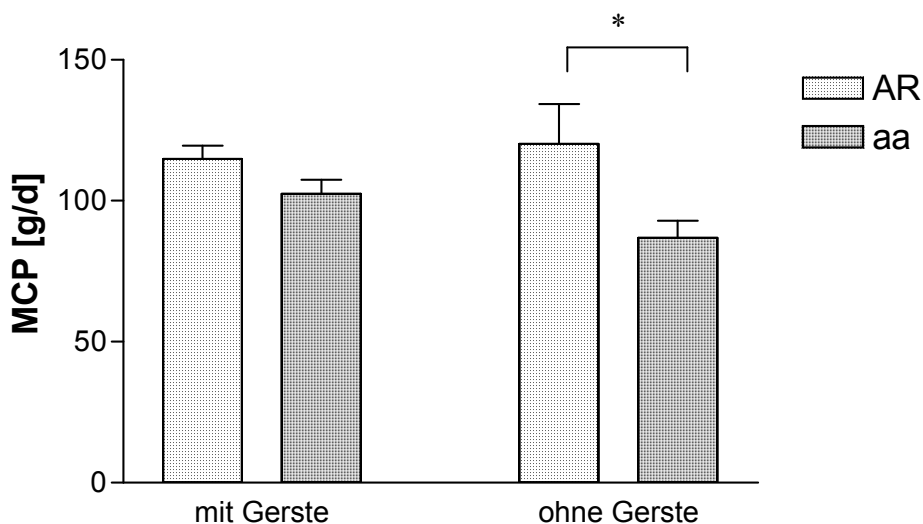
Die Mengen an täglich im Pansen gebildetem Mikrobenprotein zeigt Tabelle 23.

**Tab. 23: Mikrobiell gebildetes Protein (MP) im Pansen**  
(g/d; LSMeans und SE; n = 8)

	Silage		Gerste	
	AR	aa	(-)	(+)
MP	117,5 <sup>a</sup> (7,0)	94,6 <sup>b</sup> (4,7)	103,5 (9,5)	108,6 (4,0)

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Faktor (Silage bzw. Gerste) kennzeichnen einen signifikanten Unterschied ( $P < 0,05$ )

Die artenreiche Silage führte im Vergleich zur artenarmen Silage zu höherer Menge an Mikrobenprotein. Die Kombination der Grassilagen mit Gerste wirkte sich nicht auf die Mengen an täglich gebildetem Mikrobenprotein aus. Die nachfolgende Abbildung 3 veranschaulicht die Ergebnisse für die vier verschiedenen Fütterungsvarianten.



\*  $P < 0,05$

**Abb. 3: Mikrobielle Proteinsynthese im Pansen (n = 4)**

Der Unterschied zwischen den Silagen fiel ohne Gerstefütterung höher als mit Gerstefütterung aus. Eine statistisch gesicherte Interaktion bestand jedoch nicht ( $P = 0,28$ ).

### 3.3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Ziel des Projektes war es, die Besonderheiten von Grünlandaufwüchsen des Ökologischen Landbaus hinsichtlich Siliereignung, Futterwert für Wiederkäuer und ruminaler Bildung von Mikrobenprotein laboranalytisch und in Fütterungsversuchen an Schafen zu untersuchen. Dazu diente eine nach Maßgabe des Ökologischen Landbaus bewirtschaftete Grünlandfläche, deren dritter Schnitt mit dem eines grasreichen Grünlandbestandes verglichen wurde. Die beiden Grünlandvarianten unterschieden sich bezüglich ihrer botanischen Zusammensetzung stark. Während in

dem grasreichen Aufwuchs nahezu ausschließlich verschiedene Grasarten auftraten, wies der artenreiche Aufwuchs hohe Anteile an Kräutern und Leguminosen auf. Dies entsprach den in der Praxis vorkommenden Unterschieden zwischen Grünlandaufwüchsen von konventionell bzw. ökologisch wirtschaftenden Betrieben.

Die im Schnittgut und in den Silagen festgestellten höheren Gehalte an Rohprotein und niedrigeren Fasergehalte der artenreichen im Vergleich zur artenarmen Aufwuchsvariante können als Richtschnur zur Bewertung von Futteraufwüchsen des Ökologischen Landbaus dienen. Die Unterschiede zu konventionell erzeugtem Grünlandfutter beruhen auf höheren Blattanteilen von Kräutern und Leguminosen und geringeren Anteilen faserreicher, auch stärker lignifizierter Stengel von Gräsern.

Die für den Ökologischen Landbau charakteristische artenreiche Zusammensetzung des Grünlandaufwuchses bedingt aufgrund höherer Rohprotein- und Rohaschegehalte meist eine im Vergleich zu konventionellen Aufwüchsen ungünstigere Siliereignung, die auch in der vorliegenden Untersuchung bestätigt wurde. Für die Gewährleistung eines günstigen Gärverlaufs sollte das Siliergut ein WLK/PK-Verhältnis von mindestens 3:1 aufweisen. Dieser Quotient lag für das artenreiche Schnittgut deutlich niedriger. Wie die pH-Werte,  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Anteile und Gärsäurenkonzentrationen zeigen, wurde durch Anwelken und Zusatz von Milchsäurebakterien dennoch eine gute Gärfutterqualität erreicht. Derartige Maßnahmen können daher auch bei kräuter- und leguminosenreichen Grasnarben eine effiziente Silierung des Schnittgutes gewährleisten. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei zu starkem Vorwelken aufgrund des feineren und empfindlicheren Gewebes der Kräuter und Leguminosen höhere Einbußen durch Bröckelverluste auftreten können. Deshalb muss bei artenreichen Aufwüchsen darauf geachtet werden, dass keine zu langen Feldliegezeiten auftreten. Für die überraschend hohen Gehalte an Milchsäure in der artenreichen Silage dürften möglicherweise die höheren Gehalte an Nicht-Faser-Kohlenhydraten, insbesondere aber die stark vertretenen Löwenzahn-Anteile mit ausschlaggebend gewesen sein. In früheren Untersuchungen erwiesen sich Silagen mit hohen Löwenzahn-Anteilen als besonders milchsäurereich (Isselstein u. Daniel, 1996).

Der Fütterungsversuch war zweifaktoriell angelegt um zu prüfen, ob Unterschiede zwischen den verdauungsphysiologischen Wirkungen der beiden Silagen auch von dem Angebot an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten beeinflusst werden. Der Gersteanteil in den Futtermischungen entsprach einer krafftutterreichen Ration, die in der Fütterung hochleistender Milchkühe auch unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus praxisüblich sein könnte. Es ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den beiden Versuchsfaktoren ‚Silage‘ und ‚Gerste‘. Unter der Voraussetzung, dass die Wirkung von Gerste derjenigen eines energiereichen Krafftutters weitgehend entspricht, ist daher der verdauungsphysiologische Einfluss von Krafftutter beim Einsatz von artenreicher im Vergleich zu artenarmer Silage ähnlich zu beurteilen.

Sämtliche in dieser Untersuchung zwischen den beiden Silagen festgestellten Unterschiede in den erhobenen Parametern zur Verdauungsphysiologie der Schafe weisen signifikant oder numerisch auf eine höhere intestinale Umsetzung und Verwertung der artenreichen Silage hin. Der geringere Anteil UDN bestätigt die höhere Rohproteinverdaulichkeit der artenreichen Silage, während der höhere WSN-

Anteil bei Fütterung der artenarmen Silage auf vermehrte endogene Sekretionen im postruminalen Verdauungsbereich der Schafe hindeutet (Mason et al., 1981).

Im Vergleich zur Fütterung der artenarmen Silage lagen die ruminalen Konzentrationen an flüchtigen Fettsäuren in Verbindung mit der artenreichen Silage höher. Die Fütterung der artenreichen Silage hatte eine vermehrte ruminale Bildung von Mikrobenprotein zur Folge, die hauptsächlich auf eine höhere Verfügbarkeit der Kohlenhydratenergie zurückzuführen sein dürfte. Die im Vergleich zur Fütterung der artenarmen Silage eher höheren  $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte im Pansensaft bei den mit der artenreichen Silage gefütterten Schafe deuten darauf hin, dass von den höheren Anteilen der Kräuter und Leguminosen keine den ruminalen Nährstoffabbau hemmenden Effekte ausgelöst wurden. Entsprechend lagen einige Parameter des *in situ*-Abbaus für die artenreiche im Vergleich zur artenarmen Silage höher.

Die Ergebnisse zur indirekten Schätzung der ruminalen mikrobiellen Proteinsynthese lassen sich teilweise mit den Ergebnissen der direkten Messung in Einklang bringen. Die artenreiche Silage führte zu geringfügig – statistisch allerdings nicht absicherbaren - höherer Allantoinausscheidung über den Harn. Allantoin stellt ein Abbauprodukt des intermediären Purinkörperumsatzes dar. Die Allantoinausscheidung über den Harn steht in Beziehung zur Menge an intestinal absorbierten Purinkörpern, die am Duodenum mit den Nukleinsäuren des ruminal gebildeten Mikrobenproteins anfluten. Die Schafe schieden bei Fütterung der artenreichen Silage höhere Kotstickstoffmengen bakteriellen und endogenen Ursprungs (BEDN) aus. Es kann angenommen werden, dass ein Großteil dieser N-Mengen unverdaulichem mikrobiellem Protein des Pansens zuzuordnen ist.

Insgesamt bietet die Silierung von kräuter- und leguminosenreichen Grünlandaufwüchsen eine günstige Alternative zur im Ökologischen Landbau häufigen Heubereitung. Sie kann bei sorgfältiger Verfahrenstechnik und der Verwendung von biologischen Siliermitteln aufgrund des geringeren Witterungsrisikos zu geringeren Konservierungsverlusten als die Heubereitung führen. So gewonnene Silagen stellen ein hochwertiges Grundfuttermittel dar, das unter Beachtung der Rationsoptimierung einen wesentlichen Beitrag zur energie- und nährstoffeffizienten Nutzung von Grünlandaufwüchsen des Ökologischen Landbaus durch Wiederkäuer leistet. In der Umstellung der Konservierung von Heu auf Silage liegt ein erhebliches Potential zur Steigerung der Grünlandleistung im Ökologischen Landbau.

Abschließend werden in dieser Untersuchung ermittelte Nährstoffgehalte sowie *in vitro*-, *in situ*- und *in vivo*-Daten auf der Basis von Durchschnittswerten zur Einschätzung des Futterwertes der beiden Silagen zusammengestellt (Tabelle 24).

**Tab.24: Mittlere Gehalte an umsetzbarer Energie (ME), verdaulicher organischer Substanz (DOS) und Parameter der Futterproteinqualität für die Versuchssilagen**

Parameter	Silageart	
	AR	aa
ME, MJ/kg TS	9,15	8,55
DOS, g/kg TS	578 ± 18,0	561 ± 36,4
Proteinqualität, g/kg TS		
XP	141	102
UDP*	52	36
nXP		
Basis ME**	140	118
Basis DOS***	138	120
RNB	0	-3

\* 24 Std. *in situ*

\*\*nXP (g) = [11,93-(6,82•(UDP/XP))]•ME + 1,03•UDP; UDP und XP in g, ME in MJ.

\*\*\*nXP (g) = [187,7-(115,4(UDP/XP))]•DOS + 1,03•UDP; UDP und XP in g, DOS in kg/kg.

UDP erreichte mit 37 % (AR) und 35 % (aa) sehr hohe Anteile am Rohprotein. Die ruminale N-Bilanz war für AR ausgeglichen und für aa schwach negativ. Beide Silagen sind daher hinsichtlich N-Verwertung und Vermeidung emissionsträchtiger N-Überschüsse in der Fütterung von Wiederkäuern als günstig einzustufen.

#### 4. Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war es, artenreichen Grünlandaufwuchs des Ökologischen Landbaus hinsichtlich Nährstoffzusammensetzung, Siliereignung, Futterwert für Wiederkäuer und ruminaler Proteinsynthese mit grasdominiertem, artenarmem Aufwuchs zu vergleichen. Dazu wurden Proben von artenreichem und artenarmem Grünlandaufwuchs aus zwei Jahren auf Arten- und Nährstoffzusammensetzung, Siliereignung und im Hohenheimer Futterwerttest (HFT) untersucht. Die Sommeraufwüchse eines Jahres wurden siliert und in Stoffwechselforschungen an 4 pansenfistulierte Schafen allein und in Kombination mit Gerste gefüttert. In den Kotproben wurden neben Weender Rohnährstoffen, Stickstoff, NDF und ADF auch N-Fractionen, in den Harnproben außer Gesamt-N auch Harnstoff, Allantoin und Harnsäure bestimmt. Die Messung der mikrobiellen Proteinsynthese erfolgte mittels Dauerinfusionstechnik und Verwendung von <sup>15</sup>N als Marker.

Die artenreichen Aufwüchse enthielten hohe Anteile an Leguminosen und Kräutern, die artenarmen Aufwüchse bestanden nahezu vollständig aus Gräsern. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten wurden im Hinblick auf den Zellwandanteil im Frühjahrsaufwuchs des ersten Jahres festgestellt. Bei den weiteren Aufwüchsen ergaben sich nur geringe Unterschiede hinsichtlich Rohnährstoffen und Zellwandanteilen. Die für die Stoffwechselforschungen verwendeten Silagen zeigten höhere Gehalte an Rohprotein und Nicht-Faser-Kohlenhydraten zugunsten der artenreichen und höhere Faserfraktionen zugunsten der artenarmen Variante. Die artenreiche Silage wies im Vergleich zur artenarmen Silage höhere Anteile leicht löslicher Inhaltsstoffe und *in situ* höhere potentielle Abbaubarkeiten der Trockensubstanz und neutralen Detergentienfaser auf. Die Verdaulichkeiten der organischen Substanz, des Rohproteins und der sauren Detergentienfaser sowie die Menge an bakteriell gebundenem Kotstickstoff lagen bei Fütterung der artenreichen Silage höher als bei Fütterung artenarmer Silage. In Verbindung mit der artenreichen

Silage schieden die Tiere mehr Harnstoff als bei artenarmer Silage aus. Die Allantoin- und Harnsäureausscheidungen blieben unbeeinflusst von der Silageart. Die artenreiche Silage führte im Vergleich zur artenarmen Silage zu höherer Menge an ruminal gebildetem Mikrobenprotein. Die für die beiden Silagen beobachteten Unterschiede waren unabhängig von der Fütterung in Kombination mit Gerste.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass artenreiche Aufwüchse des Grünlandes hochwertige Futtermittel für Wiederkäuer darstellen, die sich unter Zusatz von geeigneten Siliemitteln wie grasdominierte Aufwüchse zur Gewinnung hochwertigen Gärfutters eignen. Artenreiche Grünlandaufwüchse zeichnen sich durch hohe ruminale Umsetzbarkeit und positive Wirkung auf die Bildung von Mikrobenprotein aus. Sie können aufgrund der hier erzielten Ergebnisse zur effizienten N-Verwertung und Vermeidung emissionsträchtiger N-Überschüsse in der Fütterung von Wiederkäuern beitragen.

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

Aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen im Versuchsjahr - hohe Niederschlagshäufigkeit und entsprechend hohes Risiko für ein 'Verregnen' des Schnittgutes beim Vorwelken im Feld - war es nicht möglich, wie geplant, den ersten und zweiten Schnitt für die Untersuchungen zu gewinnen. Stattdessen wurde der dritte Schnitt verwendet.

Das Forschungsvorhaben verlangte den Einsatz verschiedenster Methoden, die in den Untersuchungen durchweg mit Erfolg zur Anwendung kamen. Die Bewertung der Frischfutterqualität sowie der daraus hergestellten Silagen zeigte teilweise deutliche Unterschiede zwischen dem artenreichen und dem artenarmen Futter.

Die Verfütterung der unterschiedlichen Silagen als alleinige Ration oder in Kombination mit Gerste erfolgte um zu prüfen, ob zur Futterbewertung für die Verhältnisse der Fütterungspraxis im Rahmen der Rationsgestaltung Wechselwirkungen zwischen der Silageart und einer konzentratreicheren Fütterung zu berücksichtigen sind. Es stellte sich heraus, dass die beobachteten Unterschiede unabhängig von der Fütterung in Kombination mit Gerste waren, dass demzufolge mit Wechselwirkungen dieser Art nicht zu rechnen ist.

Die ruminale mikrobielle Proteinsynthese wurde mit Hilfe moderner Methoden gemessen. Die direkte Messung im Pansen von Schafen lieferte einen signifikant höheren Wert für die artenreiche Silage. Die Ergebnisse bei Anwendung indirekter Methoden zur Schätzung der ruminalen mikrobiellen Proteinsynthese lieferten weniger deutliche Unterschiede zwischen den Silagen, stimmten aber in ihrer Richtung mit dem Ergebnis der direkten Bestimmungsmethode überein.

Mit der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass artenreiches Grünfutter auf Basis von Laboruntersuchungen, *in vitro*-, *in situ*-Messungen und *in vivo*-Untersuchungen einen hohen Futterwert für Wiederkäuer liefert. Insbesondere gelang der Nachweis, dass die ruminale mikrobielle Proteinsynthese durch siliertes artenreiches Grünfutter gefördert wurde. Damit wurden die Ziele des Projektes hinsichtlich Fragestellung, Durchführung und Methodik vollständig, hinsichtlich der Wertschätzung von Grünfutter des Ökologischen Landbaus über die Erwartung hinaus erfüllt. Die

Ergebnisse sind nicht nur für den Ökologischen Landbau, sondern auch für die konventionelle Grünlandwirtschaft von großer Bedeutung.

## 6. Literaturverzeichnis

BRANDT, M., ROHR, K. (1981); Quantification of N-metabolism in the forestomachs of dairy cows, 1. Examination of microbial n with <sup>15</sup>N as a marker  
*J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 46, 39-48

BREVES, G., HÖLLER, H. (1987); Gastrointestinal nitrogen turnover in sheep fed non-protein nitrogen and a phosphorus deficient diet. Isotope aided studies on non-protein nitrogen and agro-industrial by-products utilization by ruminants  
*International Atomic Energy Agency, Vienna 1987*, 19-29

BRUINENBERG, M. H., VALK, H., KOREVAAR, H., STRUIK, P.C. (2002); Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grassland: a review  
*Grass and Forage Science* 57, 292-301

BRUINENBERG, M. H., VALK, H., STRUIK, P.C. (2003); Voluntary intake and in vivo digestibility of forages from semi-natural grasslands in dairy cows  
*NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 51, 219-235

BRUINENBERG, M. H., VAN GELDER, A. H., PEREZ, P. G., HINDLE, V. A., CONE, J. W. (2004); Estimating rumen degradability of forages from semi-natural grassland, using nylon bag and gas production techniques  
*NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 51, 351-368

CONWAY, E. J., O'MALLEY, E. (1942); Microdiffusion Methods. Ammonia and Urea using buffered absorbents  
*Biochem.* 1942, 36, 655-661

ELGERSMA, A., SCHLEPERS, H. (1997); Performance of white clover/perennial ryegrass mixtures under cutting  
*Grass and Forage Science* 52, 134-146

ERIKSSON, T., CISZUK, P., MURPHY, M., WILSON, A. H. (2004); Ruminant digestion of leguminous forage, potatoes and fodder beets in batch culture II. Microbial protein production  
*Animal Feed Science and Technology* 111, 89-109

FRAME, J., NEWBOULD, P. (1986); Agronomy of white clover  
*Advances in Agronomy* 40, 1-88

GfE (2008); Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants  
*Proc. Soc. Nutr. Physiol.* (2008) 17, 191-197



GIVENS, D. I., RULQUIN, H. (2004); Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silagebased diets

*Animal Feed Science and Technology* 114, 1-18

GOSSELINK, J. M. J., DULPHY, J. P., PONCET, C., AUFRÉRE, J., TAMMINGA, S., CONE, J. W. (2004); Rumen escape nitrogen from forages in sheep: comparison of *in situ* and *in vitro* techniques using *in vivo* data

*Animal Feed Science and Technology* 116, 35-51

HANNEKEN, H. (1997); Wirksamkeit verschiedener leichtfermentierbarer Kohlenhydrate in der Schweinemast zur gezielten Beeinflussung von N-Emissionen und Produktqualität. *Diss. agr., Göttingen*

HOPKINS, A., DAVIES, A., DOYLE, C. (1994); Clovers and other grazed legumes in UK pasture land

*Institute of Grassland&Environmental (IGER) Technical Report No. 1, 61*

ISSELSTEIN, J., DANIEL, P. (1996); The ensilability of grassland forbs

*Grassland Science in Europe* 1, 451-455

ISSELSTEIN, J., ABEL, HJ. (2003); Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffnutzung von klee- und kräuterreichen Aufwüchsen ökologisch bewirtschafteten Grünlandes entlang der Produktionskette Erzeugung – Konservierung – Verdauung.

*Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Abschlussbericht zum Projekt 02OE621*

JAURENA, G., MOORBY, J. M., DAVIES, D. R. (2005); Efficiency of microbial protein synthesis on red clover and ryegrass silages supplemented with barley by rumen simulation technique (RUSITEC)

*Animal Feed Science and Technology* 118, 79-91

KREUZER, M., KIRCHGESSNER, M., KELLNER, R. J., ROTH, F. X. (1986); Nährstoffverdaulichkeit, N-Stoffwechsel und Allantoinausscheidung von Hammeln bei Variation der Protein- und Energiekonzentration

*J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 55, 144-159

MAKKAR, H. P. S., BLÜMMEL, M., BECKER, K. (1995); *In vitro* effects of and interactions between tannins and saponins and fate of tannins in the rumen

*J. Sci. Food Agric.* 69, 481-493

MASON, V. C. (1969); Some observations on the distribution and origin of nitrogen in sheep faeces

*J. Agric. Sci., Camb.* 73, 99-111

MASON, V. C., KESSANK, P., ONONIWU, J. C., NARANG, M. P. (1981); Factors influencing faecal nitrogen excretion in sheep, 2. Carbohydrate fermentation in the caecum and large intestine

*Z. Tierphysiol., Tierernährg. U. Futtermittelkde.* 45, 174-184

McDONALD, I. (1981); A revised model for estimation of protein degradability in the rumen

*J. Agric. Sci., Camb.* 96, 251-252

MIN, B. R., ATTWOOD, G. T., McNABB, W. C., MOLAN, A. L., BARRY, T. N. (2005); The effect of condensed tannins from *Lotus corniculatus* on the proteolytic activities and growth of rumen bacteria  
*Animal Feed Science and Technology* 121, 45-58

NAUMANN, K., BASSLER, R. (1997); Methodenbuch: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Band III, Darmstadt, VDLUFA-Verlag

NOLAN, J. V., LENG, R. A. (1983); Nitrogen metabolism in the rumen and its measurement

*Nuclear Techniques for Assessing and Improving Ruminant Feeds. IAEA Publishing Series, International Atomic Energy Agency, Vienna, 43-65*

SCEHOVIC, J. (1991); Considerations sur la composition chimique dans l'évaluation de la qualité des fourrages des prairies naturelles

*Revue Suisse D'agriculture* 23, 305-310

SCEHOVIC, J. (2000); Effet de quelques plantes de prairies permanents sur la qualité des associations végétales

*Revue Suisse D'agriculture* 32, 195-200

SCHERINGER, J., ISSELSTEIN, J. (2001); Nitrogen budgets of organic and conventional dairy farms in North-West Germany

*Grassland Science in Europe* 6, 284-287

SENG, M., BONORDEN, S., NISSEN, J., ISSELSTEIN, J., ABEL, HJ. (2008); Fermentation patterns and nutrient contents of forb-containing silages and their effects on microbial fermentation in the artificial rumen system RUSITEC

*J. Agric. Sci.* 146, 333-341

SHANNAK, S., SÜDEKUM, K.-H., SUSENBETH, A. (2000); Estimating ruminal crude protein degradation with in situ and chemical fractionation procedures. *Anim. Feed Sci. Technol.* 85, 195-214.

SHINGFIELD, K.J., OFFER, N.W.; Simultaneous determination of purine metabolites, creatinine, and pseudouridine in ruminant urine by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *J. Chromatography B* 732, 81-94.

VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B. A. (1991); Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition

*J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597

WEISSBACH, F. (1967); Die Bestimmung der Pufferkapazität der Futterpflanzen und ihre Bedeutung für die Beurteilung der Vergärbarkeit

*Tagungsberichte der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin* 92, 211-220

WILSON, J. R. (1994); Review: Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants

*J. Agric. Sci.* 122, 173-182

## 7. Abkürzungsverzeichnis

a	lösliche Fraktion
ADF	acid detergent fiber
AR	artenreicher Aufwuchs bzw. artenreiche Silage
aa	artenarmer Aufwuchs bzw. artenarme Silage
b	unlösliche, <i>in situ</i> abbaubare Fraktion
BEDN	bacterial and endogenous debris nitrogen
BUN	bacterial and undigested nitrogen
c	fraktionelle Abbaurate <i>in situ</i>
d	potentielle Abbaubarkeit = a + b
G	Gerste
HFT	Hohenheimer Futterwerttest
HPLC	high pressure liquid chromatography
k	fraktionelle Turnoverrate
KbE	koloniebildende Einheiten
LSMeans	least squares means
ME	metabolizable energy
MJ	megajoule
MS	Milchsäure
NDF	neutral detergent fiber
NDFN	non-dietary faecal nitrogen
NFC	non-fibrous carbohydrates
NIRS	Nah-Infrarot-Spektroskopie
nXP	nutzbares Rohprotein am Duodenum
OS	organische Substanz
PK	Pufferkapazität
p <sub>t</sub>	prozentualer Abbau
R	Retentionszeit
RDN	ruminal degradable nitrogen
RNB	ruminale N-Bilanz
SCFA	short chain fatty acids
TN	total nitrogen
SE	standard error

SEM	standard error of means
TS	Trockensubstanz
U	Turnover
UDN	undigested dietary nitrogen
UDP	im Pansen nicht abgebautes Futterprotein
V	Pansenvolumen
WLK	wasserlösliche Kohlenhydrate
WSN	water-soluble nitrogen
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein