

**EINFLUSS VON VEGETATIONSSTADIUM, SORTE,  
KONSERVIERUNG UND STANDORT VON SILOMAIS  
AUF DEN GEHALT AN PROTEIN UND  
KOHLENHYDRATEN NACH DEM CORNELL-SYSTEM  
UND AUF DEN IN-SITU-ABBAU  
DER TROCKENMASSE**



**DIPLOMARBEIT**

eingereicht von

*KARIN CHRISTINA TAFERNER*

**Beurteiler:** Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. L. GRUBER

**Betreuung:** Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. L. GRUBER  
Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. W.F. KNAUS

**UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR, WIEN**

**DEPARTMENT FÜR NACHHALTIGE AGRARSYSTEME  
INSTITUT FÜR NUTZTIERWISSENSCHAFTEN**



**HÖHERE BUNDESLEHR- UND FORSCHUNGSANSTALT FÜR  
LANDWIRTSCHAFT, IRDNING**

**INSTITUT FÜR NUTZTIERFORSCHUNG**



**Wien, im März 2006**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>8</b>
1.1	BEDEUTUNG DER RINDERHALTUNG IN ÖSTERREICH .....	8
1.2	BEDEUTUNG DES SILOMAISES .....	8
1.3	FRAGE- UND PROBLEMSTELLUNG .....	9
1.4	ARBEITSHYPOTHESEN.....	10
1.5	ZIELE.....	10
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT.....</b>	<b>10</b>
2.1	NÄHRSTOFF- UND FUTTERMITTELANALYTIK .....	10
2.1.1	WEENDER Futtermittelanalyse .....	11
2.1.2	Detergentienanalyse nach Van SOEST.....	12
2.1.3	Vergleich der Methoden.....	14
2.2	RATIONSBERECHNUNG.....	15
2.3	CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM .....	16
2.3.1	Futteraufnahme .....	16
2.3.2	Energie- und Proteinbedarf .....	17
2.3.3	Futtermittelnutzung .....	18
2.3.4	Beispielkalkulation Maissilage .....	22
2.4	NYLON-BAG-METHODE.....	22
2.4.1	Variation in der in-situ-Methode.....	23
2.4.2	Abbaukinetik von Futtermitteln .....	26
2.4.3	Standardisierung .....	30
2.5	VERDAULICHKEIT VON SILOMAIS .....	32
2.6	AUFBAU DES PANSENINHALTS.....	33
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>35</b>
3.1	FUTTERPROBEN .....	35
3.1.1	Vegetationsstadium .....	35
3.1.2	Konservierung .....	36
3.1.3	Sorte.....	36
3.1.4	Standort.....	37
3.1.5	Erntejahr .....	38
3.2	PROBENVORBEREITUNG.....	39
3.3	METHODEN .....	40
3.3.1	Chemische Analysen.....	40
3.3.2	Statistische Auswertung.....	40
3.3.3	in-situ-Methode.....	41
3.3.3.1	Nylon-bags .....	42
3.3.3.2	Einwaage.....	43
3.3.3.3	Ringe und Schnur .....	45

3.3.3.4	Pansen-fistulierte Tiere .....	45
3.3.3.5	Inkubationszeiten .....	47
3.3.3.6	Waschmaschine .....	48
3.3.3.7	Trocknung .....	48
3.3.3.8	Auswaage und Endbehandlung.....	48
3.3.3.9	Filterprobe .....	49
3.3.3.10	Ein typischer Tagesablauf im in-situ-Projekt.....	50
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....</b>	<b>52</b>
4.1	NÄHRSTOFFGEHALT UND FRAKTIONEN DES CNCPS .....	52
4.1.1	Einfluss des Erntejahres.....	52
4.1.2	Einfluss des Vegetationsstadiums .....	54
4.1.3	Einfluss der Sorte.....	55
4.1.4	Einfluss des Standorts.....	55
4.1.5	Einfluss der Konservierung .....	56
4.1.6	Silagequalität.....	57
4.1.7	Wechselwirkungen.....	59
4.2	ABBAUBARKEIT DER TROCKENMASSE IM PANSEN .....	63
4.2.1	Einfluss des Vegetationsstadiums .....	63
4.2.2	Einfluss der Sorte.....	66
4.2.3	Einfluss des Standorts.....	67
4.2.4	Einfluss der Konservierung .....	68
4.2.5	Wechselwirkungen.....	70
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY.....</b>	<b>73</b>
5.1	ZUSAMMENFASSUNG.....	73
5.2	SUMMARY .....	75
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>77</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1-1 WEENDER Futtermittelanalyse.....	11
Abbildung 2.1-2 Auftrennung eines Futtermittels mittels Detergentienanalyse .....	13
Abbildung 2.1-3 Vergleich zwischen WEENDER Futtermittelanalyse und Detergentien- analyse .....	15
Abbildung 2.4-1 Einflussfaktoren auf Abbauraten in in-situ-Versuchen.....	24
Abbildung 2.4-2 Verlauf des Abbaus der Trockenmasse bei unterschiedlichen .....	28
Abbildung 2.4-3 Abbaukurve eines Futtermittels (nach HUNTINGTON & GIVENS 1995) .....	29
Abbildung 3.1-1 Einteilung von Silomais in Reifestadien.....	36
Abbildung 3.1-2 Sorte Fuxxol im Versuchsfeld in Gumpenstein.....	37
Abbildung 3.1-3 Versuchsstandorte .....	38
Abbildung 3.1-4 Verteilung des Niederschlags in Österreich (2003).....	39
Abbildung 3.2-1 Probenmaterial .....	40
Abbildung 3.3-1 Vorgehensweise beim in-situ-Versuch (nach SÜDEKUM 2005) .....	41
Abbildung 3.3-2 Vorbereiteter bag für Einwaage.....	43
Abbildung 3.3-3 Vorbereitete bags für Inkubation.....	44
Abbildung 3.3-4 Gewicht zur Stabilisierung der bags im Pansen.....	45
Abbildung 3.3-5 Zusammensetzung der Kraftfuttermischung .....	46
Abbildung 3.3-6 Endbehandlung.....	49
Abbildung 3.3-7 Filterprobe.....	50
Abbildung 4.1-1 Proteinfraktionen von Silomais nach Anbaujahr .....	53
Abbildung 4.1-2 CNCPS-Proteinfraktionen nach Vegetationsstadien .....	54
Abbildung 4.1-3 CNCPS-Kohlenhydratfraktionen nach Standorten.....	56
Abbildung 4.1-4 CNCPS-Proteinfraktionen nach Konservierung .....	57
Abbildung 4.1-5 CNCPS-Kohlenhydratfraktionen nach Konservierung.....	57
Abbildung 4.1-6 Einfluss von Reife und Standort auf TM-Gehalt .....	60
Abbildung 4.2-1 Einfluss von Kolbenanteil und Konservierung .....	65
Abbildung 4.2-2 Effektive Abbaubarkeit .....	67
Abbildung 4.2-3 Lösliche und potentiell fermentierbare Fraktion .....	70

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1-1 Fraktionen nach der WEENDER Analyse .....	12
Tabelle 2.1-2 Sortenversuchsergebnisse Lambach 2002.....	12
Tabelle 2.3-1 Fermentationsraten ( $k_f$ ) für Kohlenhydrate und Proteine.....	19
Tabelle 2.3-2 Berechnung der Kohlenhydratfraktionen.....	19
Tabelle 2.3-3 Berechnung der Proteinfraktionen .....	20
Tabelle 2.3-4 Pansenpassagerate von Maissilagen.....	21
Tabelle 2.3-5 Effektive Abbaubarkeit von Maissilage .....	22
Tabelle 2.4-1 Einfluss der Mahlfeinheit des Futtermittels .....	25
Tabelle 2.4-2 Abbauparameter aus der Literatur .....	30
Tabelle 2.4-3 Vergleich von Methoden zur Messung der ruminalen Abbaubarkeit .....	31
Tabelle 3.1-1 Standortmerkmale.....	38
Tabelle 3.1-2 Energiekonzentration in Maissilagen unterschiedlicher Jahre .....	39
Tabelle 3.3-1 Legende zu den Variablen der Formel von ØRSKOV & McDONALD (1979) .....	41
Tabelle 3.3-2 Einwaageplan für in-situ-Versuch Silomais .....	44
Tabelle 3.3-3 Rationszusammenstellung der Ochsen.....	46
Tabelle 3.3-4 Legende zu den Zeitstufen und deren Inkubationsdauer.....	47
Tabelle 3.3-5 Tagesablauf eines in-situ-Projekts (Mittwoch) .....	51
Tabelle 4.1-1 Inhaltstoffe von Silomais verschiedener Anbaujahre .....	53
Tabelle 4.1-2 Silagequalität.....	59
Tabelle 4.1-3 Nährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie Protein- und Kohlenhydrat- fraktionen (Haupteffekte) .....	61
Tabelle 4.1-4 Nährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie Protein- und Kohlenhydrat- fraktionen (Wechselwirkungen) .....	612
Tabelle 4.2-1 Abbauparameter der Haupteinflussfaktoren von Silomais .....	71
Tabelle 4.2-2 Abbauparameter unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen .....	71

## Abkürzungsverzeichnis

ADF	Saure Detergentienfaser, acid detergent fiber
ADIP	acid detergent insoluble protein
ADL	Lignin, acid detergent lignin
CNCPS	Cornell Net Carbohydrate and Protein System
DM	dry matter, Trockenmasse
dOM	digestibility of organic matter, Verdaulichkeit der organischen Masse
ED2	effective degradability, passage rate 2 %; effektive Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 2 %
ED5	effective degradability, passage rate 5 %; effektive Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 2 %
ED8	effective degradability, passage rate 8 %; effektive Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 8 %
FFS	flüchtige Fettsäuren
h	Stunde
N	Stickstoff
NDF	neutral detergent fiber, Neutrale Detergentienfaser
NDF-P	in NDF enthaltenes Protein
NDIP	neutral detergent insoluble protein
NFC	non-fiber carbohydrates, Nichtfaser-Kohlenhydrate
NPN	Nichtprotein-Stickstoff
NSC	Nicht-Strukturkohlenhydrate, non-structure carbohydrates
P	Phosphat
R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
RSD	Residual Standard Deviation, Rest-Standardabweichung
s	Standardabweichung
SC	structural carbohydrates, Strukturkohlenhydrate
SolXP	lösliches Rohprotein
TM	Trockenmasse
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XX	Stickstofffreie Extraktstoffe

Weitere Abkürzungen sind im Text erklärt.

# 1 EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss von Vegetationsstadium, Konservierung, Sorte und Standort auf den Gehalt an Kohlenhydraten und Proteinen nach dem Cornell-System sowie mit den in-situ-Abbauraten der Trockenmasse von Silomais unter österreichischen Bedingungen.

## 1.1 BEDEUTUNG DER RINDERHALTUNG IN ÖSTERREICH

Die geographische Lage Österreichs im Alpenraum bedingt, dass sich die Produktionsbedingungen für Silomais wesentlich von jenen anderer Länder, auch jenen der Nachbarländer, unterscheiden. So wurden im Jahr 2003 57 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Grünland genutzt. Um diese Flächen auch produktiv für die Landwirtschaft zu nutzen, setzt man in Österreich vor allem auf die Haltung von Rindern. Im Gegensatz dazu haben Kleinwiederkäuer nur eine geringe Bedeutung, die sich bereits deutlich an ihrer Bestandesgröße beschreiben lässt. Im Jahr 2003 wurden rund 2,05 Millionen Rinder gehalten, im Vergleich dazu jedoch nur 328.500 Schafe und 54.500 Ziegen. Diese Zahlen verdeutlichen die enorme Bedeutung der Rinder für die österreichische Landwirtschaft (GRÜNER BERICHT 2004).

## 1.2 BEDEUTUNG DES SILOMAISES

Im Durchschnitt liegt der Anteil der Ackerflächen an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche bei 41 %. Es sind jedoch bundesländerabhängig große Unterschiede zu verzeichnen. Während in Niederösterreich der Anteil bei 74 % liegt, nimmt er nach Westen hin enorm ab. So befinden sich in Salzburg nur 2 % Ackerflächen. Im österreichischen Durchschnitt wird auf 5,2 % der Ackerfläche Silomais für Futterzwecke angebaut (GRÜNER BERICHT 2004).

Der Anteil an extensivem Grünland entspricht mit 30 % mehr als der Hälfte des Grünlandes in Österreich (GRÜNER BERICHT 2004). Als extensives Grünland werden Almen, Bergmäher, Hutweiden, einmähdige Wiesen und Streuwiesen bezeichnet. Es handelt sich dabei um wenig produktive Flächen, die für ein optimales Betriebsergebnis die Zufütterung im Stall oder auf der Weide erfordern. Um vor allem in begünstigten Lagen nicht nur Kraftfutter als Zusatzfutter zu nutzen, sondern auch Silomais in die Fruchtfolge einbauen zu können, ist es für den Landwirt unerlässlich, die Gehaltswerte seines Futters genau zu kennen. Die Forschung muss es sich daher zur Aufgabe stellen, die Gehaltsdaten für die Landwirte in der Form bereitzustellen, dass sie direkt für ihre Zwecke angewandt werden können.

In Tirol und Vorarlberg liegt der Anteil des Ackerlandes an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche bei nur 3 %, die restlichen 97 % werden als Grünland genutzt (GRÜNER BERICHT 2004). Silomais ist in Tirol aufgrund der Anbaufläche die wichtigste Ackerkulturart (TSCHÖLL 2005). Obwohl die österreichischen Hauptanbaugebiete sich auf den Süden und Osten Österreichs konzentrieren, zeigt dieses Faktum deutlich, welchen Stellenwert Silomais für viehhaltende Betriebe hat. In Tirol sind die geographischen Voraussetzungen für die Rinderhaltung wie geschaffen. Um den Rindern neben der Weide auch ein weiteres gehaltvolles Grundfuttermittel zur Verfügung zu stellen, greifen die Landwirte auf den Anbau von Silomais zurück. Die Vorteile dieser Kultur als Rinderfuttermittel liegen auf der Hand (COORS 1996):

- sehr hohe Nährstoffträge je Flächeneinheit
- hoher Kohlenhydratgehalt zur Energieversorgung
- gute Strukturwirksamkeit im Gegensatz zu Kraftfutter
- relativ hohe NDF- und ADF-Anteile, jedoch wenig Lignin
- einmalige Ernte

Weiters stellt Maissilage eines der wichtigsten Futtermittel für Milchkühe nicht nur in Europa sondern auch in den USA dar (ETTLE et al. 2001). Maissilage besitzt im Vergleich zu Grassilage wesentliche Vorteile durch eine stabile Fermentation, die auf folgenden Faktoren beruht (COORS 1996):

- hoher TM-Gehalt
- hoher Anteil an Nicht-Strukturkohlenhydraten
- niedriges Puffervermögen

### **1.3 FRAGE- UND PROBLEMSTELLUNG**

In der vorliegenden Arbeit soll mit Hilfe zweier Methoden eine Charakterisierung von Silomais als Futtermittel vorgenommen werden. Zur Anwendung kommen dabei das Cornell Net Carbohydrate and Protein System sowie die nylon-bag-Methode. Die hiermit erhaltenen Daten liefern ein genaueres Bild über den Futterwert als die Anwendung der derzeit gängigen WEENDER Futtermittelanalyse.

Im Cornell Net Carbohydrate and Protein System wird den verdauungsphysiologischen Vorgängen der Wiederkäuer durch eine erweiterte Aufspaltung der Nährstoffe besser Rechnung getragen, da Kohlenhydrate und Proteinfractionen nach ihrer Abbaugeschwindigkeit im Pansen eingeteilt werden. Es liegt eine Unterscheidung in Struktur- und Nicht-Strukturkohlenhydrate vor, die in der WEENDER Futtermittelanalyse nicht exakt getrennt werden.

## **1.4 ARBEITSHYPOTHESEN**

Als wichtigste Arbeitshypothese kann gesehen werden, dass es einen wesentlichen Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierungsform gibt, der den Gehalt an Nährstoffen wie Protein und Kohlenhydraten beeinflusst. Es wird weiters davon ausgegangen, dass sich dieser Einfluss auch in den unterschiedlichen Abbaubarkeiten der Trockensubstanz widerspiegelt.

## **1.5 ZIELE**

In der vorliegenden Arbeit werden folgende Ziele verfolgt:

1. Beschreibung und Charakterisierung von Silomais angebaut unter österreichischen Bedingungen
2. Eindeutige Aussage über den Einfluss der einzelnen Faktoren (Sorte, Konservierung, Standort, Vegetationsstadium) auf Nährstoffgehalt und Abbauverhalten
3. Bestimmung der Abbaukurven von Silomais

Diese Diplomarbeit wird im Rahmen eines weiter reichenden Projekts am Institut für Nutztierforschung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein geschrieben. In diesem Zusammenhang werden Grund- und Krafftuttermittel nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPs) und der in-situ-Methode getestet, um eine nach modernen Gesichtspunkten orientierte Futterbewertung durchführen zu können.

## **2 LITERATURÜBERSICHT**

### **2.1 NÄHRSTOFF- UND FUTTERMITTELANALYTIK**

Die Nährstoff- und Futtermittelanalytik dient dem Zweck der Charakterisierung von Futtermitteln. Sie stellt die Haupteinflussgröße zur Bewertung und Berechnung von Rationen dar. Da die Fütterung in der tierischen Produktion einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt, wird besonderer Wert gelegt auf die Zusammenstellung einer angepassten Ration. Diese soll sowohl den Bedarf der Tiere optimal treffen als auch dem Anspruch der Wirtschaftlichkeit entsprechen.

In der Praxis wird in erster Linie auf vorhandene Futterwerttabellen zurückgegriffen. Da die individuelle Analyse aller im Betrieb eingesetzten Futtermittel für den einzelnen Landwirt eine kostspielige Angelegenheit wäre, ist es das Ziel der Forschung, für ein breites Spektrum an Futtermitteln Gehaltszahlen anzugeben.

In der Futtermittelanalytik kommen derzeit vor allem zwei Systeme parallel zur Anwendung:

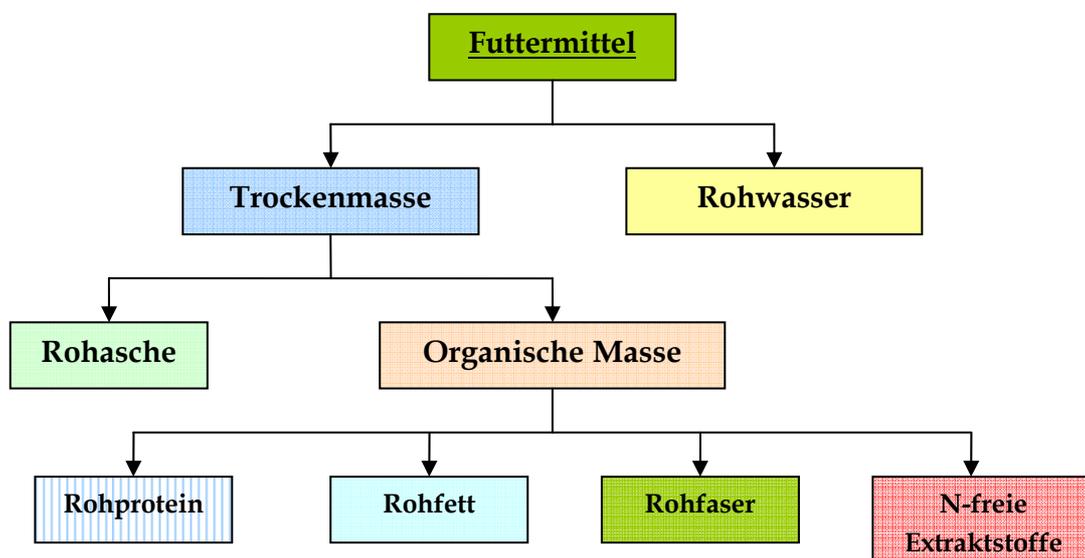
- WEENDER Futtermittelanalyse
- Detergentienanalyse nach Van SOEST (1994)

### 2.1.1 WEENDER Futtermittelanalyse

Die WEENDER Futtermittelanalyse wurde vor etwa 140 Jahren in Deutschland entwickelt und dient der groben Charakterisierung von Futtermitteln (HENNEBERG & STOHMANN 1864). Bei der WEENDER Futtermittelanalyse wird die Trockenmasse (TM) sowie die organische Masse (OM) und die Rohasche (XA) bestimmt. Die OM setzt sich aus Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF) und den stickstofffreien Extraktstoffen (XX) zusammen.

In *Abbildung 2.1-1* ist die schematische Aufteilung eines Futtermittels in die Komponenten nach der WEENDER Futtermittelanalyse dargestellt. In einer dreistufigen Analyse erfolgt die Bestimmung der Rohnährstoffgruppen.

**Abbildung 2.1-1 WEENDER Futtermittelanalyse**  
(nach KIRCHGESSNER 2004)



Die Rohnährstoffgruppen der WEENDER Analyse sind keine einheitlichen chemischen Stoffgruppen, da sie sich aus unterschiedlichen Molekülen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften zusammensetzen (*Tabelle 2.1-1*). Das Verhältnis dieser Rohnährstoffe zueinander gibt bereits einen Einblick in den Wert eines Futtermittels, kann jedoch über das verdauungsphysiologische Verhalten kaum Auskunft geben, da diese Einteilung sehr inhomogene Stoffgruppen zu Einheiten zusammenfasst. Die Rohfaser enthält Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Die beiden erstgenannten Moleküle können von

Wiederkäuern als Nährstoffquellen genutzt werden, wohingegen Lignin nicht aufgeschlossen werden kann. Der Anteil an Rohfaser kann sich sowohl durch eine Zunahme an Zellulose, Hemizellulose aber auch durch einen steigenden Ligningehalt erhöhen. Somit lässt sich durch die Zunahme an Rohfaser nicht eindeutig ableiten, dass das Futtermittel für das Wirtstier besser oder schlechter verfügbar ist.

**Tabelle 2.1-1 Fraktionen nach der WEENDER Analyse**

(nach McDONALD et al. 1989)

Fraktion	Komponenten
<b>Rohwasser</b>	Wasser (und flüchtige Säuren und Basen, falls vorhanden)
<b>Rohasche</b>	Essenzielle Elemente: Hauptnährstoffe: Ca, P, Mg, K, Na, S, Cl Mikronährstoffe: Fe, Mn, Zn, Cu, Co, J, Si, Mo, Se, Cr, F, V, Sn, As, Ni
<b>Rohprotein</b>	Proteine, Aminosäuren, Amine, Nitrat, N-hältige Glykoside, Glykolipide, B-Vitamine, Nukleinsäuren
<b>Rohfett</b>	Fette, Öle, Wachse, organische Säuren, Pigmente, Sterole, Vitamine A, D, E, K
<b>Rohfaser</b>	Zellulose, Hemizellulose, Lignin
<b>Stickstofffreie Extraktstoffe</b>	Zellulose, Hemizellulose, Lignin, Zucker, Fruktose, Stärke, Pektine, organische Säuren, Harze, Tannine, Pigmente, wasserlösliche Vitamine

In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenstellung von Sortenversuchsergebnissen der Versuchssorten zusammengestellt. Aufgrund der Daten aus der WEENDER Analyse kann man keine Sortenunterschiede feststellen (*Tabelle 2.1-2*). Lediglich in der Bestimmung der Trockenmasse sind Unterschiede zu verzeichnen. Diese beziehen sich nur auf Standort und Jahr, da in einem Anbauversuch in Warth im Jahre 2001 für Fuxxol eine Trockenmasse von 330 g/kg ausgewiesen wird (LFS WARTH 2002).

**Tabelle 2.1-2 Sortenversuchsergebnisse Lambach 2002**

(KASTENHUBER 2003)

Sorte	TM (g/kg FM)	XP (g/kg)	nXP (g/kg)	XF (g/kg)	XL (g/kg)	XX (g/kg)	XA (g/kg)
Fuxxol	406	58	126	207	31	664	40
Romario	366	58	126	207	31	666	38

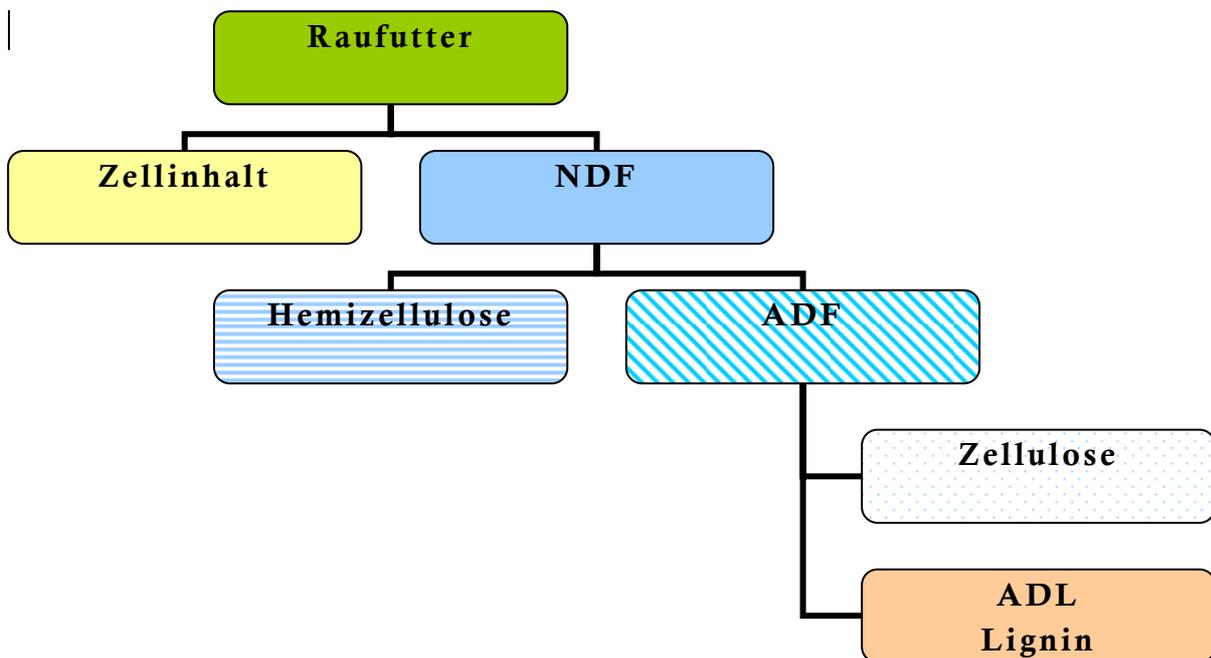
## 2.1.2 Detergentienanalyse nach Van SOEST

Aufgrund von physiologischen Unzulänglichkeiten in der WEENDER Futtermittelanalyse wurde eine erweiterte Analyse nach Van SOEST (1994) eingeführt. Vor allem aufgrund der Überschätzung von Grundfutter schlechter Qualität und der Unter-

schätzung von Grundfutter guter Qualität durch die Bestimmung von Rohfaser war man bei Futtermitteln mit hohen Rohfasergehalten auf ein adäquateres System angewiesen.

Futtermittel werden nach der Detergentienanalyse nach ihrer Verfügbarkeit im Pansen und nach der anatomischen Zugehörigkeit in der Pflanzenzelle eingeteilt (Abbildung 2.1-2). Im Zellinhalt sind Proteine, Stärke, Zucker, organische Säuren und Pektin zusammengefasst.

**Abbildung 2.1-2 Auftrennung eines Futtermittels mittels Detergentienanalyse**  
(nach SCHROEDER 2004)



Die Detergentienanalyse unterscheidet in Zellinhaltsstoffe und Zellwandkomponenten (Van SOEST 1994). Es ist offensichtlich, dass die Zellinhaltsstoffe dem Wirtstier rascher zur Verfügung stehen als die in der Zellwand gebundenen Komponenten. Zellwände können mechanisch zerkleinert werden und geben somit den Inhalt frei. Diese Zerstörung kann durch Zerkauen aber auch bereits bei der Futterwerbung durch den Landwirt erfolgen. Als Beispiel seien gequetschte Maiskörner genannt, die der bakteriellen Fermentation schneller bereit stehen, als es unzerkleinerte Körner tun. Bei der Fütterung ist zu beachten, dass ganze Körner zwar zu einem hohen Prozentsatz vom Tier mechanisch zerkleinert werden, aber immer noch Restkörner im Ganzen in den Verdauungstrakt gelangen. Somit ist bei der Fütterung ganzer Körner die Verdaulichkeit verringert.

Die Zellwände sind aus Zellulose, Hemizellulose, Silizium und Lignin aufgebaut. Diese Komponenten werden nach Van SOEST (1994) als Neutrale Detergentienfaser (NDF) bezeichnet. Diese Komponenten werden beim Kochen in neutraler Detergentienlösung nicht gelöst. In der NDF ist an die Zellwand gebundenes Protein enthalten. Weiters kann

auch hitze-geschädigtes Protein enthalten sein, das aber für Wiederkäuer unverdaulich ist. Mit zunehmender Reife der Pflanzen nimmt die NDF zu. Aufgrund der negativen Korrelation zur Futteraufnahme kann durch Kenntnis der NDF eine angepasste Rationsformulierung erfolgen.

Jener Anteil, der beim Kochen in saurer Detergentienlösung gelöst wird, wurde als Hemizellulose identifiziert. Bei weiterem Kochen in 72%-iger Schwefelsäure geht auch Zellulose in Lösung und übrig bleibt nur Lignin, auch als ADL bezeichnet. Als Saure Detergentienfaser (ADF) werden Zellulose, Silizium und Lignin bezeichnet. Je höher der Anteil an ADF in einem Futtermittel, umso schlechter ist seine Verdaulichkeit.

Den Gerüstsubstanzen stehen die Nichtfaser-Kohlenhydrate (non fiber carbohydrates, NFC) gegenüber. Diese werden nicht durch chemische Analysen sondern rechnerisch ermittelt. Sie ergeben sich aus der Differenz zwischen Trockenmasse und den anderen analytisch bestimmten Komponenten.

Die erweiterte Futtermittelanalytik baut auf folgenden Gleichungen auf:

$$\text{Zellulose} = \text{ADF} - \text{ADL}$$

$$\text{Hemizellulose} = \text{NDF} - \text{ADF}$$

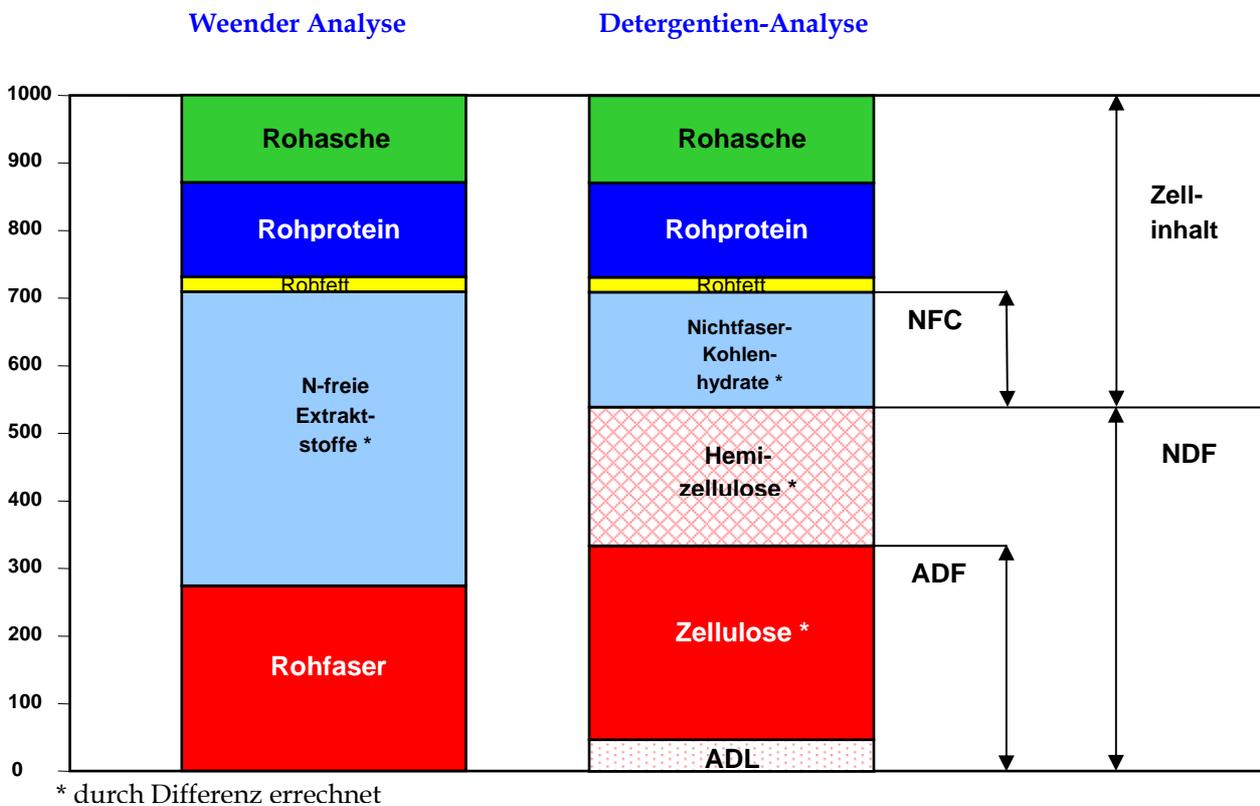
$$\text{NFC} = \text{TM} - (\text{XA} + \text{XP} + \text{XL} + \text{NDF})$$

### 2.1.3 Vergleich der Methoden

Die größten Unterschiede zwischen der WEENDER Futtermittelanalyse und der Detergentienanalyse nach Van SOEST (1994) liegen in der Zuordnung der chemischen Stoffgruppen zu größeren Einheiten.

In der WEENDER Analyse war beabsichtigt, mit der Rohfaser (XF) die Gerüstsubstanzen und mit den stickstofffreien Extraktstoffen (XX) die Nichtfaser-Kohlenhydrate zu erfassen. Es wird angenommen, dass die Rohfaser eine niedrige, die Gruppe der stickstofffreien Extraktstoffe eine hohe Verdaulichkeit aufweist. Allerdings werden durch den Säure-Laugen-Kochprozess bei der Rohfaser-Bestimmung neben den eigentlichen Nicht-Faserkohlenhydraten sowohl Hemizellulose als auch ein geringer Teil des Lignins gelöst, die somit nicht mehr der Rohfaser zugerechnet werden. Damit werden einerseits die Gerüstsubstanzen und andererseits – da durch Differenz errechnet – auch die Nichtfaser-Kohlenhydrate falsch eingeschätzt. Durch die im System nach Van SOEST (1994) verwendeten Detergentien gelingt die Auftrennung der Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate richtiger (siehe *Abbildung 2.1-3*).

Abbildung 2.1-3 Vergleich zwischen WEENDER Futtermittelanalyse und Detergentienanalyse



## 2.2 RATIONSBERECHNUNG

Rationsberechnungen stützen sich in erster Linie noch immer auf die Ergebnisse der WEENDER Futtermittelanalyse. In den letzten Jahren gab es die Tendenz der Verdauungsphysiologie der Wiederkäuer besser Rechnung zu tragen. Einen wichtigen Schritt in diese Richtung setzte Van SOEST (1994), indem durch die Bestimmung der NDF eine verbesserte Rationsberechnung durch Vorhersage der Futteraufnahme ermöglicht wurde. Ähnlich entwickelte sich auch das Cornell Carbohydrate and Protein System in den Vereinigten Staaten. Das neue System aus England wird benannt „Feed into milk“. Es berücksichtigt die Verwertung von Futter zu Milch. Darin wird die Futterbewertung auf zwei Parameter gestützt:

- Abbau der Trockenmasse
- Abbau des Proteins

Die Kenntnis der Abbaurate eines Futtermittels hat enorme Bedeutung für die Rationsberechnung. Die Abbaurate des Futtermittels ist direkt proportional zur Futteraufnahme. Das bedeutet, dass bei hohen Abbauraten auch die Futteraufnahme steigt, da sich bei den Tieren ein physikalisches Hungergefühl schneller entwickelt (MERTENS 1994).

Dieser Umstand konnte auch von GRUBER et al. (2001) nachgewiesen werden, da ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Anteil an Rohfaser im Futter und der Verdaulichkeit bzw. Futteraufnahme gefunden wurde. Bei steigendem Rohfaseranteil gingen Verdaulichkeit und Futteraufnahme zurück. Es wird also deutlich, dass nicht nur die potentielle Abbaubarkeit des Futtermittels in die Rationsberechnung einfließen muss, denn auch die Abbaugeschwindigkeit ist von großer Bedeutung.

Das Mikrobenprotein ist die entscheidende Proteinquelle des Wiederkäuers. Es weist eine optimale Zusammensetzung an Aminosäuren auf, was beim pflanzlichen Protein nicht immer der Fall ist. Der Anteil an gebildetem Mikrobenprotein ist direkt proportional zur Abbaubarkeit des Futtermittels (LINDBERG 1985). Der Einsatz von hoch verdaulichen Fütterungskomponenten fördert somit auch die Bildung von Mikrobenprotein. Genau diese Faktoren fließen in die neuen Proteinbewertungssysteme ein: einerseits die potentielle Abbaubarkeit des Futtermittelproteins sowie auch die mikrobielle Proteinsynthese. Diese Systeme ersetzen die Proteinbewertung nach „verdaulichem Protein“, das den tatsächlich ablaufenden Vorgängen im Pansen der Wiederkäuer nicht gerecht wird.

## **2.3 CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM**

Das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) ist eine mathematisches Modell, das den Bedarf und die Versorgung an Nährstoffen beschreibt, basierend auf tier-, umwelt- und futterbezogenen Faktoren unter verschiedenen Produktionsbedingungen (FOX et al. 1990, 2000, 2004). Der Nährstoffbedarf der Tiere berücksichtigt unterschiedliche physiologische Stadien (Laktation, Trächtigkeit und Wachstum), Körperreserven und Umwelteinflüsse (FOX et al. 1992). Das CNCPS verwendet Kohlenhydrat- und Proteinabbauraten der einzelnen Futtermittel und errechnet gemeinsam mit Passageraten das Ausmaß der Fermentation im Pansen, die mikrobielle Proteinsynthese, die Absorption im unteren Verdauungstrakt und somit die Versorgung des Wirtstieres mit umsetzbarer Energie und Protein (RUSSELL et al. 1992). Das CNCPS wird in den USA bei Fleisch- und Milchrindern angewandt, um Rationen zu bewerten bzw. neu zu formulieren. CANNAS et al. (2004) entwickelten dieses Modell für die Anwendung bei Schafen.

### **2.3.1 Futteraufnahme**

Die Futteraufnahmeschätzung hat einen wesentlichen Anteil an diesem System. Während andere Rationsberechnungsmodelle dies in den meisten Fällen mit multiplen Regressionsgleichungen bewerkstelligen, fließen im CNCPS nicht nur Merkmale des

Futtermittels sondern auch tier- und umweltbezogene Faktoren mit ein. Bei der Schätzung der Futteraufnahme wird in 4 Rindertypen unterschieden:

- Aufzuchtrinder
- Fleischrinder
- Laktierende Milchkühe
- Trockenstehende Milchkühe

Zur Schätzung der Futteraufnahme wird als Merkmal des Futtermittels der Nettoenergiegehalt des Futtermittels herangezogen. Für Futterzusatzstoffe, wie etwa Anabolika, werden eigene Korrekturfaktoren angegeben.

Unter tierbezogenen Faktoren werden Rasse, Geschlecht, Alter, Gewicht und body condition verstanden. Body condition (Körperkondition) wird durch subjektive Beurteilung des Tieres unter Einbeziehung von objektiven Faktoren bewertet. Aus den Daten dieser Beurteilung wird auf den Anteil an Körperfett geschlossen. Dadurch können Mobilisationspotentiale der Tiere im Modell berücksichtigt werden. Zu den leistungsbezogenen Faktoren zählen die Milchleistung sowie die Fettprozentage der Milch.

Als umweltbezogene Faktoren werden die Umgebungstemperatur und die Verschmutzung des Stallbodens berücksichtigt. Bei tiefen Temperaturen wird die Futteraufnahme erhöht, bei hohen Temperaturen vermindert. Der thermoneutrale Bereich liegt zwischen 15 und 25 °C. Die Korrekturfaktoren der Futteraufnahme für Verschmutzung betragen bis zu 70 %.

### **2.3.2 Energie- und Proteinbedarf**

Der Bedarf an Energie und Protein stellt die Summe von Erhaltungs- und Leistungsbedarf dar. Während der Erhaltungsbedarf an Protein relativ konstant ist und auf die Lebendmasse bezogen wird, ändert sich der Erhaltungsbedarf an Energie durch folgende Faktoren (FOX et al. 1990):

- Weidegang
- Rasse
- Leistung
- Umwelt

Weidegang erhöht den Energieerhaltungsbedarf, da für die Futteraufnahme im Gegensatz zur Stallfütterung eine Bewegung des Tieres zum Futter nötig ist. Rasse-spezifische Unterschiede im Energieerhaltungsbedarf wurden von JENKINS & FERRELL (1986) festgestellt. Auch die Leistung eines Tieres führt zu einem erhöhten Erhaltungsbedarf, da mit steigender Leistung die inneren Organe anwachsen und der Energieaufwand steigt. Umwelteinflüsse, die sich in einem erhöhten Erhaltungsbedarf niederschlagen, sind Umgebungstemperatur, Temperaturschwankungen und damit verbundene Anpassungsprozesse sowie Kälte- und Hitzestress.

Der Leistungsbedarf wird im CNCPS in verschiedene Komponenten zerlegt:

- Milchleistung
- Wachstumsleistung
- Trächtigkeit
- Körpereigene Reserven

Im Modell wird auch der NDF-Bedarf der Tiere berücksichtigt, der im Zusammenhang mit ausreichender Partikelgröße die Wiederkautätigkeit fördert und von wesentlicher Bedeutung für die reibungslose Funktion des Pansens ist.

### 2.3.3 Futtermittelverwertung

Mit diesem Submodell des CNCPS können Leistungen der Tiere aufgrund von Rationsparametern geschätzt werden. Es stützt sich vor allem auf die Untersuchungen von FOX et al. (1990). Dabei wurden die Haupteinflussfaktoren auf die Futtermittelverwertung in sieben Kategorien eingeteilt:

- Futterzusammensetzung
- Protein- und Kohlenhydratabbauraten im Pansen
- Ammoniakproduktionsrate
- Pansenbakterien
- Passagerate
- Verdaulichkeit im Dünndarm
- Umwelteinflüsse

#### Protein- und Kohlenhydratfraktionen sowie deren Fermentationsraten

Die Merkmale des Futtermittels stützen sich vor allem auf die chemische Analyse, die aufgrund der Aufteilung von Proteinen und Kohlenhydraten in einzelne Fraktionen über die WEENDER Futtermittelanalyse hinausgeht.

Es werden vier Kohlenhydrat- und fünf Proteinfractionen unterschieden, die nach der Geschwindigkeit des ruminalen Abbaus eingeteilt werden. Mit „A“ gekennzeichnete Fraktionen können vollständig und sofort im Pansen abgebaut werden. Mit „B“ gekennzeichnete Fraktionen stehen den Pansenmikroben zur Fermentation zur Verfügung. C-Fractionen stehen den Pansenmikroben und daher auch dem Wirtstier nicht zur Verfügung. Sowohl für die einzelnen Kohlenhydrat- als auch Proteinfractionen gibt das CNCPS eigene Fermentationsraten an, die sich auch nach Futtermitteln unterscheiden (siehe *Tabelle 2.3-1*).

**Tabelle 2.3-1 Fermentationsraten ( $k_f$ ) für Kohlenhydrate und Proteine**  
(nach FOX et al. 1990)

Fraktion		Maissilage	Heu
Zucker (A)	%/h	300,0	300,0
Stärke (B <sub>1</sub> )	%/h	30,0	30,0
verfügbare Strukturkohlenhydrate (B <sub>2</sub> )	%/h	4,0	5,0
rasch abbaubares, lösliches Protein (B <sub>1</sub> )	%/h	300,0	135,0
Protein mit mittlerer Abbaurate (B <sub>2</sub> )	%/h	4,0	7,0
langsam abbaubares Protein (B <sub>3</sub> )	%/h	0,2	0,1

Ausgehend von der Annahme, dass Futtermittel grundsätzlich aus Kohlenhydraten, Proteinen, Fett und Mineralstoffen bestehen, wird die Berechnung der Kohlenhydrate (CHO) wird mit folgender Formel vorgenommen:

$$\text{CHO} = 1000 - \text{XP} - \text{XL} - \text{XA}$$

Die Kohlenhydrate werden in Nicht-Strukturkohlenhydrate (NSC) und Strukturkohlenhydrate (SC) unterteilt. Letztere sind am Aufbau der pflanzlichen Zellwand beteiligt. Es handelt sich dabei um Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Zu den Nicht-Strukturkohlenhydraten zählen Zucker und Stärke. Pektin ist eigentlich ein Strukturkohlenhydrat, wird allerdings durch die neutrale Detergentienlösung gelöst und dadurch fälschlicherweise den NSC zugerechnet.

#### Kohlenhydratfraktionen

##### Nicht-Strukturkohlenhydrate (NSC)

A Zucker

B<sub>1</sub> Stärke

##### Strukturkohlenhydrate (SC)

B<sub>2</sub> verfügbare Strukturkohlenhydrate

C nicht verfügbare Strukturkohlenhydrate

**Tabelle 2.3-2 Berechnung der Kohlenhydratfraktionen**

Strukturkohlenhydrate	Nicht-Strukturkohlenhydrate
$C = \text{ADL} * 2,4$	$\text{NSC} = \text{CHO} - \text{SC}$
$B_2 = \text{NDF} - \text{NDFIP} - C$	$A = \text{NSC} * A (\%)$
$\text{SC} = B_2 + C$	$B_1 = \text{NSC} - A$

Bei der Berechnung der verfügbaren Strukturkohlenhydrate werden von den gesamten Gerüstsubstanzen die nicht verfügbaren Strukturkohlenhydrate abgezogen und um den in den Gerüstsubstanzen gebundenen Stickstoff (NDFIP) korrigiert. Die Nicht-

Strukturkohlenhydrate Zucker (A) und Stärke (B<sub>1</sub>) können nach bekannten Methoden analysiert werden oder der „feed library“ des CNCPS entnommen werden.

In der Folge werden die fünf Proteinfraktionen angeführt. Die Klassifizierung ergibt sich wie bei den Kohlenhydraten aus der Abbaugeschwindigkeit im Pansen.

#### Proteinfraktionen

- A Nicht-Protein-Stickstoff (NPN), sofort und vollständig verfügbar
- B<sub>1</sub> rasch abbaubares, lösliches Protein (Albumin, Globulin)
- B<sub>2</sub> Protein mit mittlerer Abbaurate (Glutelin)
- B<sub>3</sub> langsam abbaubares Protein (Extensin, Prolamin)
- C nicht verfügbarer, an die Zellwand gebundener Stickstoff

Ein Überblick über die Berechnung bzw. Bestimmung der Proteinfraktionen kann *Tabelle 2.3-3* entnommen werden. In der Gruppe des Nicht-Protein-Stickstoffs ist vor allem Harnstoff zu erwähnen, der in der Wiederkäuerernährung als Stickstoffquelle für die Pansenmikroben eingesetzt wird. Die Bestimmung von löslichem Protein (SolXP) wird mit einem Phosphat-Borat-Puffer vorgenommen (KRISHNAMOORTHY et al. 1982, LICITRA et al. 1996). Diese Lösung besteht aus den Fraktionen A (NPN) und B<sub>1</sub> (echtes, lösliches Protein). Echtes Protein wird mit Trichloressigsäure gefällt. Zur Bestimmung der Proteinfraktionen in den Zellwänden (NDFIP, ADFIP) werden vorerst aus der Futterprobe mit neutraler und saurer Detergentienlösung Präparate hergestellt. Der darin enthaltene Stickstoff wird mit der Kjeldahl-Methode analysiert. Der in der ADF enthaltene Stickstoff gilt als unverfügbar (C), die Fraktion B<sub>3</sub> ist die Differenz zwischen dem in der gesamten Zellwand enthaltenen Protein (NDFIP) und der Fraktion C.

**Tabelle 2.3-3 Berechnung der Proteinfraktionen**

Fraktion	Bestimmung
XP	Kjeldahl-N * 6,25
A	A = lösliches Protein - B <sub>1</sub>
B <sub>1</sub>	Fällung mit Trichloressigsäure
B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> = XP - A - B <sub>1</sub> - B <sub>3</sub> - C
B <sub>3</sub>	B <sub>3</sub> = NDFIP - ADFIP
C	C = ADFIP

#### Passageraten

Das Cornell-System gibt für die meisten Kraftfuttermittel sowie für Grundfutter eigene Passageraten an. Die Berücksichtigung der Passagerate ist eine essentielle Komponente bei der Berücksichtigung der effektiven Abbaubarkeit (GANEV et al. 1979, ØRSKOV & McDONALD 1979).

Die Berechnung der Verdaulichkeit (deg) nach dem CNCPS beruht dabei auf folgender Formel:

$$\text{deg} = k_f / (k_f + k_p)$$

Sie besagt, dass die effektive Verdaulichkeit eines Nährstoffs sowohl von der Fermentationsrate als auch von der Passagerate abhängt, wobei beide Parameter Vorgänge darstellen, die zueinander in Konkurrenz stehen (Van SOEST 1994).

Bei der Berechnung der effektiven Abbaubarkeit des gesamten Futtermittels werden vorerst die einzelnen Fraktionen mit deren effektiven Abbaubarkeiten multipliziert und aufsummiert. Diese Summe bezogen auf den Gehalt an den Nährstoffen Kohlenhydrat bzw. Protein ergibt die effektive Abbaubarkeit des gesamten Futtermittels.

Die Passageraten für Maissilage sind in *Tabelle 2.3-4* dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Passagerate mit zunehmender Reife der Pflanzen zunimmt sowie mit steigender Partikelgröße abnimmt. Zusätzlich nimmt die Passagerate auch mit erhöhtem Fütterungsniveau zu.

**Tabelle 2.3-4 Pansenpassagerate von Maissilagen**

(nach FOX et al. 1990)

Art der Maissilage		Erhaltungsbedarf		
		100 %	200 %	300 %
> 50 % Kolben, normale Häcksellänge	%/h	2,0	2,5	3,0
> 50 % Kolben, kurze Häcksellänge	%/h	4,0	5,0	6,0
30 - 50 % Kolben, normale Häcksellänge	%/h	1,5	2,0	2,5
30 - 50 % Kolben, kurze Häcksellänge	%/h	3,0	4,0	5,0
< 30 % Kolben, normale Häcksellänge	%/h	1,0	1,5	2,0
< 30 % Kolben, kurze Häcksellänge	%/h	2,0	3,0	4,0

RUSSELL (2002) stellt fest, dass für Feststoffe und Flüssigkeiten eines Futtermittels eigene Passage- und auch Fermentationsraten heranzuziehen sind. Passageraten ( $k_p$ ) stehen für den Anteil, der den Pansen verlässt, während sich Fermentationsraten ( $k_f$ ) auf den Anteil des Abbaus im Pansen beziehen. Die Passageraten liegen für Flüssigkeiten bei 0,08 - 0,20 und für Feststoffe bei 0,03 - 0,20 pro Stunde. Die Fermentationsraten betragen für Flüssigkeiten 0,20 - 0,70 bzw. für Feststoffe 0,03 - 0,15 pro Stunde. Die Fermentationsraten werden vor allem von den Eigenschaften des Futters beeinflusst, zu einem geringen Teil spielt auch die Wiederkautätigkeit und die Futtermittelverarbeitung eine Rolle. Die Passageraten werden von der Futteraufnahme, von der Partikelgröße, von der Abbaukinetik, dem statischen Auftrieb und der Futterwerbung (mähen, häckseln) verändert.

### 2.3.4 Beispielkalkulation Maissilage

In *Tabelle 2.3-5* wird als Beispiel die effektive Abbaubarkeit von Maissilage angeführt. Dabei wurden zur Festlegung der Passagerate eine Fütterung auf Erhaltungsniveau, normale Häcksellänge und ein Kolbenanteil von über 50 % zugrunde gelegt. Die Fermentationsraten der Kohlenhydrate und Proteine wurden der feed library des CNCPS entnommen (FOX et al. 2000).

**Tabelle 2.3-5 Effektive Abbaubarkeit von Maissilage**

Fraktion	Menge g/kg TM	$k_f$ (%/h)	$k_p$ (%/h)	$k_f/(k_f+k_p)*100$ %	Menge Nährstoffe g/kg TM	deg %
<b>Kohlenhydrate</b>						
A	22	300,0	2,0	99,3	21,9	
B <sub>1</sub>	358	30,0	2,0	93,8	335,6	
B <sub>2</sub>	393	4,0	2,0	66,7	262,0	
C	73	0,0	2,0	0,0	0,0	
Summe	846				619,5	73,2
<b>Proteine</b>						
A	35	-	2,0	100,0	35,0	
B <sub>1</sub>	1	300,0	2,0	99,3	1,0	
B <sub>2</sub>	23	4,0	2,0	66,7	15,3	
B <sub>3</sub>	10	0,2	2,0	9,1	0,9	
C	10	0,0	2,0	0,0	0,0	
Summe	79				52,2	66,1

Eine Einteilung der Protein- und Kohlenhydratfraktionen nach dem Schema des CNCPS bringt eine genaue Charakterisierung des Futtermittels mit sich, aufgrund derer eine synchronisierte Rationsberechnung ermöglicht wird. Das bringt den Vorteil einer Ration, die optimales Mikrowachstum zulässt und zudem den Stoffwechsel des Wirtstieres schont, indem eine ausgeglichene Energie- und Proteinbilanz im Pansen vorherrscht.

## 2.4 NYLON-BAG-METHODE

Generell gibt es zwei Verfahren, um die im Tier tatsächlich ablaufenden Verdauungsvorgänge zu simulieren. Einerseits die in-vitro-Technik, die im Labor stattfindet, und andererseits die in-situ-Methodik, die unter standardisierten Bedingungen direkt am Tier durchgeführt wird. Die über die in-situ-Technik und über die modifizierte Gasbildungsmethode ermittelten Abbaucharakteristika der organischen Masse sind durch ein Bestimmtheitsmaß von 75 bis 81 % gekennzeichnet (CONE et al. 2002). Daher können mit in-situ-Versuchen Futtermittel genauer charakterisiert werden.

Die nylon-bag-Methode, die auch als in-situ-Methode bekannt ist, wurde vor allem von E.R. ØRSKOV entwickelt. Die über die in-situ-Methode erhaltenen Werte der Proteinabbaubarkeit wurden zuerst im PDI-System von INRA angewendet (VERITE et al. 1979).

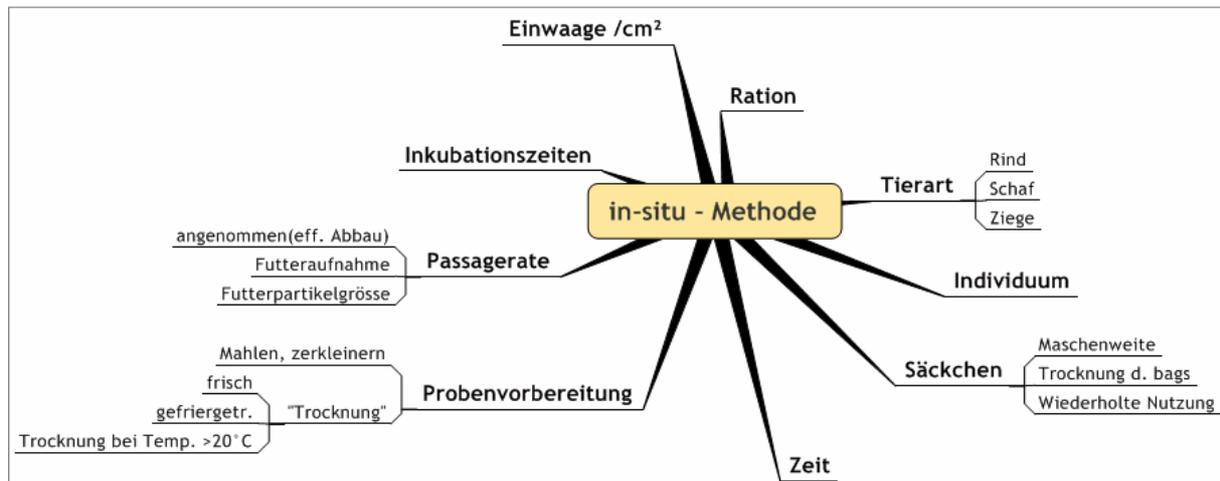
Die in-situ-Methode ist eine einfache Methode, um Abbauraten von Nährstoffen zu bestimmen. Dazu werden fistulierte Tiere, nylon-bags und ein Trockenschrank benötigt. Nylon-bags sind Beutel aus sehr feinmaschigem, stickstofffreiem Nylon. Der Vorteil dieses Verfahrens im Gegensatz zu reinen in-vitro-Werten, die unter Laborbedingungen zustande kommen, liegt auf der Hand: man arbeitet im selben Medium, in dem auch die Ergebnisse angewandt werden. Es fließen also bereits bei der Generierung der Daten jene Faktoren mit ein, die auch in der Praxis auftreten. So hat man eine unmittelbare Anwendbarkeit der Daten. Laborbedingungen bieten immer optimale Bedingungen für die Untersuchungen, doch Wechselwirkungen mit anderen Umwelteinflüssen werden außer Acht gelassen.

Mit dieser Methode sind rasche Aussagen über den Abbau der Trockenmasse möglich. Innerhalb von nur 5 Tagen können Aussagen über das Abbauverhalten des Futtermittels bis zu einer Inkubationsdauer von 72 h gemacht werden. Somit lässt sich innerhalb von nur einer Woche ein Futtermittel charakterisieren.

#### **2.4.1 Variation in der in-situ-Methode**

Die Ergebnisse der in-situ-Methode sind vielfältigen Einflüssen unterworfen, die eine Standardisierung des Verfahrens erforderlich machen. Es gibt mehrere Übersichtsarbeiten, die auf wesentliche Variationsursachen bei Anwendung der in-situ-Methode hinweisen (LINDBERG 1981a und 1981b, ØRSKOV 1982, NOCEK 1988, Van der KOELEN et al. 1992, MADSEN & HVELPLUND 1994, HUNTINGTON & GIVENS 1995, VANZANT et al. 1998, SEBEK & EVERTS 1999, SCHMIDT et al. 2002, SÜDEKUM 2005). Eine Zusammenstellung der Einflussfaktoren und Variationsmöglichkeiten ist in *Abbildung 2.4-1* dargestellt.

**Abbildung 2.4-1 Einflussfaktoren auf Abbauraten in in-situ-Versuchen**



Zu bedenken sind Differenzen, die einerseits von den Tieren her rühren, andererseits von den Säckchen ausgehen, und auch die Variation über die Zeit ist nicht zu vernachlässigen. Diese Einflussfaktoren wurden von einer holländischen Forschergruppe um Van der KOELEN (1992) bearbeitet. Die Variation zwischen den Tieren ist bei mittleren Inkubationszeiten von 24 bis 48 h am höchsten und nimmt mit der Dauer der Inkubation ab. Vor allem in dieser Zeitspanne werden die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der Stoffwechselorgane der Einzeltiere deutlich. Die weitaus bedeutsameren Einflüsse auf die Ergebnisse bewirken die Säckchen und die Zeit. Aus diesem Grund sollte unbedingt vermieden werden, Wiederholungen nach längeren Zeiten zu machen, da solche Werte mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mehr mit den Ursprungsdaten vergleichbar sind. Um den periodischen Fehler zu minimieren, sollten die Zeitstufen eines Futtermittels möglichst in rascher zeitlicher Abfolge zueinander stehen.

Bei in-situ-Experimenten wird der natürliche Fressvorgang der Wiederkäuer umgangen, bei dem durch das Wiederkauen die Partikelgröße kontinuierlich verringert wird. Bei diesen Experimenten ist eine Verminderung der Partikelgröße nur durch mikrobiellen Abbau möglich. Durch die Vermahlung der Probe kann der Kauvorgang imitiert werden.

Die Probenvorbereitung beinhaltet die eventuelle Trocknung und den Vorgang des Mahlens und Zerkleinerns der Probe, die den Prozess des Kauens bzw. Wiederkauens nachahmt und gleichzeitig die Einwaage erheblich erleichtert und somit die Genauigkeit erhöht.

Aus *Tabelle 2.4-1* geht deutlich hervor, dass eine Mahlfeinheit von 3 mm nicht automatisch bedeutet, dass die Partikel diese Größe aufweisen. Damit ist nur sichergestellt, dass die Partikel eine maximale Größe von 3 mm besitzen. Die durchschnittliche Partikelgröße variiert bei gleich bleibender Siebgröße zwischen verschiedenen

Futtermitteln erheblich. Bei Maiskörnern mit einer Mahlfeinheit von 3 mm liegt die durchschnittliche Partikelgröße um das 10-fache darunter. Mit steigender Siebgröße nehmen anfängliche Trockenmasseverluste sowie Verluste durch gelöste Trocken-substanz ab.

**Tabelle 2.4-1 Einfluss der Mahlfeinheit des Futtermittels**  
(nach HUNTINGTON & GIVENS 1995)

Futter	Siebgröße mm	Trockenmasse		
		Ø Partikel- größe µm	gelöst %	anfängliche Verluste %
Erbse	0,8	5 <sup>a</sup>	20,4	50,8 <sup>a</sup>
	3,0	28 <sup>a</sup>	22,3	44,6 <sup>b</sup>
	6,0	216 <sup>b</sup>	12,0	29,4 <sup>c</sup>
Mais	0,8	186 <sup>a</sup>	14,6	17,9 <sup>a</sup>
	3,0	304 <sup>b</sup>	8,9	11,3 <sup>a</sup>
	6,0	450 <sup>c</sup>	1,8	13,1 <sup>a</sup>
Gerste	0,8	52 <sup>b</sup>	12,8	31,2 <sup>a</sup>
	3,0	161 <sup>b</sup>	7,0	24,2 <sup>ab</sup>
	6,0	538 <sup>c</sup>	5,7	19,8 <sup>b</sup>
Sojabohne	0,8	128 <sup>a</sup>	26,1	12,4 <sup>a</sup>
	2,5	340 <sup>b</sup>	27,7	10,4 <sup>a</sup>
Luzerneheu	0,8	199 <sup>a</sup>	25,6	7,5 <sup>a</sup>
	3,0	435 <sup>b</sup>	22,3	5,4 <sup>a</sup>
	6,0	747 <sup>c</sup>	24,5	5,5 <sup>a</sup>

Die Art der Probenvorbereitung hat einen wesentlichen Einfluss auf die effektive Abbaubarkeit eines Futtermittels. Frische Maiskörner haben durchwegs eine höhere effektive Abbaubarkeit als gefriergetrocknetes Material, wobei der Unterschied mit zunehmenden Passageraten steigt. Zudem hat die Gefriertrocknung eine nachteilige Wirkung auf die rasch abbaubaren Nährstoffe. Trocknung mit hohen Temperaturen hat negative Auswirkungen (minus 30 %) auf die ruminale Abbaubarkeit, stellt jedoch der postruminalen Verdauung einen hohen Nährstoffanteil zur Verfügung (MATTHÉ et al. 1999).

Generell werden in-situ-Versuche mit Rindern oder Schafen, gelegentlich auch mit Ziegen durchgeführt. Es ist dabei zu beachten, dass auch die Tierart einen Einflussfaktor auf die Abbaubarkeit darstellt. Rinder bauen Maisschrot bei einer Passagerate bis 0,06 um 5 % schneller ab als Schafe (PARYS et al. 2000a).

Die Ration der Versuchstiere hat einen wesentlichen Einfluss auf die Abbaubarkeit der Probe. Die höchsten Abbaubarkeiten werden jedoch nicht immer nur dann erzielt, wenn die Ration ebenfalls aus dem zu testenden Futtermittel besteht, wie bei PARYS et al. (2000a) gezeigt wurde. In deren Versuchen zeigte Maisschrot bei einer Maissilage-Ration eine Abbaubarkeit von 60 % nach 48 Stunden, bei Heufütterung stieg dieser Wert auf über 94 %.

Nach ØRSKOV (1984) kommen bei der nylon-bag-Methode bags mit Maschenweiten zwischen 20 und 40 µm zur Anwendung. Die Maschenweite stellt jedoch immer einen Kompromiss dar. Einerseits müssen die Pansenmikroben Zutritt zur Probe haben, andererseits muss die Gasansammlung vermieden werden, die zu einem Aufschwimmen der Säckchen führen würde. Dies hätte zur Folge, dass der Abbau durch die Pansenbakterien verringert würde, da sich diese in der flüssigen Phase des Pansens befinden. Drittens muss bedacht werden, dass die Maschenweite direkt proportional zu den Partikelverlusten sind. Größere Maschenweiten haben höhere Partikelverluste zur Folge, da zunächst nur Feinstteile in den Pansenraum verloren gehen, bei zunehmender Maschenweite können auch zunehmend größere Partikel aus den bags verloren gehen. Diese Verluste verfälschen den Wert der potentiellen Abbaubarkeit, indem diese überschätzt wird, und führen vor allem in den Anfangszeitstufen zwischen 5 und 24 Stunden zu Verzerrungen. So ist etwa bei einer Maschenweite von 36 µm im Vergleich zu 10 oder 20 µm der höchste Trockenmasseabbau festzustellen (LINDBERG & VARVIKKO 1982).

Vor der Einwaage müssen die bags getrocknet werden, wobei Trocknungstemperaturen bis 100°C für 48 h problemlos möglich sind. Die wiederholte Verwendung der Beutel führt jedoch zu erhöhten Auswaschverlusten bis zu 8 Prozentpunkten (KASWARI & LEBZIEN 2001).

## 2.4.2 Abbaukinetik von Futtermitteln

Das Verhalten eines Futtermittels im Pansen kann mit der Formel von ØRSKOV & McDONALD (1979) beschrieben werden. Der Abbau der Nährstoffe (deg) folgt einer Exponentialkurve mit der Formel:

$$\text{deg} = a + b (1 - \exp (-ct))$$

Die Variable a stellt die sofort löslichen Anteile des Futtermittels dar, sowie die Partikelverluste. Die Werte, die diese Variable annehmen kann, liegen zwischen 10 % bei Heu und etwa 50 % bei Rüben. Der hohe Anteil an löslichen Substanzen in Rüben geht vor allem auf den Gehalt an Zucker zurück. Die Variable a liegt für Silomais zwischen 21 und 32 %, nimmt jedoch mit zunehmender Reife ab (AKBAR et al. 2002).

Die Variable  $b$  beschreibt den unlöslichen Anteil des Futters, der von den Pansenmikroben potentiell abgebaut werden kann. Er wird auch als fermentierbare organische Masse (FOM) bezeichnet. Die tatsächliche (sog. effektive) Abbaubarkeit hängt von der Verweildauer im Pansen ab, die durch die Passagerate gegeben ist. Die Passagerate wird vor allem von der Größe der Futterpartikel und dem Futteraufnahmeniveau beeinflusst. Kleine Partikel besitzen eine höhere Passagerate, da sie leicht aus dem Pansen gespült werden können und somit dem weiteren Abbau durch die Pansenmikroben entgehen.

Für Silomais wird der Parameter  $b$  mit 47 bis 54 % angegeben, wobei ein positiver Zusammenhang mit dem Erntezeitpunkt gilt (AKBAR et al. 2002). Der Anteil an fermentierbarer organischer Masse wurde in Belgien mit  $505 \text{ g} \pm 65 \text{ g/kg}$  Trockenmasse angegeben, das entspricht einem  $b$ -Wert zwischen 44 und 56 % (De BOEVER et al. 2002).

Die Variable  $c$  beschreibt die konstante Abbaurate der Fraktion  $b$  im Pansen. Sie kann Werte zwischen 3 und 30 % annehmen. Hohe Abbauraten werden etwa in Kraftfuttermitteln erreicht. Bei getrockneter Maisschlempe oder Maizeglutenfeed liegt dieser Wert im Bereich von 5 %. Vor allem aufgrund der Trocknung wird die Abbaurate vermindert. Dieser Umstand wurde auch von ETTLE et al. (2001) nachgewiesen, der mit zunehmendem Trockenmassegehalt bei Maiskörnern einen verlangsamten Abbau feststellte.

Die Summe von  $a + b$  beschreibt die potentielle Abbaubarkeit eines Futtermittels. Es ist jener Wert, der aussagt, welcher Anteil des Futtermittels abbaubar ist. Er setzt sich aus dem sofort löslichen Anteil  $a$  sowie dem Anteil  $b$  zusammen. Diese potentielle Abbaubarkeit eines Futtermittels kann nur bei ausreichender Verweildauer im Pansen verwirklicht werden. Silomais hat eine potentielle Abbaubarkeit von 75 (frühe Ernte) bis 82 % (späte Ernte) (AKBAR et al. 2002). Folgende Formel beschreibt die effektive Abbaubarkeit DEG, die entscheidend von der Passagerate  $k$  („fractional rate of passage“) beeinflusst wird (ØRSKOV & McDONALD 1979):

$$\text{DEG} = a + (b * c) / (c + k)$$

Die Passagerate  $k$  hängt von vier Faktoren ab:

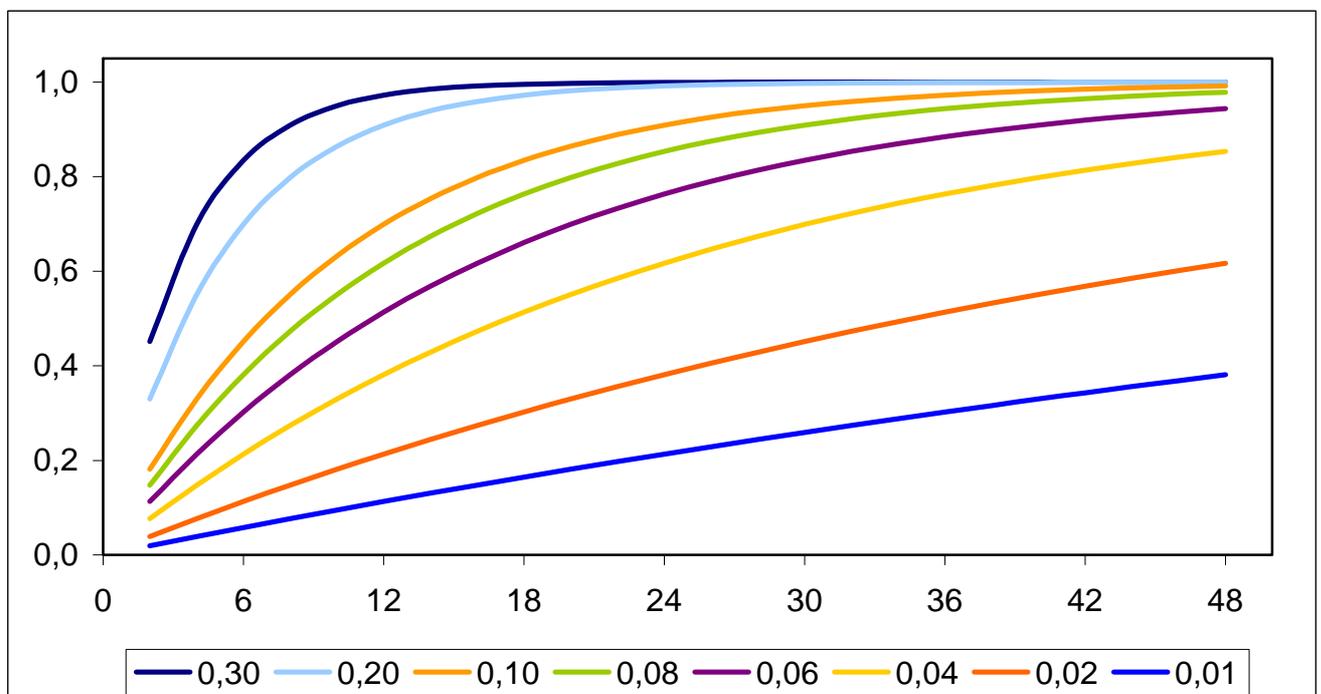
- Futteraufnahmeniveau
- Partikelgröße
- Kraftfutteranteil der Ration
- Fütterungsfrequenz

Generell ist zu sagen, dass mit erhöhter Futteraufnahme die Verweildauer im Pansen abnimmt. Auch mit steigendem Kraftfutteranteil in der Ration geht die Retentionszeit des Futters im Pansen zurück. Weiters vermindert auch eine hohe Fütterungsfrequenz die Verweildauer im Pansen (LINDBERG 1985).

Die Passagerate des Futters liegt je nach Fütterungsbedingungen zwischen 2 und 8 %. Die effektive Abbaubarkeit ist immer geringer als die potentielle, da durch die Passage des Futters die für den vollständigen Abbau erforderliche Verweilzeit im Pansen nicht erreicht wird.

In *Abbildung 2.4-2* kann der theoretische Abbau der Trockenmasse bei Variation der Abbaurrate (c) verfolgt werden. Die x-Achse stellt den zeitlichen Verlauf in Stunden dar, die y-Achse gibt den prozentuellen Abbau an. Es kommt klar zum Ausdruck, dass bei einer konstanten Abbaurrate von 30 % bereits nach 18 Stunden das Potenzial des Futtermittels zur Gänze ausgenutzt wurde, wohingegen sich bei einer Abbaurrate von 4 % zum selben Zeitpunkt noch 50 % des Futtermittels unabgebaut im Pansen befinden.

**Abbildung 2.4-2 Verlauf des Abbaus der Trockenmasse bei unterschiedlichen Abbauraten**



Die Degradability ist jener Anteil des Futtermittels zu einem bestimmten Zeitpunkt, der abgebaut ist.

$$\text{Degradability} = ((\text{Einwaage} - \text{Auswaage})/\text{Einwaage}) * 100$$

Zu beachten ist auch eine lag-Phase, die zum Beginn der Inkubation auftritt. Diese Phase verzögert den ruminalen Abbau und wird in Stunden angegeben. Sie wird nach der Formel von ØRSKOV & RYLE (1990) wie folgt berechnet:

$$\text{lag} = 1/c \log e (b/(a + b - \text{Waschverlust}))$$

Die lag-Phase von Silomais wird nicht vom Erntezeitpunkt beeinflusst und beträgt zwischen 2 und 5 Stunden (AKBAR et al. 2002). MADSEN et al. (1994) berechneten eine lag-Phase für Maissilagen von 13,95 Stunden.

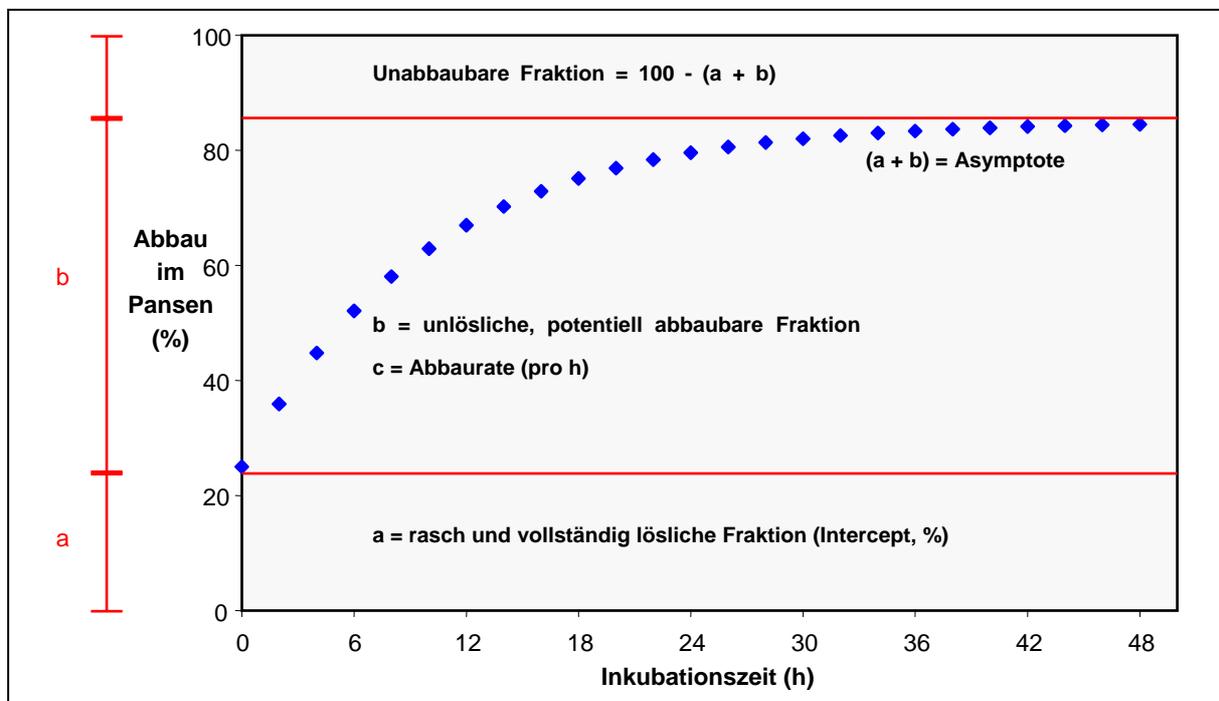
Der Futterwert eines Futtermittels wird nach der Formel von ØRSKOV et al. (1988) und SHEM et al. (1995) berechnet:

$$\text{Futterwert} = a * x_1/x_1 + b * x_2/x_1 + c * x_3/x_1$$

Ab einem Futterwert von 30 können die Tiere ihren Erhaltungsbedarf decken. Nach dieser Formel liegt der Futterwert von Stroh bei 34, jener von Silomais für frühe bzw. späte Ernte bei 58 bzw. 49 (AKBAR et al. 2002).

Der Zusammenhang der Parameter a, b und c wird in *Abbildung 2.4-3* dargestellt. Um reale Werte für die potentiell abbaubare Fraktion (b) zu erhalten, muss man die Nullprobe (a) mit der Filterprobe (a) korrigieren um die Partikelverluste quantifizieren zu können. Die Partikelverluste werden nach der Korrektur zur Fraktion b dazugezählt, die sich somit erhöht. Obwohl die potentielle Abbaubarkeit eines Futtermittels von einer Partikelverlustkorrektur unbeeinflusst ist, ist diese Vorgehensweise zur genauen Abschätzung der Parameter a und b unerlässlich.

**Abbildung 2.4-3** Abbaukurve eines Futtermittels (nach HUNTINGTON und GIVENS 1995)



Aus *Tabelle 2.4-2* ist ersichtlich, welche unterschiedlichen Werte bei der Charakterisierung von Silomaisprodukten zu beachten sind.

**Tabelle 2.4-2 Abbauparameter aus der Literatur**

<b>Futterart</b>	<b>a</b> %	<b>b</b> %	<b>c</b> % je h	<b>Quelle</b>
Maissilage	1,1	64,6	3,2	MADSEN et al. 1994
Maiskorn	22,6	74,5	7,0	GRUBER et al. 2005
CCM-Silage	64,5	32,5	13,1	
Maiskornsilage	26,6	69,4	8,4	

### **2.4.3 Standardisierung**

Ein großes Problem bei der internationalen Anwendung der in-situ-Daten stellt die unterschiedliche Durchführung dieser Technik in den verschiedenen Ländern und Instituten dar. Obwohl es sich um keine neue Methode handelt, gibt es derzeit noch keine Standardmethode, um Futtermittel zu bewerten. Die unterschiedlichen Methoden der Forschungsgruppen sind in *Tabelle 2.4-3* zusammengefasst. Trotz sehr unterschiedlicher Methoden der Forschergruppen werden überall Polyesterbags eingesetzt.

**Tabelle 2.4-3 Vergleich von Methoden zur Messung der ruminalen Abbaubarkeit**

(nach VANZANT et al. 1998)

Arbeitsschritt	ØRSKOV (1982)	LINDBERG (1985)	NOCEK (1988)	AFRC (1992)	MICHALET- DOREAU & OULD-BAH (1992)	MADSEN & HVELP- LUND (1994)	ETTLE et al. (2002)	WILKERSON et al. (1995)
<b>Ration</b>								
Heu : Kraftfutter Fütterungsniveau	wie Probe k. A.	50: 50 Erhaltung	wie Probe ad libitum	60 : 40 Erhaltung	wie Probe k. A.	33 : 67 Erhaltung	33 : 67 Erhaltung	Alle Futtermittel k. A.
<b>Säckchen</b>								
Porengröße           µm	20-40	35-40	40-60	40-50	40-60	30-50	30-50	53
Menge : Oberfläche   mg/cm <sup>2</sup>	12-20	10-15	10-20	12	15	10-15	10-15	12,5
<b>Probenvermahlungsgrad</b>								
Konzentrate           mm	2,5-3	1,5	2	2,5	1,5-3	1,5-2,5	1,5-2,5	2
Raufutter             mm	2,5-5	1,5	5	4	1,5-3	1,5-2,5	1,5-2,5	2
<b>Wiederholungen</b>								
Anzahl der Tiere	2-4	3-4	2	3	k. A.	3	2	1-4
Anzahl der Tage	1-2	k. A.	k. A.	1	k. A.	1	k. A.	1-4
Anzahl der Säckchen	1-4	k. A.	2	1	k. A.	2	4	1-8
Vorbehandlung	k. A.	k. A.	Voreinweichen	nein	nein	k. A.	k. A.	Voreinweichen
<b>Inkubationsmerkmale</b>								
Tiere	Rind oder Schaf	Rind	Alle	k. A.	k. A.	Rind, Schaf, Ziege	Rind, Schaf, Ziege	Rind
Lage im Pansen	Kontakt mit Flüssigkeit und Feststoffen	Ventraler Pansensack, frei beweglich	k. A.	frei in flüssiger Phase	k. A.	k. A.	k. A.	Ventraler Pansensack, frei beweglich
Einhänge- /Entnahmeregeln	gleichzeitiges Einhängen	k. A.	gleichzeitige Entnahme	Jeder Versuch einzeln	gleichzeitiges Einhängen	gleichzeitiges Einhängen	gleichzeitiges Einhängen	gleichzeitige Entnahme
Zeiten	2, 6, 12, 24, 36 h	2, 4, 8, 16, 24, 48 bei Raufutter	6-12 Zeiten bis 24 h, > 24 h andere	KF: 0, 2, 6, 8, 24, 48 RF: 0, 8, 12, 24, 48, 72	Entsprechend der Kurve	0, 2, 4, 8, 16, 24, 48	0, 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72, 96	16 h für Test, Zeit nach Rate
Waschen	Hand	Hand	Hand	Maschine	k. A.	Maschine	Maschine	Hand
Mikrobielle Korrektur	Korrektur	k. A.	Korrektur	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Standardfutter	k. A.	k. A.	ja	k. A.	Ja	Ja	Ja	k. A.

Ein Vorschlag für eine standardisierte in-situ-Methode kommt aus dem Jahre 1985 von der sogenannten NKJ-Gruppe, welche die nordic standard procedure folgendermaßen beschrieb (LINDBERG 1985):

- Maschenweite der bags von 35 bis 40  $\mu\text{m}$
- Einwaage von 10 bis 15 mg Trockenmasse je  $\text{cm}^2$
- Vermahlung von 1,5 mm
- Versuchsorganismus Kuh bzw. Rind
- Inkubationszeiten für alle Futtermittel von 2, 4, 8, 16, 24, 48 Stunden
- Angenommene Passagerate (k-Wert) von 0,05

## 2.5 VERDAULICHKEIT VON SILOMAIS

Silomais stellt eine wichtige Komponente in der Ration von Hochleistungsrindern dar. Aufgrund des hohen Energiegehalts von Silomais ist er eine wichtige Energiequelle, die auch eine Strukturkomponente in die Ration einbringt. Ein weiterer positiver Aspekt ist der im Vergleich zu anderen Getreidearten geringe ruminale Stärkeabbau von 55 %. Dadurch wird einer Pansenazidose vorgebeugt, indem ein rasches Absinken des pH-Wertes verhindert und der Stärkeabbau in den Dünndarm verlegt wird. Dem Wirtstier stehen Glucosemoleküle direkt zur Verfügung, gleichbedeutend mit verminderter Gluconeogenese in der Leber. Dies bedeutet eine Entlastung des Stoffwechsels. Im Vergleich zu Grünmais ist der Stärkeabbau im Pansen bei Silagen höher. Es ist eine Folge des Siliervorgangs, bei dem die Proteinmatrix des Endosperms teilweise aufgelöst wird. Dadurch wird der Vorteil der Verlagerung des Stärkeabbaus in den Dünndarm zum Teil wieder aufgehoben (ENGELHARD 2005).

Der Einfluss der Sorte auf die Verdaulichkeit von Silomais ist in der Literatur unterschiedlich dargestellt. Bei ETTLE et al. (2002) wurden zwar Unterschiede im Abbauverhalten von Maissilagen unterschiedlicher genetischer Herkunft belegt, ihre Auswirkung auf wesentliche Leistungskriterien von Milchkühen war jedoch nur marginal. Es wurden Unterschiede festgestellt in der Verdaulichkeit der Trockenmasse, der organischen Substanz, der Rohfaser und des Fettes. Aufgrund des einheitlichen Reifestadiums zeigten sich diese Unterschiede in den Leistungskriterien der Milchkühe nicht. Der Einfluss des Reifestadiums überwiegt offensichtlich jenem der genetischen Herkunft.

Die Abbauwerte der Stärke unterschiedlicher Sorten liegen zwischen 99 % und 88 %. Pansenphysiologisch konnten für unterschiedliche Maishybriden keine signifikanten Unterschiede angegeben werden (HÖNER et al. 2002a).

Der Einfluss des Reifestadiums bei zunehmender Reife lässt sich folgendermaßen beschreiben (DLG 1997):

- Zunahme der Trockenmasse
- Zunahme der Energiekonzentration

Fortschreitende physiologische Reife bedeutet auch, dass die Pflanzen älter werden. Damit geht eine Veränderung in den Pflanzenzellen einher. Während junge Pflanzen nur eine äußere Schicht, die primäre Zellwand besitzen, bilden ältere Zellen eine innere Schicht, die sekundäre Zellwand, aus. Mit zunehmender Reife wird Lignin in die Zellwand eingebaut. Diese unverdauliche Substanz verhindert in zunehmendem Maße die Verfügbarkeit von Zellulose und Hemizellulose für den Wiederkäuer (SCHROEDER 2004). Somit nimmt die Verdaulichkeit von physiologisch reiferen Pflanzen ab.

## 2.6 AUFBAU DES PANSENINHALTS

Im Pansen herrscht eine Schichtung vor. Unten befindet sich die flüssige Phase. In dieser leben die anaeroben Pansenmikroben. Sie setzen sich aus Zellulolyten und Amylolyten zusammen und gehören zu den zoologischen Gruppen der Protozoen und Bakterien. Zellulolyten ist der Sammelbegriff für alle zelluloseabbauenden Bakterien, wohingegen Amylolyten Stärke zu Propionsäure abbauen. Dieser C-3-Körper wird in weiterer Folge zum Aufbau von Blutzucker benötigt: dabei wird aus zwei C-3-Molekülen ein Glucosemolekül aufgebaut. Propionsäure ist somit ein wesentlicher Bestandteil der Energieversorgung des Tieres. Das Abbauprodukt der Zellulolyten ist die Essigsäure, ein C-2-Körper. Dieser stellt eine Ausgangssubstanz für die Fettsynthese und dem damit einhergehenden Aufbau von C-16-, C-18- und C-20-Körpern dar.

Das pH-Optimum der beiden Pansenmikrobengruppen unterscheidet sich wesentlich. Während das Optimum der Zellulolyten bei 6,8 bis 6,4 liegt, sind Amylolyten in der Lage, auch bei einem pH-Wert von 6,0 zu leben. Dieser Umstand hat folgenden Hintergrund: einerseits ist die von den Amylolyten gebildete Propionsäure eine stärkere Säure als die Essigsäure und außerdem wird vom Wirtstier beim Verzehr von stärke-reichen Rationen mit hohen Kraftfutteranteilen weniger Speichel gebildet, der im Pansen als Puffer auftritt.

Das Verhältnis zwischen Zellulolyten und Amylolyten wird vor allem von der Ration bestimmt. Ist dem Tier eine zellulose- bzw. rohfaserreiche Ration verabreicht worden, so nimmt der Anteil an zelluloseabbauenden Bakterien zu. Wird jedoch eine Ration mit hohen Kraftfuttergaben verabreicht, so nimmt der Anteil an stärkeabbauenden Amylolyten stark zu. GANEV et al. (1979) zeigten, dass Eiweißpräparate pflanzlicher Herkunft langsamer abgebaut werden, wenn die Tiere hohe Kraftfuttergaben im Gegensatz zu hohen Raufuttergaben erhalten haben. Auch LINDBERG (1981b) stellte fest, dass

der Anteil an Kraftfutter in der Grundration einen Einfluss auf die Abbaubarkeit im Pansen hat. So wird etwa Heu schlechter abgebaut, wenn der Anteil an Kraftfutter hoch (etwa 2/3 der Ration) ist. Dabei können Unterschiede bis 10 Prozentpunkte auftreten. In diesem Fall ist der pH-Wert für die Zellulolyten zum optimalen Abbau von zellulosereichem Grundfutter bereits zu niedrig. Umgekehrt konnte bei Fischmehl festgestellt werden, dass mit zunehmenden Kraftfuttermitteln die Abbaubarkeit zunahm. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Versuchstiere bereits vor Versuchsbeginn auf die zu testenden Futtermittel einzustellen. Die Abbaubarkeit eines Futtermittels sollte im Pansen eines Tieres bestimmt werden, das eine Ration bekommt, in der dieses Futtermittel auch enthalten ist (ØRSKOV 1984).

Die zweite Schicht im Pansen setzt sich aus gröberen Futterpartikeln zusammen. Sie schwimmt auf der flüssigen Phase und wird daher auch als Schwimmschicht bezeichnet. Es handelt sich dabei um grobes, nur schlecht zerkleinertes, noch unverdautes Material, dem nur die sofort löslichen Anteile entzogen wurden. Um den Bakterien auch diese Futterquelle zur Verfügung zu stellen, führt der Wiederkäuer Pansenkontraktionen durch, wodurch die Futterpartikel aus der Schwimmschicht mit dem Pansensaft durchtränkt werden. Im Pansensaft sind verschiedene organische Säuren enthalten, deren Zusammensetzung von der mengenmäßigen Verteilung der Zellulolyten und der Amylolyten abhängt. Generell sind im Pansensaft folgende organische Säuren enthalten:

1. Essigsäure
2. Propionsäure
3. Buttersäure
4. Milchsäure

Im Pansen wird die Proteinverdauung durch Hydrolyse bewerkstelligt. Dabei werden Proteine in ihre Bestandteile, nämlich Peptide und Aminosäuren, zerlegt. Diese Endprodukte werden direkt von den Mikroben aufgenommen und zu Ammoniak und einem Kohlenstoffrest abgebaut, um in weiterer Folge daraus eigene Aminosäuren aufzubauen.

Die Fettverdauung im Pansen besteht in der Spaltung von Glycerin und den Fettsäuren, die hydriert werden. Beim Abbau der Kohlenhydrate im Pansen werden flüchtige Fettsäuren sowie Methan und Kohlendioxid gebildet.

## 3 MATERIAL UND METHODEN

### 3.1 FUTTERPROBEN

Das Probenmaterial besteht aus 54 Einzelproben, die sich durch die Kombination folgender Faktoren unterscheiden:

- Vegetationsstadium
- Konservierung
- Sorte
- Standort

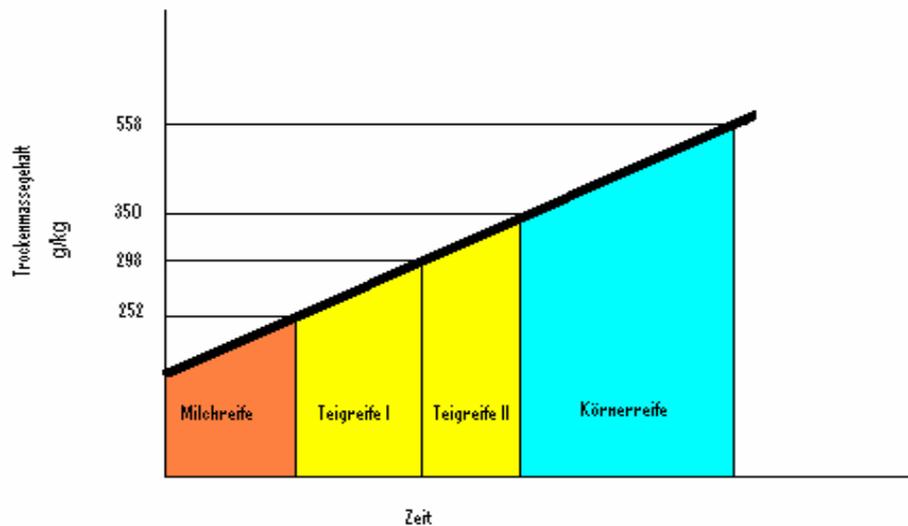
Diese vier Faktoren wurden als Haupteinflusskomponenten auf die Gehalte an Kohlenhydraten und Protein von Maispflanzen bestimmt.

#### 3.1.1 Vegetationsstadium

Das Vegetationsstadium steht in direktem Zusammenhang mit dem Schnitt- bzw. Erntezeitpunkt der Pflanzen und ist durch die physiologische Reife bedingt. Für die vorliegende Untersuchung wurden drei Schnittzeitpunkte festgelegt, die den Reifestadien Ende Milchreife, Mitte Teigreife und Ende Teigreife entsprechen. Der Einfluss des Vegetationsstadiums zeigt sich auch im Verhältnis von Kolbenanteil zu Restpflanze. Anfangs ist der Anteil der Stängel und Blätter noch beträchtlich, doch mit fortschreitender Reife nimmt der Kolbenanteil durch Stärkeeinlagerung zu.

Silomais kann hinsichtlich des Trockenmassegehalts den verschiedenen Reifestadien zugeordnet werden. Eine Übersicht bietet *Abbildung 3.1-1*.

**Abbildung 3.1-1 Einteilung von Silomais in Reifestadien**  
(nach FACHBERGER 1996)



### 3.1.2 Konservierung

Die Proben lagen jeweils in zwei Konservierungsformen vor. Einerseits als Grünmais und andererseits als Silage. Die Konservierung hat zwar keinen Einfluss auf die Inhaltsstoffe nach der WEENDER Futtermittelanalyse, sehr wohl aber auf die Anteile der Kohlenhydrat- und Proteinfractionen nach dem Cornellsystem (GRAGGABER 2004). Sowohl das Grünfutter als auch die Silagen wurden gefriergetrocknet.

### 3.1.3 Sorte

Drei Sorten mit unterschiedlichen Reifezahlen wurden ausgewählt:

- Fuxxol (frühreifen Sorte, FAO Reifezahl 240)
- Romario (FAO Reifezahl 270)
- Atalante (FAO Reifezahl 290)

Alle drei Sorten gehören zu den Hartmaistypen.

Die Sorte Fuxxol (siehe *Abbildung 3.1-2*) aus Frankreich bringt im Vergleich zu den anderen Sorten einen höheren Kornertrag (BFL 2005). Das Tausendkorngewicht liegt bei 300 bis 320. Durchschnittlich haben die Kolben 14 Kornreihen mit jeweils 26 bis 32 Körnern pro Reihe. Laut Beschreibung der Firma RAGT-Saaten ist mit energiereichen Silagen mit hohem Stärkeanteil zu rechnen. Empfohlen werden gute Böden, um das

Ertragspotential optimal auszunützen. Die Ernte wird bei einem TM-Gehalt von 30,8 % empfohlen (RAGT-SAATEN 2005). Zu beachten ist die höhere Verpilzung der Kolben bei Fuxxol (KASTENHUBER 2003).

### **Abbildung 3.1-2 Sorte Fuxxol im Versuchsfeld in Gumpenstein**



Romario brachte im Vergleich zu Atalante größere Körner hervor, wie die Ergebnisse einer Siebung mit > 8 mm ergaben: Romario 59,1 %, Atalante 42,1 %. Der TM-Gehalt lag bei Romario bei 28,7 %, bei Atalante bei 28,4 %. Daraus kann man erkennen, dass der TM-Gehalt mit zunehmender Reifezahl tendenziell abnimmt. Die Wuchshöhen lagen bei 211 bzw. 245 cm für Atalante bzw. Romario. Beide Sorten sind kaum anfällig für Maisbeulenbrand (Befall bei 5 bis 8 %) (LFS PYHRA 2002). Fuxxol ist jedoch noch resistenter (BFL 2005).

Die Sorten nach ihrer Ertragsfähigkeit zu reihen ist kaum möglich, da sie in unterschiedlichen Versuchsreihen keine konstanten Ergebnisse lieferten. Die Sorte Fuxxol sticht immer wieder durch hohe Energieerträge hervor, was mit einem hohen Kolbenanteil einhergeht (KASTENHUBER 2003, BFL 2005).

Die Sorte Atalante hat im Vergleich zu den anderen Sorten einen höheren Kolbenanteil (BFL 2005). Aufgrund des hohen Kolbenanteils und der hohen Krankheitsresistenz wird Atalante auch als Standard in Körnermaisversuchen verwendet.

#### **3.1.4 Standort**

Als Standorte für die Versuche wurden drei Lagen ausgewählt, die ein breites Futterspektrum hervorbringen. Es handelt sich dabei jeweils um Standorte von Versuchsanstalten bzw. landwirtschaftlichen Schulen. Es sind bei der Standortauswahl vor allem klimatische und bodenkundliche Aspekte zur Anwendung gekommen. Es

wurden die Standorte Lambach (Oberösterreich, Bezirk Wels), sowie Kobenz (Steiermark, Bezirk Knittelfeld) und Gumpenstein (Steiermark, Bezirk Liezen) ausgewählt. Lambach wurde stellvertretend für Standorte im Alpenvorland ausgewählt, beim Standort Kobenz handelt es sich um einen trockenen Standort in der Steiermark und Gumpenstein ist wohl der extremste Standort, da er nicht im typischen Maisanbaugebiet liegt. Aus *Tabelle 3.1-1* können die aktuellen Standortdaten entnommen werden, die Standorte sind in *Abbildung 3.1-3* dargestellt.

**Tabelle 3.1-1 Standortmerkmale**

Standort	Seehöhe m	Ø Temperatur °C	Ø Niederschlag l/m <sup>2</sup>
Gumpenstein	710	7,6	1009
Kobenz	627	6,9	822
Lambach	360	8,3	978

**Abbildung 3.1-3 Versuchsstandorte**



Gumpenstein

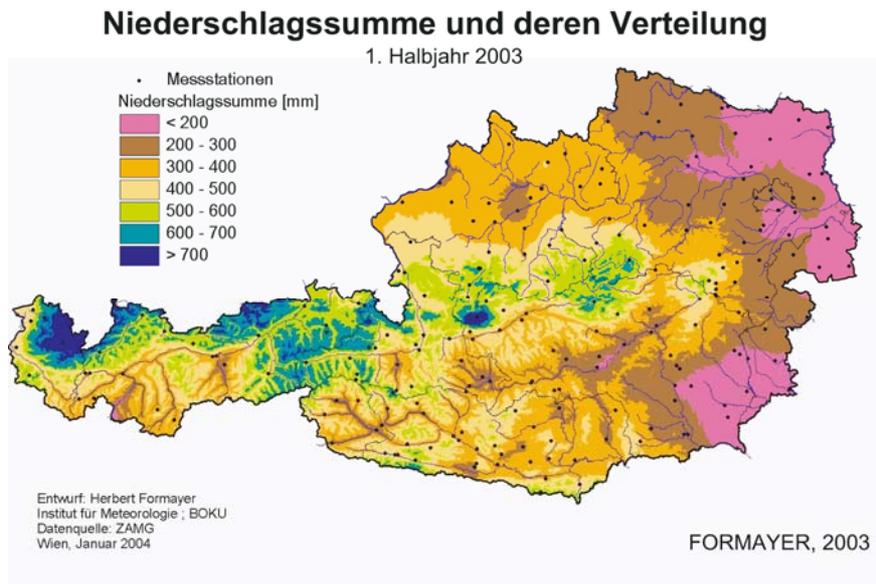
Kobenz

Lambach

### 3.1.5 Erntejahr

Das Erntejahr für alle Proben war das Jahr 2003, die WEENDER Analysen wurden in den Jahren 2003 bis 2005 gemacht und die in-situ-Abbauraten der Trockenmasse wurden im Jahr 2005 bestimmt. Das Jahr 2003 wies einige klimatische Besonderheiten auf. Laut Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien (ZAMG 2005) gab es in diesem Jahr den heißesten Sommer seit Beginn meteorologischer Messungen. Der Rekordsommer aus dem Jahre 1811 wurde noch um 0,5 Grad Celsius übertroffen. Das bedeutet, dass vor allem an den Extremstandorten die Pflanzen besser als in den übrigen Jahren gewachsen sind. Jedoch ist zu vermerken, dass die Niederschlagsmengen unter dem langjährigen Durchschnitt lagen, so dass es zu Ertragsausfällen für die Landwirtschaft kam. Im Osten Österreichs wurden im Ackerbau Ertragseinbußen bis 50 % festgestellt. Bei spät räumenden Kulturen, wie Silomais, waren die Erträge nicht in diesem Umfang betroffen (GRÜNER BERICHT 2004).

**Abbildung 3.1-4 Verteilung des Niederschlags in Österreich (2003)**



Aufgrund der Hitze und der Wasserknappheit vor allem in den wichtigen Silomaisanbaubereichen im Süden und Osten Österreichs, wie es aus *Abbildung 3.1-4* hervorgeht, kam es zu deutlichen Ernteeinbußen. So wurde etwa im Vergleich zum Jahr 2002 bei Körnermais um 12,6 % weniger produziert.

Von den extremen Witterungsbedingungen waren nicht nur die Trockenmasseerträge von Silomais betroffen, auch die Energieerträge, die wesentlich vom Stärkegehalt bestimmt werden, wurden negativ beeinflusst. Gegenüber dem Jahr 2002 war der durchschnittliche Energiegehalt von Maissilagen in Deutschland um 0,4 MJ NEL je kg TM geringer (*Tabelle 3.1-2*).

**Tabelle 3.1-2 Energiekonzentration in Maissilagen unterschiedlicher Jahre**  
(ENGELHARD 2005)

Gehaltswerte		2002	2003
Trockenmasse	g/kg FM	378	361
Energie (Ø)	MJ NEL/kg TM	6,65	6,25
25 % beste Proben	MJ NEL/kg TM	6,90	6,60

### 3.2 PROBENVORBEREITUNG

Die 54 Proben wurden mit einer Mühle der Firma KURTZ (Type LS 253) auf 2 mm vermahlen. Nach ØRSKOV (1984) wäre diese Vermahlung etwas zu fein, denn er schlägt eine Vermahlung von 2,5 bis 3,0 mm für getrocknete Proben vor, sowie bei Silagen und feuchten Futtermitteln die Anwendung eines Häckslers mit einer Schnittlänge von 5,0 mm. In diesem Fall handelte es sich zwar um Grünfutter und Silagen, da sie jedoch

zuvor gefriergetrocknet wurden, ist der Vermahlungsgrad noch akzeptabel. Die Empfehlungen für Silagen und feuchte Futtermittel nach ØRSKOV (1984) sind mit großer Wahrscheinlichkeit bedeutend von arbeitstechnischen Gründen beeinflusst worden. In Schweden stellte man bei Versuchen mit Silagen außerdem keine nennenswerten Unterschiede durch verschiedene Vermahlungsgrade (1,0 und 4,5 mm) beim Abbau der Trockenmasse fest (LINDBERG 1981a). Dass eine Vermahlung unbedingt erforderlich ist, geht aus *Abbildung 3.2-1* hervor.

### **Abbildung 3.2-1 Probenmaterial**



vor der Vermahlung



nach der Vermahlung

## **3.3 METHODEN**

### **3.3.1 Chemische Analysen**

Die Analyse der Futtermittel wurde nach den Vorschriften der WEENDER Futtermittelanalyse (VDLUFA 1976, ALVA 1983), der Detergentienanalyse und nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (KRISHNAMOORTHY et al. 1982, Van SOEST et al. 1991, SNIFFEN et al. 1992, LICITRA et al. 1996) durchgeführt. Die Analysen erfolgten im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

Im Folgenden werden alle Analysenparameter aufgelistet:

WEENDER Analyse: TM, XP (Kjeldahl), XL (Soxhlet), XF und XA

Van-SOEST-Gerüstsubstanzen: NDF, ADF, ADL

CNCPS-Fraktionen: Sol-XP, N, NDF-N, ADF-N, Zucker, Stärke

### **3.3.2 Statistische Auswertung**

Die Ergebnisse wurden mit einer mehrfachen Varianzanalyse unter Verwendung des Statistikpakets STATGRAPHICS Plus 5 (2000) ausgewertet. Die multiplen Mittelwertvergleiche erfolgten nach dem Test von TUKEY (1960).

Der Verlauf des Abbaus eines Futtermittels folgt einer Exponentialkurve. Diese Abbaukinetik nach dem Modell von ØRSKOV & McDONALD (1979) wurde über die Procedure „non-linear regression“ ebenfalls mit Hilfe von STATGRAPHICS dargestellt.

$$\text{deg} = a + b (1 - \exp (-ct))$$

Die Formel hat drei Koeffizienten (a, b, c) und beschreibt den Abbau, der während der Zeit t stattfindet. Die verwendeten Parameter sind in *Tabelle 3.3-1* erläutert.

**Tabelle 3.3-1** Legende zu den Variablen der Formel von ØRSKOV & McDONALD (1979)

Variable	Beschreibung
deg	Abbau zum Zeitpunkt t
a	sofort lösliche Fraktion
b	potentiell abbaubar
c	Abbaurrate je Stunde

### 3.3.3 in-situ-Methode

Diese Methode ist eine komplexe Reihenfolge von Arbeitsschritten, die in *Abbildung 3.3-1* zusammengefasst sind. In weiterer Folge werden die einzelnen Schritte näher erläutert.

**Abbildung 3.3-1** Vorgehensweise beim in-situ-Versuch (nach SÜDEKUM 2005)



### 3.3.3.1 Nylon-bags

ØRSKOV (1984) verwendete bags mit einer Größe von 9 x 14 cm; er beschreibt aber, dass es auch möglich sei, größere bags zu verwenden. Die in den vorliegenden Untersuchungen verwendeten nylon-bags stammen von der Firma ANKOM Technology (Fairport, NY, USA) und haben die Produktbezeichnung „Part # R1020“. Sie haben eine Größe von 10 x 20 cm und bestehen aus stickstofffreiem Polyester. Die Porenweite beträgt 50 Mikrometer. Die nylon-bags werden im rohen Zustand gekauft. Zuerst wird mit einem Schweißgerät der Firma AUDION ELEKTRO (Marke „Sealboy 235 SBM“) eine Ecke abgeschweißt, um zu gewährleisten, dass die gesamte eingewogene Futtermenge auch dieselben Bedingungen im Pansen vorfindet. Dafür wird ein gleichschenkeliges Dreieck mit einer Seitenlänge von 4,5 cm abgeschweißt. Würde man diesen Schritt nicht machen, so käme eine bestimmte Futtermenge in einem Bereich des bags zu liegen, wo es weniger Freiheit hat und somit ein Mikroklima innerhalb des bags geschaffen wird, der den optimalen Abbau der Probe eventuell beeinträchtigen könnte. Diese Situation würde das wirkliche Potential des Futtermittels fehlerhaft widerspiegeln. Als nächster Schritt wird eine Öse in diesen abgeschweißten Teil des bags eingezogen. Diese verhindert ein Ausreißen des bags während der Inkubation im Pansen.

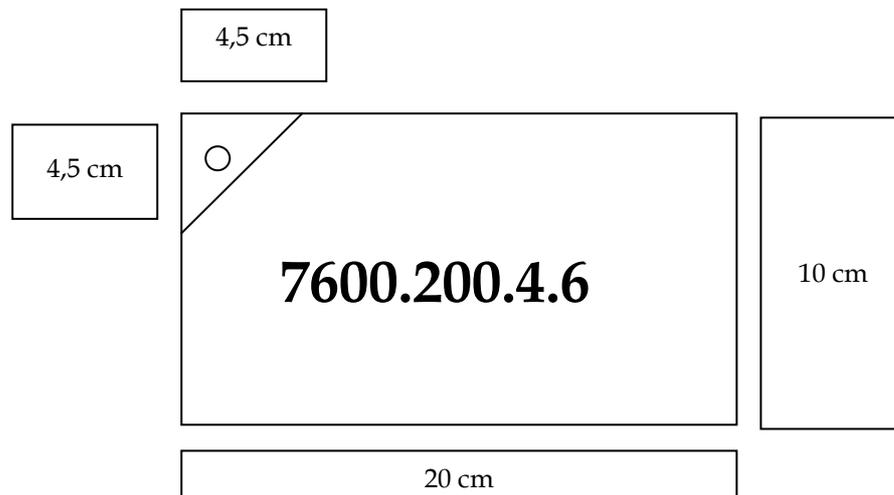
In diesem Versuchsdurchgang wurden keine neuen bags verwendet, sondern bereits ein- bis zweimal verwendete bags so aufbereitet, dass sie einem neuerlichen Durchgang zur Verfügung standen. Laut einer Veröffentlichung der IVVO (1988) ist es möglich, die bags bis zu fünfmal zu verwenden.

Die entleerten bags wurden umgedreht, das heißt links mit kaltem Wasser und dem schonenden Wollprogramm gewaschen und geschleudert. Auch für die Vorbereitung der Säckchen wurde kein Waschmittel verwendet, um eventuelle Waschmittelrückstände nicht in den Pansen einzubringen und dadurch das Pansenmilieu zu stören. In Holland wurde zwar Waschpulver für leere Säckchen verwendet, die auch bei 70 °C gewaschen wurden, jedoch erscheint es nicht sinnvoll, den verschweißten Rändern der Säckchen unnötige Temperaturschwankungen zuzumuten (IVVO 1988). Nach der etwa 36-stündigen Trocknung bei Zimmertemperatur wurden die Säckchen sorgfältig kontrolliert, um kleine Risse und etwaige Unregelmäßigkeiten im Gewebe auszusortieren. Die Verwendung bereits beschädigter Säckchen wäre eine große Fehlerquelle, denn durch die Risse können Futterpartikel in den Pansen verloren gehen.

Der nächste Schritt ist die Beschriftung der bags. Diese wird nach einem bestimmten Code durchgeführt, um eventuellen Verwechslungen vorzubeugen. Dieser Code enthält eine fortlaufende Nummer, danach die Futtermittelnnummer, weiters das Tier, dem das Säckchen eingehängt wurde, und die Zeitstufe, die Auskunft über die Inkubationsdauer gibt. Somit ist der bag immer eindeutig zuordenbar.

In nachfolgender Abbildung ist ein Beispiel für einen vorbereiteten bag für die Inkubation zu sehen. Es handelt sich dabei um Futtermittel 200, das in Ochse 4 für 34 h (= Zeitstufe 6) inkubiert wurde. Die laufende Nummer lautet 7600. Dieser Code wurde mit Permanentmarkern (Edding 300 oder PENTEL Pen N50) vermerkt, um auch nach einer Inkubationsdauer von 72 Stunden den Code noch entziffern zu können.

**Abbildung 3.3-2 Vorbereiteter bag für Einwaage**



Nach der Beschriftung erfolgte die Trocknung der bags im Trockenschrank bei 50 °C für mindestens 24 Stunden. Bevor mit der Auswaage begonnen wurde, kamen die bags zum Auskühlen für mindestens 10 Minuten in den Exsikkator.

### 3.3.3.2 Einwaage

Das Leergewicht der Säckchen wurde direkt vor der Einwaage der Probe ermittelt. Um eine Anreicherung der bags mit Luftfeuchtigkeit zu vermeiden, wurden sie in einem Exsikkator zwischengelagert. Die Einwaage erfolgte direkt in die Säckchen hinein, sodass Verluste durch das Umfüllen zur Gänze vermieden werden konnten.

Bei der Einwaage wurde einem bestimmten Schema gefolgt, das auf die Dauer der Inkubation abgestimmt war. Diese Maßnahme war nötig, da die Menge des Probenmaterials sehr eng bemessen war und es nicht möglich war, noch zusätzliche Mengen bereitzustellen. So wurde die Einwaage von anfänglich 7 g je Zeitstufe auf ein gestaffeltes Einwaagekonzept umgestellt, welches in *Tabelle 3.3-2* aufgeführt ist. Es wurde bei der Einwaage mit einer Toleranz von 0,05 g gearbeitet. ØRSKOV arbeitete mit einer Einwaagemenge zwischen 3 und 5 g trockener Probe. Er stellt aber fest, dass auch höhere Einwaagemengen möglich sind, da diese davon abhängen, welche Restmengen für die Analysen erforderlich sind. Somit legt er fest, dass die Einwaage direkt mit der Methodik der Analysen zusammenhängt (ØRSKOV 1984).

**Tabelle 3.3-2 Einwaageplan für in-situ-Versuch Silomais**

Stunden	Einwaage soll g	Einwaage mg/cm <sup>2</sup>
0	5,0	12,5
3	5,0	12,5
6	5,2	13,0
10	5,4	13,5
14	5,6	14,0
24	5,8	14,5
34	6,0	15,0
72	6,2	15,5
168	6,2	15,5

In *Tabelle 3.3-2* wird auch das Verhältnis zwischen der Oberfläche der bags und der Einwaage dargestellt. Bereits früh wurde erkannt, dass eben dieses Verhältnis großen Einfluss auf den Abbau der Trockenmasse ausübt. In diesem Versuch wurde mit einem Verhältnis von anfänglich 17,5 mg Probe je cm<sup>2</sup> gearbeitet, welches aufgrund von Probenmaterialmangels auf 12,5 bis 15,5 mg/cm<sup>2</sup> reduziert wurde. Dieses Verhältnis liegt etwa im mittleren Bereich. Denn aus der Literatur geht hervor, dass im Laufe der Zeit mit sehr unterschiedlichen Verhältnissen gearbeitet wurde. Diese lagen zwischen 4,4 mg und 88,9 mg je cm<sup>2</sup> (LINDBERG 1981a). Bei seinen Versuchen fand LINDBERG heraus, dass bei geringeren Einwaagemengen mehr abgebaut wurde, wobei dieser Effekt bei Kraftfutter stärker auftrat als bei Heu. Er arbeitete mit einer Einwaagemenge von 5 mg/cm<sup>2</sup> und geht davon aus, dass man bei weiterer Reduzierung der Probenmenge noch höhere potentielle Abbauraten findet. Im Gegensatz dazu gibt es aber Arbeiten, die zeigen, dass die Einwaage bis zu 36 mg Probe je cm<sup>2</sup> bei einer Porenweite von 40 µm keine negativen Auswirkungen auf die Abbaubarkeit von bestimmten Futtermitteln (Heu, Gerste, Sojaextraktionsschrot) brachte (SETÄLÄ 1983).

**Abbildung 3.3-3 Vorbereitete bags für Inkubation**



*Abbildung 3.3-3* zeigt ein Futtermittel, dessen bags zur Inkubation vorbereitet wurden. Die abgebildete Holzvorrichtung dient der Sortierung nach den Zeitstufen.

Pro Zeitstufe wurden 4 Säckchen eingewogen, ein bag je Tier. Für Zeitstufe 7 und 8 wurde allerdings die doppelte Anzahl an Säckchen je Tier eingelegt, um genügend Analysenmaterial zur Verfügung zu haben. Auch die Nullprobe wurde vierfach wiederholt. In einem Durchgang wurden je Tier vier Futtermittel gleichzeitig inkubiert. In der Woche war es somit möglich, acht Futtermittel zu testen. Bis zur Inkubation wurden die Proben in einer Kühltruhe bei  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert.

### **3.3.3.3 Ringe und Schnur**

Um die bags im Pansen auch an der richtigen Stelle zu halten, wurden für diesen Versuch Metallringe verwendet, die für sieben Zeitstufen Platz hatten (siehe *Abbildung 3.3-4*). Meistens wurden jedoch nur drei bis vier Zeitstufen gleichzeitig eingehängt, da es arbeitstechnisch einfacher zu handhaben ist. Diese Messingringe hatten ein durchschnittliches Gewicht von 573 g. Um die Säckchen in Position zu halten, wurde eine Schnur in der Länge von etwa 50 cm verwendet, wie von ØRSKOV (1984) für Rinder empfohlen.

**Abbildung 3.3-4 Gewicht zur Stabilisierung der bags im Pansen**



### **3.3.3.4 Pansen-fistulierte Tiere**

Um die Variation zwischen den Tieren zu minimieren, wurden bei ØRSKOV (1984) die Versuche an drei Tieren gleichzeitig durchgeführt. Für den vorliegenden Versuch standen vier fistulierte Ochsen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1130 kg Lebendmasse zur Verfügung. Den Ochsen wurden Pansenfisteln der Firma Bar Diamond mit einem Durchmesser von 10 cm eingesetzt. Es handelt sich dabei um Braunviehochsen, die gemeinsam in einer Laufstallbox untergebracht waren. Das durchschnittliche Alter betrug 9,5 Jahre. Sie wurden viermal täglich um 8:00 h, um 11:00 h (am Wochenende bereits um 10:00 h), um 14:00 h und um 18:00 h gefüttert. Heu wurde nur morgens und abends verabreicht. Die viermalige Fütterung verhindert große pH-Wert-Schwankungen, so dass die Pansenbakterien optimale Bedingungen für ihre Entwicklung vorfinden. Häufigeres Füttern fördert zudem die Population der Pansenproto-

zoen, die mit ihren proteolytischen Enzymen wesentlich zur ruminalen Proteolyse beitragen und somit große Mengen an Ammoniak freigegeben (LINDBERG 1985).

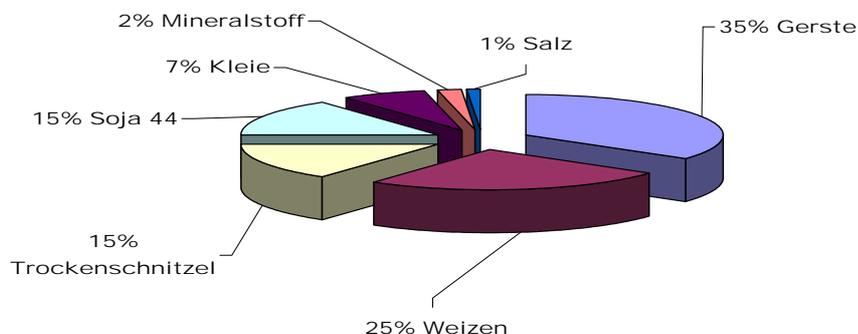
Die Ration hat einen enormen Einfluss auf die Abbaurate, da deren Zusammensetzung direkt das Verhältnis zwischen Amylolyten und Zellulolyten im Pansen bestimmt. Ist eine Population unterrepräsentiert, so kann der Abbau nicht optimal vonstatten gehen. Die genaue Zusammensetzung der in diesem Experiment verwendeten Ration kann *Tabelle 3.3-3* entnommen werden. Daraus geht hervor, dass die Ration vielseitig zusammengesetzt war. Silomais, das in-situ geprüfte Futtermittel, machte 1/3 der Grundfütterration aus. Es wurde sowohl Heu als auch Silage in die Ration eingebaut, da nach LINDBERG & VARVIKKO (1982) bei einer Ration ohne Heu der Abbau rascher vor sich geht. Die Versuchstiere wurden auf Erhaltungsbedarf gefüttert. Zur Einstellung der Mikroorganismen auf die Fütterration wurde der in-situ-Versuch nach einer Umstellungsphase von einer Woche begonnen.

**Tabelle 3.3-3 Rationszusammenstellung der Ochsen**

Futtermittel	Anteil	tägliche Ration kg TM	Fütterungs- frequenz	Einwaage pro Mahlzeit kg TM
Heu	¼	1,90	2	0,950
Grassilage	¼	1,90	4	0,475
Maissilage	¼	1,90	4	0,475
Kraftfutter	¼	1,92	4	0,480

Die Zusammensetzung der Kraftfuttermischung kann aus *Abbildung 3.3-5* entnommen werden.

**Abbildung 3.3-5 Zusammensetzung der Kraftfuttermischung**



### 3.3.3.5 Inkubationszeiten

Die Inkubationszeiten sind abhängig von der Art des Futters. Je nach Abbaugeschwindigkeit sind auch die Inkubationszeiten zu legen. Für Silomais wurde mit den selben Zeitstufen gearbeitet wie für Grundfutter, da durch den Blatt- und Stängelanteil von etwa 50 % Nährstoffe enthalten sind, die nur nach längerer Inkubationszeit verfügbar gemacht werden können. Für Heu gibt ØRSKOV (1984) eine maximal erforderliche Inkubationsdauer von 72 Stunden an. In *Tabelle 3.3-4* kann ein Überblick über die Inkubationszeiten gegeben werden. Das Zeitschema für die Inkubation wurde nach der Arbeit von MERTENS (1993) geführt. Die Zeitstufe 0 diente der Bestimmung des löslichen Anteils der Probe. Die Nullproben wurden in den Arbeitsablauf voll und ganz miteingebunden, mit dem einzigen Unterschied, dass sie nicht inkubiert wurden. Die Nullproben wurden gemeinsam mit den anderen Proben eingefroren und ebenso im lauwarmen Wasser eingeweicht. Sie wurden nach der Behandlung von zwei Ochsen ins Eiswasser eingelegt. Somit waren sie etwa die halbe Zeit im warmen wie im kalten Wasser.

**Tabelle 3.3-4 Legende zu den Zeitstufen und deren Inkubationsdauer**

Zeitstufe	Stunden
0	0
1	3
2	6
3	10
4	14
5	24
6	34
7	72
8	168

Die Inkubation in den Pansen wurde so vorgenommen, dass nicht alle Zeitstufen gleichzeitig in den Pansen inkubiert wurden. Aus arbeitstechnischen Gründen ist es wesentlich einfacher, beim Herausnehmen einer oder mehrerer Zeitstufen wieder neue Zeitstufen hinzuzufügen. Damit erreicht man, dass etwa immer eine gleiche Anzahl von bags im Pansen hängen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Säckchen der höheren Zeitstufen (etwa 72 Stunden) nicht so häufig durch die Fistelöffnung gezogen werden. Dies bringt auch den Vorteil, dass der Kontakt mit der Außenluft auf ein Minimum beschränkt und die mikrobielle Aktivität nicht beeinträchtigt wird.

### **3.3.3.6 Waschmaschine**

Direkt nach der Inkubation wurden die Beutel in der Waschmaschine (Miele NOVOTRONIC W507) gewaschen, um jene Anteile aus den bags herauszuschwemmen, die nicht bei der Einwaage hineingekommen sind und somit nicht quantitativ erfasst wurden. Weiters ist es für eine nachfolgende Analyse wichtig, das Mikrobenmaterial vom Probenmaterial zu trennen, denn es würden die Futtermittel durch den organischen Anteil falsch eingeschätzt. Würde man diesen Arbeitsschritt außer Acht lassen, so würde die potentielle Abbaubarkeit des Futtermittels bei weitem unterschätzt.

Direkt nach der Inkubation kamen die Proben aus dem Pansen in Eiswasser, um die mikrobielle Aktivität zu stoppen, und wurden in Kübeln zur Waschmaschine transportiert. Bevor der automatische Waschgang einsetzte, wurden die bags unter kaltem laufenden Wasser von grobem Pansenmaterial gereinigt.

Das Programm dauerte etwa 40 Minuten und es handelt sich dabei um ein Wollwaschprogramm mit der Zusatzeinstellung „ohne Schleudern“. Nach dem Waschgang wurden die Proben, ohne sie vorher auszudrücken, auf Metallstäbe aufgefädelt und anschließend in den Kühlraum zur Zwischenlagerung gebracht. Das Ausdrücken der gewaschenen bags hätte erhöhten Stickstoffverlust zur Folge (LINDBERG 1985).

### **3.3.3.7 Trocknung**

Aus arbeitstechnischen Gründen wurde nur einmal wöchentlich getrocknet und dazwischen wurden die gewaschenen Proben im Tiefkühlraum bei  $-18\text{ °C}$  gelagert. Um die Proben einzeln auflegen zu können, wurden sie für etwa 3 Stunden im Trockenschrank vorgetaut.

Die Trocknung der inkubierten und gewaschenen Proben dauerte 48 Stunden. Die Proben wurden in einem großen Trockenschrank einzeln liegend bei  $50\text{ °C}$  getrocknet. Dann wurden die Proben mind. 2 Stunden lang in Exsikkatoren abgekühlt und anschließend ausgewogen.

### **3.3.3.8 Auswaage und Endbehandlung**

Der letzte Schritt zur Bestimmung der Abbaubarkeit ist die Auswaage. Sie wurde als Bruttoergebnis eingetragen und anschließend rückgerechnet. Die Auswaage erfolgte auf 3 Kommastellen genau.

Nach der Auswaage wurden die homogenisierten Rückstände aus den bags in Becher (250 ml Fassungsvermögen) umgefüllt, um eine sichere Lagerung des Probenmaterials zu gewährleisten (siehe *Abbildung 3.3-6*).

### **Abbildung 3.3-6 Endbehandlung**



Homogenisieren in der Reibschale



Umfüllen in Becher

#### **3.3.3.9 Filterprobe**

Ein Bestandteil der in-situ-Methode ist die Erfassung der Partikelverluste, die mit Hilfe der Filterprobe durchgeführt wird. Da die Maschenweite des Filters geringer ist als die der nylon-bags, werden Partikelverluste vermieden. Die Partikelverluste werden nach der Formel von WEISBJERG et al. (1990) berechnet. Dabei wird dem Ergebnis der Nullprobe das Ergebnis der Filterprobe abgezogen, so dass sich daraus die Partikelverluste ergeben.

Bei der Filterprobe wird der Anteil der Probe an löslichen Komponenten quantitativ erhoben. Dazu bildet man die Differenz zwischen der Einwaage und der Auswaage des Filters. Dieser Wert fließt direkt in die Formel von ØRSKOV & McDONALD (1979) als Variable a ein. Für die ersten Zeitstufen kann die Differenz zwischen der Nullprobe, die sich aus Partikelverlusten und den löslichen Anteilen zusammensetzt, und dem Ergebnis der Filterprobe bis zu 20 % betragen. Nach längeren Inkubationszeiten wird der Unterschied wesentlich geringer. Das bedeutet, dass die Partikelverluste in den ersten Zeitstufen bis zu 1/5 betragen können und das Ergebnis der Abbauraten wesentlich verzerrt würde. Um diesen Störfaktor zu eliminieren, müssen alle Werte um die Partikelverluste korrigiert werden.

### Abbildung 3.3-7 Filterprobe



Je Futtermittel wurden zwei Filterproben durchgeführt (siehe *Abbildung 3.3-7*). Dazu werden je 10 g Probenmaterial in ein Becherglas (800 ml Fassungsvermögen) eingewogen und mit deionisiertem Wasser auf 500 ml aufgefüllt. Anschließend werden die Proben auf etwa Körpertemperatur erwärmt und danach filtriert. Für die Filtration wurden Faltenfilter der Firma SCHLEICHER & SCHUELL (No. 5951/2, 270 mm Durchmesser, Dassel, Deutschland) verwendet. Nach dem Ansetzen wird noch zweimal mit deionisiertem Wasser gespült. Die Filtration dauert etwa 48 Stunden. Danach folgt die Trocknung der Filter im Trockenschrank bei 50 °C für mindestens 24 Stunden. Aufgrund des knapp bemessenen Probenmaterials einiger Futtermittel war es nötig, die Einwaage auf 5 g zu erniedrigen und mit nur 300 ml Wasser aufzufüllen. Für die Filtration werden Erlenmeyerkolben mit einem Fassungsvermögen von 1000 ml verwendet.

#### **3.3.3.10 Ein typischer Tagesablauf im in-situ-Projekt**

Als Beispiel soll hier ein typischer Mittwoch beschrieben werden. Es ist jener Tag, an dem eine Serie endet und die nächste beginnt, da – wie schon erwähnt – zwei Serien je Woche gemacht werden können. Wie aus *Tabelle 3.3-5* zu entnehmen ist, werden um 7:30 h die ersten bags eingelegt. Vor der Inkubation in den Pansen werden sie in etwa 37 °C warmes Wasser gelegt, um eine rasche Besiedelung durch die Pansenmikroben zu gewährleisten. Es handelt sich dabei um die bags mit den Inkubationszeiten von 3, 6 sowie 34 Stunden. Zuvor werden aber noch jene bags der Zeitstufen 4 und 5 entnommen, die sich bereits im Pansen befanden. Sie werden sofort in Eiswasser gelegt, um den weiteren Abbau durch die Pansenmikroben zu stoppen. Nach diesem Schritt werden die Ochsen gefüttert. Danach werden die bags in der Waschmaschine mit dem Wollprogramm ohne Schleudern und mit 0 °C gewaschen. Dieser Durchgang dauert etwa 40 Minuten. Als nächstes werden die Säckchen im Gefrierraum bei -18 °C eingefroren. Diese Schritte wiederholen sich im Laufe des Tages wie in *Tabelle 3.3-6*

angegeben. In den Zwischenzeiten werden weitere Arbeiten erledigt, wie die Beschriftung der Säckchen, die Einwaage, die Trocknung und die Auswaage.

**Tabelle 3.3-5 Tagesablauf eines in-situ-Projekts (Mittwoch)**

<b>Uhrzeit</b>	<b>Behandlung</b>	<b>Bags ein</b>	<b>Bags aus</b>
7:30	Einlegen / Entnehmen	+3h, +6h, +34h	-14h, -24h
8:00	Füttern		
9:00	Einfrieren		
10:30	Entnehmen		-3h
11:00	Füttern		
12:00	Einfrieren		
13:30	Entnehmen		-6h
14:00	Füttern		
15:00	Einfrieren		
18:00	Füttern		

## 4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 NÄHRSTOFFGEHALT UND FRAKTIONEN DES CNCPS

Aus *Tabelle 4.1-3* können die Auswirkungen der Versuchsfaktoren Konservierung, Vegetationsstadium, Standort und Sorte auf die Roh Nährstoffe nach der WEENDER Analyse, die Gerüstsubstanzen nach Van SOEST (1994) sowie die Kohlenhydrat- und Proteinfractionen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) entnommen werden. Die Wechselwirkungen sind in *Tabelle 4.1-4* dargestellt.

#### 4.1.1 Einfluss des Erntejahres

Der Einfluss des Erntejahres kann aus dem direkten Vergleich zwischen dem Probenmaterial dieses Versuchs (Erntejahr 2003) und den Ergebnissen von GRAGGABER (2004) studiert werden, der für seine Untersuchungen Silomaisproben aus dem Erntejahr 2002 verwendete.

Im Mittel der untersuchten Proben wurden in der WEENDER Analyse nur geringe Unterschiede zwischen den Silomaisproben des Erntejahres 2003 und 2002 gefunden (*Tabelle 4.1-1*). Lediglich in den stickstofffreien Extraktstoffen (XX) wurde in dieser Untersuchung ein höherer Gehalt festgestellt (632 zu 622 g/kg TM). Als Ursache dafür sind die klimatischen Unterschiede der Erntejahre zu sehen, die sich in einer höheren Durchschnittstemperatur im Jahr 2003 manifestierten. Dieser Umstand wirkte sich positiv auf die Kolbenausbildung aus, die zur Zunahme der stickstofffreien Extraktstoffe und zur Abnahme der Gerüstsubstanzen NDF und ADF führte. Der leicht erhöhte Ligningehalt in Zusammenhang mit den erhöhten Trockenmassegehalten in den Proben des trockeneren Jahres 2003 liegt in der geringeren Restpflanzenqualität auf Grund einer beschleunigten Abreife (Van SOEST 1994). Dies zeigt sich auch deutlich an den wesentlich erhöhten Trockenmassegehalten, die im Jahr 2003 bei 34 % im Gegensatz zu 29 % im Jahr davor lagen. Ein weiterer Unterschied liegt im geringeren Aschegehalt der Gesamtpflanze (42 zu 48 g/kg TM) im Jahre 2003, der durch den geringeren Aschegehalt des Kolbens bedingt ist (HEIN et al. 1996).

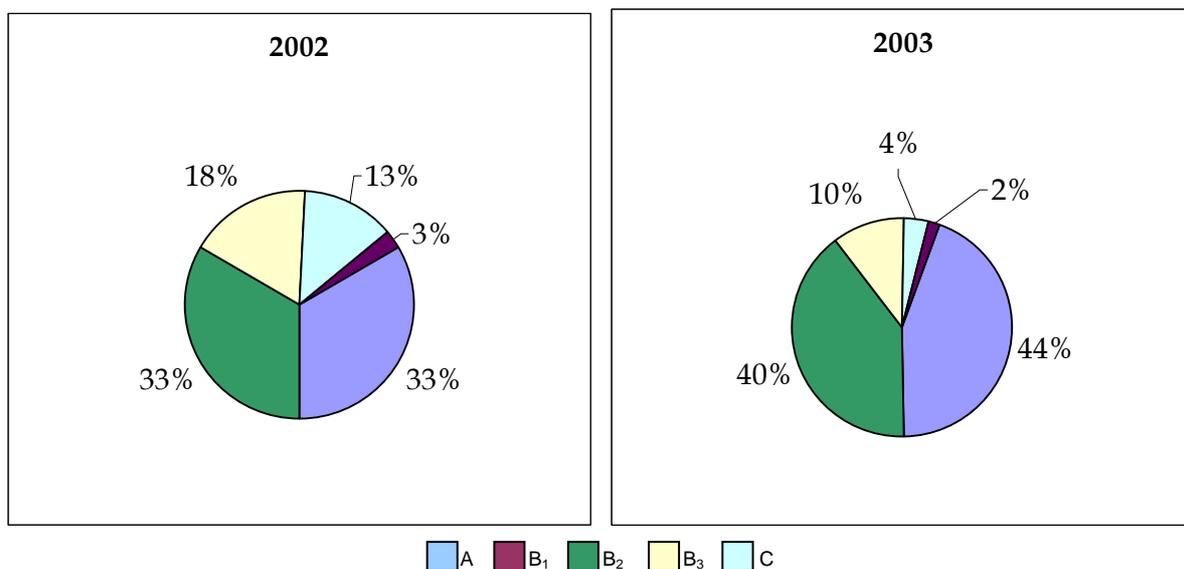
Gravierende Unterschiede wurden in den Proteinfractionen gefunden, nicht jedoch in den Kohlenhydratfractionen. Wie schon aus der WEENDER Analyse zu erwarten, liegt der Kohlenhydratgehalt im trockenen Anbaujahr etwas höher (853 zu 847 g/kg TM), die Anteile der Kohlenhydratfractionen bleiben dabei konstant (*Tabelle 4.1-1*). In den Proteinfractionen waren dagegen zwischen den Erntejahren deutliche Unterschiede festzustellen. Im Jahr 2002 war die Fraktion A gegenüber 2003 höher (13 bzw. 4 %) und dementsprechend die Fraktion B<sub>2</sub> (33 bzw. 44 %) sowie B<sub>3</sub> (33 bzw. 40 %) geringer. Dagegen war der Anteil der Fraktion C im Jahr 2002 höher. Diese Verschiebungen der

einzelnen Proteinfractionen sind zu einem gewissen Grad mit den unterschiedlichen Kolbenanteilen zu erklären (klimatischer Einfluss). Der wesentliche Grund liegt allerdings in der niedrigen Silagequalität des Jahres 2002, der zu einem verstärkten Eiweißabbau führte, wie die Verteilung der Proteinfractionen zeigt (Abbildung 4.1-1).

**Tabelle 4.1-1 Inhaltstoffe von Silomais verschiedener Anbaujahre**

Parameter	Einheit	Erntejahr	
		2002	2003
Anzahl Proben		66	54
<b>WEENDER Analyse</b>			
TM	g/kg FM	292	344
XP	g/kg TM	78	79
XL	g/kg TM	26	29
XF	g/kg TM	225	221
XX	g/kg TM	622	632
XA	g/kg TM	48	42
<b>Gerüstsubstanzen</b>			
NDF	g/kg TM	484	442
ADF	g/kg TM	261	228
ADL	g/kg TM	29	31
<b>Kohlenhydratfraktionen</b>			
CHO	g/kg TM	847	853
FC	% CHO	55,4	55,5
NFC	% CHO	45,6	44,5
A	% CHO	11,9	11,0
B <sub>1</sub>	% CHO	33,7	33,5
B <sub>2</sub>	% CHO	46,1	46,8
C	% CHO	8,3	8,7

**Abbildung 4.1-1 Proteinfractionen von Silomais nach Anbaujahr**



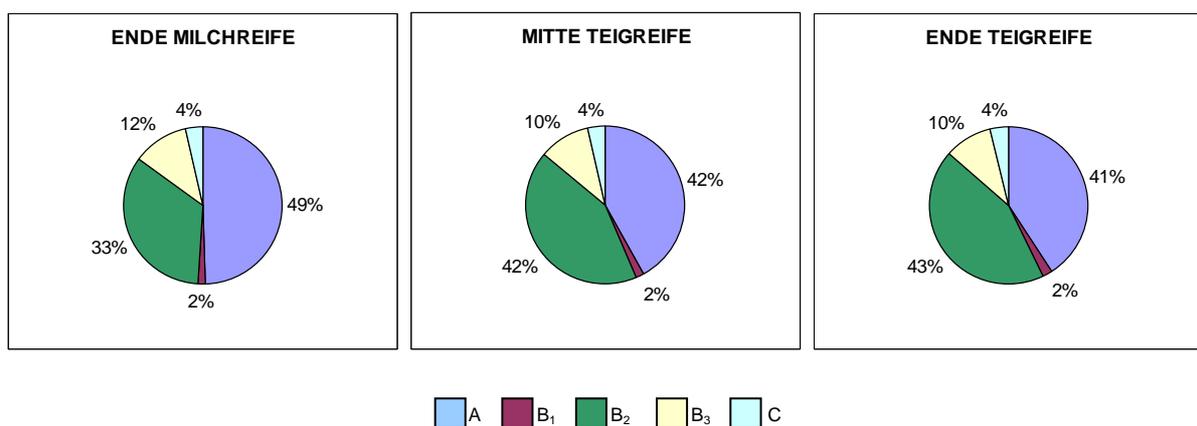
## 4.1.2 Einfluss des Vegetationsstadiums

Der Zeitpunkt der Ernte und damit die physiologische Reife der Maispflanze zeigt in dieser Untersuchung einen hochsignifikanten Einfluss auf den Trockenmassegehalt, hingegen keine signifikanten Auswirkungen auf den Gehalt an Rohnährstoffen (Ausnahme XL) und Gerüstsubstanzen (Tabelle 4.1-3). Auch De BRABANDER et al. (1990) stellten fest, dass das Vegetationsstadium den Rohnährstoffgehalt von Silomais nur gering beeinflusst. Mit fortschreitendem Vegetationsstadium nehmen die TM-Gehalte durch Erhöhung des Kolbenanteils und durch den Alterungsprozess der Restpflanze von 29,2 auf 38,1 % zu.

Während die Kohlenhydratfraktionen keinen Einfluss des Vegetationsstadiums aufweisen, liegen die P-Werte der Proteinfractionen A und B<sub>2</sub> bei 0,000 und für B<sub>1</sub> bei 0,027. Der Anteil an schwer abbaubarem und nicht-verfügbarem Protein (C) ist in allen Vegetationsstadien gleich. Die leichten Veränderungen in den Proteinfractionen sind mit den chemischen und morphologischen Veränderungen während der Entwicklung des Silomaises zu erklären. Die Abnahme der Fraktion A ergibt sich aus der Reifung des Kornes und dem Alterungsprozess der Restpflanze. Aus denselben Gründen nimmt die Fraktion B<sub>2</sub> im Laufe der Vegetation etwas zu (Abbildung 4.1-2).

Der Effekt, dass die Kohlenhydratkonzentrationen vom Vegetationsstadium unbeeinflusst sind, wird von JOHNSON et al. (2003) dadurch erklärt, dass in Maissilagen bis zu 10 Tage nach der Silierung hochsignifikante Unterschiede in der Fraktion A (Zucker) zu verzeichnen sind, diese aber über die Dauer der Konservierung deutlich zurückgingen.

**Abbildung 4.1-2 CNCPS-Proteinfractionen nach Vegetationsstadien**



### 4.1.3 Einfluss der Sorte

Im Gegensatz zur Untersuchung von GRAGGABER (2004) wurden in der vorliegenden Arbeit keine Unterschiede zwischen den Sorten im Gehalt an Gerüstsubstanzen sowie den Kohlenhydrat- und Proteinfraktionen gefunden. Lediglich bei Trockenmasse und den Rohnährstoffen XP und XL zeigten sich signifikante Sorteneinflüsse. Der Hauptgrund für die zunächst widersprüchlichen Ergebnisse dieser zwei Untersuchungen liegt darin, dass der Einfluss des Standorts bei GRAGGABER (2004) nicht untersucht wurde, sich aber indirekt auf die Sorten auswirkte.

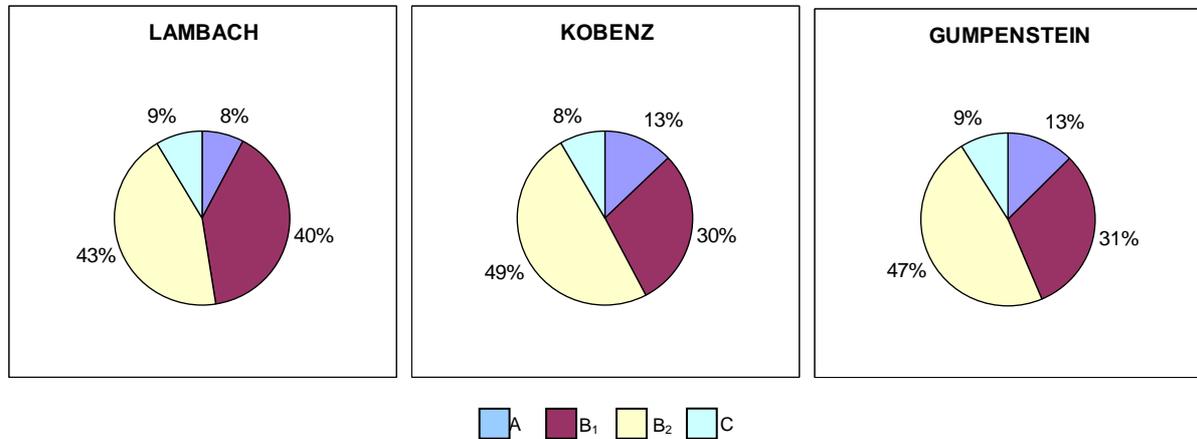
Der Einfluss der Sorte auf den Gehalt an TM, XP und XL liegt somit in echten Sortenunterschieden und wird nicht von standortbezogenen Verschiebungen überlagert (Tabelle 4.1-3). Die spätreife Sorte Atalante zeigte einen geringeren Rohproteingehalt, der sich aus dem wesentlich geringeren Rohproteingehalt der Restpflanze im Vergleich zum Kolben erklärt (HEIN et al. 1996). Diese spätreife Sorte erreichte demnach einen geringeren Kolbenanteil, d.h. sie war physiologisch gesehen jünger als die Vergleichssorten. Der höchste Rohfettgehalt wurde bei der Sorte Romario (FAO-Reifezahl 270) festgestellt, der vor allem vom im Korn enthaltenen Keimling abhängt.

### 4.1.4 Einfluss des Standorts

Der Standort, der die Vegetationsdauer und damit den maximalen physiologischen Reifegrad der Maispflanze festlegt, wirkt sich auf den Gehalt an Trockenmasse sowie an Nährstoffen und Gerüstsubstanzen hochsignifikant ( $P < 0,01$ ) aus. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass mit fortschreitender Reife der Anteil des stärkereichen und somit hochverdaulichen Kolbens zunimmt (GROSS & PESCHKE 1980c, GRUBER et al. 1983, GROSS 1986). Am Standort mit der längsten Vegetationszeit (Lambach) konnten sich alle Sorten voll entwickeln und hohe Kolbenanteile verwirklichen, die sich in den Gehalten an XX, XL, NDF und dem Verhältnis von FC zu NFC manifestieren. Als Folge davon geht der Gehalt an Rohfaser bzw. Gerüstsubstanzen zurück (23 – 20 % XF, 50 – 46 % NDF). Gleichzeitig kommt es folglich zu einem Anstieg der Nichtfaser-Kohlenhydrate (42 – 48 % der CHO) bzw. der stickstofffreien Extraktstoffe (61 – 66 % der TM). Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass mit fortschreitender Reife nicht nur der Kolbenanteil zunimmt, sondern auch die Verdaulichkeit der Restpflanze durch den Alterungsprozess eine starke Depression erfährt (Zunahme der Gerüstsubstanzen und der Lignifizierung). Dadurch wird der Effekt des zunehmenden Kolbenteils größtenteils wieder aufgehoben (GRUBER et al. 1983, PEX et al. 1996). Der Anteil des Zuckers (Fraktion A) ging mit fortschreitender Reife von 13 auf 8 % der Kohlenhydrate zurück, während der Anteil der Stärke (Fraktion B<sub>1</sub>) von 30 auf 40 % anstieg (Abbildung 4.1-3). Daraus wird der zunehmende Kolbenanteil im Laufe der Maisentwicklung sichtbar. Insgesamt nahm der

Anteil der Gerüstkohlenhydrate (FC) an den Kohlenhydraten in der vorliegenden Untersuchung von 58 auf 52 % ab.

**Abbildung 4.1-3 CNCPS-Kohlenhydratfraktionen nach Standorten**



#### 4.1.5 Einfluss der Konservierung

Die Konservierung hatte auf den Gehalt an XP und XL keinen Einfluss, wirkte sich jedoch signifikant auf den Gehalt an Gerüstsubstanzen von Silomais aus (Tabelle 4.1-3). Die Gehalte an TM, XP und XL lagen bei 33 - 35, 8 und 3 %, was durchschnittlichen Gehaltszahlen entspricht (DLG 1997). Die Gehaltswerte für XF, NDF, ADF bzw. ADL lagen zwischen 21 und 23, 47 und 50, 24 und 26 bzw. 2,9 und 3,3 %.

Die Silierung wirkte sich signifikant auf die Verteilung der Protein- und Kohlenhydratfraktionen aus. Die Proteinfraction A erhöhte sich von 31 auf 57 %, während auch ein leichter Anstieg in der Fraktion C (3,3 auf 4,1 %) auftrat. Laut SNIFFEN et al. (1992) besteht das lösliche Protein von Silagen vor allem aus NPN-Verbindungen. Echtes Protein war hingegen in allen Fraktionen (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>) vom Proteinabbau während der Konservierung betroffen (Abbildung 4.1-4).

Bezüglich der Kohlenhydrate traten in der Silage die durch den Gärvorgang zu erwartenden Verschiebungen der Nichtfaser-Kohlenhydrate auf. Der Anteil des Zuckers (Fraktion A) ging von 20 auf 3 % zurück, während die Stärke (Fraktion B<sub>1</sub>) von 27 auf 40 % der Kohlenhydrate anstieg (Abbildung 4.1-5).

Abbildung 4.1-4 CNCPS-Proteinfraktionen nach Konservierung

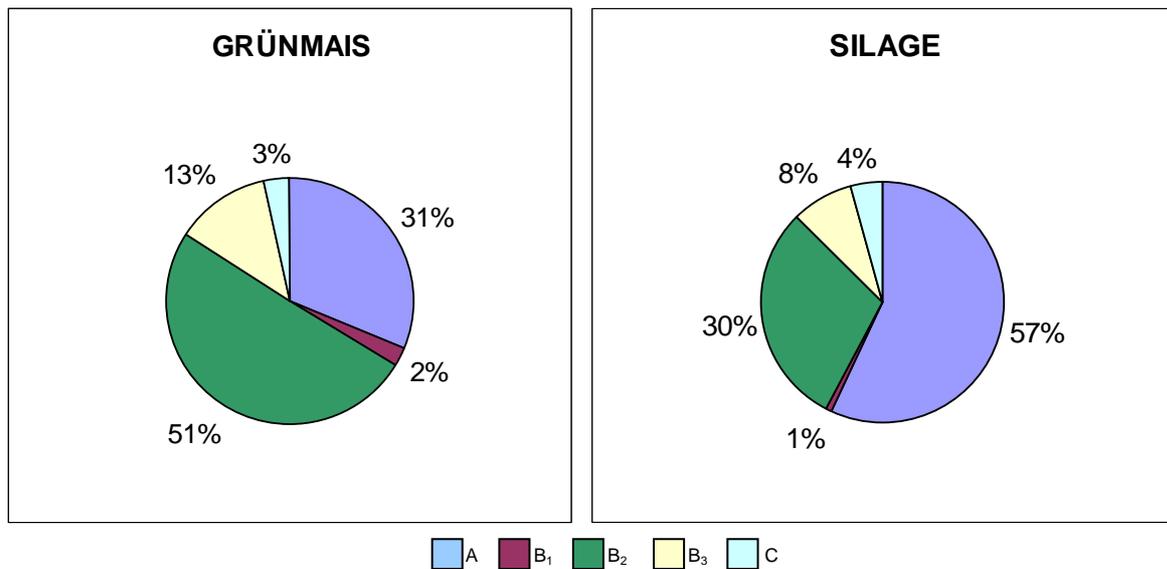
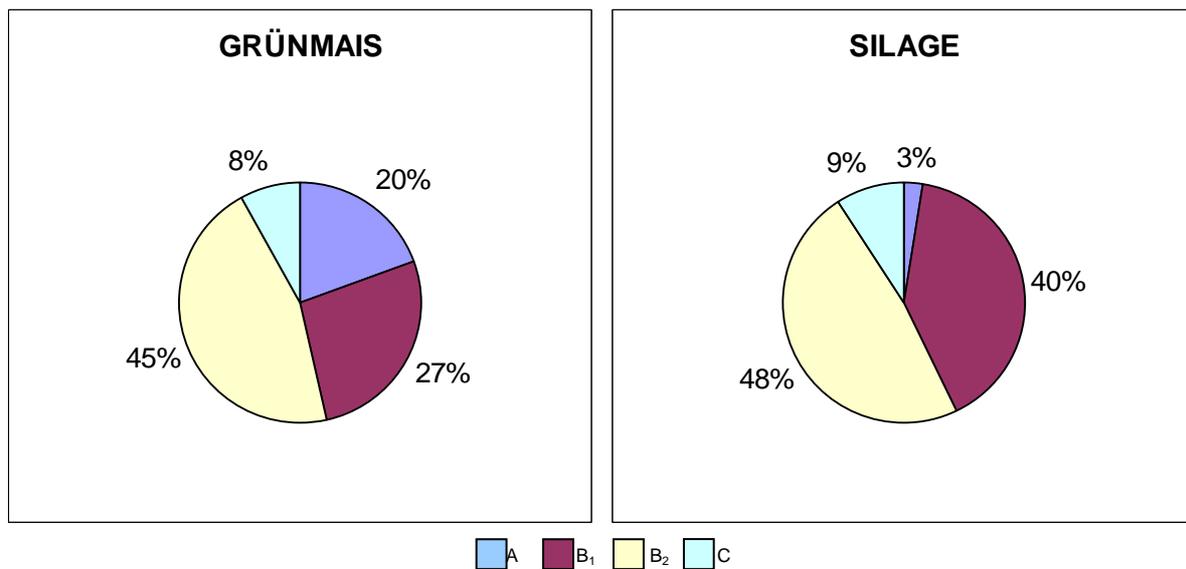


Abbildung 4.1-5 CNCPS-Kohlenhydratfraktionen nach Konservierung



#### 4.1.6 Silagequalität

Zur Beurteilung der Silagequalität wurden in den 27 Maissilagen die Parameter pH-Wert, Zucker- und NH<sub>4</sub>-Gehalt sowie der Gehalt an Essig- (ES), Propion- (PS), Butter- (BS) und Milchsäure (MS) erhoben. Die Ergebnisse können *Tabelle 4.1-2* entnommen werden.

Der Versuchsfaktor „Sorte“ zeigte in keinem der Gärparameter signifikante Einflüsse, dagegen beeinflussten die Faktoren „Vegetationsstadium“ und „Standort“ die Gärparameter zum Teil hochsignifikant. Lediglich der Gehalt an Milchsäure mit 5,58 g/kg FM sowie die NH<sub>4</sub>-Konzentration von 0,2 % waren von diesen Faktoren unabhängig. Der

Gehalt an Propionsäure wurde vor allem vom Vegetationsstadium bestimmt, wobei dieser in Silagen des Stadiums „Mitte Teigreife“ mit 1 % der FM besonders hoch war. Negative Auswirkungen traten im Vegetationsstadium „Ende Milchreife“ durch erhöhte Buttersäure-Gehalte von 0,16 g/kg FM auf. Das Vorhandensein von Butter- und Propionsäure lässt die Silagequalität sinken (McDONALD et al. 1991). Der Faktor „Standort“ wirkte sich auf den pH-Wert, den Gehalt an Essigsäure und vor allem den Zuckergehalt aus. In Gumpenstein wurden die höchsten ES-Gehalte (1,97 g/kg FM) gemessen, die sich auch im niedrigen pH-Wert (3,97) niederschlugen. Generell ist zu sagen, dass der durchschnittliche Acetatgehalt von 1,9 % auf schlechte Silagequalität hindeutet, da dieser nach MENKE & HUSS (1987) in hochwertigen Silagen unter 0,5 % liegt. Steigende Acetatgehalte weisen auf das Vorhandensein von coliformen Bakterien hin, die durch hohe Wassergehalte im Gärgut begünstigt werden. Besonders hohe Zuckergehalte traten in Kobenz auf.

Der hochsignifikante Einfluss des Vegetationsstadiums besteht vor allem im Zuckeranteil der Pflanze, der eine rasche Fermentation begünstigt und eine ideale Energiequelle für Milchsäurebakterien darstellt. Die physiologische Reife bedingt auch Unterschiede in der Acetatbildung, die jedoch mit Abschluss der Fermentation wieder ausgeglichen wurden (JOHNSON et al. 2003). Da in vorliegender Untersuchung lediglich eine einmalige Qualitätsbestimmung erfolgte, konnten auch keine signifikanten Unterschiede im Essigsäuregehalt festgestellt werden ( $P = 0,424$ ). Nach SCHROEDER (2004) führt ein Trockenmassegehalt von 30 - 40 % bei der Silierung zu optimalen Silagequalitäten. Das Vegetationsstadium hat einen wesentlichen Einfluss auf die Silagequalität, da milchreifer Silomais (TM < 25 %) zu hohen Sickersaftverlusten und geringer Nährstoffdichte führt. Körnerreifer Silomais (TM > 40 %) dagegen bedingt hohe Ernteverluste am Feld und zum Teil zu verminderter Gäraktivität der Mikroben in Folge unzureichenden Wassergehaltes (SCHROEDER 2004).

**Tabelle 4.1-2 Silagequalität**

Parameter	pH	Zucker g/kg FM	NH <sub>4</sub> % FM	MS g/kg FM	ES g/kg FM	PS g/kg FM	BS g/kg FM
<b>Vegetationsstadium</b>							
Ende Milchreife	4,07	16,7	0,24	6,1	1,8	0,1	0,2
Mitte Teigreife	4,12	16,1	0,17	5,1	2,0	1,1	0,0
Ende Teigreife	4,18	17,2	0,19	5,6	1,8	0,6	0,1
P-Wert	0,397	0,915	0,276	0,195	0,424	0,007	0,037
<b>Sorte</b>							
Fuxxol	4,25	15,6	0,23	5,5	1,8	0,5	0,1
Romario	4,08	16,6	0,23	5,5	1,9	0,5	0,1
Atalante	4,05	18,0	0,15	5,7	1,9	0,8	0,1
P-Wert	0,097	0,674	0,188	0,898	0,777	0,458	0,901
<b>Standort</b>							
Lambach	4,22	9,8	0,20	5,1	1,7	0,5	0,1
Kobenz	4,19	25,8	0,26	5,7	1,8	0,8	0,1
Gumpenstein	3,97	14,6	0,14	5,9	2,1	0,5	0,0
P-Wert	0,029	0,001	0,054	0,278	0,048	0,247	0,383
RSD	0,18	5,45	0,92	1,1	0,3	0,5	0,1
R <sup>2</sup>	0,845	0,869	0,803	0,783	0,850	0,876	0,814

#### 4.1.7 Wechselwirkungen

Wechselwirkungen treten in den Protein- und Kohlenhydratfraktionen A, B<sub>1</sub> und C sowie dem TM-Gehalt, dem Rohnährstoff XL und der Gerüstfraktion ADL auf (Tabelle 4.1-4). Hochsignifikante Wechselwirkungen liegen zwischen Standort und Konservierung vor, welche die Nicht-Faserkohlenhydratfraktionen (A, B<sub>1</sub>) betreffen. Dabei zeigt Grünmais aus Lambach um etwa 10 %-Punkte geringere Zuckeranteile, dagegen jedoch um bis zu 18 %-Punkte höhere Stärkeanteile. Der Grund dafür liegt in der verlängerten Vegetationszeit dieses Standorts, die eine ausgeprägte Kolbenbildung fördert.

Weitere Wechselwirkungen betreffen Vegetationsstadium x Standort, wobei in Lambach hochsignifikant höhere XL-Werte (36 zu 19 bzw. 20 g/kg TM) im Vegetationsstadium „Ende Milchreife“ festgestellt werden. Weiters liegen die B<sub>1</sub>-Gehalte in Lambach in den Vegetationsstadien „Ende Milchreife“ und „Ende Teigreife“ im Vergleich zu den anderen Standorten höher. Besonders hohe TM-Gehalte wurden im Vegetationsstadium „Ende Milchreife“ am Standort Lambach mit 39 % im Vergleich zu 27 und 22 % an den Standorten Kobenz und Gumpenstein erreicht (Abbildung 4.1-6). Der Grund liegt im frühzeitigen Beginn der Kolbenbildung auf Grund von günstigen Standortbedingungen.

Wie bereits angeführt, erfährt jedoch auch die Restpflanze einen intensiven Alterungsprozess.

Eine hochsignifikante Wechselwirkung auf die Proteinfraction C liegt zwischen Vegetationsstadium und Konservierung vor. Der Anteil in Silagen des Vegetationsstadiums „Ende Milchreife“ liegt bei 3,4 % des XP, während dieser bei Silagen anderer Vegetationsstadien bei 4,2 und 4,5 % des XP liegt.

**Abbildung 4.1-6 Einfluss von Reife und Standort auf TM-Gehalt**

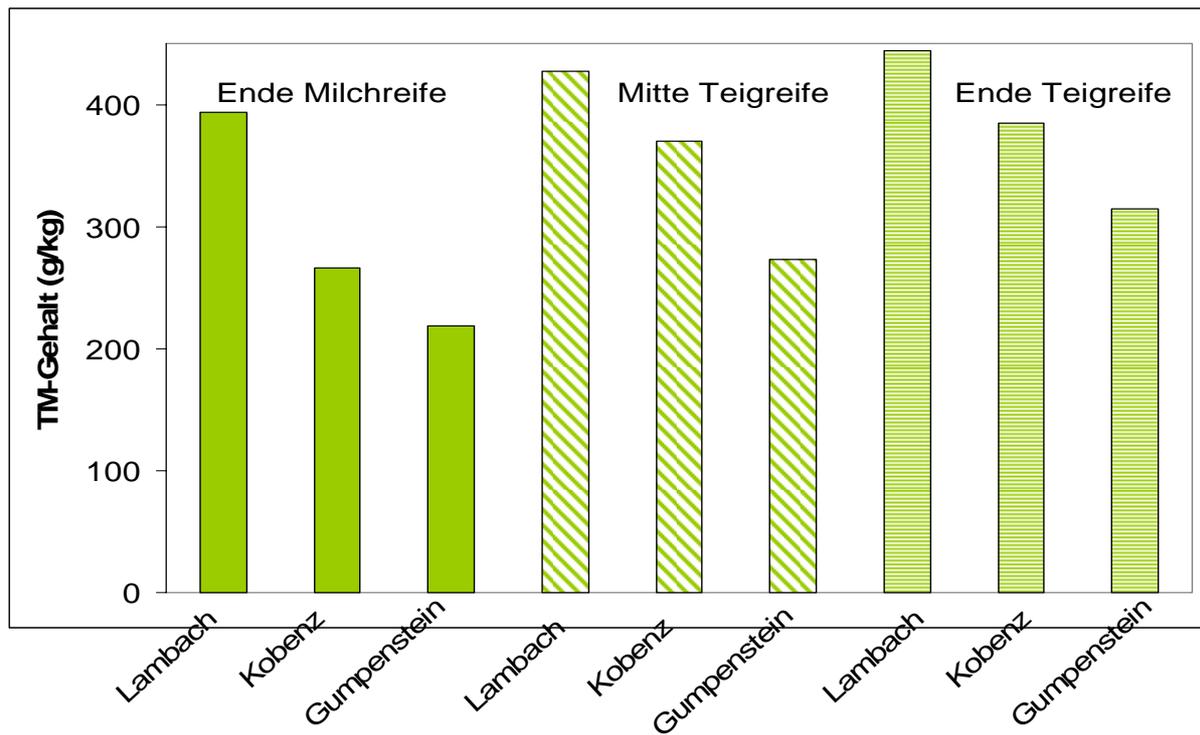


Tabelle 4.1-3 Nährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie Protein- und Kohlenhydratfraktionen (Haupteffekte)

Parameter	Einheit	Konservierung		Vegetationsstadium			Standort			Sorte			RSD	P-Wert				R <sup>2</sup>
		Grün- mais	Silage	Ende Milch.	Mitte Teig.	Ende Teig.	Lam- bach	Kob- enz	Gumpen- stein	Fuxxol	Romario	Atalante		Kons.	Ernte	Ort	Sorte	
<b>Probenanzahl</b>		27	27	18	18	18	18	18	18	18	18	18						
<b>WEENDER Analyse</b>																		
TM	g/kg FM	355	332	293	357	381	422	340	269	367	347	317	17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,977
XP	g/kg TM	79	79	80	81	77	74	86	79	83	81	74	6	0,889	0,122	0,000	0,000	0,750
XL	g/kg TM	29	29	25	29	32	32	25	29	28	30	27	3	0,907	0,000	0,000	0,032	0,874
XF	g/kg TM	212	230	231	217	216	203	227	233	228	216	219	21	0,004	0,061	0,001	0,223	0,674
XX	g/kg TM	642	621	622	635	638	656	614	625	620	634	640	25	0,004	0,152	0,000	0,055	0,699
XA	g/kg TM	41	43	43	42	41	38	47	41	43	41	43	4	0,061	0,396	0,000	0,141	0,750
<b>Gerüstsubstanzen</b>																		
NDF	g/kg TM	471	497	494	477	481	459	496	496	492	478	482	39	0,018	0,407	0,010	0,559	0,605
ADF	g/kg TM	237	263	253	247	249	234	254	262	259	245	246	19	0,000	0,579	0,001	0,072	0,733
ADL	g/kg TM	29	33	31	30	32	31	30	32	32	31	30	5	0,003	0,456	0,266	0,223	0,621
<b>Proteinfraktionen</b>																		
A	% des XP	31,3	56,9	49,5	41,9	40,8	43,6	44,4	44,2	44,6	43,3	44,4	5,8	0,000	0,000	0,900	0,781	0,921
B <sub>1</sub>	% des XP	2,4	0,9	1,5	1,7	1,9	1,9	1,5	1,7	1,7	1,6	1,8	0,4	0,000	0,027	0,007	0,305	0,913
B <sub>2</sub>	% des XP	50,4	29,8	33,9	42,7	43,7	41,5	40,4	38,3	39,6	42,0	38,8	6,8	0,000	0,000	0,367	0,352	0,865
B <sub>3</sub>	% des XP	12,5	8,3	11,5	10,1	9,7	9,2	10,3	11,8	10,3	9,6	11,4	2,5	0,000	0,093	0,017	0,105	0,720
C	% des XP	3,3	4,1	3,5	3,7	3,9	3,8	3,3	4,0	3,9	3,5	3,6	0,6	0,000	0,110	0,002	0,081	0,747
<b>Kohlenhydratfraktionen</b>																		
CHO	g/kg TM	854	851	853	852	853	859	841	858	848	851	859	15	0,459	0,931	0,001	0,100	0,565
FC	% der CHO	53,6	57,3	56,5	54,7	55,2	52,4	57,7	56,3	56,6	54,9	54,8	4,5	0,006	0,475	0,004	0,422	0,632
NFC	% der CHO	46,4	42,7	43,5	45,3	44,8	47,6	42,3	43,7	43,4	45,1	45,2	4,5	0,006	0,475	0,004	0,422	0,632
A	% der CHO	19,6	2,5	12,4	10,3	10,4	7,7	12,8	12,6	12,0	10,0	11,1	4,5	0,000	0,298	0,003	0,417	0,898
B <sub>1</sub>	% der CHO	26,8	40,2	31,1	35,0	34,4	39,9	29,5	31,0	31,4	35,1	34,1	6,7	0,000	0,185	0,000	0,247	0,815
B <sub>2</sub>	% der CHO	45,6	48,0	47,8	46,3	46,2	43,8	49,3	47,3	47,5	46,2	46,6	4,3	0,047	0,444	0,002	0,687	0,605
C	% der CHO	8,1	9,3	8,7	8,4	9,0	8,6	8,4	9,0	9,2	8,7	8,2	1,3	0,002	0,444	0,386	0,131	0,635

**Tabelle 4.1-4 Nährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie Protein- und Kohlenhydratfraktionen (Wechselwirkungen)**

Parameter	Rohnährstoff		Protein			Kohlenhydrate		
	XL	ADL	A	B <sub>1</sub>	C	A	B <sub>1</sub>	C
	g/kg TM		% des XP			% der CHO		
<b>Vegetationsstadium x Konservierung</b>								
Ende Milchreife x Grünmais	24	31	36,0	2,3	3,6	22,1	21,4	8,5
Ende Milchreife x Maissilage	25	31	63,1	0,7	3,4	2,7	40,8	8,8
Mitte Teigreife x Grünmais	30	26	29,2	2,5	3,1	18,1	30,5	7,2
Mitte Teigreife x Maissilage	28	34	54,6	0,9	4,2	2,4	39,5	9,6
Ende Teigreife x Grünmais	31	30	28,5	2,6	3,2	18,6	28,4	8,5
Ende Teigreife x Maissilage	33	34	53,0	1,2	4,5	2,3	40,4	9,5
P-Wert	0,147	0,076	0,801	0,590	0,001	0,450	0,073	0,061
<b>Vegetationsstadium x Ort</b>								
Ende Milchreife x Lambach	36	29	49,3	2,0	3,5	11,4	35,1	8,0
Ende Milchreife x Kobenz	19	31	48,4	1,3	3,2	12,2	27,5	8,8
Ende Milchreife x Gumpenstein	20	33	50,9	1,3	3,7	13,6	30,7	9,3
Mitte Teigreife x Lambach	30	31	39,1	1,6	3,6	4,9	44,2	8,5
Mitte Teigreife x Kobenz	26	29	47,1	1,5	3,4	14,4	28,4	8,4
Mitte Teigreife x Gumpenstein	30	30	39,5	1,9	4,0	11,5	32,4	8,3
Ende Teigreife x Lambach	31	33	42,4	2,1	4,1	6,8	40,6	9,3
Ende Teigreife x Kobenz	29	29	37,8	1,6	3,2	11,8	32,7	8,2
Ende Teigreife x Gumpenstein	36	34	42,2	1,9	4,3	12,8	30,0	9,5
P-Wert	0,000	0,442	0,063	0,027	0,516	0,221	0,353	0,382
<b>Ort x Konservierung</b>								
Lambach x Grünmais	34	27	29,4	2,7	3,6	13,1	37,5	7,5
Lambach x Maissilage	30	35	57,8	1,1	3,9	2,3	42,4	9,7
Kobenz x Grünmais	24	30	35,1	2,2	2,7	23,3	19,8	8,5
Kobenz x Maissilage	26	29	53,8	0,8	3,8	2,3	39,2	8,4
Gumpenstein x Grünmais	28	30	29,3	2,4	3,6	22,4	23,0	8,2
Gumpenstein x Maissilage	30	35	59,1	1,0	4,4	2,8	39,1	9,9
P-Wert	0,010	0,046	0,015	0,578	0,122	0,004	0,008	0,044

## 4.2 ABBAUBARKEIT DER TROCKENMASSE IM PANSEN

Die 54 Maisproben in diesem Versuch zeigten eine mittlere potentielle Abbaubarkeit von 81,1 % (RSD =  $\pm 1,6$  %). Von den vier untersuchten Versuchsfaktoren zeigte nur der Erntezeitpunkt einen signifikanten Einfluss auf die potentielle Abbaubarkeit ( $P = 0,032$ ). Der Anteil der löslichen Fraktion (a) lag im Mittel bei 32,9 %. Die konstante Abbaurate (c) betrug im Durchschnitt aller Behandlungen  $4,3 \pm 0,7$  % je Stunde. Die effektiven Abbauraten bei einer angenommenen Passagerate von 2, 5 bzw. 8 % (ED2, ED5, ED8) lagen im Mittel bei 65,6 bzw. 55,1 und 49,8 %.

Durch die im Versuch geprüften Faktoren können 69 bis 79 % der Varianz der Abbauparameter (a, b, c) erklärt werden (Tabelle 4.2-1). Die RSD-Werte für diese Parameter belaufen sich auf 4,2, 4,0, 0,7, das entspricht einem Variationskoeffizient von 12,8, 8,2 bzw. 17,0 %. Die Variationskoeffizienten für die effektiven Abbauraten (ED2, ED5, ED8) sind dagegen wesentlich niedriger (3,0, 4,2, 5,1 %). Dies kann damit erklärt werden, dass sich die Parameter a und b gegenläufig verhalten (weist das Futtermittel eine hohe Löslichkeit auf, ist der unlösliche jedoch potentiell abbaubare Anteil geringer und umgekehrt).

### 4.2.1 Einfluss des Vegetationsstadiums

Die Abbauparameter der Trockenmasse (a, b, c) werden hochsignifikant vom Vegetationsstadium der Maispflanze beeinflusst. Die P-Werte betragen 0,001 für a, 0,005 für b und 0,002 für c. Im Laufe der Vegetation von Silomais geht der Anteil der Fraktion a von 36,5 auf 31,1 % zurück, während die Fraktion b von 45,5 auf 49,5 % ansteigt. Dies hat zur Folge, dass sich die Unterschiede in der potentiellen Abbaubarkeit (a + b) zwischen den Reifestadien abschwächen und in der effektiven Abbaubarkeit überhaupt nicht mehr gegeben sind (Tabelle 4.2-1). Die Abbaurate im Stadium „Ende Milchreife“ (3,7 %/h) unterscheidet sich signifikant von den höheren Vegetationsstadien („Mitte und Ende Teigreife“), die mit 4,6 und 4,5 %/h nahezu gleich sind. Das stimmt mit den Ergebnissen von JOCHMANN et al. (1999a) gut überein, die bei Maissilagen der Reifestadien Beginn, Mitte und Ende Teigreife in einem Hammelversuch keinen signifikanten Einfluss des Vegetationsstadiums auf die scheinbare Verdaulichkeit nachweisen konnten. Der Grund liegt in der Änderung der Stärkebeschaffenheit zwischen Milchreife und Teigreife (VEARASILP 1986).

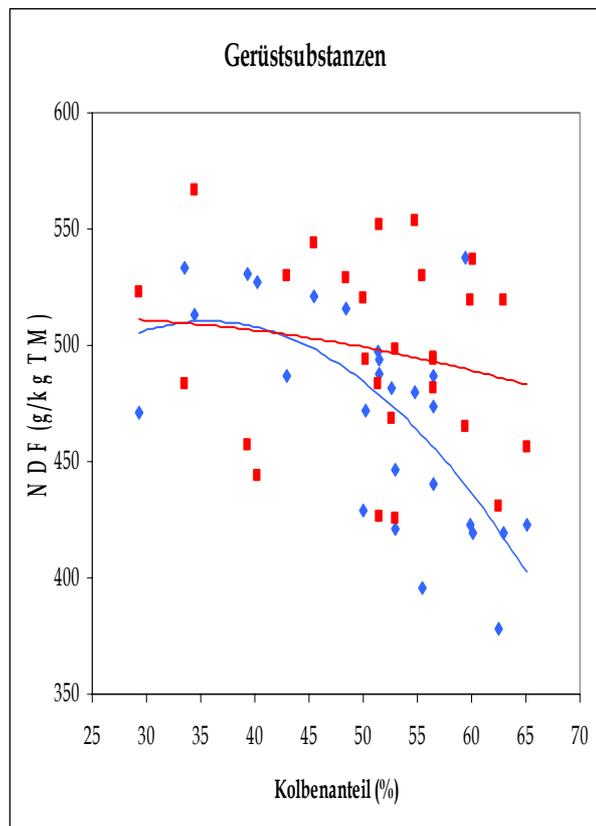
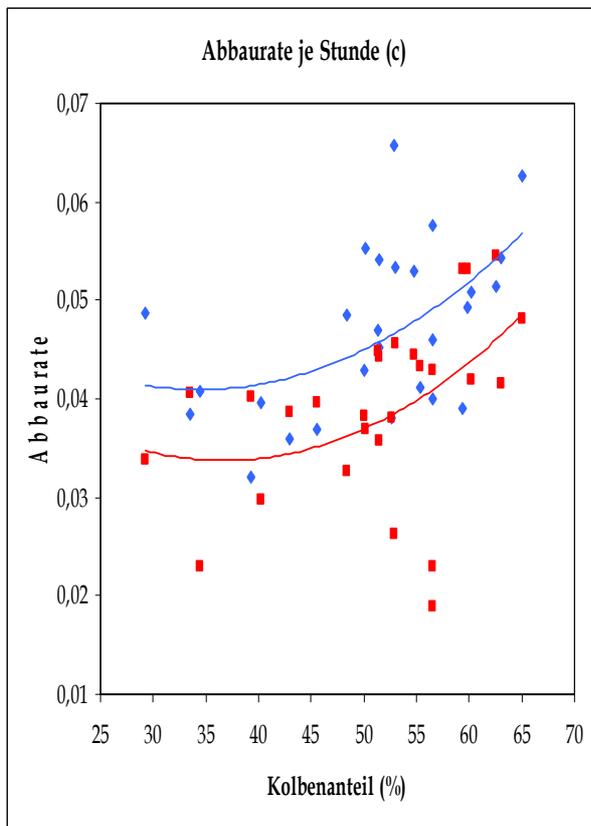
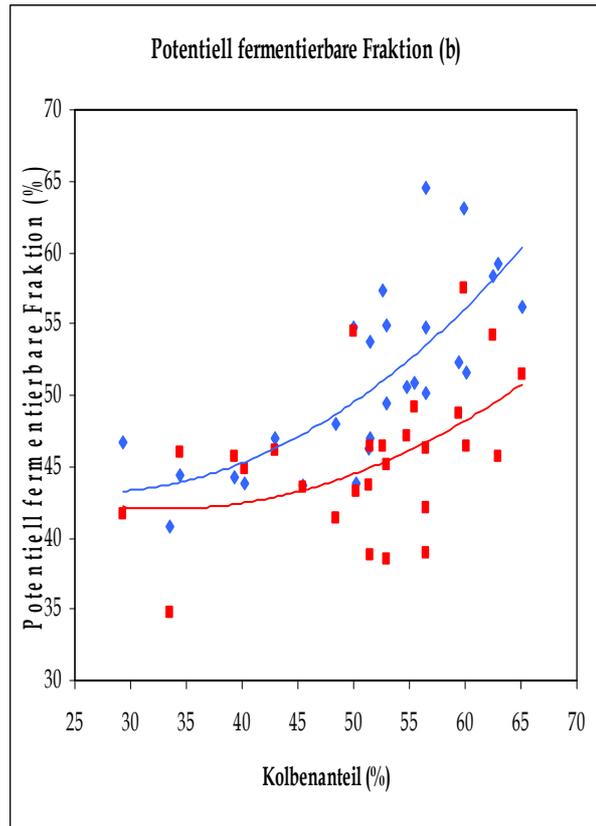
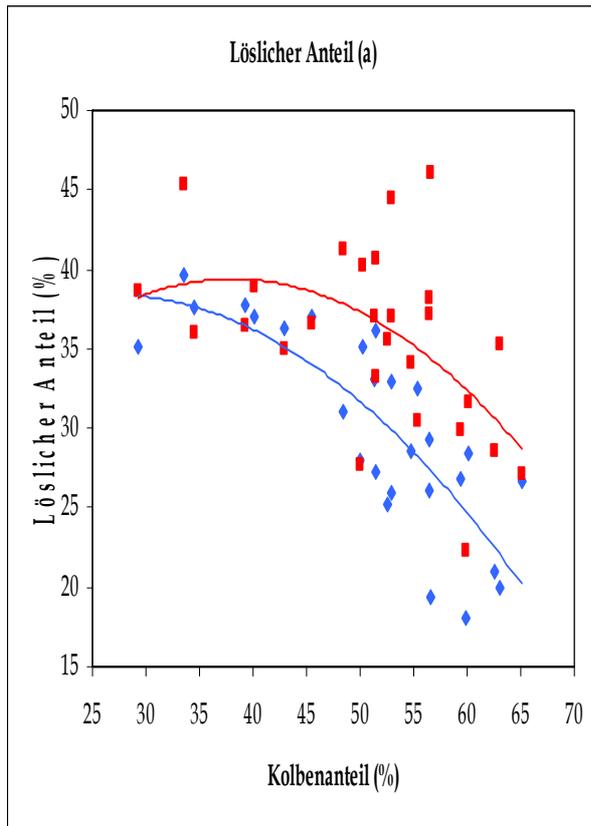
Die Gründe für die Änderung der Abbauparameter von Silomais im Laufe der Vegetation liegen einerseits in der Zunahme des Kolbenanteils und andererseits in der Änderung der chemischen Zusammensetzung von Kolben und Restpflanze (GROSS 1970, ZSCHEISCHLER et al. 1974, GROSS 1979, GROSS & PESCHKE 1980a, b, c, BÖHM

et al. 1983, GRUBER et al. 1983, JOCHMANN et al. 1999b). Die Zunahme des Kolbenanteils und die damit einhergehende Stärkeeinlagerung führen zu einer Erhöhung der potentiellen Abbaubarkeit. Andererseits sinkt die Abbaubarkeit der Restpflanze auf Grund der Zunahme an Gerüstsubstanzen und fortschreitender Lignifizierung (HARRISON et al. 1996, SCHROEDER 2004, JENSEN et al. 2005). RUSSELL (1986) konnte dies auch in in-vitro-Studien belegen. Der sinkende Anteil der löslichen Fraktion mit zunehmendem Erntezeitpunkt wird von PHILIPPEAU & MICHALET-DOREAU (1997), AKBAR et al. (2002), JOHNSON et al. (2003) und KURTZ & SCHWARZ (2005) belegt. Der wasserlösliche Anteil der Restpflanze nahm in deren Untersuchung von 36,0 auf 23,5 % ab. Gleichzeitig nahm auch die effektive Abbaubarkeit der Restpflanze mit zunehmendem Reifestadium ab. Welcher der beiden Faktoren - Zunahme des Kolbenanteils und Abnahme der Abbaubarkeit der Restpflanze - überwiegt, hängt von den Wachstumsbedingungen und der Vegetationsdauer für die einzelnen Sorten ab. Im vorliegenden Fall traten eine signifikante Abnahme der potentiellen Abbaubarkeit und eine Zunahme der Abbaurate ein. Zusätzlich ist zu beachten, dass die NFC in der Restpflanze vorwiegend als Zucker vorliegen, im Kolben dagegen als Stärke (GROSS 1986, DLG 1997). Zucker ist sofort löslich, während Stärke eine geringere Abbaurate aufweist (SNIFFEN et al. 1992).

Der überragende Einfluss des Kolbenanteils auf die Abbauparameter und den Futterwert ist auch in der vorliegenden Untersuchung gegeben und in *Abbildung 4.2-1* dargestellt. Bei einem Kolbenanteil von 30 % beträgt die Fraktion a bei Grünmais 38,3 % und bei Maissilage 38,4 %, bei einem Kolbenanteil von 60 % macht die Fraktion a 24,7 bzw. 32,3 % aus. Im Gegensatz dazu ist bei einem Kolbenanteil von 30 % der Anteil von b bei Grünmais 43,4 % und bei Maissilage 42,1 %, bei einem Kolbenanteil von 60 % liegen die Werte bei 56,2 bzw. 48,2 %. *Abbildung 4.2-1* zeigt weiters, dass ein steigender Kolbenanteil abnehmende NDF-Gehalte in der Gesamtpflanze nach sich zieht, was sich ebenfalls gut in das Bild der festgestellten Abbauparameter fügt.

Obwohl rein statistisch betrachtet kein signifikanter Einfluss des Vegetationsstadiums auf die effektive Abbaubarkeit festgestellt wurde, zeigt sich, dass die effektive Abbaubarkeit mit steigender Passagerate (d.h. Fütterungsniveau) tendenziell abnimmt (*Tabelle 4.2-1*). Dies deckt sich mit den Ergebnissen eines Fütterungsversuchs von HARRISON et al. (1996), in dem die Tagesmilchleistung mit steigender Reife von Maissilage zurückging. Als Erklärung wird die Abnahme der Verdaulichkeit der Stärke angeführt. Dagegen stellten PEX et al. (1996) bei Schafen mit fortschreitendem Vegetationsstadium höhere Verdaulichkeitswerte fest (72, 75 bzw. 75 % dOM bei TM-Gehalten von 24, 29 bzw. 39 %). Bei Rindern zeigten sich allerdings keine Unterschiede in der Verdaulichkeit (77 %).

Abbildung 4.2-1 Einfluss von Kolbenanteil und Konservierung



Grünmais

Maissilage

## 4.2.2 Einfluss der Sorte

Der Faktor Sorte (*Tabelle 4.2-1*) wirkte sich auf den sofort löslichen (a) sowie auf den potentiell fermentierbaren (b) Anteil der Trockenmasse hochsignifikant aus ( $P = 0,004$  bzw.  $0,001$ ), hatte jedoch keinen Einfluss auf die Abbaurate ( $c = 4,3 \text{ \%}/h$ ). Die Fraktion a machte in den Sorten Fuxxol, Romario bzw. Atalante 31, 32 bzw. 36 % aus. Gegenläufig dazu verhielt sich der Anteil der Fraktion b mit 50, 49 bzw. 45 %, sodass sich die Sorten in der potentiellen Abbaubarkeit nicht signifikant unterschieden (81 %). Ähnliche Sortenunterschiede hinsichtlich der Fraktion b (5 - 6 %) wurden auch von CARTER et al. (1991) festgestellt. SCHWARZ et al. (1996) fanden Unterschiede in der in-vivo-Verdaulichkeit zwischen Sorten ähnlichen physiologischen Alters bei Schafen, jedoch nicht bei Rindern. Weitergehende Untersuchungen mit Kühen fanden keine pansenphysiologischen Unterschiede verschiedener Maishybriden (HÖNER et al. 2002a). Dementsprechend wurden auch bei ETTLE et al. (2002) sowie ETTLE & SCHWARZ (2003) keine Auswirkungen durch die Fütterung genetisch verschiedener Maissilagen auf wesentliche Leistungskriterien von Milchrindern gefunden. Im Gegensatz dazu bedingten Sortenunterschiede einen signifikant veränderten Harnstoffgehalt in der Milch, der sich aus den unterschiedlichen Anteilen an nutzbarem Rohprotein der Sorten erklärt (MAIERHOFER & OBERMAIER 2002). Diese Autoren fanden weiters sortenbedingte Unterschiede in der Futter-, Energie- und Rohfaseraufnahme. Dadurch kann von Auswirkungen auf die Milchmenge und -zusammensetzung ausgegangen werden. Genetisch bedingte Milchleistungssteigerungen konnten bei BARRIÈRE & ÈMILE (1990) mit 1,5 kg angegeben werden.

Sortenunterschiede, die sich auf die Leistung von Rindern auswirken, werden vor allem mit Spezialzüchtungen wie brown midrib-Sorten (geringere Lignifizierung), NutriDense (hoher ruminale Abbau) oder Amylopektin-reichen Sorten („waxy“ corn) erzielt. Durch Spezialsorten sind Milchleistungssteigerungen bis 2 kg möglich (OBA & ALLEN 1999, AKAY & JACKSON 2001). Für brown midrib-Sorten geben BAL et al. (2000) und CONE & ENGELS (1993) an, dass der ruminale Abbau sowohl der Trockenmasse als auch der Gerüstsubstanzen (NDF) im Vergleich zu konventionellen Sorten erhöht war.

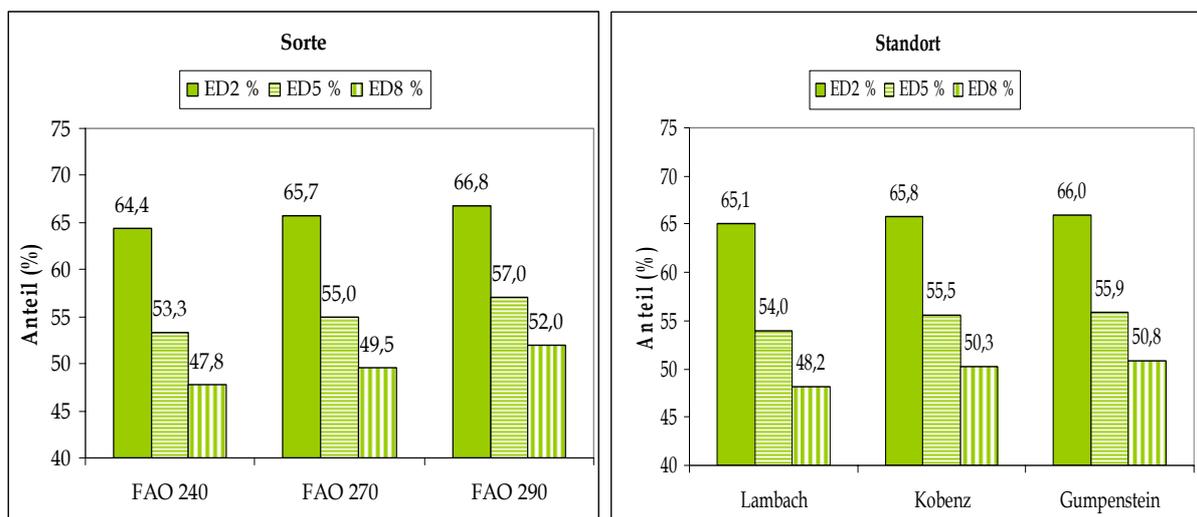
Die Sorten wiesen hochsignifikante Unterschiede hinsichtlich der effektiven Abbaubarkeit auf ( $P < 0,01$ ), so belief sich ED5 bei den Sorten Fuxxol, Romario bzw. Atalante auf 53,3, 55,0 bzw. 57,0 %. Spätreife Sorten, wie z.B. Atalante, zeigen auch bei hohen Passageraten (ED8) noch eine effektive Abbaubarkeit von mehr als 50 %, wohingegen Sorten mit mittlerer bzw. früher Abreife 49,5 bzw. 47,8 % aufweisen (*Abbildung 4.2-2*). Der Hauptgrund liegt im ausgeprägteren Kolbenanteil früh- bis mittelreifer Sorten und im geringeren Anteil löslicher Kohlenhydrate in der Restpflanze (HÜBNER 1972, GROSS & PESCHKE 1980c, HEPTING 1982). Hochsignifikante Sortenunterschiede im Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen wurden auch von ZSCHEISCHLER et al. (1974) nachge-

wiesen. Versuche von FLACHOWSKY et al. (1992) mit Maiskörnern von 14 Sorten stellten Unterschiede auf Grund unterschiedlicher löslicher (12,8 bis 18,4 %) und fermentierbarer Anteile (50,9 bis 85,2 %) fest.

Aufgrund der positiven Wirkung des Kolbenanteils auf die potentiell fermentierbare Fraktion wurden in dieser Untersuchung keine sortenspezifischen Unterschiede in der potentiellen Abbaubarkeit festgestellt. Bei getrennter Betrachtung von Kolben und Restpflanze werden enorme Sortenunterschiede deutlich. Fütterungsversuche zeigten Unterschiede in der Gesamtverdaulichkeit der Kolben von 4 % auf (THOMET et al. 1986). Unterschiede in der Gesamtverdaulichkeit der Ganzpflanze von 2,7 % lassen den gegenläufigen Einfluss der Restpflanze erkennen (HERTER et al. 1996). Maiskornsilagen zeigten auf Grund von Sortenunterschieden Differenzen in der potentiellen Abbaubarkeit von bis zu 10 % (72 % bis 82 %) (HÖNER et al. 2002b), in der effektiven Abbaubarkeit (ED8) bis zu 15 % (LEBZIEN et al. 1997, SCHWARZ & ETTLE 2000, ETTLE et al. 2001). Verschiedene Untersuchungen weisen auf Sorteneinflüsse im Zusammenhang mit der Abbaubarkeit der Restpflanzen hin (TOVAR-GÓMEZ et al. 1997, PARYS et al. 2000b, AKBAR et al. 2002, LANGENHOFF et al. 2002).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in der Literatur kein einheitliches Bild über den Einfluss von Sortenunterschieden gegeben ist. Der Hauptgrund liegt in der Auswahl der Sorten und deren Anpassungsfähigkeit an die Versuchsbedingungen.

**Abbildung 4.2-2 Effektive Abbaubarkeit**



### 4.2.3 Einfluss des Standorts

Zwischen den Versuchsstandorten Lambach, Kobenz und Gumpenstein ( $\emptyset$  Vegetationsdauer 130, 122 und 121 Tage) zeigten sich hochsignifikante Unterschiede in den Abbauparametern a und b und in der Tendenz auch bei c ( $P = 0,112$ ). Die Fraktion a

nahm zu den Standorten mit kürzerer Vegetationsdauer hin zu (29, 34, 35 %), während die Fraktion b abnahm (52, 47, 46 %). Als Folge dieser gegenläufigen Entwicklung von a und b verhielt sich deren Summe, d.h. die potentielle Abbaubarkeit, gleichbleibend (81 %). Die Ergebnisse der effektiven Abbaubarkeit hängen in hohem Maße von der unterstellten Passagerate ab (*Abbildung 4.2-2*). Bei niedriger und mittlerer Passagerate (2 und 5 %) zeigen sich keine Unterschiede in der effektiven Abbaubarkeit, sehr wohl aber bei hoher Passagerate (ED8 = 48<sup>a</sup>, 50<sup>b</sup>, 51<sup>b</sup> %). Die Gründe dafür liegen in der Berechnung der effektiven Abbaubarkeit, bei der die lösliche Fraktion a vollständig berücksichtigt wird, die potentiell fermentierbare Fraktion b dagegen nur nach entsprechender Gewichtung der Passagerate (ØRSKOV & McDONALD 1979), die im Verdauungsablauf als Konkurrenz zur Fermentationsrate wirkt (Van SOEST 1994).

Die Vegetationsdauer hat einen wesentlichen Einfluss auf die physiologische Entwicklung der Silomaispflanzen. Standorte mit einer verlängerten Vegetationsdauer ermöglichen eine ausgeprägtere Kolbenentwicklung (WERMKE & THEUNE 1980) und somit höhere Stärkeeinlagerung, die sich in einem erhöhten Anteil der Fraktion b manifestiert. In gleicher Weise erklärt sich auch das Verhalten der Abbaurate (c) auf den drei Versuchsstandorten. Einerseits erhöht die angesprochene Stärkeeinlagerung im Zuge der Kolbenentwicklung die Abbaurate. Dem wirkt die gleichzeitig erfolgende Verschlechterung der Restpflanze (Erhöhung des Zellwandgehaltes und Lignifizierung) zum Teil entgegen. Welcher der beiden Faktoren überwiegt, hängt von den spezifischen Wachstumsbedingungen eines Standorts relativ zur Sorte ab. GROSS (1979) und ETTLE et al. (2001) haben diese Zusammenhänge modellhaft beschrieben.

#### **4.2.4 Einfluss der Konservierung**

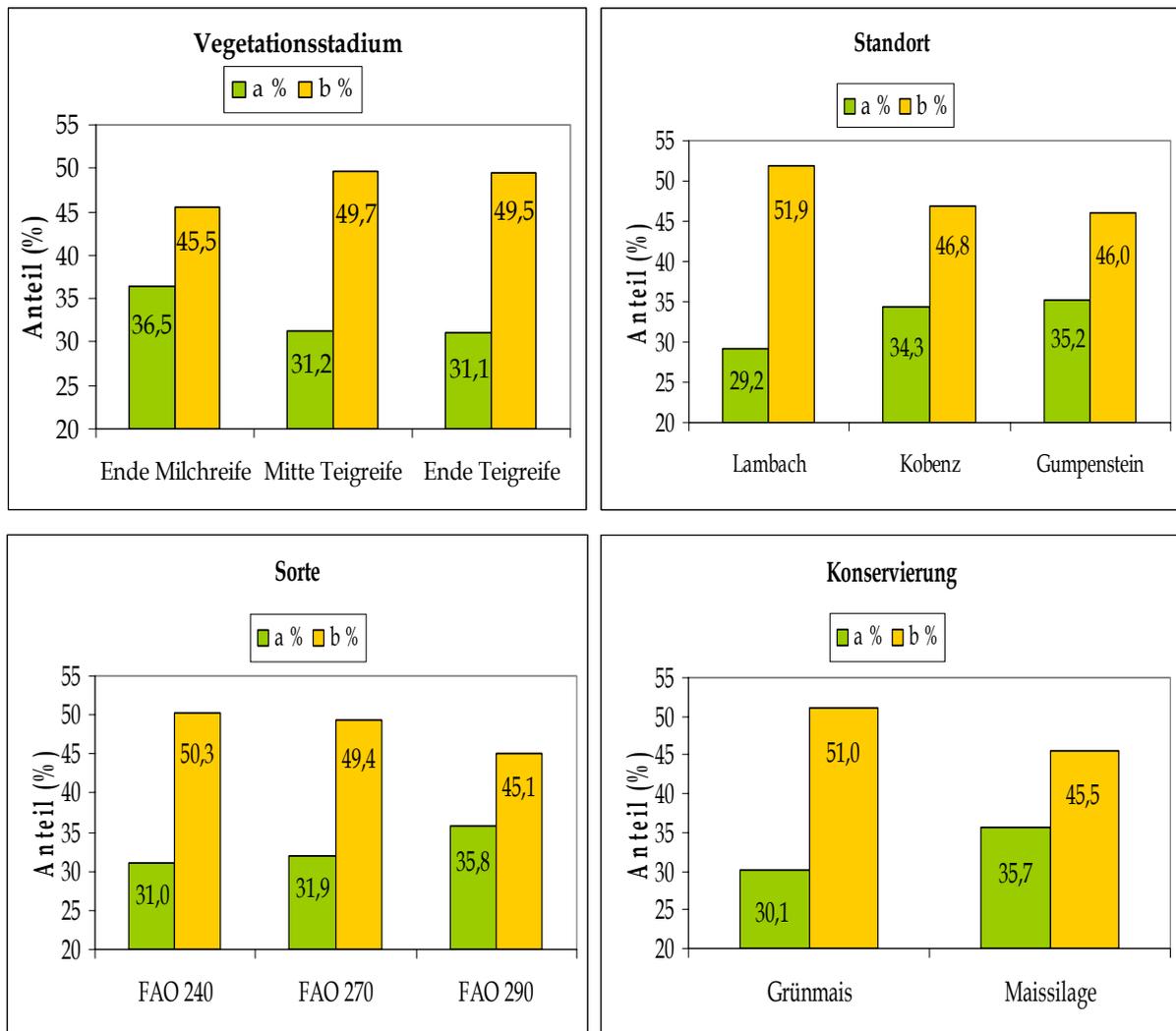
Die Abbauparameter a, b und c werden von der Konservierung hochsignifikant beeinflusst ( $P < 0,01$ ). Durch die Silierung von Silomais erhöht sich die Fraktion a von 30 auf 36 %, wohingegen die Fraktion b von 51 auf 46 % zurückgeht. Wie in den meisten zuvor untersuchten Versuchsfaktoren hebt sich die gegenläufige Beeinflussung von a und b auf und führt zu einer konstanten potentiellen Abbaubarkeit (81 %). Die Unterschiede in der effektiven Abbaubarkeit werden mit steigender Passagerate ausgeprägter. Die Gründe dafür wurden bereits unter dem Versuchsfaktor „Standort“ diskutiert.

Durch den Gärprozess bei der Silierung wurden die Abbauparameter hochsignifikant beeinflusst. Die lösliche Fraktion erhöhte sich und die unlösliche jedoch potentiell fermentierbare Fraktion b verminderte sich im selben Ausmaß. Die Abbaurate pro Stunde wurde hochsignifikant von 4,7 auf 3,9 %/h vermindert. Die Erklärung für diese Ergebnisse liegt in den Fermentationsvorgängen der Gärmikroben im Silo. Die leichtlöslichen Komponenten werden zu Gärsäuren fermentiert, was in einem höheren Anteil der Fraktion a und in einem geringeren Anteil der unlösliche jedoch potentiell ferment-

tierbare Fraktion b resultiert. Diese ist auch durch eine geringere Abbaurate c charakterisiert. Diese Resultate werden durch die Untersuchung von De BOEVER et al. (1983) gut untermauert. Auch in Maiskornsilagen wurde die effektive Abbaurate (ED8) durch die Silierung um durchschnittlich 10 % erhöht, was mit einer deutlichen Zunahme der löslichen Fraktion erklärt werden kann (SCHWARZ & ETTLE 2000).

Die in der vorliegenden Untersuchung gefundene effektive Abbaubarkeit von Maissilage bei einer Passagerate von 8 % lag bei 50,6 %. Dieses Ergebnis liegt etwas niedriger als die von MEYER et al. (2005) gefundene Abbaubarkeit, die für fünf untersuchte Maissorten (davon eine brown midrib Sorte) in zwei Anbaujahren zwischen 53 und 61 % schwankte. Möglicherweise ist dieser Unterschied damit zu erklären, dass das Erntejahr 2003 durch extreme klimatische Einflüsse gekennzeichnet war, welche die Abbaubarkeit und den Energiegehalt vermindern können (ENGELHARD 2005). Das ist die Folge einer verminderten Kolbenausbildung, wodurch der Anteil der schwerer verdaulichen Restpflanze (KURTZ & SCHWARZ 2005) relativ erhöht wird.

**Abbildung 4.2-3 Lösliche und potentiell fermentierbare Fraktion**



#### 4.2.5 Wechselwirkungen

Von den vier untersuchten Versuchsfaktoren traten nur zwischen Standort und Konservierung Wechselwirkungen auf ( $P_{\text{Ort} \times \text{Konservierung}} = 0.017, 0.017$  bzw.  $0.102$  für die Parameter a, b bzw. c). Die zu erwartenden Wechselwirkungen zwischen Vegetationsstadium und Standort bzw. Sorte zeigten sich nicht (COORS 1996), da sich die Erntezeitpunkte nicht nach einem fixen Datum, sondern nach einem für alle Versuchsvarianten gleichen physiologischen Stadium richteten (Tabelle 4.2-2).

Ursache für die Wechselwirkungen bei den Versuchsparametern a und b sind die Ergebnisse auf dem Versuchsstandort Lambach, bei dem sich die Maispflanzen als Folge extremer Trockenheit im Jahr 2003 physiologisch rasch entwickelten. Dies führte zu besonders hohen Kolbenanteilen und hohen Trockenmassegehalten (HEIN et al. 1996). Die hohen Stärkegehalte bedingen eine geringe Löslichkeit und führen zu erhöhten Abbauraten im Vergleich zu den Gerüstsubstanzen.

**Tabelle 4.2-1 Abbauparameter der Haupteinflussfaktoren von Silomais**

Parameter	a %	b %	c pro h	(a+b) %	ED2 %	ED5 %	ED8 %
<b>Vegetationsstadium</b>							
Ende Milchreife	36,5 <sup>b</sup>	45,5 <sup>a</sup>	0,037 <sup>a</sup>	82,0 <sup>a</sup>	65,7	55,8	50,9
Mitte Teigreife	31,2 <sup>a</sup>	49,7 <sup>b</sup>	0,046 <sup>b</sup>	80,9 <sup>ab</sup>	65,9	55,1	49,5
Ende Teigreife	31,1 <sup>a</sup>	49,5 <sup>b</sup>	0,045 <sup>b</sup>	80,5 <sup>b</sup>	65,2	54,5	48,9
P-Wert	0,001	0,005	0,002	0,032	0,555	0,251	0,059
<b>Sorte</b>							
Fuxxol	31,0 <sup>a</sup>	50,3 <sup>a</sup>	0,040	81,2	64,4 <sup>a</sup>	53,3 <sup>a</sup>	47,8 <sup>a</sup>
Romario	31,9 <sup>a</sup>	49,4 <sup>a</sup>	0,044	81,3	65,7 <sup>ab</sup>	55,0 <sup>a</sup>	49,5 <sup>a</sup>
Atalante	35,8 <sup>b</sup>	45,1 <sup>b</sup>	0,044	80,9	66,8 <sup>b</sup>	57,0 <sup>b</sup>	52,0 <sup>b</sup>
P-Wert	0,004	0,001	0,206	0,725	0,004	0,000	0,000
<b>Standort</b>							
Lambach	29,2 <sup>a</sup>	51,9 <sup>a</sup>	0,046	81,1	65,1	54,0	48,2 <sup>a</sup>
Kobenz	34,3 <sup>b</sup>	46,8 <sup>b</sup>	0,042	81,2	65,8	55,5	50,3 <sup>b</sup>
Gumpenstein	35,2 <sup>b</sup>	46,0 <sup>b</sup>	0,041	81,2	66,0	55,9	50,8 <sup>b</sup>
P-Wert	0,000	0,000	0,112	0,972	0,335	0,050	0,011
<b>Konservierung</b>							
Grünmais	30,1	51,0	0,047	81,1	65,7	54,7	48,9
Maissilage	35,7	45,5	0,039	81,2	65,5	55,5	50,6
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,802	0,703	0,209	0,022
RSD	4,2	4,0	0,007	1,6	2,0	2,3	2,5
R <sup>2</sup>	0,780	0,790	0,692	0,511	0,552	0,654	0,706

a, b: Mittelwerte mit verschiedenen Hochzahlen unterscheiden sich signifikant ( $P \leq 0,05$ )

**Tabelle 4.2-2 Abbauparameter unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen**

Parameter	a %	b %	c pro h	(a+b) %	ED2 %	ED5 %	ED8 %
<b>Vegetationsstadium x Sorte</b>							
Ende Milchreife x Fuxxol	35,7	46,1	0,033	81,8	64,1	53,9	49,1
Ende Milchreife x Romario	35,5	47,5	0,037	83,0	66,0	55,7	50,6
Ende Milchreife x Atalante	38,2	42,9	0,042	81,1	67,1	57,8	53,1
Mitte Teigreife x Fuxxol	27,7	53,3	0,046	81,0	64,8	53,2	47,1
Mitte Teigreife x Romario	30,4	50,8	0,050	81,1	66,7	55,9	50,0
Mitte Teigreife x Atalante	35,5	45,2	0,043	80,7	66,2	56,3	51,3
Ende Teigreife x Fuxxol	29,4	51,5	0,042	80,9	64,3	53,0	47,2
Ende Teigreife x Romario	29,9	49,8	0,045	79,8	64,3	53,4	47,8
Ende Teigreife x Atalante	33,8	47,1	0,048	80,9	67,1	57,0	51,6
P-Wert	0,645	0,516	0,187	0,224	0,352	0,588	0,753

Fortsetzung Tabelle 4.2-2

Parameter	a %	b %	c pro h	(a+b) %	ED2 %	ED5 %	ED8 %
<b>Vegetationsstadium x Ort</b>							
Ende Milchreife x Lambach	33,7	48,9	0,039	82,6	65,2	54,8	49,7
Ende Milchreife x Kobenz	38,3	43,2	0,036	81,5	65,8	56,2	51,6
Ende Milchreife x Gumpenstein	37,3	44,5	0,037	81,8	66,2	56,3	51,4
Mitte Teigreife x Lambach	25,7	55,0	0,050	80,7	64,9	53,1	46,8
Mitte Teigreife x Kobenz	32,3	49,0	0,045	81,3	66,0	55,4	49,8
Mitte Teigreife x Gumpenstein	35,6	45,3	0,045	80,9	66,8	56,9	51,8
Ende Teigreife x Lambach	28,2	51,8	0,050	79,9	65,1	54,0	48,1
Ende Teigreife x Kobenz	32,4	48,4	0,044	80,8	65,5	55,0	49,5
Ende Teigreife x Gumpenstein	32,6	48,2	0,041	80,9	65,0	54,4	49,0
P-Wert	0,412	0,309	0,803	0,539	0,813	0,483	0,363
<b>Vegetationsstadium x Konservierung</b>							
Ende Milchreife x Grünmais	33,1	48,5	0,044	81,7	66,4	55,9	50,5
Ende Milchreife x Maissilage	39,8	42,5	0,030	82,3	65,0	55,6	51,4
Mitte Teigreife x Grünmais	28,9	51,6	0,048	80,5	65,3	54,2	48,3
Mitte Teigreife x Maissilage	33,5	47,9	0,044	81,4	66,5	56,1	50,6
Ende Teigreife x Grünmais	28,2	52,9	0,048	81,1	65,4	54,0	48,0
Ende Teigreife x Maissilage	33,9	46,0	0,042	79,9	65,0	54,9	49,7
P-Wert	0,779	0,495	0,117	0,124	0,154	0,385	0,670
<b>Sorte x Ort</b>							
Fuxxol x Lambach	27,0	53,7	0,044	80,7	63,5	51,9	46,0
Fuxxol x Kobenz	31,7	50,5	0,037	82,2	64,2	53,0	47,6
Fuxxol x Gumpenstein	34,1	46,7	0,041	80,8	65,4	55,1	49,9
Romario x Lambach	29,2	52,3	0,046	81,5	65,3	54,2	48,4
Romario x Kobenz	31,8	48,6	0,044	80,4	65,1	54,4	49,0
Romario x Gumpenstein	34,8	47,2	0,042	82,0	66,7	56,3	51,0
Atalante x Lambach	31,4	49,6	0,049	81,0	66,4	55,8	50,2
Atalante x Kobenz	39,5	41,4	0,045	80,9	68,1	59,1	54,4
Atalante x Gumpenstein	36,6	44,1	0,040	80,8	66,0	56,2	51,3
P-Wert	0,379	0,307	0,612	0,198	0,184	0,088	0,084
<b>Ort x Konservierung</b>							
Lambach x Grünmais	23,9	57,0	0,053	80,9	65,1	53,1	46,6
Lambach x Maissilage	34,5	46,8	0,039	81,3	65,0	54,8	49,8
Kobenz x Grünmais	32,6	48,6	0,044	81,2	65,9	55,2	49,8
Kobenz x Maissilage	36,1	45,0	0,040	81,1	65,7	55,8	50,9
Gumpenstein x Grünmais	33,8	47,4	0,044	81,2	66,2	55,8	50,5
Gumpenstein x Maissilage	36,6	44,6	0,038	81,2	65,8	55,9	51,0
P-Wert	0,017	0,017	0,102	0,868	0,987	0,583	0,257

## 5 ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY

### 5.1 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierung auf den Gehalt an Kohlenhydraten und Protein nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) sowie auf den in-situ-Abbau der Trockenmasse von Silomais untersucht. Ziel der Arbeit war, eine über die WEENDER Futtermittelanalyse hinausgehende Charakterisierung von Silomais zu erreichen, die den tatsächlichen Verdauungsabläufen im Pansen Rechnung trägt.

Das Probenmaterial bestand aus 54 Silomaisproben aus dem Erntejahr 2003. Diese unterschieden sich durch das Vegetationsstadium (Ende Milchreife [ $< 25\%$  TM], Mitte Teigreife [ $25 - 30\%$  TM], Ende Teigreife [ $30 - 35\%$  TM]), die Sorte (Fuxxol FAO 240, Romario FAO 270, Atalante FAO 290), den Standort (Lambach - Oberösterreich, Kobenz - Steiermark, Gumpenstein - Steiermark) und die Konservierungsform (Grünmais, Maissilage). Die Futtermittel wurden nach verschiedenen Methoden untersucht: WEENDER Analyse (VDLUFA 1976, ALVA 1983), Detergentienanalyse (Van SOEST 1994), Protein- und Kohlenhydratfraktionen des Cornell Net Carbohydrate and Proteinsystems (KRISHNAMOORTHY et al. 1982, Van SOEST et al. 1991, FOX et al. 1992, RUSSEL et al. 1992, SNIFFEN et al. 1992) sowie in-situ-Methode (ØRSKOV & McDonald 1979, ØRSKOV 1984, HUNTINGTON & GIVENS 1995). Die in-situ-Versuche zur Bestimmung des ruminalen Abbaus der Trockenmasse wurden mit vier pansen-fistulierten Ochsen bis zu einer Inkubationsdauer von 168 Stunden durchgeführt.

Von den 4 geprüften Versuchsfaktoren übten vor allem die Konservierung und der Standort signifikante Einflüsse auf den Nährstoffgehalt aus, während sich der Erntezeitpunkt und die Sorte in geringerem Maße auswirkten. Die Silierung erhöhte den Gehalt an Rohfaser und verminderte dementsprechend den Gehalt an N-freien Extraktstoffen. Diese Entwicklung zeigte sich auch in den Van SOEST-Gerüstsubstanzen sowie in den Kohlenhydrat- und Proteinfractionen des Cornell-Systems. Als biologische Ursache ist die Fermentation der Nicht-Faserkohlenhydrate durch die Gärmikroben zu sehen. Mit Ausnahme des Rohfettgehaltes übte der Faktor Erntezeitpunkt nur auf die Proteinfractionen signifikante Einflüsse aus (Verringerung der rasch abbaubaren Fraktion [A] und Erhöhung der langsamer abbaubaren Fraktion [B<sub>2</sub>] mit fortschreitender Reife). Erwartungsgemäß wirkte sich der Faktor Standort - durch seinen Einfluss auf die Vegetationsdauer - signifikant auf die meisten Nährstoffparameter aus. Besonders die Gerüstsubstanzen sowie der Anteil an Faser- und Nicht-Faserkohlenhydraten zeigten sich stark abhängig von diesen klimatischen Voraussetzungen, die sowohl die Kolbenbildung als auch den Alterungsprozess der Restpflanze entscheidend beeinflussen.

Während der Einfluss der Sorte auf den Nährstoffgehalt sehr gering war, zeigten sich hochsignifikante Unterschiede zwischen den Sorten hinsichtlich der in-situ-Abbauparameter der Trockenmasse. Spätreife Sorten weisen eine höhere sofort lösliche Fraktion (a) und eine niedrigere potentiell fermentierbare Fraktion (b) auf, ihre potentielle Abbaubarkeit (a + b) ist somit gleich. Einen signifikanten Einfluss auf die Abbauparameter a und b übten auch die Faktoren Vegetationsstadium und Standort aus. Die Fraktion a war höher bei frühem Erntezeitpunkt und Standorten mit kürzerer Vegetationsdauer. Diese Bedingungen führen zu niedrigen Kolben- jedoch höheren Restpflanzenanteilen und folglich zu höherem Gehalt an Nicht-Strukturkohlenhydraten. Diese morphologische Zusammensetzung führt zu geringeren Abbauraten (c) jüngerer Maispflanzen (Zellulose wird wesentlich langsamer abgebaut als Stärke). Wie schon aus den Cornell-Fraktionen ersichtlich, erhöhen sich durch den Gärprozess (Bildung von Gärsäuren, teilweise Auflösung der Proteinmatrix) die löslichen Anteile des Futtermittels (a). Als Folge der Fermentation leicht löslicher Substanzen und relativer Zunahme der Gerüstsubstanzen verringert sich die Abbaurate (c). Während die potentielle Abbaubarkeit von keinem der Versuchsfaktoren mit Ausnahme des Vegetationsstadiums beeinflusst ist, treten hinsichtlich der effektiven Abbaubarkeit durchwegs signifikante Unterschiede auf. Bei der Berechnung der effektiven Abbaubarkeit geht nämlich die Fraktion a vollständig, die Fraktion b hingegen nur nach Passageraten gewichtet ein. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die in der Untersuchung angewandten Methoden (Cornell-System, in-situ-Abbaubarkeit) zu einer aussagekräftigeren Charakterisierung des Futterwertes von Silomais führt als die klassische WEENDER Analyse.

## 5.2 SUMMARY

The following experiment investigated the effects of stage of maturity, variety, location and conservation form of maize on the content of carbohydrates and protein according to the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) as well as on the in-situ degradation of dry matter. The objective was to characterize maize more precisely than the WEENDE analysis does in order to better estimate ruminal availability.

The maize samples (n = 54) were harvested in the year 2003. They differed by stage of maturity (late milk stage [ $< 25$  % DM], early dent stage [25 - 30 % DM],  $\frac{1}{2}$  milk line stage [30 - 35 % DM]); variety (Fuxxol FAO 240, Romario FAO 270, Atalante FAO 290); location (Lambach, Upper Austria; Kobenz, Styria; Gumpenstein, Styria) and conservation form (fresh maize, maize silage). The samples were analysed by different methods: WEENDE analysis (VDLUFA 1976, ALVA 1983), detergent analysis (Van SOEST 1994), analysis according to the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (KRISHNAMOORTHY et al. 1982, Van SOEST et al. 1991, FOX et al. 1992, RUSSELL et al. 1992, SNIFFEN et al. 1992) and the in-situ method (ØRSKOV & McDonald 1979, ØRSKOV 1984, HUNTINGTON & GIVENS 1995). The in-situ analyses to determine the ruminal degradation of dry matter, were carried out with four rumen cannulated steers with an incubation time of up to 168 hours.

Nutrient content was mainly influenced by conservation form and location. Stage of maturity and variety had only marginal effects. Due to fermentation processes of non-fiber carbohydrates during conservation, silages showed higher amounts of crude fiber and lower contents of N-free extracts. Van SOEST detergent fiber as well as Cornell carbohydrate and protein fractions supported these results. With the exception of crude fat content, stage of maturity had a significant effect only on protein fractions (decrease in rapidly available fraction [A] and increase in slowly available fraction [B<sub>2</sub>] due to maturity). As expected, the factor location had significant effects on most of the chemical parameters by determining the length of vegetation period. Detergent fiber content and fiber/non-fiber ratio were mainly dependent on climatic conditions, which significantly influenced ear growth as well as aging of plants.

Although variety only slightly influenced nutrient contents, it had a highly significant impact on in-situ degradation characteristics of dry matter. Late maturing varieties had higher soluble fractions (a) and lower potentially degradable fractions (b), whereas the potential degradability (a + b) was equal to the other varieties. Fractions a and b were significantly affected by stage of maturity and location. Fraction a increased in early stages of maturity and locations with short vegetation periods. Those circumstances cause lower ear development but higher residual plant amounts, which led to higher

amounts of non-structural carbohydrates. Younger maize plants show lower degradation rates (c) (degradability of cellulose is lower than for starch). As the Cornell fractions showed, fermentation processes (lactate formation, partly destruction of protein matrix) increased soluble fractions (a) in feedstuffs, but reduced degradation rates (c) due to relative accumulation of fiber. Except for stage of maturity, potential degradability was not affected by the tested parameters. Effects on effective degradability, however, differed significantly. The reason is that for calculation of effective degradability, fraction a is included as a whole, while fraction b is weighted according to rate of passage. These results show that the methods used in this investigation (Cornell System, in-situ technique) lead to a more precise characterisation of nutritive value of maize than the classical WEENDE analysis.

# LITERATURVERZEICHNIS

- AFRC (Agricultural and Food Research Council), 1992: Energy and Protein Requirements of Ruminants. AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. International Centre for Agriculture and Biosciences
- AKAY, V. und J.A. JACKSON (jr.), 2001: effects of NurtiDense and waxy corn hybrids on the rumen fermentation, digestibility and lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 1698-1706
- AKBAR, M.A., P. LEBZIEN und G. FLACHOWSKY, 2002: Measurement of yield and in-situ dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 100, 53-70
- ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten), 1983: Österreichisches Methodenhandbuch für die Untersuchung von Futtermitteln, Futterzusatzstoffen und Schadstoffen. Selbstverlag ALVA, Wien
- BAL, M.A., R.D. SHAVER, K.J. SHINNERS, J.G. COORS, J.G. LAUER, R.J. STRAUB und R.G. KOEGEL, 2000: Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal in situ disappearance of whole-plant corn silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86, 83-94
- BARRIÈRE, Y. und J.C. ÉMILE, 1990: Effet des teneurs en grain et de la variabilité génétique sur la valeur énergétique du maïs ensilage mesurée par des vaches laitières. *Agronomie* 10, 201-210
- BFL (Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft), 2005: beschreibende Sortenliste, Auszug
- BÖHM, M., F.J. SCHWARZ und M. KIRCHGESSNER, 1983: Zum Futterwert von Maissilage mit unterschiedlicher Reife bei der Silierung. *Bayer. Landw. Jahrbuch* 60, 893-902
- CANNAS, A., L.O. TEDESCHI, D.G. FOX, A.N. PELL und P.J. Van SOEST, 2004: A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149-169
- CARTER, P.M., J.G. COORS, D.J. UNDERSANDER, K.A. ALBRECHT und R.D. SHAVER, 1991: Corn hybrids for silage: An update. Proceedings from forty-sixth annual corn and sorghum research conference at American Seed Trade Association meetings, 11-12 Dec. 1991. Chicago, Illinois.
- CONE, J.W. und F.M. ENGELS, 1993: The influence of ageing on cell wall composition and degradability of three maize genotypes. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 40, 331-342
- CONE, J.W., A.H. Van GELDER, H. BACHMANN und V.A. HINDLE, 2002: Comparison of organic matter degradation in several feedstuffs in the rumen as determined with the nylon bag and gas production techniques. *Anim. Feed Sci. Technol.* 96, 55-67
- COORS, J.G., 1996: Findings of the Wisconsin corn silage consortium. Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Proceedings, 20-28
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG Futterwerttabelle für Wiederkäuer. 7. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt, 212 S.

- De BOEVER, J.L., J.V. AERTS, B.G. COTTYN, D.L. BRABANDER und F.X. BUYSEE, 1983: Evolution de la digestibilité et de la valeur alimentaire du maïs en fonction du stade de maturité. *Revue de l'Agriculture* 36, 263-271
- De BOEVER, J.L., J.M. VANACKER und D.L. De BRABANDER, 2002: Rumen degradation characteristics of nutrients in maize silages and evaluation of laboratory measurements and NIRS as predictors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 101, 73-86
- De BRABANDER, D.L., J.L. De BOEVER und F.X. BUYSEE, 1990: The quality and utilisation of maize silage for dairy cattle. Conference British Maize Growers Association, Maidenhead, 8. März 1990
- ENGELHARD, T., 2005: Maisprodukte in Milchviehrationen – Versuchsergebnisse und Empfehlungen. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt. Informationen abgerufen unter [www1.mlu.sachsen-anhalt.de/llg/infothek/dokumente/bab\\_1\\_05\\_engelhardt.pdf](http://www1.mlu.sachsen-anhalt.de/llg/infothek/dokumente/bab_1_05_engelhardt.pdf) am 11.11.05
- ETTLE, T., P. LEBZIEN, G. FLACHOWSKY und F.-J. SCHWARZ, 2001: Effect of harvest date and variety on ruminal degradability of ensiled maize grains in dairy cows. *Arch. Anim. Nutr.* 55, 69-84
- ETTLE, T., F.-J. SCHWARZ, P. LEBZIEN und G. FLACHOWSKY, 2002: Futterwert von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden und ihr Einfluss auf Leistungskriterien von Milchkühen. *Landbauforschung Völkenrode* 52, 157-165
- ETTLE, T. und F.-J. SCHWARZ, 2003: Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. *Anim. Res.* 52, 337-349
- FACHBERGER, H., 1996: Untersuchung über den Einfluss regionaler Gegebenheiten auf den Nähr- und Mineralstoffgehalt von Grundfuttermitteln in Österreich. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien, 365 S.
- FLACHOWSKY, G., P. BALDEWEG und G. SCHEIN, 1992: a note on the in sacco dry matter degradability of variously processed maize grains and of different maize varieties in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39, 173-181
- FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSELL und P.J. Van SOEST, 1990: The Cornell Net Carbohydrate and Protein System for evaluating cattle diets. Part I: A model for predicting cattle requirements and feedstuff utilization. *Search:Argiculture*. Ithaca, NY: Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. 34, 128 S.
- FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSELL und P.J. Van SOEST, 1992: A Net Carbohydrate and Protein System for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* 70, 3578-3596
- FOX, D.G., T.P. TYLUTKI, M.E. Van AMBURGH, L.E. CHASE, A.N. PELL, T.R. OVERTON, L.O. TEDESCHI, C.N. RASMUSSEN und V.M. DURBAL, 2000: The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS Version 4.0, Model Documentation, Animal Science Mimeo 213, Department of Animal Science, Cornell University, New York, USA: 237 S.
- FOX, D.G., L.O. TEDESCHI, T.P. TYLUTKI, J.B. RUSSELL, M.E. Van AMBURGH, L.E. CHASE, A.N. PELL und T.R. OVERTON, 2004: The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 29-78

- GANEV, G., E.R. ØRSKOV und R. SMART, 1979: The effect of roughage or concentrate feeding and rumen retention time on total degradation of protein in the rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 93, 651-656
- GRAGGABER, S., 2004: Einfluss von Konservierung von Wiesenfutter und Silomais auf die Gehalte an Kohlenhydraten und Protein nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irndning, 61 S.
- GROSS, F., 1970: Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Futterwert von Maisgärfutter. *Wirtschaftseig. Futter* 16, 306-336
- GROSS, F., 1979: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 1. Mitteilung: Bewertung von Silomais. *Wirtschaftseig. Futter* 25, 215-225
- GROSS, F. und W. PESCHKE, 1980a: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 2. Mitteilung: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Maisstroh (Maispflanze ohne Kolben). *Wirtschaftseig. Futter* 26, 104-117
- GROSS, F. und W. PESCHKE, 1980b: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 3. Mitteilung: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit der Maiskolben. *Wirtschaftseig. Futter* 26, 184-192
- GROSS, F. und W. PESCHKE, 1980c: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 4. Mitteilung: Einfluß der Kolbenbildung auf Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. *Wirtschaftseig. Futter* 26, 193-206
- GROSS, F., 1986: Der Stärkegehalt in Silomais und seine Beziehungen zum Kolbenanteil und Nettoenergiegehalt. *Wirtschaftseig. Futter* 32, 141-152
- GRUBER, L., H. KOPAL, F. LETTNER und F. PARRER, 1983: Einfluß des Erntezeitpunktes auf den Nährstoffgehalt und den Ertrag von Silomais. *Wirtschaftseig. Futter* 29, 87-109
- GRUBER, L., T. GUGGENBERGER, A. STEINWIDDER, J. HÄUSLER, A. SCHAUER, R. STEINWENDER, W. WENZL und B. STEINER, 2001: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche an der BAL Gumpenstein. 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung an der BAL Gumpenstein, Irndning, 2.-3. Mai 2001, 11-36
- GRUBER, L., G. STÖGMÜLLER, K. TAFERNER, L. HABERL, G. MAIERHOFER, B. STEINER, A. STEINWIDDER und A. SCHAUER, 2005: Ruminale Nährstoffabbau von Kraffuttermitteln und deren Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Proteinsystem. *Übers. Tierernährung* 33, 129-143.
- GRÜNER BERICHT, 2004: Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, gemäß § 9 des Landwirtschaftsgesetzes, BGBl. Nr. 375/1992, Wien: 320 S.
- HARRISON, J.H., L. JOHNSON, S. XU und C.W. HUNT, 1996: Managing corn silage for maximum nutritive value. *Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*, 29-37
- HEIN, W., L. GRUBER, G. URAY, J. HINTERHOLZER, G. PUCHWEIN, 1996: Restpflanze ist nicht gleich Restpflanze. *Mais* 24, 108-111
- HENNEBERG, W. und F. STOHMANN, 1864: Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. 2. Heft, Braunschweig

- HEPTING, L., 1982: Sortenspezifische Ertragsentwicklung bei Silomais nach der Blüte. Bayer. Landw. Jahrbuch 59, 545-553
- HERTER, U., A. ARNOLD, F. SCHUBIGER und M. MENZI, 1996: Sorte, Ort, Jahr und Reife bestimmen die Silomaisqualität. Agrarforschung 3, 539-542
- HÖNER, K., P. LEBZIEN, F.-J. SCHWARZ und G. FLACHOWSKY, 2002a: Einfluss von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Kühen. Landbauforschung Völkenrode 52, 149-156
- HÖNER, K., P. LEBZIEN, G. FLACHOWSKY und F.-J. SCHWARZ, 2002b: the influence of silages prepared from different corn hybrids on the metabolism in the digestive tract of ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 11, 44
- HÜBNER, R., 1972: Sorten- und Standweitenversuche mit Grün- und Silomais. Wirtschaftseig. Futter 18, 89-106
- HUNTINGTON, J.A. und D.I. GIVENS, 1995: The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure. Nutrition Abstract and Reviews (Series B) 65, 63-93
- IVVO (Institute for Livestock Feeding and Nutrition Research), 1988: The nylon bag technique. Veröffentlichung der IVVO – Lelystad: Nr. 9/1988
- JENKINS, T.G. und C.L. FERRELL, 1986: Energy utilization of cows of different types. Arkansas Agricultural Experimental Station Report 121, 62
- JENSEN, C., M.R. WEISBJERG, P. NORGAARD UND T. HVELPLUND, 2005: Effect of maize silage maturity on site of starch and NDF digestion in lactating dairy cows. Animal Feed Science and Technology 118, 279-294
- JOCHMANN, K., R. DAENICKE und G. FLACHOWSKY, 1999a: Einfluß des Einsatzes von Milchsäurebakterien bei der Herstellung von Maissilage unterschiedlicher Reife auf die Verdaulichkeit der Silage durch Schafe. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, 123
- JOCHMANN, K., P. LEBZIEN, R. DAENICKE und G. FLACHOWSKY, 1999b: Zum Einfluss des Reifestadiums und des Einsatzes von Milchsäurebakterien bei ihrer Einsilierung auf die Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 82, 178-192
- JOHNSON, L.M., J.H. HARRISON, D. DAVIDSON, W.C. MANHANNA und K. SHINNERS, 2003: Corn silage management: Effects of hybrid, Maturity, inoculation, and mechanical processing on fermentation characteristics. J. Dairy Sci. 86, 287-308
- KASTENHUBER, F., 2003: Versuchsergebnisse 2002 bei Körnermais und Silomais. Mais-ergebnisse 2002, abgerufen unter <http://www.lfs-lambach.eduhi.at/> am 8.11.2005
- KASWARI, T. und P. LEBZIEN, 2001: Untersuchungen zum Einfluss der Trocknungstemperatur von Nylonbeuteln auf die Höhe der Auswaschverluste bei wiederholter Nutzung. VDLUFA-Schriftenreihe, Teil 2, Kongressband, 449-450
- KIRCHGESSNER, M., 2004: Tierernährung. 11. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt-Main, 608 S.
- KRISHNAMOORTHY, U., T.V. MUSCATO, C.J. SNIFFEN und P.J. Van SOEST, 1982: Nitrogen fractions in selected feedstuffs. J. Anim. Sci. 65, 217-222

- KURTZ, H. und F.J. SCHWARZ, 2005: in-situ-Abbaukinetik von Restpflanzen verschiedener Maishybriden im Reifeverlauf. Übers. Tierernährung 33, 111-120
- LANGENHOFF, M., P. LEBZIEN, R. DAENICKE und G. FLACHOWSKY, 2002: Nutritional assessment of silages from two different maize hybrids. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 11, S. 140
- LEBZIEN, P., J. SHOO, V. MANCINI, K. JOCHMANN und G. FLACHOWSKY, 1997: Vergleich der in situ-Abbaubarkeit verschiedener Sorten von Körnermais. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, S. 104
- LFS PYHRA (Landwirtschaftliche Fachschule), 2002: LAKO-Versuchsbericht, Sortenversuch Körnermais an der Landwirtschaftlichen Fachschule Pyhra; Informationen der Internethomepage: [http://root.lako.at/versuche/pflanzenbau/sv\\_mais/kmais\\_pyhra\\_2000.htm](http://root.lako.at/versuche/pflanzenbau/sv_mais/kmais_pyhra_2000.htm), abgerufen am 2.8.2005
- LFS WARTH (Landwirtschaftliche Fachschule), 2002: LAKO-Versuchsbericht, Sortenversuch Silomais an der Landwirtschaftlichen Fachschule Warth; Informationen der Internethomepage: [http://root.lako.at/versuche/pflanzenbau/sv\\_mais/smais\\_warth\\_2002.htm](http://root.lako.at/versuche/pflanzenbau/sv_mais/smais_warth_2002.htm), abgerufen am 2.8.2005
- LICITRA, G., T.M. HERNANDEZ und P.J. Van SOEST, 1996: Standardisation of procedure for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57, 347-358
- LINDBERG, J.E., 1981a: The effect of sample size and sample structure on the degradation of dry matter, nitrogen and cell walls in nylon bags. Swedish J. Agric. Res. 11, 71-76
- LINDBERG, J.E., 1981b: The effect of basal diet on the ruminal degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags. Swedish J. Agric. Res. 11, 159-169
- LINDBERG, J.E. und T. VARVIKKO, 1982: The effect of bag pore size on the ruminal degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags. Swedish J. Agric. Res. 12, 163-171
- LINDBERG, J.E., 1985: Estimation of rumen degradability of feed proteins with the in sacco technique and various in vitro methods: A review. Acta Agric. Scand. Suppl. 25, 65-97
- MADSEN, J. und T. HVELPLUND, 1994: Prediction of in situ protein degradability in the rumen. Results of a European ringtest. Livest. Prod. Sci. 39, 201-212
- MADSEN, J., T. STENSIG, M.R. WEISBJERG und T. HVELPLUND, 1994: Estimation of the physical fill of feedstuffs in the rumen by the in sacco degradation characteristics. Livest. Prod. Sci. 39, 43-47
- MAIERHOFER, R. und A. OBERMAIER, 2002: Vergleichender Einsatz von Maissilage verschiedener Maissorten in der Fütterung von Milchkühen. Gruber Info 2, 42-49
- MATTHÉ, A., P. LEBZIEN und G. FLACHOWSKY, 1999: Influence of maize grain drying process on its in situ degradability in dairy cows. J. Anim. Feed Sci. 8, 379-386
- McDONALD, P., R.A. EDWARDS und J.F.D. GREENHALGH, 1989: Animal Nutrition 4<sup>th</sup> Ed. Longman Scientific & Technical: 543 S.
- McDONALD, P., A.R. HENDERSON und S.J.E. HERON, 1991: The biochemistry of silage. Second edition, Chalcombe Publications, 340 S.
- MENKE, K.-H. und W. HUSS, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. 3. Auflage, Ulmer, Stuttgart, 424 S.

- MERTENS, D.R., 1993: Rate and extent of digestion. In: Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, J.M. Forbes & J. France (Eds.), UK, CAB International, 13-51
- MERTENS, D.R., 1994: Regulation of forage intake. In: G.C. Fahey, Jr., M. Collins, D.R. Mertens, and L.E. Moser (Eds.) Forage Quality, Evaluation, and Utilization, 450-493
- MEYER, U., C. MAHLOW und P. LEBZIEN, 2005: Vergleich des in-situ-Abbaus und der in-vivo-Verdaulichkeit von Maissilage aus zwei Anbaujahren bei Wiederkäuern. Übers. Tierernährg. 33, 121-128
- MICHALET-DOREAU, B. und M.Y. OULD-BAH, 1992: Influence of hay making on in situ nitrogen degradability of forages in cows. J. Dairy Sci. 75, 782-788
- NOCEK, J.E., 1988: In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. J. Dairy Sci. 71, 2051-2069
- OBA, M. und M.S. ALLEN, 1999: Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. J. Dairy Sci. 82, 135-142
- ØRSKOV, E.R. und I. McDONALD, 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. (Camb.) 92, 499-503
- ØRSKOV, E.R., 1982: Protein nutrition in ruminants. Academic Press Inc., San Diego, CA, 160 S.
- ØRSKOV, E.R., 1984: Evaluation of residues and agro-industrial by-products using the nylon bag method. In: Better utilization of crop residues and by-products in animal feeding. FAO Animal Production and Health Paper 50
- ØRSKOV, E.R., G.W. REID und M. KAY, 1988: Prediction of intake by cattle from degradation characteristics of roughages. Anim. Prod. 46, 29-34
- ØRSKOV, E.R. und M. RYLE, 1990: Energy nutrition in ruminants. Elsevier Applied Science. London, 102-145
- PARYS, C., A. MATTHÉ, P. LEBZIEN und G. FLACHOWSKY, 2000a: Einfluss der Tierart und Rationsgestaltung auf die in-sacco-Abbaubarkeit von Weizen und Mais. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Teil 3, Kongressband, 76-79
- PARYS, C., A. MATTHÉ, P. LEBZIEN und G. FLACHOWSKY, 2000b: In sacco Abbaubarkeit von Mais-Restpflanzen im Pansen von Milchkühen. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Teil 3, Kongressband, 80-83
- PEX, E.J., F.J. SCHWARZ und M. KIRCHGESSNER, 1996: Zum Einfluss des Erntezeitpunkts auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Wirtschaftseig. Futter 42, 83-96
- PHILIPPEAU, C. und B. MICHALET-DOREAU, 1997: Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. Anim. Feed Sci. Technol. 68, 25-35
- RAGT-SAATEN, 2005: Informationen der Internethomepage: <http://www.ragt.at/sorten-preview.cfm?SortelID=29>, zuletzt aufgerufen am 1.11.2005
- RUSSELL, J.R., 1986: Influence of harvest date on the nutritive value and ensiling characteristics of maize stover. Anim. Feed Sci. Technol. 14, 11-27

- RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. Van SOEST, C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551-3561
- RUSSELL, J.B., 2002: *Rumen Microbiology and Its Role in Ruminant Nutrition*, James B. Russell Publishing Co., Ithaca, NY
- SCHMIDT, T., M. GABEL, J. VOIGT und K. KRAWIELITZKI, 2002: Vergleichende methodische Untersuchungen zur Quantifizierung der mikrobiellen Kontamination bei Anwendung der Nylon-Beutel-Technik zur Ermittlung des ruminalen Futterproteinabbaus. *VDLUFA-Schriftenreihe 58, Kongressband*, 360-361
- SCHROEDER, J.W., 2004: Forage nutrition of ruminants. Extension Service North Dakota State University, Quality forage series: Artikel AS-1250. Information abgerufen am 18.10.2005 unter [www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/dairy/as1250.pdf](http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/dairy/as1250.pdf)
- SCHWARZ, F.J., E.J. PEX und M. KIRCHGESSNER, 1996: Zum Sorteneinfluß von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. *Wirtschaftseig. Futter* 42, 161-172
- SCHWARZ, F.J. und T. ETTLE, 2000: Erntezeitpunkt, Sorte und deren Einfluss auf Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit und in situ-Abbaubarkeit der Stärke von Silomais. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 217*, 102-115
- SEBEK, L.B. und H. EVERTS, 1999: In situ rumen degradation of dry matter and crude protein in ewes and dairy cows. *Anim. Sci.* 68, 801-808
- SETÄLÄ, J., 1983: The nylon bag technique in the determination of ruminal feed protein degradation. *J. Sci. Agri. Soc. Finland* 55, 1-78
- SHEM, M.N., E.R. ØRSKOV und A.E. KIMAMBO, 1995: Prediction of voluntary dry-matter intake, digestible dry-matter intake and growth rate of cattle from the degradation characteristics of tropical foods. *Anim. Sci.* 60, 65-74
- SNIFFEN, C.J., J.D. O'CONNOR, P.J. Van SOEST, D.G. FOX und J.B. RUSSELL, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and Protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562-3577
- STATGRAPHICS Plus 5, 2000: *Manugistics Leveraged Intelligence. User Manual*. Maryland, USA
- SÜDEKUM, K.H., 2005: Möglichkeiten und Grenzen der Standardisierung der in-situ-Methodik zur Schätzung des ruminalen Nährstoffabbaus. *Übers. Tierernährg.* 33, 71-86
- THOMET, P., D. DUBOIS, T. RHIS und J. TROXLER, 1986: Prüfung der Verdaulichkeitsunterschiede von fünf ausgewählten Maissorten. *Mitteilungen f. d. Schweizerische Landwirtschaft* 34, 3, 61-72
- TOVAR-GÓMEZ, M.R., J.C. EMILIE, B. MICHALET-DOREAU und Y. BARRIÈRE, 1997: In situ degradation kinetics of maize hybrid stalks. *Anim. Feed Sci. Technol.* 68, 77-88
- TSCHÖLL, A., 2005: *Silomais Ernte 2004, Silomais Sortenversuch Dietenheim 2004 (Versuchszentrum Laimburg)*. Amt der Tiroler Landesregierung, 2 S.
- TUKEY, J.W., 1960: Conclusions vs. decisions. *Technometrics* 2, 423-433
- Van der KOELEN, C.J., P.W. GOEDHART, A.M. Van VUUREN und G. SAVOINI, 1992: Sources of variation of the in situ nylon bag technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 38, 35-42

- Van SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON und B.A. LEWIS, 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597
- Van SOEST, P.J., 1994: *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, 2nd ed., 476 S.
- VANZANT, E.S., R.C. COCHRAN und E.C. TITGEMEYER, 1998: Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76, 2717-2729
- VEARASILP, T., 1986: Site and extent of maize starch digestion in relation to stage of maize maturity in lactating cows. Diplomarbeit an der Christian-Albrechts-Universität Kiel
- VERITE, R., M. JOURNET und R. JARRIGE, 1979: A new system for the protein feeding of ruminants: the PDI system. *Livest. Prod. Sci.* 6, 349-367
- VLDUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993 und 1997: *Methodenbuch Band III - Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- WEISBJERG, M.R., P.K. BHARGAVA, T. HVELPLUND und J. MADSEN, 1990: Use of degradation curves in feed evaluation. 679. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsog (Report from the National Institute of Animal Science, Foulum, Denmark (in Dänisch), 32 S.
- WERMKE, M. und H.H. THEUNE, 1980: Influence of variety, development stage, year and location upon the quality of silage maize. W.G. Pollmer/ R.H. Phipps (eds.): *Improvement of quality traits of maize for grain and silage use*, 411-427
- WILKERSON, V.A., T.J. KLOPFENSTEIN und W.W. STROUP, 1995: A collaborative study of in situ forage protein degradation. *J. Anim. Sci.* 73, 583-588
- ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien), 2005: Information abgerufen am 27.10.2005 unter <http://www.wetter.at/news-wissen/klima/auswahl>
- ZSCHEISCHLER, J., F. GROSS und L. HEPTING, 1974: Einfluss von Schnittzeit, Sorte und Standweite auf Ertrag und Futterwert von Silomais. *Bayer. Landw. Jahrbuch* 51, 611-636

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank ergeht an Herrn Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. L. Gruber für die Überlassung des Themas, die Hilfestellung bei der Literatursuche sowie der Auswertung der Versuchsergebnisse. Seine fachlichen Anregungen und konstruktiven Vorschläge haben einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet. Für das in meine Person gesetzte Vertrauen sei Ihnen herzlich gedankt.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. W.F. Knaus bedanken, der immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Sehr herzlich danken möchte ich dem gesamten Team der Abteilung Analytik der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, das die chemischen Analysen rasch und sorgfältig erledigte.

Dem gesamten Team des Institutes für Nutztierforschung an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein sei an dieser Stelle mein Dank für die herzliche Aufnahme und Unterstützung gewiss. Besonders hervorheben möchte ich Herrn Ing. G. Maierhofer, der mir nicht nur bei der Datenaufbereitung hilfreich zur Seite stand.

Ebenso gebührt den Mitarbeitern im Stall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mein Dank, die durch die fachmännische Betreuung der vier pansen-fistulierten Ochsen wesentlich zum Gelingen dieses Versuchs beigetragen haben.